

# TERUEL

REVISTA DEL INSTITUTO DE ESTUDIOS TUROLENSES

1999



87 [1]

CIENCIAS



**CIENCIAS**



# TERUEL

REVISTA DEL INSTITUTO DE ESTUDIOS TUROLENSES

---

DIRECTOR

**FRANCISCO BURILLO MOZOTA**

SECRETARIO DE REDACCIÓN

**FRANCISCO JAVIER SÁENZ GUALLAR**

CONSEJO CIENTÍFICO

**FRANCISCO JAVIER AGUIRRE GONZÁLEZ**

**ERNESTO ARCE OLIVA**

**JOSÉ CARRASQUER ZAMORA**

**MATEO GUTIÉRREZ ELORZA**

**JOSÉ MANUEL LATORRE CIRIA**

**RAFAEL LORENZO ALQUÉZAR**

**MONTSERRAT MARTÍNEZ GONZÁLEZ**

**GUILLERMO MELÉNDEZ HEVIA**

**JESÚS MARÍA MUNETA MARTÍNEZ DE MORENTIN**

**ANA MARÍA NAVALES VIRUETE**

**CARMEN PEÑA ARDID**

**JOSÉ LUIS PEÑA MONNÉ**

**ANTONIO PÉREZ SÁNCHEZ**

**DOLORES ROMO ARGOTE**

**LUIS ANTONIO SÁEZ**

EDITOR

**INSTITUTO DE ESTUDIOS TUROLENSES, adscrito al CSIC,  
de la EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE TERUEL**

REDACCIÓN Y ADMINISTRACIÓN

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

**E-mail: est.turolenses@retemail.es**

DISTRIBUCIÓN

**CONTRATIEMPO, SCL**

**Las Sabinas, 63. 50171 La Puebla de Alfindén (Zaragoza) ■ Tel. 976 107859 ■ Fax 976 107934**

SUSCRIPCIÓN ANUAL

**España, 1.500 ptas. ■ Extranjero, 18\$ USA**

NÚMERO SUELTO

**España, 1.800 ptas. (900 ptas. cada volumen) ■ Extranjero, 20\$ USA (10\$ USA cada volumen)**

PERIODICIDAD

**Anual**

DISEÑO GRÁFICO

**VÍCTOR M. LAHUERTA GUILLÉN**

FOTOCOMPOSICIÓN E IMPRESIÓN

**INO REPRODUCCIONES, SA**

**Ctra. Castellón, km 3,800. Pol. Miguel Servet, nave 13. 50013 Zaragoza**

DEPÓSITO LEGAL

**Z-2.622/92**

ISSN

**0210-3524**

CUBIERTA

**Aspecto de una plantación de encinas micorrizadas con cinco años**

# TERUEL

REVISTA DEL INSTITUTO DE ESTUDIOS TUROLENSES

87 [I]

TERUEL, 1999



**Instituto de Estudios Turolenses**  
Excm. Diputación Provincial de Teruel



# TERUEL

REVISTA DEL INSTITUTO DE ESTUDIOS TUROLENSES

NÚMERO 87 [VOLUMEN I] ■ TERUEL, 1999 ■ ISSN 0210-3524

---

- Estratigrafía y sedimentología de las Facies Weald de la subcuenca de Las Parras (Teruel). *A. Meléndez y A.R. Soria* ..... 7-37
- Geomorfología kárstica de las cuencas de Gallocanta y Jiloca (provincia de Teruel). *Francisco Javier Gracia Prieto y Francisco Gutiérrez Santolalla* ..... 39-68
- Las formaciones travertínicas de la cuenca alta del río Mijares (provincia de Teruel). *M.<sup>a</sup> Victoria Lozano Tena, Carlos Sancho Marcén y José Luis Peña Monné* ..... 69-91
- Líquenes epifíticos de la Sierra del Tremedal (Guadalajara-Teruel). *Gregorio Aragón, Isabel Martínez y Ana Rosa Burgaz* ..... 93-110
- Nuevos datos sobre la invernada de la lechuza campestre en un medio estepario de la depresión del Ebro: las Saladas de Alcañiz (NE de Teruel). *Adrián Ponz Miranda* ..... 111-119
- Crecimiento y desarrollo en una plantación de encinas micorrizadas. Aspectos fisiológicos de un patrón para la reforestación de tierras agrícolas marginales en Aragón. *M. Pardos Mínguez* ..... 121-146
- Descripción y comportamiento de los procesos de restauración vegetal de escombreras en las explotaciones a cielo abierto de Endesa en la cuenca minera de Teruel. *Manuel Martínez Pantaleón* ..... 147-205
-





**ESTRATIGRAFÍA Y SEDIMENTOLOGÍA DE  
LAS FACIES WEALD DE LA SUBCUENCA  
DE LAS PARRAS (TERUEL)**



*A. Meléndez y A.R. Soria*



# ESTRATIGRAFÍA Y SEDIMENTOLOGÍA DE LAS FACIES WEALD DE LA SUBCUENCA DE LAS PARRAS (TERUEL)\*

*A. Meléndez\*\* y A.R. Soria\*\**

## RESUMEN

La subcuenca de Las Parras es una de las áreas de sedimentación que se configuran durante el Cretácico inferior dentro de la Cuenca Ibérica. Durante este periodo tuvo lugar una importante actividad tectónica distensiva que fue la responsable de la configuración y estructuración de la cuenca. Su relleno sedimentario está caracterizado por seis unidades litoestratigráficas (Fms. Camarillas, Artoles, Morella, Chert, Forcall y Villarroya de los Pinares). Las dos primeras unidades caracterizan las Facies Weald de la región y las otras cuatro constituyen las Facies Urgon. El análisis secuencial de las Facies Weald nos ha permitido identificar dos secuencias de depósito. La secuencia de depósito Barremiense inferior está constituida por la Fm. Camarillas y caracterizada por facies lutíticas, arenosas y ocasionalmente conglomeráticas, que se han interpretado como correspondientes a los sectores medios-distales y distales de abanicos aluviales de alta eficacia de transporte y a medios lacustres someros y de baja energía. La secuencia de depósito Barremiense superior-Aptiense basal, integrada por la Fm. Artoles, está caracterizada por sistemas palustres y lacustres carbonatados y costeros con influencias marinas ocasionales.

**Palabras clave:** Cuenca Ibérica, Cretácico inferior, tectónica extensional, Facies Weald, abanicos aluviales, sistemas lacustres costeros.

\* Resumen del trabajo realizado con una ayuda concedida por el Instituto de Estudios Turoleses en su XV Concurso de Ayudas a la Investigación de 1997.

\*\* Departamento de Ciencias de la Tierra (Estratigrafía). Universidad de Zaragoza. C/ Pedro Cerbuna, 12. 50009 Zaragoza.

## ABSTRACT

### *Stratigraphy and sedimentology of the Weald Facies in the Las Parras Subbasin.*

The Las Parras Subbasin is a sedimentary area developed in the Iberian Basin during the Early Cretaceous as a consequence of an important extensional tectonic activity, which was responsible for the formation and structure of the basin, its geometry and the thickness variation of its sedimentary infilling. The sedimentary infilling is made of six lithostratigraphic units: the Camarillas, Artoles, Morella, Chert, Forcall and Villarroya de los Pinares Formations. The Camarillas and Artoles Formations correspond to the Weald Facies, while the last four formations constitute the Urgon Facies. The sequence analysis of the Weald Facies allows us to differentiate two depositional sequences. The Lower Barremian Depositional Sequence comprises the Camarillas Fm. and is characterised by lutitic, sandy and rare conglomeratic facies, which have been interpreted as corresponding to medium-distal and distal sectors of alluvial fans of high efficiency of transport and to low-energy, shallow lacustrine environments. The Upper Barremian-Basal Aptian Depositional Sequence is formed by the Artoles Fm., and is characterised by palustrine and lacustrine carbonate coastal systems with rare marine influences.

**Key words:** Iberian Basin, Lower Cretaceous, extensional tectonics, Weald Facies, alluvial fans, coastal lacustrine system.

## SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA

El área objeto de estudio se sitúa, desde el punto de vista administrativo, en la mitad septentrional de la provincia de Teruel (fig. 1). Los materiales del Cretácico inferior se distribuyen, dentro de la región estudiada, a lo largo de la Cordillera Ibérica Central.

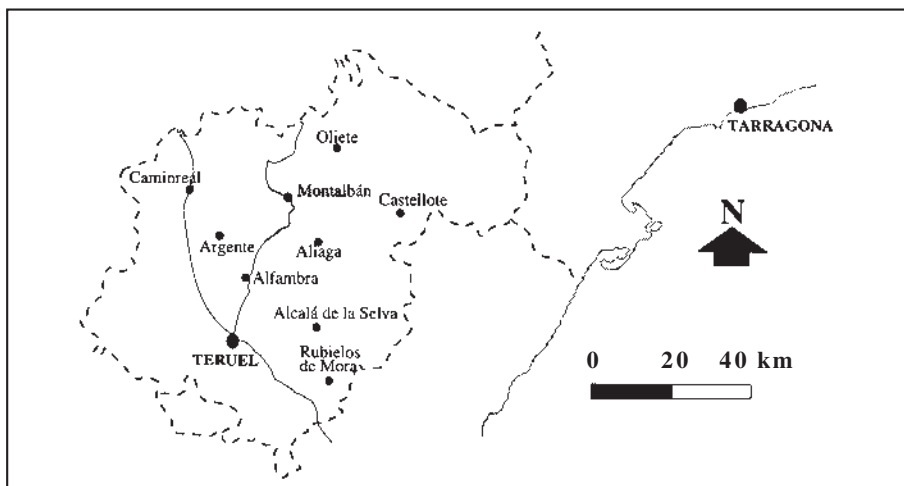


Fig. 1. Esquema de situación geográfica del área de estudio.

La subcuenca de Las Parras llega en su extremo más septentrional hasta las localidades turolenses de Alpeñés, Portalrubio, Utrillas y Palomar de Arroyos, y queda limitada al norte por el sistema de cabalgamientos de Montalbán y Portalrubio. Esta subcuenca se extiende hacia el sur hasta el eje Cañada Vellida-Campos. Su límite occidental viene marcado por un sistema de fallas de dirección ibérica que constituyen la Falla de Alpeñés, al oeste de la cual apenas aflora el Cretácico inferior (fig. 2).

El área estudiada queda comprendida en las hojas de Mapa Topográfico Nacional (M.T.N.) a escala 1:50.000 de Argente (n.º 517) y Montalbán (n.º 518), y dentro del Mapa Geológico Nacional a escala 1:200.000 de Daroca (n.º 40).

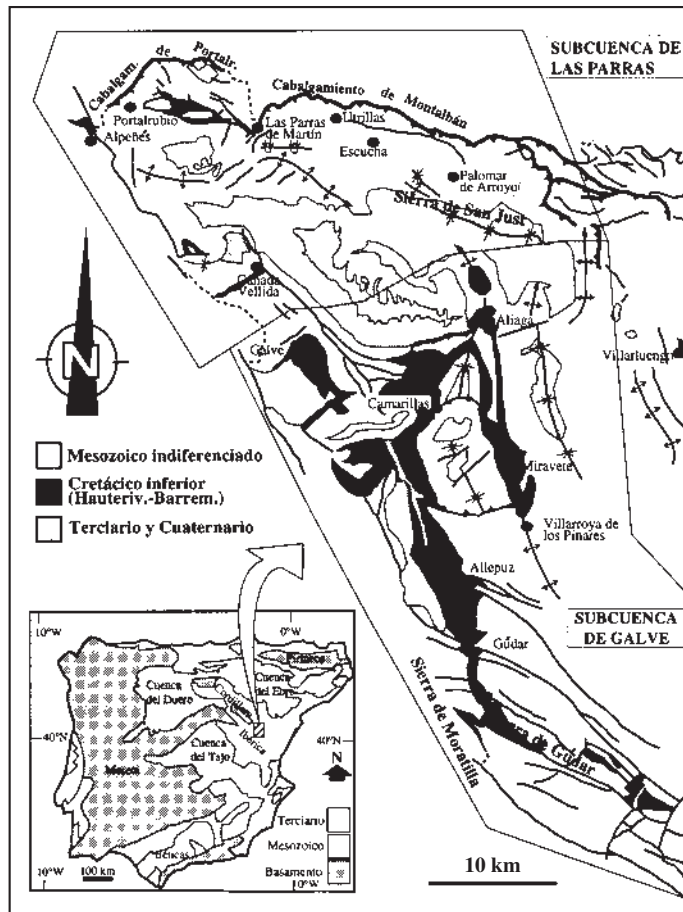


Fig. 2. Esquema geológico simplificado de la Cubeta de Aliaga y su división en las subcuencas de Las Parras y Galve.

## ESTRATIGRAFÍA DEL CRETÁCICO INFERIOR DE LA SUBCUENCA DE LAS PARRAS

Los materiales del Cretácico inferior presentes en esta cuenca de sedimentación estaban incluidos hasta 1996 dentro de la cuenca de Aliaga-Peñagolosa, en donde GINKEL y MEKER (1976) definieron el grupo de Aliaga. Estos autores incluían dentro de este grupo tres formaciones: Fms. Las Parras, Calizas de Palomar y Arenas de Utrillas (que incluye a las Fms. Escucha y Utrillas, definidas por AGUILAR *et al.*, 1971 y CERVERA *et al.*, 1976). CANEROT *et al.* (1982) definen dentro de este grupo nueve formaciones que abarcan el intervalo temporal Valanginiense-Aptiense. Posteriormente, SALAS (1987) realizará en su tesis doctoral una revisión y redefinición de muchas de estas unidades, identificando un total de 10 unidades litoestratigráficas que, de base a techo, son:

- Fm. Areniscas de Mora de Rubielos
- Fm. Areniscas y calizas del Castellar
- Fm. Areniscas de Camarillas
- Fm. Margas y calizas de Artoles
- Fm. Arcillas de Morella
- Fm. Calizas y margas de Chert
- Fm. Margas de Forcall
- Fm. Calizas de Villarroya de los Pinares
- Fm. Calizas de Benasal
- Fm. Lignitos de Escucha, que comprende los miembros:
  - Mb. inferior o "Barriada"
  - Mb. intermedio o "Regachuelo"
  - Mb. superior o "La Orden"

En la subcuenca de Las Parras sólo se identifican 7 de estas unidades: Fms. Camarillas, Artoles, Morella, Chert, Forcall, Villarroya de los Pinares y Escucha, de las cuales esta última no es objeto de estudio en este trabajo.

De las otras seis, se ha realizado su caracterización estratigráfica, si bien el análisis sedimentológico y paleogeográfico se ha centrado únicamente en las dos primeras unidades que corresponden a las Facies Weald de esta región, dejando para estudios posteriores las otras cuatro unidades estratigráficas que se agrupan bajo la denominación de Facies Urgon.

## FORMACIÓN ARENISCAS DE CAMARILLAS

Unidad definida formalmente por CANEROT *et al.* (1982) y redefinida con posterioridad por SALAS (1987). El corte tipo de esta formación se sitúa en la carretera que une las localidades de Aguilar de Alfambra y Camarillas.

El límite inferior de esta unidad viene marcado por un cambio litológico brusco. El límite superior es bastante difuso, puesto que el paso a la formación suprayacente (Fm. Margas y calizas de Artoles), es bastante gradual.

Según MARTÍN-CLOSAS (1989), la Fm. Camarillas presenta una flora correspondiente a la biozona *Triquetra-Neimongolensis* (subzona de *Calcitrapus*), atribuida al Barremiense inferior.

En el área de estudio ésta es una unidad esencialmente lutítica. En los sectores más septentrionales de la cuenca intercala niveles de conglomerados que se disponen en cuerpos de geometría tabular y potencia decimétrica a métrica y que presentan, en ocasiones, estratificación horizontal, y niveles de areniscas tabulares de grano medio y grueso que muestran estratificación cruzada planar y en surco.

En el resto de la cuenca se identifican únicamente niveles arenosos de grano muy grueso a medio. Estos niveles se disponen en cuerpos tabulares y lenticulares de potencia variable y exhiben laminación paralela y cruzada, estratificación cruzada en surco y planar y ripples de corriente.

### FORMACIÓN MARGAS Y CALIZAS DE ARTOLES

Esta formación, definida formalmente por SALAS (1987), tiene su corte tipo en la partida de Artoles, situada en el término de San Mateo (Bajo Maestrazgo).

El límite inferior de esta formación es bastante gradual con la formación subyacente (Fm. Camarillas). El límite superior viene marcado bien por la entrada de terrígenos en la cuenca (Fm. Morella), bien por superficies ferruginosas de exposición subaérea y a partir de las cuales se produce la instalación de las plataformas urgonianas de edad aptiense (Fm. Chert).

Esta unidad es claramente diacrónica. En el N de la cuenca del Maestrazgo tiene una edad Barremiense (SALAS, 1987). Ahora bien, en la subcuenca de Las Parras tiene una edad Barremiense superior-Aptiense basal indicada por la presencia de *Paleorbitolina lenticularis lenticularis*. En la base de esta formación se han encontrado algunas intercalaciones continentales con una flora de carofitas correspondientes a la biozona *Cruciata-Pancibractratus* (MARTÍN-CLOSAS, 1989).

En la subcuenca de Las Parras esta unidad está caracterizada por una alternancia de calizas y margas, aunque en algunos perfiles (sobre todo los situados en la zona más septentrional de la cuenca) tiene una naturaleza esencialmente margosa. Las margas son masivas y se presentan en cuerpos tabulares de potencia decimétrica a métrica. Contienen restos de carofitas y ostrácodos. Las calizas se disponen en estratos tabulares de potencia decimétrica a centimétrica y corresponden a mudstone, wackestone y packstone bioclásticos (con restos de carofitas, ostrácodos, bivalvos, gasterópodos y algunos foraminíferos) y oncolíticos.

### FORMACIÓN ARCILLAS DE MORELLA

Esta unidad fue definida formalmente por CANEROT *et al.* (1982). Su perfil tipo se sitúa en la carretera de Cicatones, 4 km al SW de Morella.

Su límite inferior coincide con el límite superior de la anterior unidad y viene marcado por una discontinuidad (discontinuidad infraaptiense) que queda reflejada con una importante entrada de

terrigenos que invaden prácticamente toda el área de las cuencas ibéricas orientales. El límite superior es bastante gradual con la unidad suprayacente (Fm. Chert), con la que también se encuentra en relación de cambio lateral de facies. La edad de esta unidad según SALAS (1987) es Aptiense inferior.

En el área de estudio esta unidad está constituida por lutitas arcillosas rojas y ocreas que intercalan niveles de calizas arenosas, en las que se han identificado abundantes orbitolinas, y canales de areniscas de geometría lenticular, los cuales pueden presentar estratificación cruzada.

### FORMACIÓN CALIZAS Y MARGAS DE CHERT

Esta unidad, al igual que la anterior, fue definida por CANEROT *et al.* (1982) en la Muela de Chert y está constituida por una alternancia de calizas y margas de color beige a marrón. Las calizas presentan una evolución de calizas arenosas en la base a calizas bioclásticas y calcareníticas a techo. Su contenido fósil es abundante reconociéndose algas calcáreas, equínidos, ostreidos y foraminíferos bentónicos, entre los que podemos destacar orbitolinas. Todas estas características han sido identificadas en el sector más oriental del área de estudio.

Inferiormente esta unidad limita con la Fm. Morella, aunque en ocasiones puede situarse directamente sobre los materiales de la Fm. Artoles. Su límite superior es bastante neto con la unidad suprayacente (Fm. Forcall), aunque esta unidad no tiene una distribución uniforme por lo que con bastante frecuencia la Fm. Villarroya de los Pinares se dispone directamente sobre los materiales de la Fm. Chert. Esta unidad está datada como Bedouliense inferior o Aptiense inferior.

### FORMACIÓN MARGAS DE FORCALL

Unidad definida en Morella la Vella por CANEROT *et al.* (1982). Esta formación tiene una distribución muy irregular, y puede estar incluso ausente en los sectores más marginales del área Ibérica, como es el caso de la subcuenca de Las Parras.

En el centro de la cuenca Ibérica (región de Morella), y desde el punto de vista litológico, pueden diferenciarse tres miembros: 1. Miembro de margas inferiores, margas y margocalizas beiges muy ricas en restos fósiles como moluscos, ammonites, corales, braquiópodos, etc. 2. Miembro de calizas intermedias, constituido por bancos métricos de calizas bioclásticas beiges principalmente. 3. Miembro de margas superiores: más homogéneas y arcillosas que las del miembro inferior con gran contenido en ammonites. Estos miembros no se pueden identificar en la subcuenca de Las Parras.

Su límite inferior coincide con el límite superior de la anterior unidad litoestratigráfica. Por otra parte, la Fm. Forcall limita superiormente con la Fm. Villarroya de los Pinares.

Su edad es Aptiense inferior-medio y se trata de una unidad muy bien datada debido a la abundante fauna de ammonites, que está muy bien representada tanto espacial como temporalmente dentro de sus facies más margosas. No obstante, los estudios realizados en esta cuenca no nos han



permitido identificar ammonites dentro de esta unidad, posiblemente debido a su escasa distribución dentro de la subcuenca de Las Parras, que ha podido ser identificada únicamente en el área de Castel de Cabra, y a la situación marginal de esta cuenca de sedimentación.

## FORMACIÓN CALIZAS DE VILLARROYA DE LOS PINARES

Esta formación fue definida por CANEROT *et al.* (1982) en la carretera de Miravete, al N de la localidad de Villarroya de los Pinares.

Está formada principalmente por calizas grises o beige bioclásticas, oolíticas o micríticas, con intercalaciones de margas y margocalizas. De todas las unidades que componen el Cretácico inferior marino ésta es la que presenta mayor expansión, lo cual estará relacionado con la alta producción de carbonatos de sus componentes esqueléticos: algas calcáreas, orbitolinas (*O. texana*), rudistas (requiénidos, caprotínidos), corales, etc. (SALAS, 1987).

El límite inferior de esta formación puede variar del centro de la cuenca, donde se dispone concordante sobre los materiales de la Fm. Forcall, a los márgenes de la cuenca, donde debido al carácter discontinuo de esta última se apoya directamente sobre la Fm. Chert e incluso sobre los materiales de la Fm. Morella, a través de una paraconformidad. Una de las características más importantes observadas en la subcuenca de Las Parras es que, en su mayor parte, este límite viene marcado por una importante entrada de terrígenos, que constituyen un importante nivel cartográfico, y que no se identifican en el resto de las cuencas de sedimentación marginales del área Ibérica.

Su límite superior corresponde con la importante discontinuidad existente en la base de la Fm. Escucha, que suele presentarse como una disconformidad y localmente como una discordancia (QUEROL, 1990). La laguna estratigráfica asociada a este límite va aumentando su magnitud hacia la zona norte de las Cuencas Ibéricas.

La identificación de *Orbitolina texana* y *Acanthoplites bergeroni* en el perfil tipo permite datar esta unidad como Aptiense superior.

En nuestra área de estudio la base de esta unidad está representada por areniscas de grano medio y grueso, dispuestas en cuerpos de geometría tabular o lenticular de potencia métrica, que en ocasiones exhiben cicatrices internas que individualizan estratos tabulares y lenticulares de potencia decimétrica. Muestran laminación paralela y cruzada, estratificación cruzada planar y en surco y ripples.

El resto de la unidad está constituida por calizas beige de diferentes texturas, desde Mudstone a Grainstone tanto bioclásticas como oolíticas, y presenta también algunas intercalaciones de margas y margocalizas. Se identifican gran cantidad de restos fósiles como equinodermos, corales, bivalvos, ostreidos, gasterópodos, foraminíferos bentónicos, etc. El grupo fósil más representativo de esta unidad son los rudistas, que se pueden presentar formando incluso bioconstrucciones en bancos de geometría preferentemente estratiforme y en los que podemos observar también variaciones en el tamaño de los ejemplares de unos estratos a otros.

## SEDIMENTOLOGÍA DE LAS FACIES WEALD

En este apartado se procederá a describir las asociaciones de facies más características de las Fms. Camarillas y Artoles, con el fin de definir los diferentes ambientes sedimentarios de cada una de estas unidades y establecer finalmente la evolución sedimentaria de cada una de ellas.

### FORMACIÓN ARENISCAS DE CAMARILLAS

Las facies reconocidas dentro de esta unidad se ordenan verticalmente en un único tipo de secuencias: asociaciones de facies terrígenas de tipo A. Esta asociación está caracterizada, en términos generales, por un término inferior detrítico (arenoso, microconglomerático y/o conglomerático) y un término superior predominantemente lutítico. Atendiendo a las características y evolución de ambos términos se identifican seis tipos de secuencias:

– *Asociaciones de facies terrígenas de tipo A.1:* esta asociación está caracterizada por un término inferior conglomerático y uno superior lutítico (fig. 3), los cuales constituyen secuencias de hasta 20 m de potencia.

Los conglomerados de tonalidades ocres, grises y rojizas, presentan textura granosostenida. Los clastos son de naturaleza calcárea, arenosa y lutítica, de subredondeados a subangulosos, con un centilo de hasta 14 cm. La matriz es arenosa. Se disponen en cuerpos de geometría tabular de hasta 5 m de espesor integrados por niveles lenticulares y tabulares de potencia decimétrica. En su interior se identifica estratificación horizontal, marcada por variaciones granulométricas, y estratifi-

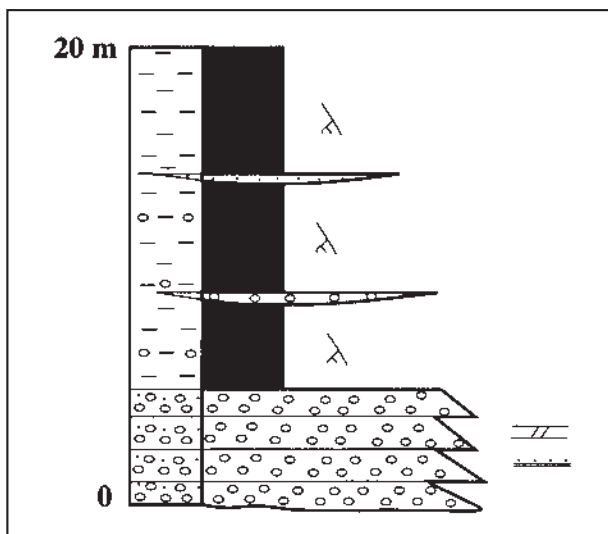


Fig. 3. Asociación de facies terrígenas de tipo A.1.

cación cruzada planar. Las lutitas muestran tonalidades ocres y rojizas y son masivas. Se disponen en estratos tabulares de potencia métrica, con bioturbación de hábito vertical. Intercalan ocasionalmente niveles arenosos y conglomeráticos de geometría lenticular y potencia decimétrica a centimétrica.

El término conglomerático representaría el depósito originado a partir de flujos acuosos en sistemas de canales y barras longitudinales y/o transversales. El término lutítico representaría las áreas inactivas de estos abanicos, donde los niveles arenosos y conglomeráticos se producirían a partir de flujos laminares procedentes del desbordamiento de los canales.

El término conglomerático de esta asociación presenta características muy similares a las identificadas por ARENAS *et al.* (1989) y MUÑOZ (1991) en sectores proximales y medios de abanicos aluviales. La mayor proporción de los depósitos de sectores inactivos frente a los de sectores activos en el área estudiada permite, en este caso, asignar esta asociación a los sectores medios-distales de abanicos aluviales.

– *Asociaciones de facies terrígenas de tipo A.2:* esta asociación está caracterizada por un término inferior arenoso y microconglomerático y un término superior lutítico. Los dos términos de esta asociación se ordenan verticalmente en secuencias granodecrecientes de hasta 10 m de potencia (fig. 4).

El término inferior está constituido por un paquete de geometría tabular y base irregular de hasta 70 cm de potencia, que presenta superficies internas que individualizan estratos tabulares de potencia decimétrica. Este depósito se inicia con microconglomerados masivos, con clastos de

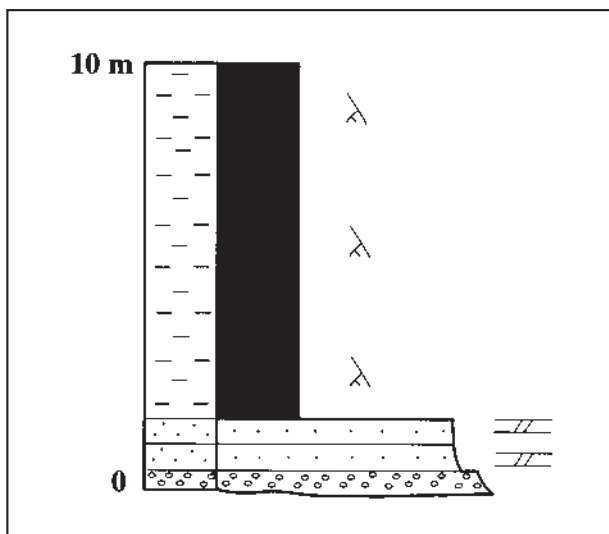


Fig. 4. Asociación de facies terrígenas de tipo A.2.

naturaleza calcárea y de matriz arenosa de hasta 25 cm de potencia que pasan verticalmente a areniscas ocre de grano muy grueso. Presentan internamente estratificación cruzada planar en sets de potencia decimétrica. Las lutitas, de color ocre y rojo, son masivas. Se presentan en cuerpos de geometría tabular y potencia métrica, con bioturbación de hábito vertical.

El término inferior de esta asociación representa los depósitos originados por flujos acuosos suavemente canalizados. Estos canales son de tipo *braided* y su relleno se inicia con microconglomerados, que corresponden a la lámina difusa de gravas que marca el inicio de las barras en el fondo de los canales. Las areniscas con estratificación cruzada planar se formarían a partir de la migración de *bedforms* dentro de los canales, correspondientes a barras transversas. El término superior lutítico representaría una extensa llanura de inundación (áreas inactivas), desarrollada lateralmente al sistema de canales activos.

Esta asociación representa, pues, sistemas fluviales de baja sinuosidad, con gran desarrollo de áreas inactivas, originados en sectores distales de abanicos aluviales.

– *Asociación de facies terrígenas de tipo A.3*: esta asociación presenta un término inferior arenoso y uno superior lutítico. Los términos de esta asociación se ordenan verticalmente en secuencias grandodecrescientes de 8 a 20 m de potencia (fig. 5).

Las areniscas son de color ocre, de grano medio-grueso a fino, dispuestas en cuerpos lenticulares y tabulares, con base canaliforme, de hasta 3 m de potencia, constituidos por estratos tabulares o lenticulares de potencia decimétrica.

En el interior de los estratos se identifican acumulaciones microconglomeráticas en la base de los canales, estratificación cruzada en surco y planar en sets de potencia decimétrica, laminación

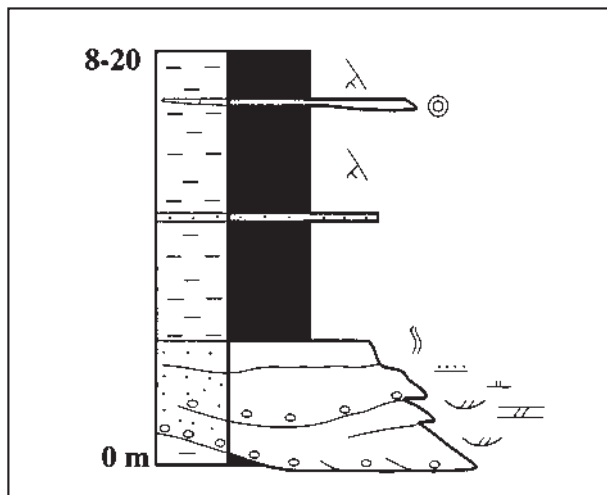


Fig. 5. Asociación de facies terrígenas de tipo A.3.

cruzada y bioturbación. Las areniscas muestran una evolución vertical granodecreciente. Las lutitas presentan tonalidades ocres y rojizas. Son masivas y se muestran en estratos tabulares de potencia métrica en los que se reconoce bioturbación. Intercalan de manera ocasional niveles centimétricos de areniscas de grano fino, de geometría tabular y lenticular, y estratos calcáreos lenticulares de hasta 50 cm de potencia, de bases canalizadas, correspondientes a *packstone* de oncoides.

El término inferior de esta asociación representaría el depósito originado por flujos acuosos canalizados de baja sinuosidad. El relleno de estos canales culmina con depósitos arenosos finos en condiciones de baja energía, enseguida colonizados por vegetación. El término superior de esta asociación representaría los depósitos originados en las llanuras de inundación adyacentes a estos canales en donde llegan los flujos laminares procedentes de su desbordamiento. Estas llanuras estarían surcadas ocasionalmente por canales de pequeña entidad en los que se produce el depósito de facies carbonatadas de alta energía correspondientes a *packstone* de oncoides.

Esta asociación correspondería a depósitos originados en sectores distales de abanicos aluviales.

– *Asociación de facies terrígenas de tipo A.4*: esta asociación está formada por un término inferior conglomerático o microconglomerático y uno superior lutítico, ordenados verticalmente en secuencias granodecrecientes de hasta 25 m de potencia (fig. 6).

Los microconglomerados y conglomerados, de tonalidades ocres y grises, se disponen en estratos de geometría tabular y en menor medida lenticular de hasta 40 cm de potencia, que pueden constituir cuerpos tabulares y lenticulares de hasta 2 m de potencia con bases muy irregulares y textura granostenida. Los microconglomerados tienen clastos calcáreos, matriz arenosa y el cemento carbonatado. Los conglomerados constituyen depósitos heterométricos con cantos subre-

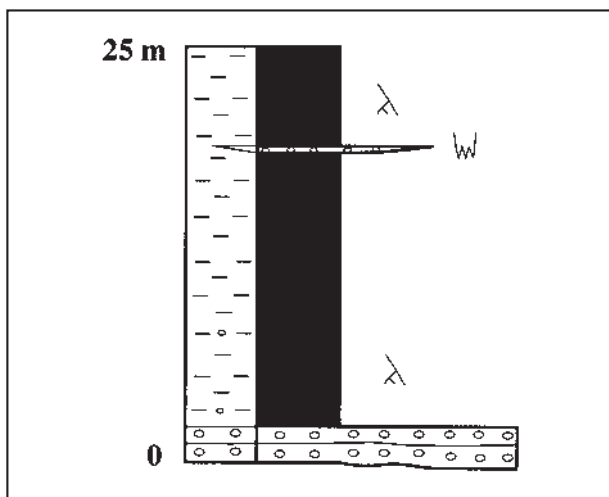


Fig. 6. Asociación de facies terrígenas de tipo A.4.

dondeados de naturaleza calcárea y ocasionalmente sílicea de hasta 20 cm de diámetro. La matriz es microconglomerática o arenosa y el cemento calcáreo. Las lutitas rojas son masivas y están frecuentemente bioturbadas. Afloran en paquetes tabulares de potencia decamétrica con hiladas microconglomeráticas intercaladas en niveles de geometría lenticular y potencia decimétrica a centimétrica. No presentan cementación y los cantos son de subredondeados a redondeados, de naturaleza sílicea y calcárea. Estos niveles tienen abundante bioturbación y constituyen en ocasiones niveles de paleosuelos.

Esta asociación es referible a depósitos medio-distales de abanico aluvial, en donde el término inferior de la secuencia correspondería a flujos acuosos no canalizados y el término superior representa una extensa llanura aluvial afectada por episodios de desbordamiento. Si bien es cierto que estas asociaciones corresponden a depósitos aislados identificados a lo largo de la Fm. Camarillas, parece posible pensar que esta asociación se situaría aguas abajo de la asociación de facies terrígenas de tipo A.1, lo que indicaría que los flujos canalizados que circulaban por los canales de esta asociación perderían progresivamente su carácter confinado.

– *Asociación de facies terrígenas de tipo A.5:* esta asociación está caracterizada por un término inferior conglomerático y otro superior lutítico, que se ordenan en secuencias granodecrescentes de hasta 20 m de potencia (fig. 7).

Los conglomerados, de tonos gris-ocres, presentan textura granosostenida. Los clastos son exclusivamente calcáreos, de subangulosos a subredondeados, y muy heterométricos, con centilos de hasta 40 cm. La matriz es lutítica, de tonos anaranjados y no presenta cementación. Las condiciones de afloramiento no permiten dar datos precisos acerca de su geometría y potencia. Presentan interestratos lutíticos de geometría tabular e irregular y potencia centimétrica a decimé-

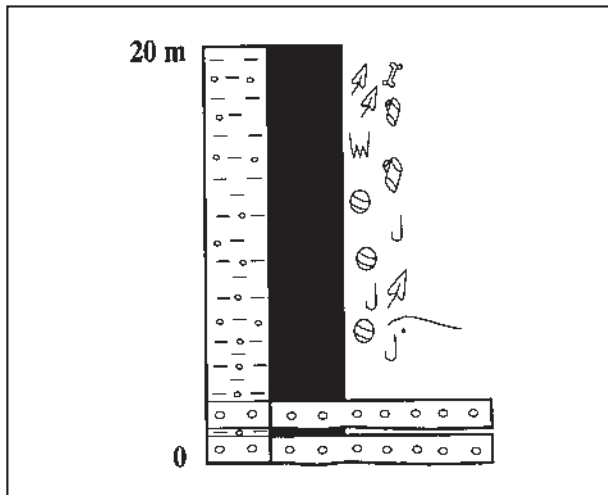


Fig. 7. Asociación de facies terrígenas de tipo A.5.

trica que internamente contienen gran cantidad de clastos carbonatados dispersos. Las lutitas del término superior, de tonalidades grises y en menor medida ocres, son masivas y presentan con frecuencia gran cantidad de cantos dispersos subredondeados de naturaleza calcárea y tamaño grava. Hacia la base estas lutitas contienen gran cantidad de oogonios de carofitas, ostrácodos, dientes de peces y restos vegetales carbonosos. Hacia techo se identifican esencialmente restos vegetales carbonosos, restos de vertebrados y fragmentos de troncos fósiles, así como bioturbación.

Los depósitos que constituyen el término inferior de esta secuencia han sido interpretados tradicionalmente como resultado de la actuación de flujos gravitatorios (HOOKE, 1967; BULL, 1977; NEMEC y STEEL, 1984). Corresponderían a *debris flow* cohesivos (LOWE, 1979). La textura granosostenida de estos depósitos implica que los clastos fueron lubricados por la matriz pero no fueron soportados por ella ni suspendidos en su interior (LOWE, 1982). Estos depósitos, que no exceden en ningún caso los 40-50 m de desarrollo longitudinal, se encuentran claramente relacionados con la actuación de una falla normal sinsedimentaria. Los flujos que generaron estos conglomerados perderían de manera muy rápida su competencia aguas abajo, dando lugar a áreas lacustres. La gran proximidad que se observa entre los depósitos conglomeráticos y las áreas lacustres hace posible pensar que estos flujos gravitatorios se depositasen dentro del sistema lacustre constituyendo pequeños *fan deltas*.

Este sistema lacustre es muy somero y está afectado frecuentemente por depósitos gravitacionales que le aportan gran cantidad de clastos carbonatados. Estos depósitos podrían estar originados como consecuencia del retrabajamiento de depósitos superficiales de ladera por láminas de agua durante tormentas. La colmatación de estas áreas lacustres da paso a la instalación de medios palustres en donde se desarrollaría una abundante vegetación. La acumulación de restos vegetales favorecería la formación de niveles carbonosos bajo condiciones reductoras.

– *Asociaciones de facies terrígenas de tipo A.6:* esta asociación está caracterizada por un término inferior arenoso y otro superior lutítico que se ordenan verticalmente en secuencias granodecrecientes de 10 a 20 m de potencia (fig. 8).

Las areniscas, de tonalidades ocres, son de grano medio. Se disponen bien en estratos tabulares con bases ligeramente canaliformes de hasta 50 cm de potencia, bien en cuerpos tabulares, de hasta 2 m de espesor constituidos por estratos tabulares de potencia decimétrica. En el interior de los estratos se reconoce laminación horizontal y cruzada, bioturbación y restos vegetales carbonosos. De manera ocasional, se identifican hiladas de cantos en la base de las superficies canalizadas y estratificación cruzada en surco, en *sets* de hasta 30 cm de espesor. A techo de algunos niveles hay superficies ferruginosas.

Las lutitas, de tonos ocres y rojos, son masivas y se disponen en paquetes de geometría tabular y potencia métrica a decamétrica. Tienen bioturbación intensa con intercalaciones de niveles centimétricos de areniscas ocres, de grano fino y medio y calizas de color gris, dispuestas en estratos tabulares de potencia decimétrica. Corresponden bien a *mudstone* bioturbados, bien a *mudstone-wackestone* de carofitas. A techo de algunos niveles se identifican grietas de desecación.

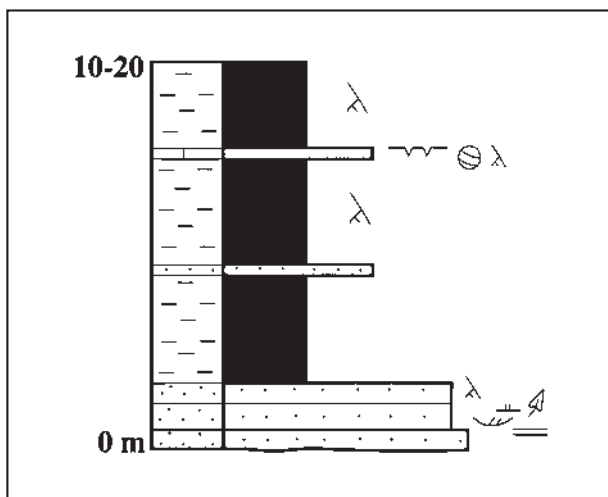


Fig. 8. Asociación de facies terrígenas de tipo A.6.

Esta asociación representa una extensa llanura lutítica situada en los sectores distales de los abanicos aluviales. A ella llegan, de forma eventual, flujos acuosos no canalizados, generalmente de baja energía. Dentro de esta llanura lutítica se producirían pequeñas zonas encharcadas (*ponds*) de carácter efímero, en las que se desarrollan carofitas así como otros vegetales, y en las que tendría lugar el depósito de barro carbonatado.

### Evolución sedimentaria

Las asociaciones de facies identificadas en esta unidad pertenecen a dos medios sedimentarios que coexisten en el tiempo: abanicos aluviales y medios lacustres.

*Medios de abanicos aluviales.* Las asociaciones de facies que definen este tipo de medios (asociaciones de facies de tipo A.1, A.2, A.3, A.4 y A.6) caracterizan el sector medio-distal (asociaciones de facies de tipo A.1 y A.4) y distal (asociaciones de facies de tipo A.2, A.3 y A.6) de abanicos aluviales en los que se depositan niveles arenosos y conglomeráticos, originados en sistemas fluviales de baja sinuosidad, en cuyas áreas más distales dominan los flujos laminares, y niveles lutíticos, correspondientes a sectores inactivos que caracterizan amplias llanuras de inundación con áreas encharcadas de carácter efímero donde tiene lugar la formación de barros carbonatados (fig. 9). Resulta difícil hacer una estimación de las dimensiones reales de estos abanicos ya que en el área de estudio sólo se identifican los sectores medio-distal y distal de los mismos con una dimensión mínima observada de 10 km. A tenor de las características de las asociaciones de facies identificadas y la extensión observada para el sector distal de estos abanicos, es posible pensar que pertenezcan a sistemas de abanicos aluviales que COLOMBO (1989) denomina "de alta eficacia de transporte".



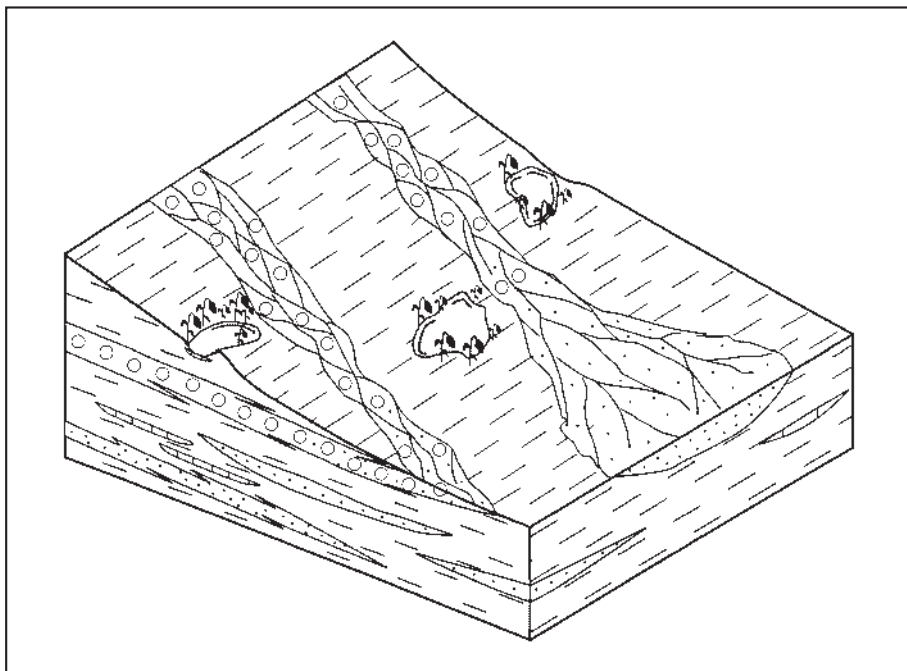


Fig. 9. Medio de depósito para las asociaciones de facies aluviales de la Fm. Camarillas en la subcuenca de Las Parras.

*Medios lacustres.* Estos medios, definidos por la asociación de facies terrígenas de tipo A.5, están caracterizados por facies de margas con carofitas, ostrácodos, dientes de peces y restos vegetales que evolucionan hacia techo a facies de margas con restos vegetales carbonosos y restos de vertebrados. Esta asociación caracteriza medios lacustres marginales y de baja energía que evolucionan a medios palustres. La base de esta asociación está caracterizada por niveles conglomeráticos que son el resultado de la actuación de flujos gravitatorios ligados a la actuación de una falla normal, que podrían caracterizar bien los sectores proximales de abanicos aluviales que COLOMBO (1989) denomina "de baja eficacia de transporte", bien depósitos de *fan deltas*.

La colmatación del sistema lacustre culmina con la progradación sobre éste de facies lutíticas con intercalaciones conglomeráticas y microconglomeráticas que constituirían sectores medio-distales de abanicos aluviales.

Estos depósitos aluviales están representados por la asociación de facies terrígenas de tipo A.4, que constituyen el paso vertical y lateral de la asociación de facies terrígenas de tipo A.5 (fig. 10). La evolución de este sistema lacustre es similar al identificado por MUÑOZ (1992) en la cubeta terciaria de Villarroya, aunque en los sistemas lacustres de la Fm. Camarillas no se produce el desarrollo de las zonas lacustres internas que se identifican en la cubeta de Villarroya.

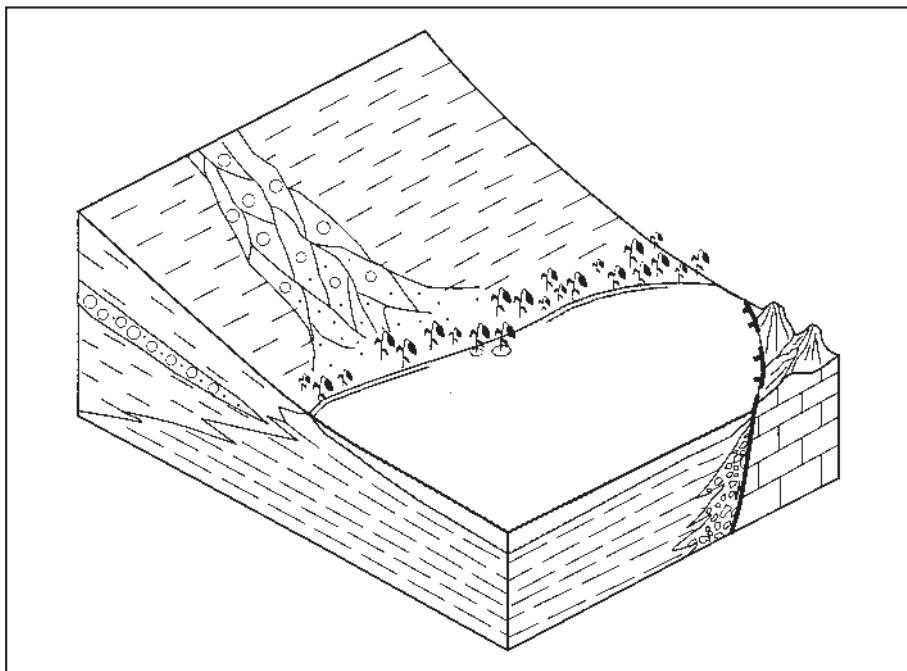


Fig. 10. Medio de depósito para las asociaciones de facies lacustres de la Fm. Camarillas en la subcuenca de Las Parras.

## FORMACIÓN MARGAS Y CALIZAS DE ARTOLES

En esta unidad litoestratigráfica se identifica un único tipo de asociaciones de facies (asociaciones de facies carbonatadas de tipo B). Esta asociación está caracterizada por presentar un término margoso (que es la litología dominante dentro de la Fm. Artoles) y un término calcáreo. Atendiendo a la disposición de estos términos dentro de la asociación y a las variaciones que éstos presentan, se pueden identificar siete secuencias características.

– *Asociaciones de facies carbonatadas de tipo B.1*: esta asociación está constituida por margas grises con intercalaciones de calizas grises y blancas (fig. 11).

Las margas son masivas. Se disponen en estratos de geometría tabular y potencia métrica. Presentan abundante bioturbación que normalmente es de hábito vertical. De manera ocasional, contienen carofitas.

Las calizas se disponen en estratos de geometría tabular de hasta 1 m de espesor. Corresponden bien a *mudstone* bioturbados, bien a *wackestone* bioclásticos en los que se identifican restos de carofitas, ostrácodos y bivalvos. Presentan además bioturbación de hábito vertical.

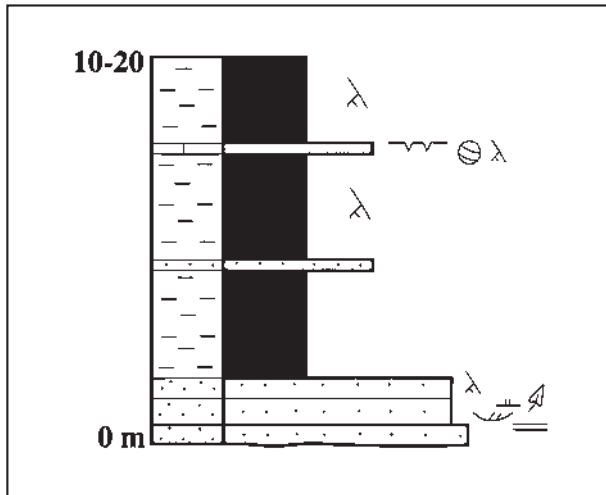


Fig. 11. Asociación de facies carbonatadas de tipo B.1.

Esta asociación se interpreta como resultado de la sedimentación en medios palustres y eulitorales lacustres de baja energía.

– *Asociación de facies carbonatadas de tipo B.2:* esta asociación está caracterizada por un término inferior de calizas grises y un término superior constituido por margas grises (fig. 12). Los términos de esta asociación se disponen verticalmente en secuencias de hasta 6 m de potencia.

Las calizas se disponen en un cuerpo de geometría lenticular y base canaliforme, de hasta 70 cm de espesor. Está constituido por estratos tabulares y lenticulares de potencia centimétrica a decimétrica. Este depósito corresponde a un *packstone* oncolítico. Las margas son masivas y se dis-

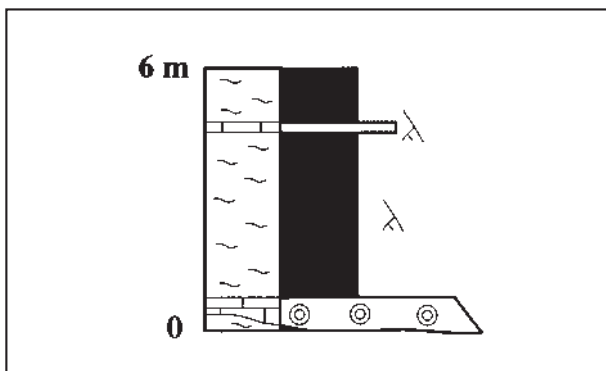


Fig. 12. Asociación de facies carbonatadas de tipo B.2.

ponen en estratos tabulares de potencia métrica. Presentan con frecuencia bioturbación de hábito vertical. Intercalan ocasionalmente niveles calcáreos tabulares de potencia centimétrica correspondientes a *mudstone* bioturbados.

Esta asociación se interpreta como correspondiente a medios palustres surcados ocasionalmente por canales de escasa entidad en los que se desarrollan facies de alta energía (*packstone* de oncoides). Dentro de este sistema palustre se pueden llegar a desarrollar pequeñas charcas efímeras en las que se produce el depósito de barros carbonatados (*mudstone* bioturbados) en los que se desarrolla una importante vegetación enraizada.

– *Asociaciones de facies carbonatadas de tipo B.3*: esta asociación está caracterizada por un término inferior de margas grises y uno superior de calizas grises (fig. 13). Los términos de esta asociación se presentan en secuencias de hasta 5 m de espesor.

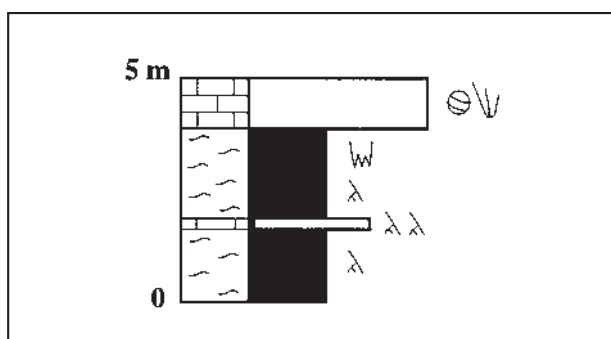


Fig. 13. Asociación de facies carbonatadas de tipo B.3.

Las margas, masivas, se disponen en estratos tabulares de potencia métrica. Contienen nódulos carbonatados y presentan una importante bioturbación de hábito vertical con desarrollo ocasional de paleosuelos hidromorfos. Intercalan ocasionalmente niveles calcáreos de geometría tabular y potencia decimétrica correspondientes a *mudstone* bioturbados. Las calizas se disponen en un cuerpo tabular de hasta 1,5 m de potencia constituido por estratos de geometría tabular y potencia decimétrica. Corresponden a *packstone* bioclásticos con abundantes restos de algas y oogonios de carofitas.

Esta asociación se interpreta como una secuencia de expansión lacustre que evoluciona desde medios palustres, en los que se pueden llegar a desarrollar pequeñas charcas efímeras, hacia medios eulitorales lacustres de baja energía (*packstone* bioclásticos con restos de algas y oogonios de carofitas).

– *Asociaciones de facies carbonatadas de tipo B.4*: esta asociación presenta un término inferior margoso y uno superior calcáreo (fig. 14). Estos términos se asocian verticalmente en secuencias de hasta 8 m de potencia.

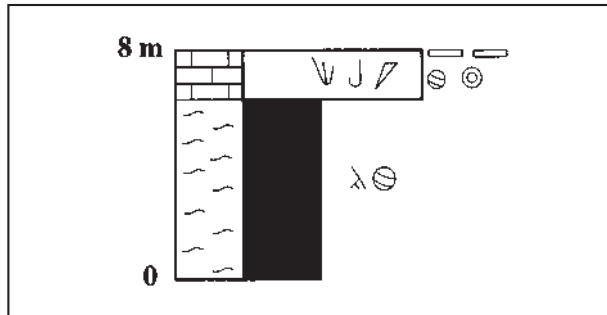


Fig. 14. Asociación de facies carbonatadas de tipo B.4.

Las margas, de color gris, son masivas. Se disponen en cuerpos tabulares de potencia métrica. Presentan bioturbación de hábito vertical y contienen ocasionalmente restos de carofitas. Las calizas se disponen en cuerpos de geometría tabular de hasta 2 m de espesor, constituidos por estratos tabulares de potencia decimétrica. Corresponden a *wackestone* y *packstone* bioclásticos con abundantes restos de algas, oogonios de carofitas, ostrácodos, gasterópodos y, ocasionalmente, oncoïdes. Se observan algunos procesos de micritización, grietas curvas y planas, así como brechificación a techo de los estratos.

Esta asociación se interpreta como consecuencia de un proceso de expansión lacustre y posterior colmatación del mismo. El sistema evoluciona desde medios palustres y lacustres eulitorales, caracterizados por el término inferior de esta asociación, a medios litorales de baja energía. La colmatación del sistema lacustre da lugar a la implantación de medios palustres que se manifiestan por procesos edáficos y de brechificación por desecación.

– *Asociación de facies carbonatadas de tipo B.5*: esta asociación se caracteriza por presentar un término inferior de margas grises y un término superior calcáreo (fig. 15). Los términos de esta asociación se disponen verticalmente en secuencias de hasta 5 m de potencia.

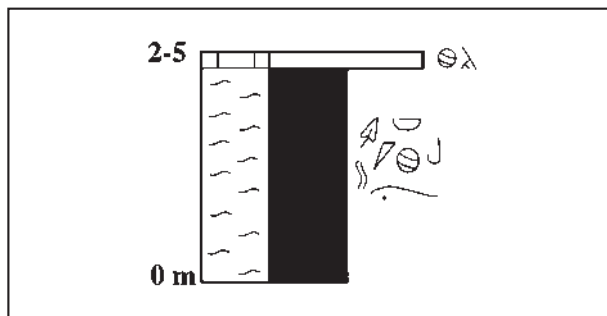


Fig. 15. Asociación de facies carbonatadas de tipo B.5.

Las margas son masivas y se disponen en estratos tabulares de potencia métrica. Contienen abundantes restos de carofitas, ostrácodos, bivalvos, gasterópodos y, de manera ocasional, dientes de peces y restos vegetales carbonosos. Las calizas se disponen en estratos de geometría tabular y potencia decimétrica. Corresponden a *mudstone* y *wackestone* muy bioturbados y nodulizados con restos de carofitas.

Esta asociación se interpreta como correspondiente a un proceso de colmatación lacustre que evoluciona desde medios litorales de baja energía (caracterizados por las facies margosas) a medios lacustres eulitorales.

– *Asociación de facies carbonatadas de tipo B.6*: esta asociación se caracteriza por un término inferior de margas grises y uno superior de calizas grises que se ordenan en secuencias de hasta 18 m de espesor (fig. 16).

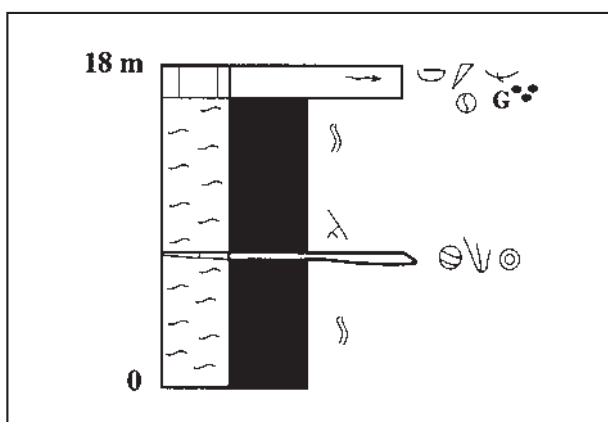


Fig. 16. Asociación de facies carbonatadas de tipo B.6.

Las margas, masivas, se disponen en estratos de geometría tabular y potencia métrica. Presentan bioturbación de hábito vertical. Intercalan de manera ocasional niveles calcáreos de geometría lenticular de hasta 50 cm de potencia correspondientes a *packstone* oncolíticos y bioclásticos (restos de algas y oogonios de carofitas).

Las calizas están bioturbadas y se presentan en cuerpos de geometría tabular de hasta 1 m de espesor constituidos por estratos tabulares de potencia decimétrica. Corresponden a *packstone* bioclásticos en los que se identifican abundantes restos de bivalvos, gasterópodos, ostreidos y foraminíferos bentónicos. También se observan peloides y granos de glauconita detrítica.

Esta asociación se interpreta como correspondiente a medios palustres surcados ocasionalmente por canales de escasa entidad en los que se desarrollan facies de alta energía (*packstone* oncolíticos y bioclásticos). Dentro de este sistema palustre se identifican influencias marinas ocasionales

(*packstone* bioclásticos de bivalvos, gasterópodos, ostreidos y foraminíferos bentónicos) que corresponden a depósitos originados como consecuencia de episodios de tormenta que distribuyen tierra adentro material de áreas marinas adyacentes.

– *Asociaciones de facies carbonatadas de tipo B.7*: esta asociación está caracterizada por margas grises con intercalaciones de niveles calcáreos grises (fig. 17).

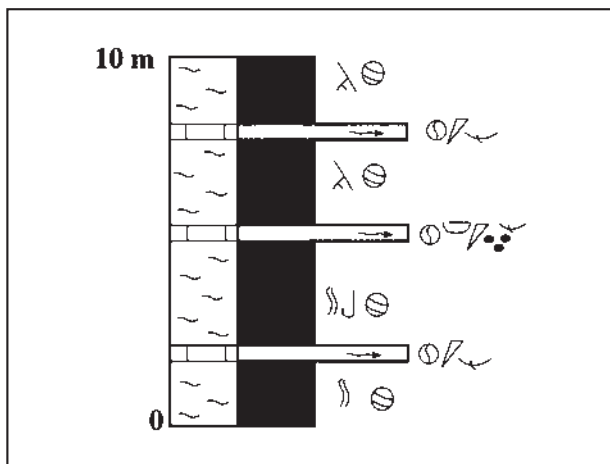


Fig. 17. Asociación de facies carbonatadas de tipo B.7.

Las margas son masivas y se disponen en estratos de geometría tabular y potencia métrica. La bioturbación es, con relativa frecuencia, de hábito vertical. Contienen carofitas y ostrácodos.

Las calizas tienen geometría tabular y potencia decimétrica. Corresponden a *wackestone* y *packstone* bioclásticos con abundantes restos de foraminíferos bentónicos, ostreidos, bivalvos, gasterópodos y peloides. En ocasiones contienen cuarzo detrítico.

Esta asociación se interpreta como correspondiente a medios lacustres litorales de baja energía y eulitorales en los que se aprecian influencias marinas (*packstone* bioclásticos) como consecuencia de los depósitos originados en episodios de tormenta. Estos episodios de alta energía redistribuyen tierra adentro el material propio de las zonas marinas adyacentes.

## Evolución sedimentaria

Esta unidad está caracterizada en toda la subcuenca de Las Parras por áreas lacustres marginales de baja energía orladas por extensas áreas palustres (fig. 18). Debido a la reducida potencia que tiene esta unidad en la mayor parte de esta subcuenca y a las malas condiciones de afloramiento resulta difícil establecer con precisión la evolución sedimentaria que puede tener esta formación.

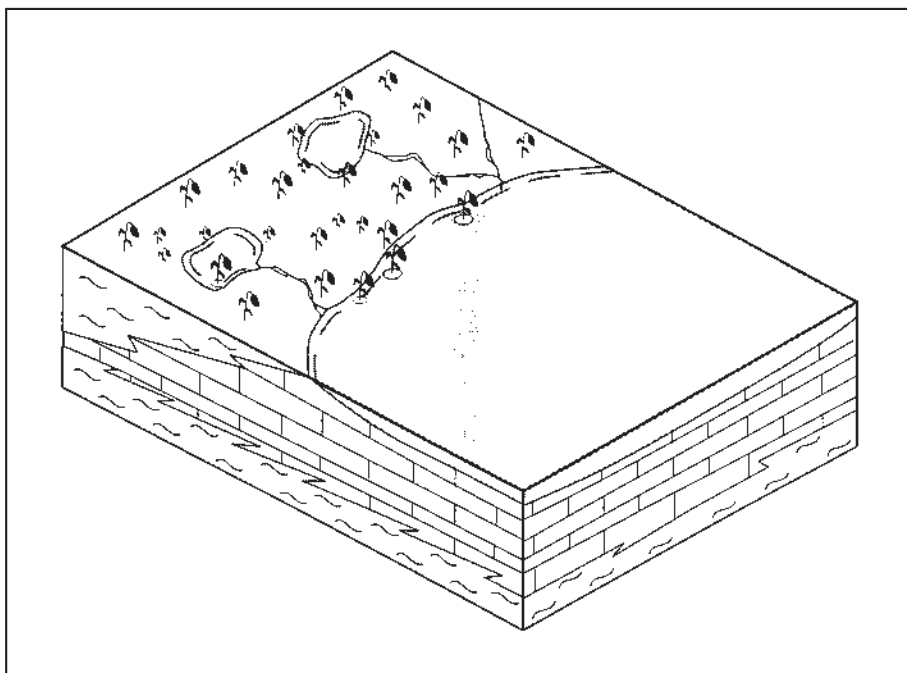


Fig. 18. Medio de depósito de la Fm. Margas y calizas de Artoles en la subcuenca de Las Parras.

Sin embargo, en el perfil de Mina Salomé, donde se identifica la serie más potente de esta unidad y unas buenas condiciones de afloramiento se puede observar una evolución cíclica de expansión-retracción de este sistema lacustre que evoluciona, en un primer momento, desde medios palustres y eulitorales de baja energía (asociación de facies carbonatadas de tipo B.1) a medios lacustres litorales de baja energía (asociación de facies carbonatadas de tipo B.5), que marcan la máxima expansión de este sistema. Esta expansión coincide con la existencia de influencias marinas materializadas como niveles calcáreos tabulares correspondientes a *packstones* bioclásticos de foraminíferos bentónicos, ostreidos, bivalvos, gasterópodos y ocasionalmente equinodermos (asociación de facies carbonatadas de tipo B.7). Estos niveles corresponden a depósitos originados como consecuencia de tormentas que distribuyen, dentro de las áreas lacustres, material depositado en áreas marinas adyacentes. A partir de este momento el sistema lacustre retrograda y evoluciona hacia medios lacustres eulitorales de baja energía y palustres (asociación de facies carbonatada de tipo B.1).



## ESTRATIGRAFÍA SECUENCIAL Y PALEOGEOGRAFÍA

Una vez analizada la evolución sedimentaria de las unidades litoestratigráficas correspondientes a las Facies Weald de la subcuenca de Las Parras se ha procedido al reconocimiento de discontinuidades que sean representativas e identificables a escala de cuenca. El estudio y análisis de estas discontinuidades ha permitido identificar dos secuencias de depósito denominadas S.D. Camarillas y S.D. Artoles.

Una de las características más destacables en esta subcuenca es la intensa tectónica sinsedimentaria que afecta a estas unidades genéticas para el intervalo temporal estudiado y que es la responsable de las importantes variaciones observadas en la potencia de las series sedimentarias de un punto a otro de la cuenca, y las cuales resultan difíciles de detectar a partir, únicamente, de la realización de perfiles estratigráficos. Estas variaciones están claramente ligadas a fallas normales, esencialmente de geometría listrica y de magnitud variable lo que hace muy interpretativo la realización de mapas de isopacas y paneles de correlación por unidades. No obstante, se ha realizado un mapa de isopacas para el conjunto de estas dos secuencias de depósito en el que se integran las principales estructuras tectónicas distensivas que afectan a dichas unidades (fig. 19). Esta actividad tectónica controla, en gran parte, la evolución sedimentaria de estas secuencias de depósito, por lo que en estas unidades resulta muy difícil su división en cortejos sedimentarios.

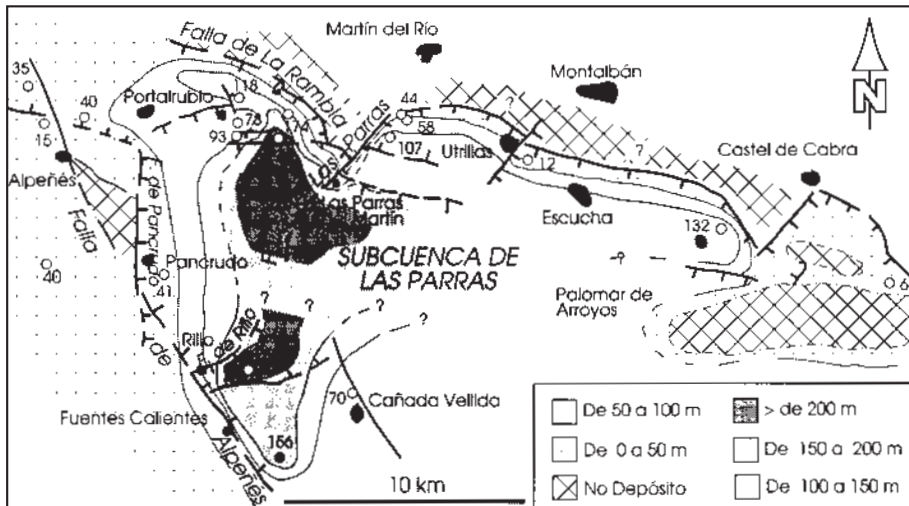


Fig. 19. Esquema general de la subcuenca de Las Parras en donde se muestran las principales estructuras tectónicas que han actuado durante el depósito de las Facies Weald y las potencias estimadas para estas unidades (Fms. Camarillas y Artoles). Los puntos blancos muestran la situación de los perfiles realizados y el número, la potencia total de las Facies Weald.

## SECUENCIA DE DEPÓSITO DE CAMARILLAS

### Límites de secuencia

Esta secuencia de depósito abarca a toda la Fm. Camarillas. El límite inferior de esta secuencia es una discontinuidad regional importante que se manifiesta como una discordancia cartográfica que, en ocasiones, lleva asociadas discordancias internas progresivas (SORIA *et al.*, 1995; LIESA *et al.*, 1996), a consecuencia de las cuales los materiales de esta unidad se apoyan sobre distintos términos de la serie jurásica. Esta discontinuidad lleva asociada una laguna estratigráfica que abarca, como mínimo, al Berriasiense, Valanginiense, Hauteriviense y Barremiense basal, ya que en esta subcuena la unidad más moderna sobre la que se apoya esta secuencia es la Fm. Higuieruelas (no hay registro sedimentario de la Fm. Villar del Arzobispo) y está ausente la Fm. Castellar.

El límite superior de esta secuencia es otra discontinuidad que se manifiesta como una paraconformidad, asociada a un cambio sedimentológico relativamente neto que marca el paso de medios de abanicos aluviales a áreas lacustres. Ocasionalmente esta discontinuidad se manifiesta como una discordancia (perfil de Pancrudo).

### Unidades bioestratigráficas

Las especies que integran la flora de carofitas hallada en esta unidad son: *Atopochara trivolvris* var. *triquetra* (típica), *Globator maillardii* var. *trochiliscoides* (típica), *Clavator harrisii*, *Clavator harrisii* var. *reidii* (MARTÍN-CLOSAS, 1989). Esta flora corresponde a la biozona de *Triquetra-Neimongolensis* (subzona *Calcitrapus*) por lo que la edad atribuida a esta unidad es Barremiense inferior.

Estos datos nos permiten correlacionar esta unidad con las S.D. K1.5 y K1.6 de SALAS *et al.* (1995) y cuya edad es Barremiense inferior.

### Extensión areal

Esta secuencia de depósito se ha identificado prácticamente en todos los perfiles realizados. Únicamente en el perfil de Utrillas esta unidad está ausente, disponiéndose directamente los materiales de la S.D. de Artoles sobre los materiales jurásicos de la Fm. Chelva.

### Evolución sedimentaria y paleogeográfica

Esta unidad se interpreta como correspondiente al depósito en medios de abanicos aluviales y, ocasionalmente, lacustres. Las características sedimentológicas identificadas en las asociaciones de facies definen el sector distal, y ocasionalmente medio, de los abanicos aluviales y están caracterizados por facies esencialmente lutíticas propias de amplias llanuras de inundación que intercalan niveles arenosos y conglomeráticos que corresponden al depósito de flujos acuosos canalizados de

baja sinuosidad, o de flujos acuosos laminares (tipo *sheetflow*). En estas llanuras lutíticas se identifican áreas encharcadas de carácter efímero donde tiene lugar el depósito de barros carbonatados.

Los sistemas lacustres están caracterizados por facies de margas con carofitas, ostrácodos, dientes de peces y restos vegetales, propias de medios lacustres litorales de baja energía que evolucionan hacia techo a facies de margas con restos vegetales carbonosos y restos de vertebrados propias de medios palustres. Estos sistemas, que están relacionados lateral y verticalmente con los sectores distales de los abanicos aluviales, se han identificado únicamente en el sector de Cuevas de Portalrubio.

Las áreas fuentes de los abanicos de alta eficacia de transporte se situarían al norte y oeste respectivamente de los actuales márgenes septentrional y occidental de esta subcuenca (fig. 20.A).

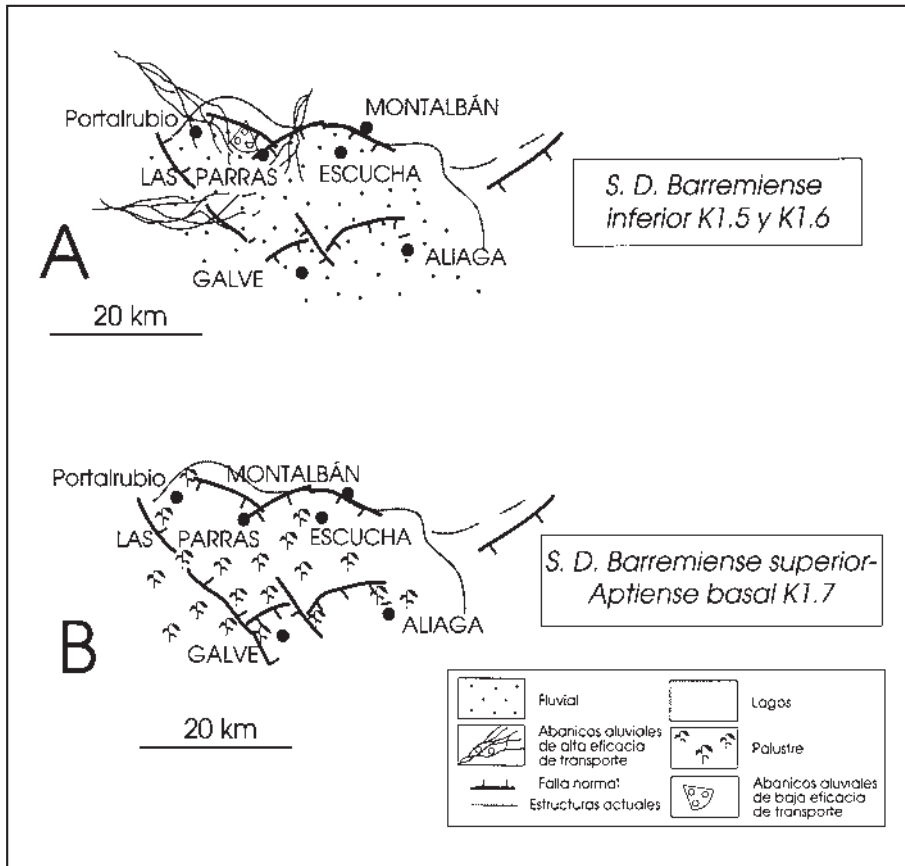


Fig. 20. Síntesis paleogeográfica de las S.D. Barremiense inferior y Barremiense superior-Aptiense Basal en la subcuenca de Las Parras.

La extensión de esta unidad debió ser mayor que su extensión geográfica actual. El depósito de esta unidad debería extenderse al oeste de la falla (falla de Alpeñés) que actualmente jalona su límite occidental, donde se situarían los sectores proximales y medios de los sistemas aluviales y de los cuales no quedan evidencias en el registro estratigráfico.

Por otra parte, es posible que esta unidad se extendiese al norte de las actuales escamas de cabalgamiento de Montalbán y Portalrubio, ya que en los afloramientos más septentrionales de ésta no se identifican tampoco los sectores proximales de los sistemas aluviales. Si tenemos en cuenta que para el cabalgamiento de Montalbán se ha definido una flecha de 6 km de desplazamiento hacia el norte (GUIMERA, 1988; GONZÁLEZ y GUIMERA, 1993), eso significa que al menos para ese punto de la cuenca ésta habría que desplazarla durante el Cretácico inferior, unos 6 km hacia el sur, por lo que es posible que los depósitos proximales de esta unidad se encuentren en el bloque inferior del cabalgamiento o que éstos hayan sido erosionados.

## SECUENCIA DE DEPÓSITO DE ARTOLES

### Límites de secuencia

Esta secuencia de depósito abarca a toda la Fm. Artoles. El límite inferior de esta secuencia coincide con el límite superior de la S.D. de Camarillas. En el perfil de Utrillas, donde sólo aparece esta unidad, esta discontinuidad se manifiesta como una discordancia.

El límite superior es otra discontinuidad que se manifiesta como una paraconformidad asociada bien a una nueva entrada de terrígenos a la cuenca de sedimentación (Fm. Morella), bien a la instalación definitiva de la primera plataforma carbonatada de edad Aptiense representada por la Fm. Chert. En algunos puntos de esta subcuenca (área de Las Parras de Martín) esta discontinuidad viene marcada por una discordancia.

### Unidades bioestratigráficas

Esta unidad presenta abundantes restos de carofitas. Las especies que integran esta flora son: *Atopochara trivolis* var. *triquetra* (avanzada), *Globutor maillardii* var. *trochiliscoides*, *Clavator harrisii* var. *reyi*, A. (*Embergerella*) *cruciata* (MARTÍN-CLOSAS, 1989). Esta flora corresponde a la biotzona de *Cruciata-Paucibracteatus*.

En función de esta flora, esta secuencia es correlacionable con la S.D. K1.7 de SALAS *et al.* (1995), cuya edad es Barremiense superior-Aptiense basal.

### Extensión areal

Esta secuencia de depósito se ha identificado en casi todos los perfiles realizados. Únicamente en el perfil de Pinaroto está ausente, disponiéndose directamente los materiales de la S.D. de Chert

sobre los materiales lutítico-arenosos de la S.D. de Camarillas, por lo que esta secuencia muestra una extensión areal similar a la de la secuencia de depósito infrayacente.

## Evolución sedimentaria y paleogeográfica

Esta unidad presenta un medio de sedimentación muy homogéneo y está caracterizada por extensas áreas palustres, en las que se identifican áreas encharcadas en ocasiones de carácter muy efímero (*ponds*) y en otras de carácter algo más permanente (áreas lacustres), con influencias marinas ocasionales de procedencia meridional (fig. 20.B).

## CONCLUSIONES

El estudio estratigráfico del Cretácico inferior de la subcuenca de Las Parras y el análisis sedimentológico, secuencial y paleogeográfico de sus Facies Weald, nos han permitido llegar a las siguientes conclusiones:

1. Desde el punto de vista litoestratigráfico el relleno de esta subcuenca está caracterizado por 6 unidades litoestratigráficas: Formaciones Camarillas, Artoles, Morella, Chert, Forcall y Villarroya de los Pinares. Las dos primeras unidades (Fms. Camarillas y Artoles) caracterizan las Facies Weald de esta región, mientras que las demás (Formaciones Morella, Chert, Forcall y Villarroya de los Pinares) corresponden a las Facies Urgan de esta cuenca. De todas éstas, las Fms. Camarillas y Villarroya de los Pinares son las que mejor representación muestran dentro de la cuenca.

2. El análisis secuencial de las Facies Weald de esta cuenca ha permitido diferenciar dos secuencias de depósito para este intervalo temporal, cuya evolución sedimentaria es bastante compleja (sobre todo la primera) y está caracterizada esencialmente por medios continentales (aluviales y lacustres).

- Secuencia de depósito Barremiense inferior caracterizada por facies lutíticas, arenosas y ocasionalmente conglomeráticas. Estas facies se han interpretado como correspondientes a los sectores medio-distales y distales de abanicos aluviales de alta eficacia de transporte y a medios lacustres someros y de baja energía.
- Secuencia de depósito Barremiense superior-Aptiense basal caracterizada por sistemas palustres y lacustres carbonatados y costeros con influencias marinas ocasionales.

3. El factor tectónico es el responsable de la estructuración de la cuenca, reactivación de áreas fuentes (aportes sedimentarios) y de la generación de rupturas sedimentarias (discontinuidades). Éste es el factor alocíclico que influye de una manera más decisiva en la evolución de las unidades sedimentarias. El clima podría ser el responsable de las secuencias de colmatación y de expansión-retracción lacustre.

## BIBLIOGRAFÍA

- AGUILAR, M.J.; RAMÍREZ del POZO, J. y RIBA, O. (1971), «Algunas precisiones sobre la sedimentación y paleoecología del Cretácico inferior en la zona de Utrillas-Villarroya de los Pinares (Teruel)», *Estudios Geológicos*, 27, pp. 497-512.
- ARENAS, C.; PARDO, G.; GONZÁLEZ, A. y VILLENA, J. (1989), «El sistema aluvial de Cobatillas (Teruel): Análisis de facies y evolución del estilo fluvial», *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 2 (1-2), pp. 41-54.
- BULL, W.B. (1977), «The alluvial fan environment», *Progs. Phys. Geogr.*, 1, pp. 222-270.
- CANEROT, J.; CUGNY, P.; PARDO, G.; SALAS, R. y VILLENA, J. (1982), «Ibérica Central y Maestrazgo», en *El Cretácico de España*, Univ. Comp. Madrid, pp. 273-344.
- CERVERA, A.; PARDO, G. y VILLENA, J. (1976), «Algunas precisiones litoestratigráficas sobre la formación lignitos de Escucha», *Tecniterrae*, 14, pp. 25-33.
- COLOMBO, F. (1989), «Abanicos Aluviales», en ARCHE, A. (coord.), *Sedimentología*, Editorial Nuevas Tendencias, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1, pp. 143-218.
- GINKEL, A.C. y MEKEL, J.F.M. (1976), «Geological Maps of the Montalbán Region», *ITC Publications*, 2, 66 págs., 3 map. 1:50.000 y 1 map. 1:100.000.
- 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 (1-2), pp. 151-165.
- GUIMERA, J. (1988), *Estudi estructural de l'enllaç entre la Serralada Ibérica i la Serralada Costanera Catalana*, Tesis Doctoral, Univ. de Barcelona, 600 págs.
- HOOKE, R.L.B. (1967), «Processes on arid-region alluvial fans», *Journal of Geology*, 75, pp.438-460.
- LIESA, C.L.; SORIA, A.R. y MELÉNDEZ, A. (1996), «Estudio preliminar sobre la tectónica sinsedimentaria del Cretácico inferior en el borde septentrional de la Cubeta de Aliaga (Cordillera Ibérica)», *Geogaceta*, 20 (7), pp. 1707-1710.
- LOWE, D.R. (1979), «Sediment gravity flows: their classification and some problems of application to natural flow and deposits», *S.E.P.M. Special Publication*, 27, pp. 75-82.
- (1982), «Sediment gravity flows: II. Depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents», *Journal of Sedimentary Petrology*, 52 (1), pp. 279-297.
- MARTÍN-CLOSAS, C. (1989), *Els caròfits del Cretaci inferior de les conques perifèriques del Bloc de l'Ebre*, Tesis Doctoral, Dpto. de Geología Dinámica, Geofísica i Paleontología, Fac. de Geología, Univ. de Barcelona (inédita), 581 págs.
- MUÑOZ, A. (1991), *Análisis tectosedimentario del Terciario del Sector occidental de la Cuenca del Ebro (Comunidad de La Rioja)*, Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 496 págs.
- (1992), *Análisis tectosedimentario del Terciario del Sector occidental de la Cuenca del Ebro (Comunidad de La Rioja)*, Instituto de Estudios Riojanos, Ciencias de la Tierra, 15, 347 págs.
- NEMEC, W. y STEEL, R.J. (1984), «Alluvial and coastal conglomerates: their significant features and some comments on gravelly mass-flow deposits», en KOSTER, E.H. y STEEL, R.J. (eds.), *Sedimentology of gravels and conglomerates*. Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir, 10, pp. 1-31.

- QUEROL, X. (1990), *Distribución de la materia mineral y azufre en los Carbones de la Formación Escucha. Relación con los factores geológicos, sedimentológicos y diagenéticos*, Univ. de Barcelona-CSIC (Instituto de Geología "Jaume Almera"), 509 págs.
- SALAS, R. (1987), *El Malm i el Cretaci inferior entre el Massis de Garraf i la Serra d'Espadà*, Tesis Doctoral, Univ. de Barcelona, I: 345 págs. II: figs.
- SALAS, R.; MARTÍN-CLOSAS, C.; QUEROL, X.; GUIMERA, J. y ROCA, E. (1995), «Evolución tectonosedimentaria de las cuencas del Maestrazgo y Aliaga-Peñagolosa durante el Cretácico inferior», en SALAS, R. y MARTÍN-CLOSAS, C. (coords.), *El Cretácico Inferior del Nordeste de Iberia*, Guía de campo de las excursiones científicas del III Coloquio del Cretácico de España (Morella, 1991), pp. 13-94, Publicaciones de la Univ. de Barcelona.
- SORIA, A.R.; MELÉNDEZ, A.; CUENCA-BESCÓS, G.; CANUDO, I. y LIESA, C.L. (1995), «Los sistemas lacustres del Cretácico Inferior de la Cordillera Ibérica Central: La Cubeta de Aliaga», *Guía de excursiones XIII Congreso Español de Sedimentología*, pp. 91-141.

*Recibido el 21 de septiembre de 1998  
Aceptado el 27 de noviembre de 1998*







# **GEOMORFOLOGÍA KÁRSTICA DE LAS CUENCAS DE GALLOCANTA Y JILOCA (PROVINCIA DE TERUEL)**



*Francisco Javier Gracia Prieto y Francisco Gutiérrez Santolalla*



# GEOMORFOLOGÍA KÁRSTICA DE LAS CUENCAS DE GALLOCANTA Y JILOCA (PROVINCIA DE TERUEL)\*

*Francisco Javier Gracia Prieto\*\*  
y Francisco Gutiérrez Santolalla\*\*\**

## RESUMEN

En el presente trabajo se realiza un estudio fotogeomorfológico y de campo de las formas kársticas presentes en las depresiones de Gallocanta y Jiloca. Se han diferenciado distintas formas de karst superficial, como lapiaces y dolinas. Se presenta la depresión de Gallocanta como un polje elaborado a lo largo del Plioceno superior-Pleistoceno y abortado como consecuencia de haber alcanzado en su profundización el nivel impermeable de arcillas y yesos del Triásico superior. Durante el Pleistoceno se desarrolló un depósito travertínico en el fondo del valle del Jiloca, probablemente relacionado con la evolución de dicho polje. También se han reconocido otras formas, tanto exokársticas (cañones, valles ciegos, etc.) como endokársticas (sumideros, grutas), estas últimas de muy débil o nula actividad actual. Las implicaciones ambientales del presente estudio están relacionadas fundamentalmente con los posibles impactos derivados del vertido de contaminantes, que pueden afectar a los sistemas hidrogeológicos kársticos de la zona.

**Palabras clave:** geomorfología kárstica, polje, Cuaternario, Cordillera Ibérica.

\* Resumen del trabajo realizado mediante una ayuda concedida por el Instituto de Estudios Turolenses en su XV Concurso de Ayudas a la Investigación celebrado en 1997.

\*\* Dpto. de Geología. Fac. Ciencias del Mar. Universidad de Cádiz. 11510 Puerto Real (Cádiz).

\*\*\* Dpto. de Ciencias de la Tierra. Fac. de Ciencias. Universidad de Zaragoza. 50009 Zaragoza.

## ABSTRACT

*Karst geomorphology of Gallocanta and Jiloca depressions (Province of Teruel).*

The present work deals with the photogeomorphological and field study of the karstic landforms developed in the Gallocanta and Jiloca depressions. Several surficial karst landforms have been identified, such as karren and dolines. The Gallocanta Depression is presented as a polje developed throughout the Upper Pliocene-Pleistocene. Its evolution was interrupted when the deepening of the bottom reached an Upper Triassic impermeable clay and gypsum formation which constitutes the Gallocanta Lake substratum. During the Pleistocene a tufa deposit was formed in the Jiloca Valley, probably related to the evolution of the Gallocanta polje. Other landforms, both exokarstic (canyons, blind valleys, etc.) and endokarstic (sinks, caves) have also been recognized, the latter having a scarce or negligible current activity. The environmental implications of the present study are mainly related to possible impacts derived from dumping of residues, which can pollute the karstic hidrogeological system of the area.

**Key words:** karst geomorphology, polje, Quaternary, Iberian Range.

## INTRODUCCIÓN

La Cordillera Ibérica presenta abundantes y extensas áreas sometidas a procesos kársticos, en las que proliferan formas muy variadas, desde los campos de dolinas, campos de lapiaces, o incluso extensos poljes, tanto activos en la actualidad como inactivos y heredados de otras épocas con condiciones paleoambientales más favorables (GUTIÉRREZ *et al.*, 1982; PEÑA *et al.*, 1984; LOZANO, 1988a; GUTIÉRREZ y PEÑA, 1989; PEÑA *et al.*, 1991 y 1996; GRACIA *et al.*, 1996b). El presente estudio se centra en las cuencas de Gallocanta y Jiloca, localizadas en el sector central de la cordillera (fig. 1). De ellas existe un cierto número de estudios geomorfológicos regionales previos (DANTÍN CEREDA, 1941; SOLÉ y RIBA, 1952; YETANO, 1980; MOISSENET, 1980; GUTIÉRREZ *et al.*, 1983; GRACIA *et al.*, 1988 y GRACIA, 1990 y 1995), en los que se estudian cuestiones tales como las superficies de erosión, la neotectónica (fig. 2) o los aspectos ambientales. No obstante, los procesos y las formas kársticas existentes en ellas apenas han recibido una atención preferente, existiendo tan sólo trabajos puntuales (GRACIA, 1987 y 1991).

La cuenca de Gallocanta constituye la mayor depresión lacustre de la cordillera, siendo una de las áreas de mayor interés ambiental y ecológico de toda la región aragonesa (BALLARÍN, 1986; SUÁREZ *et al.*, 1991). Por otro lado, la depresión del Jiloca constituye un corredor natural en dirección norte-sur, de especial relevancia tanto por su desarrollo agrícola y ganadero como por ser una vía prioritaria de comunicaciones dentro de la provincia de Teruel. Ambas depresiones han sido caracterizadas como fosas tectónicas, cuya evolución tecto-sedimentaria y geomorfológica cuaternaria ha sido rápida y compleja (GRACIA *et al.*, 1996a; GUTIÉRREZ *et al.*, 1996), aspecto que realza el interés que de por sí tiene el estudio kárstico de un amplio sector de la cordillera, ya que puede

aportar datos sobre la velocidad y magnitud de los procesos kársticos y sobre las condiciones paleoambientales en esta región durante el Cuaternario.

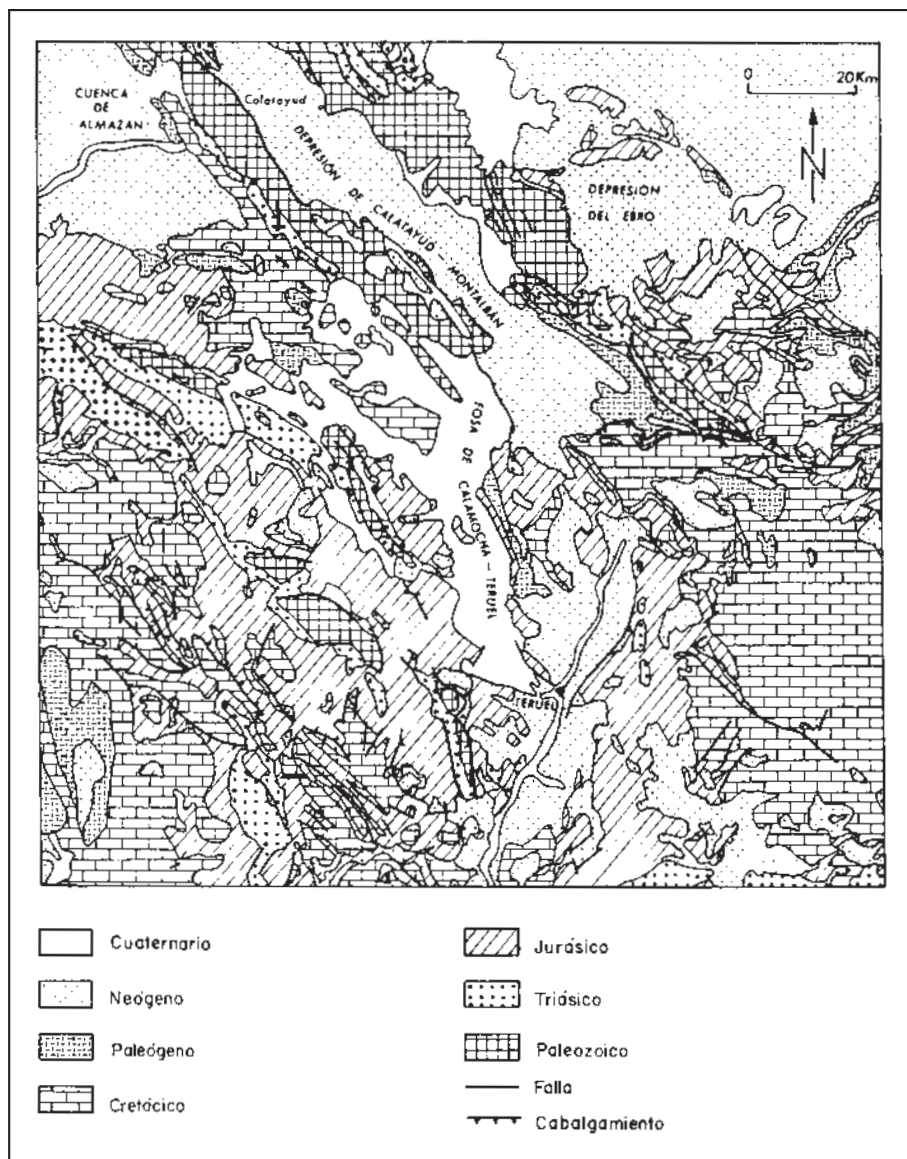


Fig. 1. Esquema geológico general del sector central de la Cordillera Ibérica (tomado de OLAVERRI y REY, 1980).

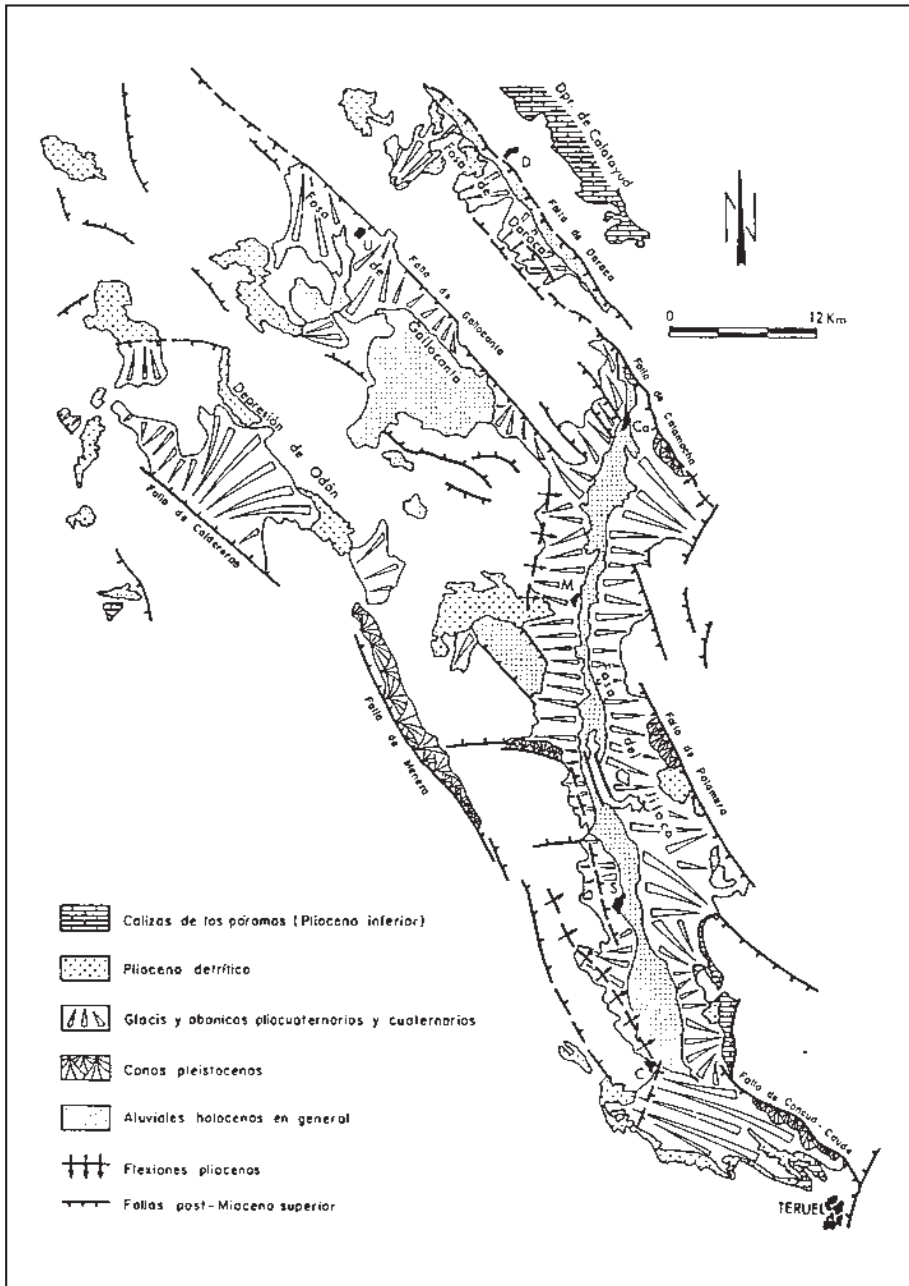


Fig. 2. Esquema morfoestructural de las fosas de Gallocanta y jiloca (GRACIA *et al.*, 1996a).

## MARCO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO

Orográficamente, la zona de estudio se sitúa a una altitud media de unos 1.000 metros, con una amplitud orográfica no superior a los 250 m. La depresión de Gallocanta, con unos 26 km de longitud máxima por 5 km de anchura máxima, presenta una dirección NW-SE y está enmarcada por relieves relativamente suaves, a excepción de su borde nororiental, donde se superan los 1.400 m en algunas cumbres (Santa Cruz, Berrocal). En su fondo, de una gran planitud a casi 1.000 m de altitud, se encuentra la laguna de Gallocanta, que constituye el sistema lacustre de mayor extensión de la Cordillera Ibérica. La depresión del río Jiloca discurre entre Cella y Calamocha, con una dirección N-S y con casi 70 km de longitud y unos 10 km de anchura media. Su fondo, igualmente plano, se sitúa en torno a los 900 m de altitud. Esta depresión se encuentra enmarcada por relieves prominentes en su tramo medio, destacando Sierra Menera al oeste (1.588 m) y Sierra Palomera al este (1.428 m).

El clima dominante en la zona es de tipo semiárido mesotérmico, con precipitaciones medias anuales que apenas sobrepasan los 450 mm y temperaturas medias anuales que oscilan entre 10 y 11°C (GRACIA, 1990). En general la zona está caracterizada por presentar veranos cálidos, inviernos no muy rigurosos y precipitaciones débiles aunque muchas veces de carácter tormentoso. Son de destacar los fenómenos de inversión térmica, responsables en parte de que el balance hídrico no sea permanentemente negativo a lo largo de todo el año.

Hidrológicamente las dos depresiones presentan características muy contrastadas. La depresión de Gallocanta es de tipo endorreico, con numerosas lagunas dispersas a lo largo de su fondo y con un régimen hídrico marcadamente estacional, dependiente de las variaciones pluviométricas. Destaca la laguna de Gallocanta, con 7 km de longitud por 2 km de anchura, alargada en dirección NW-SE y con una profundidad variable estacionalmente que llega a alcanzar los 2 metros. Su alimentación hídrica proviene en buena parte de la precipitación directa y de la escorrentía superficial (unos 35 hm<sup>3</sup>/año, según CASCALES *et al.*, 1979), canalizada a través de algunos cursos menores intermitentes. No obstante, los aportes subterráneos a través de acuíferos detríticos superficiales pueden llegar a ser importantes (de hasta 45 hm<sup>3</sup>/año, según CASCALES *et al.*, 1979). Hay que destacar el carácter salino de sus aguas, relacionado con el aporte subterráneo de aguas cargadas en sales procedentes del substrato margo-evaporítico triásico sobre el que se asienta.

Por su parte, el río Jiloca nace en el sistema de manantiales de Caminreal-Fuentes Claras. No obstante, diversas canalizaciones artificiales drenan hacia este río los aportes del manantial de Cella (DELER, 1995), al sur de la depresión. En la zona de estudio los aportes superficiales son de escasa importancia, dada la poca entidad de los afluentes al río Jiloca. Este hecho está relacionado con la gran proximidad de los relieves montañosos y el reducido coeficiente de escorrentía de la cuenca. No obstante, eventos pluviométricos de elevada magnitud han dado lugar a inundaciones históricas en algunos municipios, provocando diversos daños materiales (como los registrados en 1996 y 1997 en Villarquemado y Torrelacárcel).

Geológicamente, las fosas de Gallocanta y Jiloca son depresiones controladas por accidentes tectónicos alpinos de dirección ibérica (NW-SE) reactivados durante la etapa post-orogénica de la cadena, y limitadas por series estratigráficas paleozoicas, mesozoicas y terciarias de cierto desarrollo. Siguiendo un orden estratigráfico, los materiales que afloran en la zona de estudio son los siguientes (fig. 1).

a) *Paleozoico*. Aflora al NE de la depresión de Gallocanta, constituyendo su borde nororiental a lo largo de las sierras de Santa Cruz-Valdelacasa-Valdellosa. También limita a la depresión del Jiloca por el noroeste. La serie paleozoica está representada por una alternancia de cuarcitas y pizarras cámbricas y ordovícicas, formando una estructura monoclinas de dirección ibérica con buzamiento hacia el SW. Los bordes suroccidental (hacia la depresión de Gallocanta) y oriental (hacia la depresión del Jiloca) de esta alineación montañosa están limitados por accidentes tectónicos alpinos que hundieron la serie respectivamente hacia el suroeste y hacia el este.

b) *Mesozoico*. Constituye el borde suroccidental de la depresión de Gallocanta y los dos márgenes de la depresión del Jiloca en su tramo central y meridional. Está representado por series triásicas, jurásicas y cretácicas bastante continuas y plegadas durante la orogenia alpina. En la depresión de Gallocanta, la cobertura mesozoica está formada por una serie triásica adelgazada, cuyos términos superiores margos-evaporíticos (Keuper) constituyen el substrato impermeable de la laguna de Gallocanta, una serie jurásica carbonatada de muy escaso espesor y finalmente una serie cretácica calcárea de gran espesor y extensión de afloramiento que forma los principales relieves que rodean a la depresión por el sur y el oeste. En los márgenes de la depresión del Jiloca los sedimentos mesozoicos son predominantemente de edad triásica y jurásica, estos últimos formados por más de 600 metros de calizas, dolomías y margas. Ambas series están afectadas por pliegues y fallas de dirección NW-SE a N-S (RAMÍREZ *et al.*, 1983; HERNÁNDEZ *et al.*, 1983b y 1985).

c) *Terciario*. Las series neógenas afloran fundamentalmente al norte y NE de la fosa del Jiloca y corresponden a la depresión terciaria de Calatayud-Montalbán, representadas por más de 300 m de calizas lacustres que alternan con arenas, arcillas rojas y yesos, en disposición horizontal (HERNÁNDEZ *et al.*, 1983a). El borde suroriental de la fosa está constituido por las series detrítico-calcáreas de la fosa de Teruel, de edad Mioceno medio-Plioceno superior (HERNÁNDEZ *et al.*, 1985). Otros afloramientos neógenos aparecen en el interior de las fosas del Jiloca (series de Blancas-Monreal del Campo y de Cella-Teruel) y de Gallocanta (series de Bello, Torralba de los Frailes, Las Cuerlas, surco de Embid-Odón, etc.). Estos afloramientos están constituidos por acumulaciones detríticas masivas de escaso espesor cuya edad se desconoce, aunque tradicionalmente han sido atribuidos al Mioceno-Plioceno inferior (HERNÁNDEZ *et al.*, 1983a y 1983b; OLIVÉ *et al.*, 1983 y OLMO *et al.*, 1983a y 1983b).

d) *Cuaternario*. Los materiales cuaternarios alcanzan su mayor desarrollo en el fondo de ambas depresiones, estando constituidos por acumulaciones detríticas correspondientes a abanicos aluviales, cuyo espesor raramente supera los 4 metros. En la depresión de Gallocanta estos abanicos se desarrollan principalmente en el piedemonte de la Sierra de Santa Cruz-Valdelacasa, formando varios niveles que se escalonan hacia el centro de la depresión dando paso a otros depósitos recién-



tes de origen lacustre asociados a la laguna de Gallocanta. En el caso de la depresión del Jiloca los abanicos aluviales arrancan de ambos márgenes, y sólo en los tramos medios y bajos de la misma enlazan con depósitos de terrazas del río Jiloca, tanto detríticos como carbonatados (travertinos de Caminreal-Fuentes Claras).

## FORMAS Y PROCESOS EXOKÁRSTICOS

A continuación se expone toda la variedad de morfologías kársticas generadas por disolución superficial de los afloramientos calcáreos de la zona, así como las formas de acumulación por precipitación de carbonatos. Dentro de las primeras, se ha diferenciado entre micromorfologías y meso-macroformas.

### MICROMORFOLOGÍAS DE DISOLUCIÓN

En la zona de estudio estas formas son bastante abundantes, presentando una amplia variabilidad. Se localizan sobre todo tipo de calizas (jurásicas, cretácicas, neógenas, etc.). Cabe diferenciar dos grandes grupos (BÖGLI, 1960; JENNINGS, 1985), en función de que se desarrollen o no bajo una cobertera.

#### Microformas desarrolladas en karst desnudo

– *Solution flutes* (*rillenkarren* en alemán): es el llamado "lapiaz en regueros". En la zona de estudio los surcos no presentan anchuras mayores de 2-3 cm. Se trata sin duda de la microforma kárstica más abundante en el área estudiada, sobre todo en los afloramientos calcáreos mesozoicos, y puede superponerse a cualquier otro tipo de lapiaz.

– *Grikes* (*kluftkarren* en alemán): es el llamado "lapiaz estructural", generado por disolución a lo largo de diaclasas o fracturas. La separación de las paredes en los ejemplos observados en la zona de estudio oscila entre 3 y 30 cm, con profundidades muy variables, de hasta 40 cm. Dichas paredes son verticales y se ajustan a las direcciones de las diaclasas. El fondo de los surcos está siempre cubierto por arcillas de descalcificación y se encuentra frecuentemente colonizado por diversos tipos de vegetación arbustiva.

Otras microformas pertenecientes a este tipo y mucho menos abundantes en la zona de estudio son las *rainpits* (marcas de lluvia), *bedding grikes* (planos de estratificación ensanchados), *solution spikes* (lapiaz en picos), *clints* (bloques aislados por la disolución) y *shilow* (clastos irregulares sobre superficies karstificadas).

#### Microformas desarrolladas en karst cubierto

La cobertera del substrato calcáreo puede estar formada por suelo, sedimento, humus, restos de materia vegetal e incluso nieve.

– *Solution pans* (*kamenitsa* en eslavo): son depresiones de escasa profundidad con morfología de “plato”. Se desarrollan en superficies subhorizontales. En la zona de estudio aparecen como oquedades circulares de 5 a 20 cm de diámetro y de 1 a 10 cm de profundidad, con un fondo muy plano y parcialmente cubierto por arcillas de descalcificación, limos, etc. Es común que el fondo esté colonizado por musgos, líquenes o pequeñas herbáceas. Aunque se han observado en afloramientos de calizas mesozoicas, son especialmente abundantes en las superficies de calizas neógenas de la fosa de Calatayud, en las cercanías de la fosa del Jiloca.

– *Undercut solution runnels* (*hohlkarren* en alemán): se trata del llamado “lapiaz oqueroso o tubular”. Presenta en la zona de estudio formas tubulares de no más de 5 cm de diámetro, con una profundidad variable, rara vez superior a los 20 cm. Son mucho más abundantes que los *solution pans*, reconociéndose en todo tipo de calizas. Proliferan especialmente en las calizas neógenas de la fosa de Calatayud y, al igual que el caso anterior, suelen estar parcialmente rellenas de arcillas de descalcificación, aunque su fondo rara vez está colonizado por herbáceas, debido a evidentes limitaciones de espacio e insolación. Sí que son comunes, sin embargo, los líquenes tapizando sus paredes. A veces aparece sobrepuesto a las paredes de otros lapiaces preexistentes, fundamentalmente de tipo estructural. Esto lleva a pensar en una génesis policíclica de algunos lapiaces estructurales y en una exhumación posterior, ya que el lapiaz oqueroso precisa de una cobertera edáfica para su formación. Este hecho ha sido también observado por LOZANO (1988a) en las Serranías de Gúdar.

También se han reconocido otras formas menos abundantes como *solution pipes* (microconductos cónicos), *solution notches* (socavaciones basales en escarpes), *rounded solution runnels* (lapiaz redondeado) y diversas formas de *cavernous subsoil weathering* (lapiaz cavernoso).

## MESO Y MACROFORMAS KÁRSTICAS DE DISOLUCIÓN SUPERFICIAL

Las morfologías más características y que generalmente aparecen con mayor profusión en los paisajes kársticos son las depresiones cerradas (dolinas y poljes), aunque en la zona de estudio también aparecen otras formas de tipo fluviokárstico.

### Dolinas

Desde un punto de vista genético, podemos diferenciar los siguientes tipos de dolinas.

– *Dolinas de disolución superficial*. En la zona de estudio aparecen salpicando casi todas las superficies de erosión/corrosión sobre calizas, llegando a alcanzar a menudo los 100 m de diámetro. Su profundidad suele ser inferior a 2 m y sus contornos habitualmente dibujan circunferencias casi perfectas, con morfologías en cubeta y bordes muy suavizados.

– *Dolinas generadas por colapso de cavidades*. En la zona de estudio aparecen fundamentalmente afectando a las calizas jurásicas de Pozondón, en el margen occidental de la fosa del Jiloca, formando un amplio campo de dolinas, estudiado por GUTIÉRREZ y PEÑA (1979a). Entre ellas exis-

ten ejemplos espectaculares tanto de dolinas con forma en embudo como dolinas en ventana. Fuera de este sector se han observado algunas dolinas de colapso aisladas y generalmente de pequeñas dimensiones, como el "Hoyo de la Celda", en las proximidades de Tortuera, con unos 100 m de diámetro por unos 15 m de profundidad y forma troncocónica (fot. 1). Tanto ésta como muchas de las dolinas de los Llanos de Pozondón presentan un relleno parcial de derrubios que reducen la profundidad original de las depresiones.

– *Dolinas de karst cubierto*. Se desarrollan cuando la disolución actúa bajo una cobertera generalmente no consolidada (un suelo desde el punto de vista mecánico), como un depósito detrítico. La génesis de este tipo de dolinas no necesariamente implica el desarrollo de una cavidad. Existen en la zona de estudio diversos ejemplos de este tipo, que suelen presentar un fondo permanentemente encharcado, debido al arrastre de materiales arcillosos y limosos impermeables procedentes de la cobertera detrítica. Algunas de estas dolinas aparecen de forma aislada, aunque lo más característico es la formación de campos de dolinas de karst cubierto que salpican amplias superficies tapizadas por depósitos terciarios o cuaternarios de escaso espesor. Entre las primeras cabe destacar las que siguen.

Laguna de Guialguerrero (SE de Cubel, depresión de Gallocanta). Presenta unos 300 m de diámetro y la karstificación afecta a calizas y dolomías infraliásicas. El material detrítico de cobertera



Fot. 1. Dolina de subsidencia ("Hoyo de la Celda") desarrollada sobre calizas jurásicas en las proximidades de Tortuera.

está formado por depósitos cuaternarios de un abanico aluvial procedente de la Sierra de Santa Cruz. En este caso la acumulación de nieve a sotavento de los vientos dominantes (del NO) propicia la disolución diferencial y la adquisición de una marcada asimetría.

Laguna del Montecillo (Torralba de los Frailes). Se desarrolla en depósitos detríticos pliocenos sobre calizas cretácicas. La depresión mide unos 350 m de diámetro por 15 m de profundidad, mientras que la laguna que ocupa su fondo apenas alcanza los 100 m de diámetro.

Balsas de Santed (2 km al NE de la laguna de La Zaida). Se ubican sobre un cono de deyección reciente procedente de la Sierra de Santa Cruz. Se trata de dos lagunas alineadas en dirección NO-SE, separadas entre sí unos 50 m. La mayor de ellas, de carácter efímero, tiene 200 m de diámetro y presenta aguas saladas como consecuencia de aportes salinos procedentes del substrato triásico. La balsa pequeña, de unos 150 m de diámetro, contiene agua dulce, como consecuencia de un substrato de tipo carbonatado (Triásico medio).

– *Uvalas*. El término *uvala* se emplea para depresiones cerradas complejas que engloban a varias depresiones cerradas en su interior. Pueden adoptar morfologías lobuladas en planta y en ocasiones son el resultado de la coalescencia de varias dolinas. Algunas de las dolinas en cubeta observadas a lo largo de la zona de estudio pertenecen a este tipo, presentando morfologías en planta muy irregulares que claramente indican un proceso de coalescencia de dolinas próximas.

– *Campos de dolinas*. Un campo de dolinas es un área de extensión variable (en general varios kilómetros cuadrados) en la que existe una agrupación preferencial de dolinas con respecto a las áreas circundantes. En los alrededores de la zona de estudio se reconocen diversos campos de dolinas (Pozondón, Tortuera, Odón, El Villarejo, etc.), estudiados anteriormente por otros autores (GUTIÉRREZ y PEÑA, 1979a; GRACIA, 1987 y 1991). En la tabla 1 aparecen algunos datos morfométricos de los campos de dolinas de Tortuera y de Odón. En ella puede observarse cómo varía el índice R, el cual señala el tipo de distribución espacial de las dolinas (CLARK y EVANS, 1954), varian-

TABLA 1

**Caracteres morfométricos de los campos de dolinas de Tortuera y Odón (GRACIA, 1987)**

VARIABLES	CAMPO DE TORTUERA	CAMPO DE ODÓN
Área total (km <sup>2</sup> )	49,03	18,1
% Área dolinizada	8,1	7,37
N.º total de dolinas	365	118
Densidad (n.º dolinas/km <sup>2</sup> )	7,44	6,52
Distancia media entre vecinos próximos (km)	0,296	0,365
Índice de distribución espacial, R	1,61	1,86
Área media de las dolinas (m <sup>2</sup> )	12.700	39.000
Índice de simetría	3,86	3,65

do desde 0 (tendencia a formar cúmulos o agregados), 1 (dispersión aleatoria) y 2,15 (patrón regular, con un espaciado lo más amplio posible). Los valores de este índice para los dos campos de dolinas oscilan entre 1,5 y 2, lo que indica un paisaje próximo al equilibrio dinámico, donde las formas individuales compiten por el espacio y mantienen una distribución tendente a la uniformidad, prevaleciendo los procesos superficiales sobre los colapsos de cavidades kársticas. Por otro lado, el índice de simetría muestra que las dolinas presentan una asimetría baja, relacionada con un cierto grado de madurez de las formas, donde la evolución de las laderas tiende a obliterar irregularidades en los bordes de las dolinas. Por otro lado, en ambos casos las dolinas se alinean según dos direcciones muy claras, NO-SE y ENE-OSO, que coinciden con las direcciones dominantes de los sistemas de fracturas y diaclasas que afectan a los correspondientes substratos calcáreos.

## Poljes

El polje es una gran depresión cerrada de origen kárstico, con fondo plano y dimensiones del orden de hectómetros a decenas de kilómetros. Ocasionalmente, un polje puede ser capturado y drenado por la red fluvial, en cuyo caso se trataría de una forma relicta por haber perdido su régimen hidrogeológico original. La génesis del fondo plano de los poljes ha sido explicada por procesos de corrosión o disolución bajo una cobertera detrítica, la cual produce el aplanamiento del fondo y su progresivo ensanchamiento. El balance entre la actuación de los procesos de corrosión en sentido vertical y horizontal, controlado por la posición de la zona freática, juega un papel primordial en la evolución morfológica de un polje. La alternancia de episodios en los que domine un tipo u otro de disolución puede dar lugar al desarrollo de superficies de corrosión escalonadas, características de los poljes de la Cordillera Ibérica (GUTIÉRREZ *et al.*, 1982 y 1983; PEÑA *et al.*, 1984, 1987 y 1991; LOZANO, 1988a y b; GUTIÉRREZ y PEÑA, 1989; LOZANO y JIMÉNEZ, 1990; SÁNCHEZ FABRE, 1990; GUTIÉRREZ y VALVERDE, 1994; GRACIA *et al.*, 1996b). El estudio geomorfológico de la zona de estudio permite concluir que la depresión de Gallocanta constituye un polje. El interior de la depresión contiene numerosas depresiones endorreicas, en número superior a veinte, que albergan lagunas en la actualidad, y cuya divisoria hidrográfica coincide, a grandes rasgos, con el alcance que tuvo el primitivo polje en sus estadios iniciales de desarrollo (fig. 3).

Tradicionalmente, la depresión de Gallocanta ha sido considerada como de origen tectónico, resultado de la reactivación reciente (finioplócena) de la falla de Valdelacasa o de Gallocanta (fig. 2). Esta génesis tectónica fue inicialmente apuntada por HERNÁNDEZ PACHECO y ARANEGUI (1926), quienes consideraron la existencia de una falla al SW de la laguna de Gallocanta. Posteriormente, DANTÍN CERECEDA (1941), VILLENA (1969), YETANO (1980) y CALVO *et al.* (1978) enfatizaron el papel del accidente nororiental de la depresión en la génesis de la misma, aparte de la posible existencia de otras fallas normales de menor entidad en su borde meridional. Efectivamente, la estructura geológica de la depresión de Gallocanta está caracterizada por una falla normal de importancia regional, que separa el macizo paleozoico de Santa Cruz-Valdelacasa, al norte, de los afloramientos mesozoicos de las sierras de San Cristóbal y Montes de Guisema, al sur y suroeste respectivamente. Esta falla proporciona a la depresión un marcado control lito-estructural, causa por la que se la ha

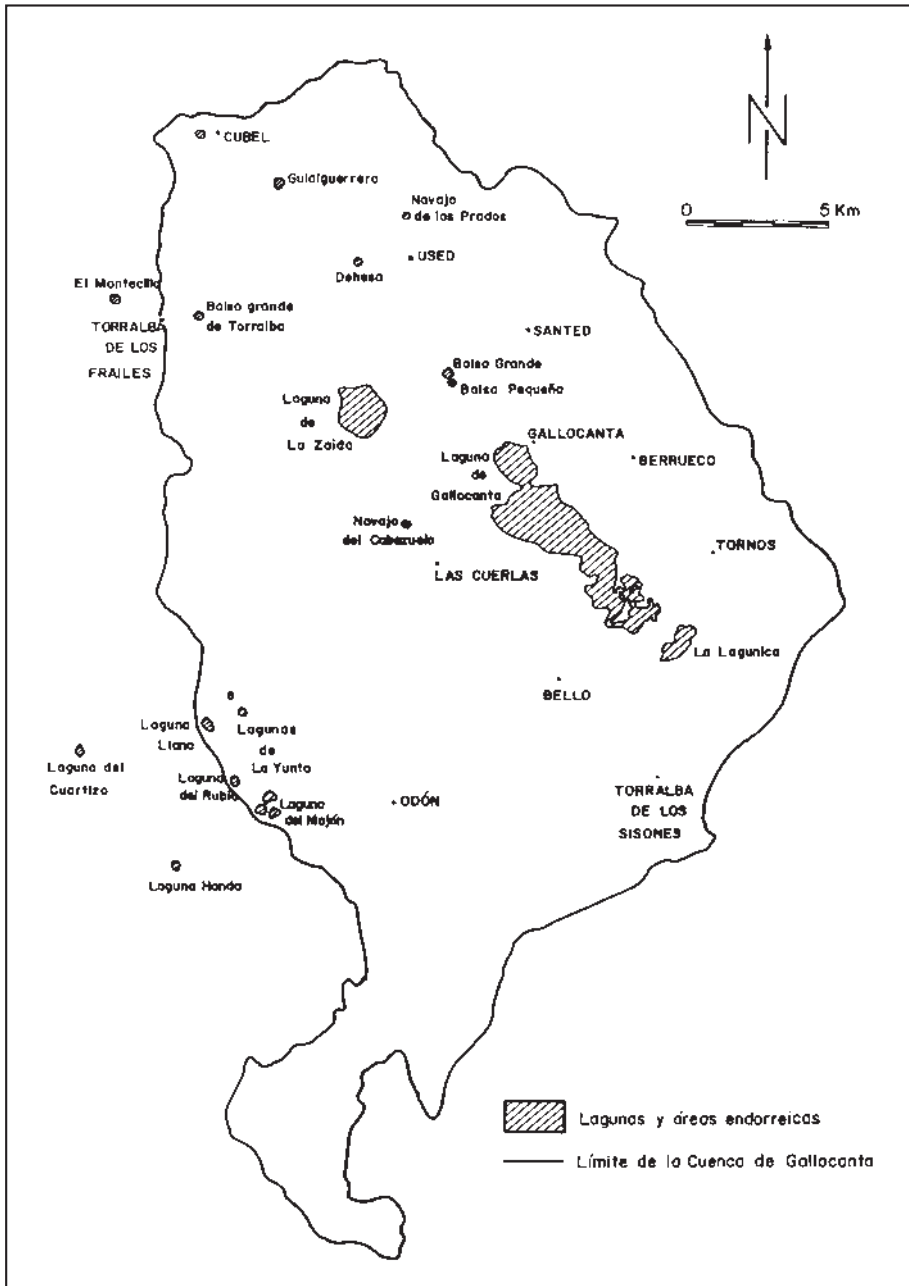


Fig. 3. Mapa general de las lagunas más importantes de la cuenca hidrográfica de Gallocanta.

venido considerando como una fosa, en la que la laguna de Gallocanta ocuparía la parte más deprimida (fot. 2). El afloramiento de las evaporitas y arcillas impermeables del Triásico superior en el fondo de la depresión sería la causa de la generación de la laguna de Gallocanta.



Fot. 2. Vista aérea de la laguna de Gallocanta. Se aprecia la circularidad del lagunazo pequeño (fotografía tomada por B. LERÁNOZ).

Las razones que permiten deducir que la depresión de Gallocanta es de origen kárstico son múltiples y resultan del estudio fotogeomorfológico y de campo de la zona, así como de una revisión crítica de trabajos previos. En primer lugar, el relleno sedimentario bajo la laguna de Gallocanta es muy escaso. En los alrededores de la laguna aparece un conjunto de depósitos detríticos de origen litoral (GRACIA y SANTOS, 1992) que morfológicamente constituyen un sistema de terrazas lacustres escalonadas, reflejo de una historia cuaternaria compleja. El apreciable desarrollo de estos depósitos litorales, de hasta 4 m de espesor, contrasta significativamente con un relleno sedimentario lacustre central muy reducido, generalmente inferior a los 2 m, tal y como se deduce del análisis de testigos de sondeos mecánicos realizados en el litoral de la laguna (PROYEX, 1980; GONZÁLEZ *et al.*, 1984).

En los citados sondeos los depósitos pliocenos infrayacentes a las acumulaciones lacustres están constituidos por arcillas rojas masivas, correspondientes a medios poco energéticos. Si la depresión de Gallocanta se hubiera generado por hundimiento tectónico en el Plioceno, sería esperable encontrar bajo los sedimentos lacustres potentes acumulaciones detríticas groseras corres-

pondientes a facies proximales de abanicos aluviales asociados a la falla activa. Sin embargo, este tipo de facies está totalmente ausente en los citados sondeos.

Estas mismas circunstancias se aprecian en los depósitos pliocenos que aparecen en los alrededores de la laguna, constituidos por cantos cuarcíticos empastados en una matriz limoarcillosa rojiza, típicos de facies proximales y medias de abanicos aluviales (OLMO *et al.*, 1983b), desarrollados sobre la Superficie de Erosión Fundamental de la Cordillera Ibérica (de edad Neógeno superior según PEÑA *et al.*, 1984). Estos depósitos presentan una pendiente deposicional que se dirige hacia la laguna, disminuyendo la granulometría en este mismo sentido. Este dispositivo señala la existencia previa de una depresión topográfica en este sector durante el Plioceno, pero invalida la hipótesis tectónica, ya que aparecen facies groseras en puntos muy alejados del frente montañoso de Valdelacasa, mientras que en las proximidades del mismo las facies son siempre muy finas. Toda esta proliferación de arcillas rojas indicaría un retrabajamiento post-plioceno de depósitos arcillosos procedentes de los relieves calcáreos circundantes, constituyendo facies típicas de desmantelamiento de *terras rossas*, características de los macizos calcáreos intensamente karstificados.

Todos estos datos hacen sospechar que la génesis de la depresión no estuvo ligada a un hundimiento tectónico, sino más bien a una progresiva profundización del fondo de la depresión por disolución criptokárstica de los afloramientos calcáreos jurásicos y cretácicos que rodean a la laguna por el sur y oeste.

Por otro lado, el escarpe de Valdelacasa no muestra indicios de actividad neotectónica como podrían ser deformaciones en depósitos recientes, facetas triangulares, marcada linealidad del frente montañoso, grandes y potentes conos de deyección en el piedemonte, anomalías geomorfológicas en la red fluvial, etc. Además, y a diferencia de lo que sucede con las fallas activas presentes en las fosas de Daroca y Jiloca, no existe una sismicidad histórica manifiesta asociada al frente montañoso de Santa Cruz (GRACIA y GUTIÉRREZ, 1996).

La revisión y actualización de las cartografías geomorfológicas previas han permitido reconocer un conjunto de cuatro superficies de corrosión kárstica encajadas en la superficie de erosión fundamental y escalonadas hacia la laguna de Gallocanta, cuya disposición concéntrica permite reconstruir la antigua extensión del polje, así como su evolución morfológica (fig. 4). La más alta supera los 1.130 m de altitud, mientras que la más baja desciende ligeramente por debajo de los 1.000 m. El desnivel entre ellas nunca supera los 50 m y sus relaciones geométricas consisten en enlaces convexo-cóncavos. Aunque estos encajamientos fueron interpretados anteriormente como posibles fallas normales que desnivelaban a la superficie de erosión fundamental (GRACIA, 1990), la observación más detallada de estos escalonamientos permite concluir que en la mayoría de los casos no se adaptan a estructuras tectónicas, hecho que ya fue puesto de manifiesto en un trabajo previo (GRACIA *et al.*, 1988).

La geometría de las superficies está caracterizada por una gran planitud (fot. 3) y unas pendientes generalmente suaves, dirigidas hacia la laguna de Gallocanta. Los límites externos del polje corresponden a la superficie más alta, la cual permite trazar una envolvente que marca el perímetro



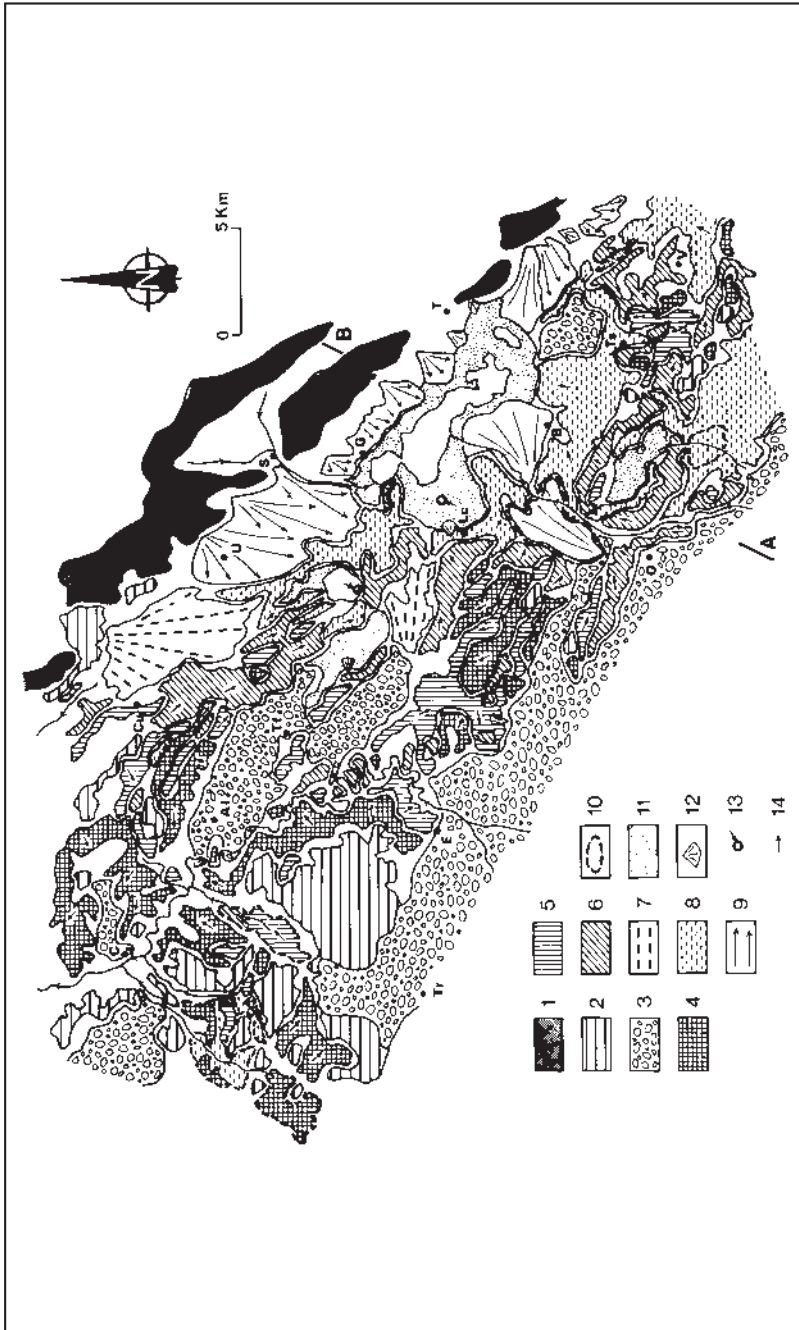


Fig. 4. Esquema geomorfológico del polje de Gallocanta. Simbología: 1. Relieve residual; 2. Superficies de erosión neógenas; 3. Depósitos terciarios; 4. Superficie de corrosión C1; 5. Superficie de corrosión C2; 6. Superficie de corrosión C3; 7. Glacis G3; 8. Superficie de corrosión C4; 9. Glacis G4; 10. Fondo de polje colgado y/o capturado; 11. Fondo de polje actual; 12. Cono de deyección; 13. Ponor; 14. Pendiente topográfica dominante.

inicial a partir del cual evolucionó esta depresión kárstica. La extensión de este primitivo polje pudo alcanzar los 500 km<sup>2</sup>. Tal y como se aprecia en la figura 4, la progresiva profundización del fondo del polje a lo largo de su evolución dio lugar a la individualización de sucesivas depresiones kársticas más pequeñas de evolución más o menos independiente, aunque siempre ligadas a las fluctuaciones del nivel freático regional y cuya evolución posterior ha sido variada. Por ejemplo, en torno a las Hoces de Torralba se reconoce una antigua depresión, en la que aparecen hasta dos superficies encajadas en la superficie primigenia, que fue luego capturada por el río Piedra (fot. 3). Algo similar sucede con el antiguo polje de Abanto-Cubel, hoy capturado por el río Ortiz, al NO de Gallocanta.

La superficie de corrosión más baja aparece colgada una decena de metros con respecto a las depresiones lacustres actuales. Se trata, por tanto, de una quinta superficie de fondo del polje, caracterizada por presentar un recubrimiento sedimentario más o menos continuo. No obstante, se reconocen también algunas depresiones endorreicas recientes, bien asociadas a la superficie de corrosión baja o bien ya encajadas en ella, que hoy día han perdido el carácter lacustre por haber sido capturadas por la red fluvial. Es el caso de los Llanos del Zamorano, al sur de la laguna de Gallocanta, que forman una amplia depresión de fondo muy plano recubierta por antiguos depósitos detríticos lacustres y capturada en épocas muy recientes por un pequeño arroyo afluente a la laguna de Gallocanta.



Fot. 3. Superficies de corrosión criptokárstica del polje de Gallocanta (C1 y C3), encajadas en los depósitos pliocenos de Torralba de los Frailes. Cañón del río Piedra en las Hoces de Torralba.

Con posterioridad al desarrollo de la superficie de corrosión más baja, la evolución del polje se vio limitada por la progresiva reducción del substrato karstificable. Los fondos actuales de la depresión de Gallocanta coinciden ya con el nivel de evaporitas y arcillas del Keuper, que impiden que el polje siga profundizando. Este nivel se alcanzó en tiempos recientes, y desde entonces el fondo del polje de Gallocanta ha pasado a funcionar como una cubeta lacustre, dado el carácter impermeable de dicho substrato. Por tanto, puede concluirse que los depósitos lacustres deben de corresponder a etapas muy recientes de evolución del polje, probablemente del Pleistoceno superior y del Holoceno, en las que se ha producido una progresiva restricción del ámbito lacustre hasta nuestros días. Esta restricción ha dado lugar al desarrollo de los diversos niveles de aterramiento lacustre, asociados a sucesivas oscilaciones del nivel de las aguas del lago a lo largo de los últimos miles de años (GRACIA, 1992 y 1995).

Simultáneamente a la formación de las superficies bajas de aplanamiento se desarrollaron diversos sistemas de conos de deyección y de abanicos aluviales modelados en glacia, que arrancan de los relieves circundantes y que enlazan con terrazas lacustres. En tiempos más recientes, los procesos kársticos parecen haber continuado, aunque afectando ya a las evaporitas triásicas (GRACIA, 1992), tal y como se deduce de la geometría marcadamente circular del tercio noroccidental de la laguna de Gallocanta (fig. 5). El mismo origen puede ser invocado para la inmensa mayoría de las lagunas existentes en toda la cuenca de Gallocanta.

## Otras morfologías superficiales

Existen otras morfologías superficiales características de los paisajes kársticos, aunque algunas de ellas pueden desarrollarse en litologías no solubles. En la zona de estudio fundamentalmente se trata de formas fluvio-kársticas.

a) *Cañones*. En la zona estudiada cabe destacar un cañón de gran desarrollo a lo largo del valle del río Piedra, entre Embid y Aldehuela de Liestos. Mide más de 20 km de longitud con un trazado muy sinuoso y paredes muy verticalizadas, cuya altura oscila entre 20 y 120 m. La anchura media del cañón es de unos 250 m en las partes superiores, mientras que apenas alcanza los 100 m en el lecho. El río Piedra en este sector constituye un valle alógeno, mientras que sus tributarios son ríos autógenos que desarrollan cañones de menor entidad.

b) *Valles ciegos*. En los alrededores de Tortuera, al SO de la depresión de Gallocanta, aparecen valles muy someros de fondo plano, cuyos trayectos se interrumpen bruscamente en sumideros. No obstante, estos valles se encuentran ocupando fondos de antiguos poljes, por lo que las formas fluviales en estos casos pueden resultar de la evolución de los mismos.

c) *Valles en saco (steep heads)*. Dentro de este tipo podría incluirse al manantial de Cimballa, que forma un anfiteatro excavado en la ladera occidental del valle del río Piedra.

d) *Valles secos*. En la zona de estudio estos valles son comunes en el sector de Montes de Guisema, al oeste de la depresión de Gallocanta. Su fondo se encuentra tapizado por arcillas. Se

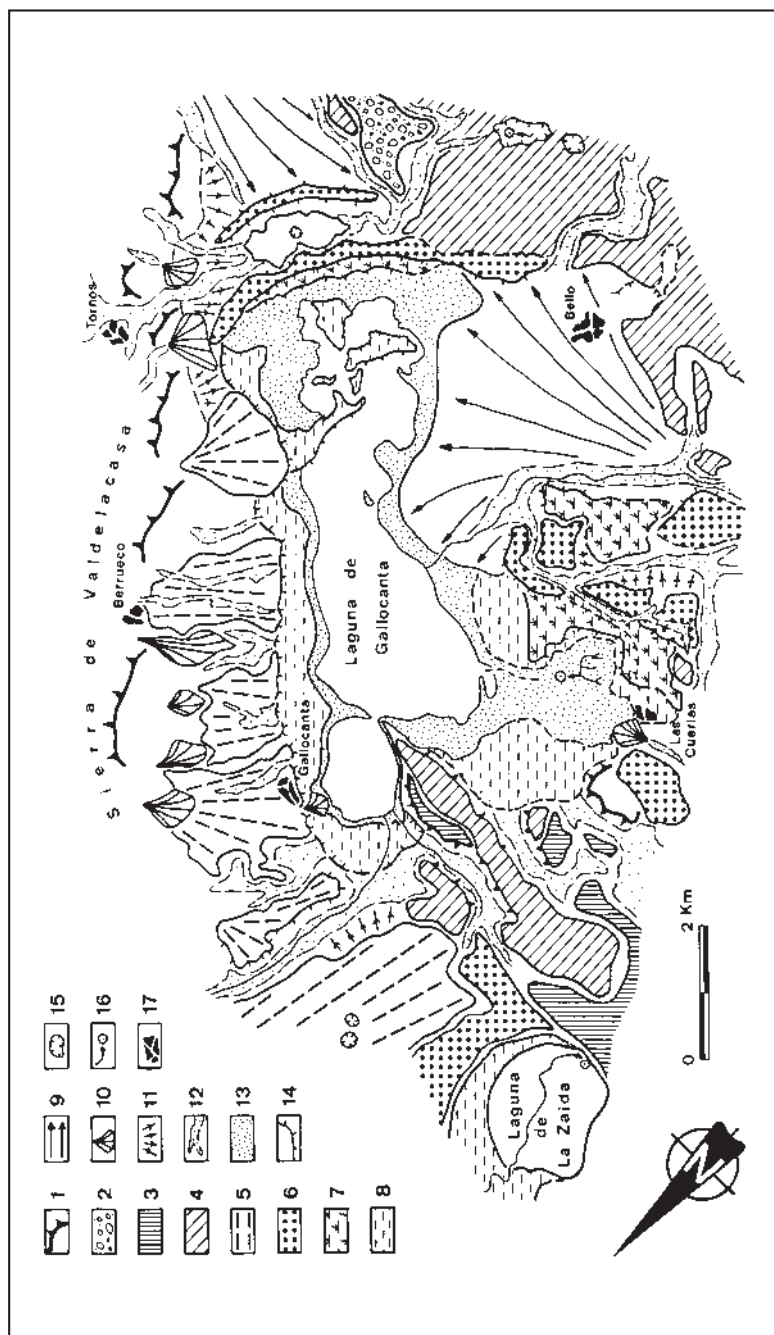


Fig. 5. Mapa geomorfológico de los alrededores de la laguna de Gallocañta. Simbología: 1. Escarpe estructural; 2. Neógeno detrítico; 3. Superficie de corrosión C3; 4. Superficie de corrosión C4; 5. Glacis G4; 6. Terraza lacustre T4; 7. Terraza lacustre T5; 8. Terraza lacustre subactual; 9. Glacis-cono subactual; 10. Cono de deyección; 11. Ladera regularizada; 12. Valle de fondo plano; 13. Llanura lacustre de inundación ocasional; 14. Escarpe en depósito cuaternario; 15. Dolina, depresión cerrada; 16. Sumidero; 17. Núcleo de población.

trata de valles muy someros cuyas laderas, muy tendidas, suelen carecer de cobertera detrítica aflorando directamente la caliza desnuda, comúnmente meteorizada dando diversas formas de lapiaz. Otras veces en su fondo se reconocen algunas dolinas en cubeta de bordes difusos. Existe un caso, entre Cimballa y los Montes de Guisema, en el que un valle (barranco de Los Calzones) está constituido en su cabecera por varias dolinas alineadas.

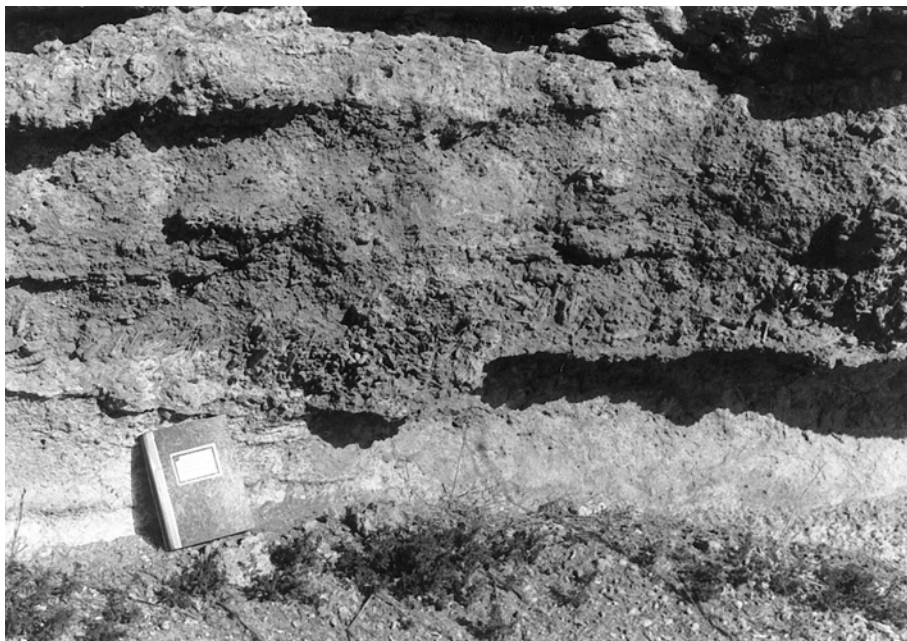
### MORFOLOGÍAS EXOKÁRSTICAS DE ORIGEN ACUMULATIVO

La reprecipitación de carbonato cálcico procedente de la disolución de unidades calcáreas es un fenómeno frecuente en los sistemas kársticos, que da lugar a formaciones travertínicas en condiciones muy diversas. Estas formas aparecen ligadas a surgencias kársticas localizadas en zonas deprimidas, fundamentalmente en los lechos de los ríos Piedra y Jiloca. En el valle del río Piedra aparece una acumulación reciente de carácter travertínico en las proximidades de Cimballa y aguas abajo de este punto. En Cimballa los travertinos están asociados al manantial del mismo nombre. Se trata de depósitos recientes, que enlazan con la terraza más baja del río, compuestos por acumulaciones carbonatadas de tallos en posición de vida no muy compactados, hojas, musgos, etc., reflejando un encostramiento en zonas de márgenes fluviales con gran proliferación de juncos y otras hidrofítas. Aguas abajo estas acumulaciones ocupan el fondo del valle hasta el Monasterio de Piedra, donde presentan un gran desarrollo.

Por otro lado, los travertinos del Jiloca presentan un desarrollo areal muy importante, de más de 5 km, desde Caminreal hasta Calamocha, ocupando el sector central del valle. Con una anchura de más de 2 km, estos depósitos alcanzan potencias de hasta 22,5 m. El río Jiloca se encaja en estos depósitos unos 9 metros, de modo que la mayor parte de las acumulaciones se encuentran por debajo del fondo del valle, registradas en diversos sondeos. Las facies más abundantes corresponden a limos masivos con tallos en posición de vida y musgos asociados a zonas de rápidos (fot. 4). Entre Fuentes Claras y El Poyo del Cid aparece un buen número de manantiales, algunos de los cuales han sido descubiertos y explotados por los agricultores de la zona mediante pozos. El carácter fuertemente incrustante de sus aguas señala una procedencia probable de un aparato kárstico, el cual podría muy bien situarse en el polje de Gallocanta (sistema hidrogeológico Piedra-Gallocanta). En cuanto a la edad de estos depósitos, una datación radiométrica mediante  $U^{234}/Th^{230}$  realizada en muestras del techo de las acumulaciones arrojó una edad de 312.000 años +/- 83.600, lo cual sitúa a dichos travertinos en el Pleistoceno medio (GRACIA y CUCHÍ, 1990). Por tanto, las potentes acumulaciones travertínicas del valle del Jiloca, muy posiblemente asociadas a la actividad kárstica del polje de Gallocanta, reflejan que los procesos kársticos de las zonas circundantes se desarrollaron con intensidad al menos hasta el Pleistoceno medio.

### FORMAS Y PROCESOS ENDOKÁRSTICOS

Los sistemas de cavidades endokársticas son conductos generados por disolución a través de los cuales se produce el transporte de agua, solutos e incluso sedimento desde la superficie hacia



Fot. 4. Travertinos de Fuentes Claras. Facies de tallos.

un punto de descarga topográficamente más bajo. Las formas asociadas a estos sistemas son diversas, aunque en general cabe diferenciar entre sumideros, surgencias y grutas.

## SUMIDEROS

Los sumideros de la zona de estudio se restringen casi exclusivamente al campo de dolinas de Tortuera, donde se han contabilizado hasta doce puntos de entrada (*sinks*). Se encuentran bastante dispersos y se trata, en general, de pequeñas áreas a lo largo de las cuales va infiltrándose el agua de un pequeño curso fluvial hasta desaparecer. Existen también algunos sumideros o *ponors* en los fondos actuales del polje de Gallocanta, localizados, fundamentalmente, en el fondo de la laguna de La Zaida y en las proximidades de la laguna de Gallocanta (fig. 5). El primero de ellos constituye el punto de entrada de un reguero débilmente encajado en el fondo de la laguna de La Zaida, mientras que el segundo se localiza en el "Prado de Las Cuerlas", constituido por una llanura de limos conectada con la laguna de Gallocanta y desecada artificialmente a mediados del presente siglo. Un pequeño sistema de regueros drena parte del flujo superficial de esta zona y desaparece en el *ponor*.

## SURGENCIAS

A unos 500 m al oeste de Cimballa se localiza una surgencia en el valle del río Piedra, con una descarga aproximada de 1.200 l/s (BATTLE *et al.*, 1979), formada por un área encharcada de unos 5.000 m<sup>2</sup> y asociada a una falla normal de dirección ibérica. No obstante, el grupo más importante de surgencias se localiza en el valle del río Jiloca, en dos sectores: Caminreal-Fuentes Claras y Cella. Las primeras aparecen entre los depósitos travertínicos ya citados. Se localizan hasta 9 manantiales, de los cuales el mayor ("Ojo Grande") presentó un caudal máximo de 112 l/s en 1989, con un nivel piezométrico muy próximo a la superficie. Los datos de quimismo de sus aguas (GRACIA y CUCHÍ, 1990) muestran altos índices de saturación de calcita, lo cual indica que la precipitación de dicho mineral continúa en la actualidad. El carácter levemente artesiano de algunos de estos manantiales es compatible con un flujo de agua subterráneo procedente de las sierras mesozoicas que bordean el valle del Jiloca, muy probablemente del cercano polje de Gallocanta. Por otro lado, el manantial de Cella constituye, con diferencia, la surgencia más importante del área de estudio. Su caudal, variable con la pluviometría, ha llegado a superar los 2.000 l/s y sus aguas proceden, muy probablemente, de la cercana Sierra de Albarracín, en la cual se localizan campos de dolinas de gran desarrollo (GUTIÉRREZ y PEÑA, 1979b). Sus aguas son después canalizadas a lo largo del valle del Jiloca hasta hacerlas confluir con el río a la altura de Caminreal. El citado manantial se encuentra muy antropizado y explotado para su uso en una instalación piscícola próxima. Históricamente dicho manantial se conoce al menos desde 1228, aunque su saneamiento y canalización artificial data del primer tercio del siglo XVIII (DELER, 1995).

## GRUTAS

En la zona de estudio se tiene conocimiento de la existencia de algunas grutas, todas de dimensiones modestas. La más importante de ellas se localiza a unos 3 km al oeste de Aldehuela de Liestos, desarrollada sobre calizas cretácicas. Se trata de una cavidad subhorizontal de unos 70 m de longitud y apenas 1 m de anchura, de la cual parten otros conductos verticales secundarios de menor tamaño. La Federación Aragonesa de Espeleología realizó en 1984 un estudio de la misma, observando tres salas principales en las que existe un cierto desarrollo de espeleotemas verticales. El suelo, muy llano, está cubierto por limos y arcillas, así como por bloques y fragmentos caídos, lo cual es indicativo de inactividad actual. La dirección de alargamiento de la gruta parece reflejar probablemente un control estructural. Finalmente, otras cavidades menores se localizan a lo largo del cañón del río Piedra, en forma de conductos de gran tamaño y pequeñas cavidades de escaso desarrollo. Todas estas grutas son de carácter fósil, totalmente secas, sin conexión aparente con un sistema exokárstico o con surgencias. Su dinámica debió de ser activa en tiempos pasados, asociadas a un nivel de base kárstico regional más alto, o bien a un periodo climático más húmedo, en cualquier caso intracuaternario. Todas tienen dimensiones reducidas, lo cual no significa que no pueda existir un sistema endokárstico más complejo y de mayores dimensiones en otras zonas más favorables.

## CONSIDERACIONES CRONOLÓGICAS Y EVOLUTIVAS

El amplio conjunto de formas kársticas presentadas se ha desarrollado a lo largo de un dilatado periodo de tiempo. El inicio de generación de estas formas puede considerarse como posterior a la elaboración de la superficie de erosión fundamental de la Cordillera Ibérica, puesto que se superponen a ella (polje de Gallocanta, campos de dolinas, campos de lapiaces, etc.). Podemos concluir, por tanto, que las principales formas kársticas de la zona tienen una edad post-pliocena. La morfología kárstica más importante reconocida en la zona de estudio es el polje de Gallocanta. Su génesis estuvo ligada a un cierto drenaje hídrico hacia la falla de Valdelacasa, la cual constituye una barrera hidrogeológica que permitió el desarrollo del polje al pie de la Sierra de Santa Cruz-Valdelacasa. Por ello, no hay que descartar una pulsación tectónica intrapliocena de la falla de Valdelacasa, coincidiendo probablemente con la fase tectónica que dio lugar a las fosas de Daroca y Jiloca (GRACIA y GUTIÉRREZ, 1996). Esta pulsación pudo producir un leve hundimiento de la superficie de erosión fundamental al pie de la falla, condicionando así un drenaje hacia esta zona y favoreciendo el inicio de una karstificación superficial generalizada que supondría el comienzo de generación del polje.

A lo largo del Cuaternario se desarrollaron varias superficies de corrosión escalonadas en el polje de Gallocanta. Su escalonamiento debió de estar controlado por sucesivas fluctuaciones del nivel freático, relacionadas seguramente con factores alogénicos de índole regional: cambios climáticos, procesos de captura fluvial de las cuencas terciarias circundantes, etc. Finalmente, una vez que la profundización criptokárstica alcanzó el substrato impermeable (Keuper margoyesífero), los procesos de karstificación se detuvieron y el polje quedó abortado. El afloramiento del substrato triásico impermeable dio lugar al encharcamiento de las aguas superficiales en el fondo de la depresión, originando un lago más o menos permanente en función de las oscilaciones pluviométricas. La generación de varias terrazas lacustres tuvo lugar después de la interrupción de la profundización del polje.

Simultáneamente a la evolución del polje de Gallocanta se desarrollaron otros procesos kársticos en la zona de estudio. Entre ellos hay que destacar la dolinización, tanto de la superficie de erosión fundamental como de las sucesivas superficies de corrosión del polje, proceso que continuó a lo largo del Plioceno superior-Cuaternario. Algunas depresiones kársticas llegan a afectar a la superficie acumulativa de los travertinos del Jiloca, por lo que la dolinización ha continuado hasta tiempos recientes. No obstante, algunas de las dolinas desarrolladas sobre la superficie de erosión fundamental aparecen hoy degradadas, semirrellenas por sedimentos, parcialmente capturadas por la red fluvial, etc. Por tanto, los procesos de dolinización han evolucionado de manera independiente en unos lugares y otros, dependiendo del momento en que iniciaron su actividad y también de la proximidad y evolución del nivel de base kárstico local.

La evolución de dicho nivel de base kárstico también controló el desarrollo de un incipiente endokarst en los macizos carbonatados de la zona, representado por algunas grutas, sumideros y surgencias repartidas a lo largo de los afloramientos calcáreos. Las grutas conocidas están hoy día inactivas y secas, lo cual indica que debieron de ser funcionales en épocas cuaternarias más húme-



das. Las fluctuaciones climáticas cuaternarias también afectaron a las microformas kársticas superficiales. Así, las morfologías de lapiaz cubierto aparecen casi siempre exhumadas; dado que se generan bajo un suelo, debe tratarse de formas heredadas, tal y como han observado otros autores en diversos puntos de la cordillera (GUTIÉRREZ y PEÑA, 1979a y b). Además, la superposición de lapiaces cubiertos exhumados sobre otros previos de karst desnudo indica una evolución compleja de las superficies karstificadas, con alternancia de épocas húmedas con desarrollo edáfico y otras más secas en las que éste estuvo ausente.

En general, puede hablarse de una progresiva ralentización de los procesos kársticos en la zona, debido tanto a una paulatina aridificación climática como a la profundización de los niveles de base fluviales. De igual forma, el polje de Gallocanta se encuentra en vías de captura fluvial, tanto por el NW (hacia el río Piedra) como por el SE (hacia el río Jiloca). En la actualidad se observan algunos procesos de karstificación muy débiles asociados a los fondos de algunas dolinas, así como a las superficies desnudas de calizas mesozoicas. La carbonatación parcial de las aguas superficiales y subsuperficiales se refleja en los procesos actuales de recubrimiento espeleotémico en los travertinos de Fuentes Claras, así como en la precipitación de carbonatos tobáceos en el manantial de Cimballa.

Finalmente, por todas las características descritas, el karst que nos ocupa puede ser considerado como un "merokarst" dentro de la clasificación de CVIJIC (1918), que da formas de absorción circulares, circulación vertical y horizontal y surgencias periféricas. Según la clasificación de LLOPIS (1970), se trataría en general de un karst pluvial con alimentación alóctona. También podría hablarse de un "fluviokarst" relicto, en el sentido de SWEETING (1972), ya que coexisten las formas kársticas con las fluviales (ríos alógenos, gargantas, lapiaz, dolinas, poljes, etc.). En cuanto a su estado evolutivo, estaríamos ante un karst senil policíclico, con la existencia de formas vivas y muertas, donde predominan las segundas.

## IMPlicACIONES AMBIENTALES DE LOS PROCESOS KÁRSTICOS

Un aspecto importante en el estudio de los procesos kársticos es el relacionado con su posible interacción con la actividad humana. Aunque la intensidad actual de dichos procesos en la zona de estudio es muy reducida, existe una clara potencialidad de interferencia con los asentamientos humanos, así como con los usos agrícolas y ganaderos, vías de comunicación, etc. Las diversas posibilidades de interacción son múltiples: procesos kársticos que pueden afectar negativamente a las actividades humanas (es decir, riesgos geológicos de origen kárstico), usos antrópicos que pueden interferir con la estabilidad y preservación de las formas kársticas, o bien actividades en general que a través de los procesos kársticos pueden originar consecuencias no deseadas (impactos ambientales), etc.

Uno de los procesos kársticos que más directamente pueden afectar a los asentamientos humanos es el colapso del techo de cavidades próximas a la superficie. Aunque no abundan las simas y dolinas de colapso, la extracción de aguas subterráneas en zonas de cultivo intensivo puede afectar

a la dinámica hidrogeológica kárstica a través de un descenso del nivel freático kárstico, el cual puede catalizar los procesos de disolución y posterior colapso. En la zona de estudio estos fenómenos pueden desarrollarse en el área de Fuentes Claras-Caminreal, donde la existencia de dolinas afectando a las acumulaciones travertínicas nos habla de un proceso de disolución subsuperficial activo en la actualidad. La alta proliferación de pozos para regadío en esta zona puede suponer una situación potencial de riesgo de subsidencia kárstica que convendría tener en cuenta de cara a un uso más racional y seguro de los recursos hidráulicos de dicho sector. Por otro lado, en la depresión de Gallocanta, el riesgo de subsidencia kárstica está asociado al substrato evaporítico, en su mayor parte fosilizado por una cobertera detritica permeable. Aunque en este sector no abundan los puntos de extracción masiva de aguas subterráneas, el posible aumento de su número podría favorecer el desarrollo de estos fenómenos de subsidencia, además de provocar un descenso del nivel freático que afectaría a la estabilidad del nivel de agua de la laguna.

Otra forma de interacción está relacionada con el uso de fertilizantes y pesticidas en los campos de cultivo desarrollados sobre los terrenos kársticos. Dichas sustancias pueden ser disueltas por las aguas de escorrentía y contaminar tanto a las manifestaciones hídricas superficiales (ríos Piedra y Jiloca, laguna de Gallocanta) como a los acuíferos kársticos. La contaminación de un ecosistema altamente sensible como es la laguna de Gallocanta puede producir daños importantes en las comunidades bióticas que la ocupan (asociaciones algales y microorganismos que constituyen la base de la cadena trófica que sustenta a la ornitofauna de este humedal). Asociado a este proceso hay que resaltar las labores de roturación de los márgenes de la laguna dentro de la zona de protección de la misma, que pueden deteriorar las comunidades de plantas halófilas desarrolladas en su litoral. Los recursos hídricos asociados a las surgencias kársticas de Cimballa, Fuentes Claras, Cella, etc., podrían verse también afectados por vertidos realizados incluso en zonas alejadas de las mismas.

Por último, la actividad humana puede provocar el deterioro de parajes kársticos de interés cultural y paisajístico. Además del citado caso de la laguna de Gallocanta, conviene incluir aquí el caso de la Hoces de Torralba, formadas por la garganta del río Piedra entre Embid y Cimballa. Afortunadamente, este paraje de indudable interés paisajístico, ecológico y espeleológico, no recibe hoy una afluencia masiva de visitantes, debido a las dificultades de acceso. No obstante, sería importante desarrollar las oportunas medidas de protección ambiental del mismo, de cara a preservar sus características tanto paisajísticas como ecológicas.

## CONCLUSIONES

Con el objeto de conocer con detalle las morfologías kársticas existentes en las depresiones de Gallocanta y Jiloca se ha realizado un estudio geomorfológico detallado mediante trabajos de fotointerpretación y de campo. Dicho estudio ha permitido reconocer una amplia variedad de morfologías kársticas asociadas a los afloramientos carbonatados mesozoicos de la zona, tanto micro, meso y macromorfologías de disolución superficial, como formas endokársticas y depósitos de origen kárstico.

Entre las primeras se ha reconocido una variada gama de lapices, tanto desnudos como cubiertos y exhumados. También se han identificado numerosas mesoformas de disolución, representadas por depresiones kársticas, tanto aisladas como agrupadas en campos de dolinas. Como macroformas de disolución superficial se ha reconocido un polje de grandes dimensiones ocupando la actual depresión de Gallocanta. Dicho polje, ya inactivo por alcanzar el substrato impermeable, está caracterizado por un conjunto de superficies de corrosión escalonadas hacia la actual laguna de Gallocanta. El estudio detallado del citado polje ha permitido inferir el momento de generación de dicha laguna, en torno al Pleistoceno superior, así como su posible relación con la evolución fluvio-kárstica de la vecina depresión del Jiloca. Otras formas superficiales estudiadas son los valles kársticos, representados fundamentalmente por valles ciegos, valles secos y gargantas, entre las que destaca el cañón del río Piedra en las Hoces de Torralba, cuyo desarrollo parte de la evolución tardía y captura fluvial de un polje subordinado al sistema de Gallocanta. Por otro lado, las manifestaciones endokársticas de la zona están representadas por sumideros, surgencias y grutas. Los primeros se localizan, preferentemente, en los fondos actuales del polje de Gallocanta. Las surgencias aparecen en los fondos de los valles de los ríos Piedra y Jiloca. En cuanto a las grutas, los casos conocidos son muy escasos, de poco desarrollo y con escasa o nula funcionalidad actual.

El conjunto de formas kársticas reconocidas se desarrolló fundamentalmente a lo largo del Cuaternario y su evolución estuvo ligada a las sucesivas fluctuaciones climáticas y a las oscilaciones del nivel freático regional. Hoy día aparecen como formas relictas con escasa funcionalidad, características de un karst senil cuyas implicaciones ambientales (riesgos kársticos) son muy reducidas, aunque en determinados sectores presenta un apreciable interés paisajístico que conviene preservar.

## BIBLIOGRAFÍA

- BALLARÍN, I. (1986), *La Laguna de Gallocanta, refugio nacional de caza*, DGA, 8 págs.
- BATLLE, A.; DOBLAS, J. e IGLESIAS, A. (1979), «Proyecto de investigación de la Cuenca del Ebro. Síntesis de resultados», 2.º *Simp. Nac. Hidrogeología*, Pamplona, secc. 1.ª, Hidrogeol., 4, pp. 391-414.
- BÖGLI, A. (1960), «Solution of limestones and karren formation», *Zeit. f. Geomorph.*, Supp. Bd. 2, pp. 4-21.
- CALVO, J.; GONZÁLEZ, J.M.; GONZÁLEZ, J. y VILLENA, J. (1978), «Primeros datos sobre la sedimentación de dolomías en la Laguna de Gallocanta (provs. de Zaragoza y Teruel)», *Tecniterrae*, 21, pp. 1-9.
- CASCALES, J.C.; DOBLAS, J.G. y GARRIDO, M. (1979), «Hidrogeología de la Laguna de Gallocanta», 2.º *Simp. Nac. Hidrogeol.*, Pamplona, secc. 1.ª, Hidrogeol., 4, pp. 431-446.
- CLARK, P. y EVANS, F.C. (1954), «Distance to nearest neighbour as a measure of spatial relationships in populations», *Ecology*, 35, pp. 445-453.
- CVIJIC, J. (1918), «L'hydrographie souterraine et l'évolution morphologique du karst», *Rev. Géogr. Alp.*, 6, pp. 375-426.
- DANTÍN CERECEDA, J. (1941), «La laguna salada de Gallocanta (Zaragoza)», *Est. Geogr.*, 3, pp. 269-303.
- DELER, P.P. (1995), *La fuente de Cella*, Teruel, A.G. Perruca, 46 págs.

- GONZÁLEZ, J.; FERNÁNDEZ-NIETO, C. y GONZÁLEZ, J.M. (1984), «Los minerales de la arcilla de la Laguna de Gallocanta (Zaragoza y Teruel)», *I Congr. Esp. de Geología*, Segovia, vol. II, pp. 243-254.
- GRACIA, F.J. (1987), «Controles morfométricos de los campos de dolinas en el sector central de la Cordillera Ibérica», *Cuaternario y Geomorfología*, 1, pp. 119-134.
- (1990), *Geomorfología de la región de Gallocanta (Cordillera Ibérica central)*, Tesis Doctoral, Univ. de Zaragoza, 660 págs.
  - (1991), «Criterios de clasificación morfométrica de campos de dolinas», *Cuaternario y Geomorfología*, 5, pp. 65-76.
  - (1992), «Papel de la karstificación en la evolución cuaternaria de la Laguna de Gallocanta (provincia de Zaragoza)», *Actas del III Congr. Geol. España*, Salamanca, S.G.E., vol. II, pp. 58-62.
  - (1995), «Shoreline forms and deposits in Gallocanta Lake (NE Spain)», *Geomorphology*, 11, pp. 323-335.
- GRACIA, F.J. y CUCHÍ, J.A. (1990), «Control tectónico de los travertinos fluviales del río Jiloca (Cordillera Ibérica)», *2.ª Reun. Cuaternario Ibérico*, Madrid, AEQUA y GTPEQ, vol. 2, pp. 697-706.
- GRACIA, F.J.; GUTIÉRREZ, M. y LERÁNOZ, B. (1988), «Las superficies de erosión neógenas en el sector central de la Cordillera Ibérica», *Rev. Soc. Geol. España*, 1, pp. 125-142.
- GRACIA, F.J. y GUTIÉRREZ, F. (1996), «Neotectónica y sismicidad del Valle del Jiloca y sus alrededores», *Xiloca*, 17, pp. 165-206.
- GRACIA, F.J.; OLIVÉ, A. y GUTIÉRREZ, M. (1996a), «Fosas del Jiloca y de Gallocanta», *XXX Curso de Geología Práctica*, Univ. de Verano de Teruel, pp. 139-156.
- GRACIA, F.J.; GUTIÉRREZ, F. y GUTIÉRREZ, M. (1996b), «Los poljes de la región de Layna (Cordillera Ibérica noroccidental)», *Cuaternario y Geomorfología*, 10, pp. 33-45.
- GRACIA, F.J. y SANTOS, J.A. (1992), «Caracterización sedimentológica y modelo deposicional costero de una terraza lacustre pleistocena en la Laguna de Gallocanta (provincia de Zaragoza)», *Symposium sobre Sedimentación Lacustre*, III Congr. Geol. España, Salamanca, vol. I, pp. 98-107.
- GUTIÉRREZ, M. y PEÑA, J.L. (1979a), «El karst de los Llanos de Pozondón (prov. de Teruel)», *Teruel*, 61-62, pp. 39-46.
- (1979b), «El karst de Villar del Cobo (Sierra de Albarracín)», *Est. Geol.*, 35, pp. 651-654.
  - (1989), «El karst de la Cordillera Ibérica», *El karst en España*, Monogr. de la S.E.G., n.º 4, pp. 151-162.
- GUTIÉRREZ, M.; PEÑA, J.L. y SIMÓN, J.L. (1982), «El polje de Vistabella del Maestrazgo (prov. de Castellón)», *Actas Reun. Monogr. sobre el Karst*, Larra, pp. 95-104.
- (1983), «Los poljes de la región Torrijas-Abejuela (provs. de Teruel, Castellón y Valencia)», *Teruel*, 69, pp. 99-108.
- GUTIÉRREZ, M. y VALVERDE, M. (1994), «El sistema de poljes del río Guadazaón (Cordillera Ibérica, prov. de Cuenca)», *Cuaternario y Geomorfología*, 8, pp. 87-95.
- GUTIÉRREZ, F.; GRACIA, F.J. y GUTIÉRREZ, M. (1996), «Consideraciones sobre el final del relleno endorreico de las fosas de Calatayud y Teruel y su paso al exorreísmo. Implicaciones morfoestratigráficas y estructurales», *Cuad. Laboratorio Xeoloxico de Laxe*, 21, La Coruña, pp. 23-43.
- HERNÁNDEZ, A.; OLIVÉ, A.; MOISSENET, E.; PARDO, G.; VILLENA, J.; PORTERO, J.M. y GUTIÉRREZ, M. (1983a), *Memoria y Mapa Geológico de España, E.1:50.000. Hoja n.º 491, Calamocha*, Madrid, Instituto Geológico y Minero de España, 73 págs.

- HERNÁNDEZ, A.; RAMÍREZ, J.I.; OLIVÉ, A. y RIBA, O. (1983b), *Memoria y Mapa Geológico de España, E.1:50.000. Hoja n.º 566, Cella*, Madrid, Instituto Geológico y Minero de España, 68 págs.
- HERNÁNDEZ, A.; GODOY, A.; ÁLVARO, M. y RAMÍREZ, J.I. (1985), *Memoria y Mapa Geológico de España, E.1:200.000. Hoja n.º 47, Teruel*, Madrid, Instituto Geológico y Minero de España, 192 págs.
- HERNÁNDEZ PACHECO, F. y ARANEGUI, P. (1926), «La Laguna de Gallocanta y geología de sus alrededores», *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.*, t. XXVI, Madrid, pp. 419-429.
- JENNINGS, J.N. (1985), *Karst Geomorphology*, Blackwell, 239 págs.
- LLOPIS, N. (1970), *Fundamentos de hidrogeología kárstica*, Ed. Blume, 269 págs.
- LOZANO, M.V. (1988a), *Estudio geomorfológico de las Sierras de Gúdar (prov. de Teruel)*, Tesis Doctoral, Facultad de Filosofía y Letras, Univ. de Zaragoza, 804 págs.
- (1988b), «Los poljes del sector de Mosqueruela (Serranías de Gúdar-Maestrazgo, provincia de Teruel)», *Cuaternario y Geomorfología*, 2, pp. 57-66.
- LOZANO, M.V. y JIMÉNEZ, A. (1990), «El karst de los llanos de Villaseco (Cordillera Ibérica oriental, provincia de Teruel)», *I Reun. Nac. de Geomorfología*, S.E.G., tomo I, pp. 115-124.
- MOISSENET, E. (1980), «Relief et déformations récentes: trois transversales dans les fossés internes des chaînes ibériques orientales», *R.G.P.S.O.*, 51, pp. 315-344.
- OLAVERRI, T. y REY, R. (1980), *Mapa geológico de la Península Ibérica, Baleares y Canarias, E.1:1.000.000*, Madrid, Instituto Geológico y Minero de España.
- OLIVÉ, A.; HERNÁNDEZ, A.; MOISSENET, E.; PARDO, G.; VILLENA, J. y GUTIÉRREZ, M. (1983), *Memoria y Mapa Geológico de España, E.1:50.000. Hoja n.º 516, Monreal del Campo*, Madrid, Instituto Geológico y Minero de España, 62 págs.
- OLMO, P. del; PORTERO, J.M. y GUTIÉRREZ, M. (1983a), *Memoria y Mapa Geológico de España, E.1:50.000. Hoja n.º 464, Used*, Madrid, Instituto Geológico y Minero de España, 74 págs.
- OLMO, P. del; PORTERO, J.M.; VILLENA, J.; PARDO, G. y GUTIÉRREZ, M. (1983b), *Memoria y Mapa Geológico de España, E.1:50.000. Hoja n.º 490, Odón*, Madrid, Instituto Geológico y Minero de España, 76 págs.
- PEÑA, J.L.; ECHEVERRÍA, M.T. y JIMÉNEZ, A. (1991), «El sistema de poljes de Guadalaviar-Villar del Cobo-Frías de Albarracín (prov. de Teruel)», *Teruel*, 82, pp. 79-100.
- PEÑA, J.L.; GUTIÉRREZ, M.; IBÁÑEZ, M.J.; LOZANO, M.V.; RODRÍGUEZ, J.; SÁNCHEZ, M.; SIMÓN, J.L.; SORIANO, M.A. y YETANO, L.M. (1984), *Geomorfología de la provincia de Teruel*, Teruel, Instituto de Estudios Turolenses, 149 págs.
- PEÑA, J.L.; GUTIÉRREZ, M. y SIMÓN, J.L. (1987), «El polje de Barracas-Alcotas (provs. de Castellón y Teruel)», *Actas VII Reun. sobre el Cuaternario*, Santander, pp. 135-138.
- PEÑA, J.L.; LOZANO, M.V.; SÁNCHEZ, M.; JIMÉNEZ, A.; ECHEVERRÍA, M.T. y MOYA, C. (1996), «Los campos de dolinas y los sistemas de poljes de la Sierra de Albarracín», *Geomorfología de la Sierra de Albarracín*, XI Curso de Geografía Física. Univ. Verano de Teruel, pp. 83-107.
- PROYEX (1980), *Estudio de impactos ambientales sobre la Laguna de Gallocanta por la acción del desarrollo agrario*, Madrid, CEOTMA/MOPU, 184 págs.
- RAMÍREZ, J.I.; OLIVÉ, A. y MOISSENET, E. (1983), *Memoria y Mapa Geológico de España, E.1:50.000. Hoja n.º 541, Santa Eulalia*, Madrid, Instituto Geológico y Minero de España, 71 págs.

- SÁNCHEZ FABRE, M. (1990), «Los poljes de la región de Fuentelespino de Moya (Serranías de Cuenca)», *I Reun. Nac. Geomorfología*, S.E.G., tomo I, pp. 135-146.
- SOLÉ, L. y RIBA, O. (1952), «El relieve de la Sierra de Albarracín y zonas limítrofes de la Cordillera Ibérica», *Teruel*, 7, pp. 7-22.
- SUÁREZ, F.; SÁINZ, H.; SANTOS, T. y GONZÁLEZ-BERNÁLDEZ, F. (1991), *Las Estepas Ibéricas*, Madrid, Ministerio de Obras Públicas y Transportes.
- SWEETING, M.M. (1972), *Karst landforms*, Macmillan Press, 362 págs.
- VILLENA, J. (1969), «Mapa geológico de la Laguna de Gallocanta (Teruel-Zaragoza) y sus alrededores», *Guía Excur. V Reun. Grupo Esp. Sedimentología*, Pamplona.
- YETANO, L.M. (1980), *El Sistema Ibérico zaragozano: los macizos paleozoicos y su entorno. Estudio geomorfológico*, Tesis Doctoral, Fac. Filosofía y Letras, Univ. Zaragoza, 207 págs.

Recibido el 22 de febrero de 1999

Aceptado el 4 de marzo de 1999



**LAS FORMACIONES TRAVERTÍNICAS DE  
LA CUENCA ALTA DEL RÍO MIJARES  
(PROVINCIA DE TERUEL)**



*M.<sup>a</sup> Victoria Lozano Tena, Carlos Sancho Marcén  
y José Luis Peña Monné*





# LAS FORMACIONES TRAVERTÍNICAS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO MIJARES (PROVINCIA DE TERUEL)\*

*M.<sup>a</sup> Victoria Lozano Tena\*\* , Carlos Sancho Marcén\*\*\*  
y José Luis Peña Monné\*\*\*\**

## RESUMEN

Se estudian las formaciones travertínicas existentes en el cañón del río Mijares, en el sector oriental de la Cordillera Ibérica turolense. Se han diferenciado dos etapas constructivas (Hoz I y Hoz II), que han sido definidas por sus características estructurales y facies, estableciéndose su edad mediante análisis isotópicos de U/Th y de C-14 entre 200.000-50.000 (Hoz I) y 10.000-5.000 B.P. (Hoz II). La existencia en esta área de rupturas del perfil longitudinal por accidentes tectónicos se interpreta como factor favorable para el proceso de sedimentación de grandes espesores de carbonato (120 m en Hoz I y 35 m en Hoz II). Por ello, aunque la causa principal para la formación de estos edificios travertínicos es climática, existen indicios de actividad neotectónica cuaternaria que han podido determinar rasgos especiales en el depósito y en su cronología.

**Palabras clave:** Cordillera Ibérica, río Mijares, travertinos, neotectónica, C-14, U/Th, Cuaternario.

\* Trabajo realizado con una Ayuda a la Investigación del Instituto de Estudios Turolenses concedida en el año 1995.

\*\* Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales de Teruel. Universidad de Zaragoza.

\*\*\* Facultad de Ciencias. Universidad de Zaragoza.

\*\*\*\* Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Universidad de Zaragoza.

## ABSTRACT

*The travertine formations in the Mijares river canyon (province of Teruel).*

We have studied the travertine formations existing in the Mijares river canyon, at the oriental sector of the Iberian Range (Teruel province). We have differentiated between two building phases (Hoz I and Hoz II) that have defined by their structural characteristics, dating their age with isotopical U/Th and <sup>14</sup>C analyses between 200.000-50.000 B.P. (Hoz I) and 10.000-5.000 B.P. (Hoz II). The broken longitudinal profile in this area due to faulting activity is interpreted as a favorable factor for the sedimentation of great carbonate thickness (120 m at Hoz I and 35 m at Hoz II). That's why, although the main reason for the formation of these travertine accumulations is climatic, there are signs of quaternary neotectonics activity that can determinate special features in the deposits and in their chronology.

**Key words:** Iberian Range, Mijares river, travertine deposits, neotectonics, <sup>14</sup>C, U/Th, Quaternary.

## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Las construcciones travertínicas fluviales constituyen, en general, la respuesta sedimentaria externa de la dinámica de los sistemas kársticos (NICOD, 1981; MAGNIN *et al.*, 1991), durante las etapas cálidas y húmedas del Cuaternario. Se localizan preferentemente en zonas de descarga de acuíferos carbonatados karstificados que suministran aguas con contenidos altos de CO<sub>2</sub>. Esta concentración, que inicialmente está controlada por las condiciones climaticambientales, va a regular la precipitación del carbonato a partir de la desgasificación física y/o biológica producida (JULIA, 1983; VILES y GOUDIE, 1990; FORD y PEDLEY, 1996; ORDÓÑEZ *et al.*, 1990, 1997).

En los cursos fluviales, posibles modificaciones externas al sistema pueden activar o inhibir la desgasificación y en consecuencia la nucleación y desarrollo de los edificios travertínicos. Normalmente estas modificaciones están relacionadas con el afloramiento de formaciones de naturaleza litológica diversa que introducen discontinuidades morfotopográficas, hidrológicas e hidroquímicas en el sistema fluvial travertínico (SANCHO *et al.*, 1997). En otras ocasiones, sobre todo para tiempos recientes y actuales, estos cambios pueden estar relacionados con la actividad antrópica (DÍAZ del OLMO, 1989; GOUDIE *et al.*, 1993). No obstante, en situaciones concretas, es posible que estas modificaciones morfotopográficas e hidrológicas puedan estar también controladas por factores tectónicos. Si bien existen algunos trabajos en los que se valora el papel de la tectónica en el desarrollo de travertinos termógenos (PENTECOST, 1996), casi no existen referencias a trabajos previos en los que se indique el control tectónico en el desarrollo de travertinos ligados a sistemas meteógenos. AHMAMOU *et al.* (1989) indican en la cuenca de Fez-Meknes (Marruecos) la existencia de barreras travertínicas nucleadas en puntos de fuerte pendiente relacionada con una actividad tectónica sinsedimentaria pliocena. Por otro lado, HEIMAN y SASS (1989) valoran también el papel de la tectónica en la formación de los travertinos pleistocenos de la cuenca de Hula (Israel), seña-

lando que la reactivación de las fracturas durante el Pleistoceno superior es la causante del cese de la acumulación travertínica debido al incremento de la velocidad del flujo de agua y a la consiguiente disminución del tiempo de residencia del agua en el sistema.

En este trabajo se pretende iniciar el análisis del conjunto de factores que controlan la aparición y desarrollo de las construcciones travertínicas del río Mijares en el sector del Molino de la Hoz (Cordillera Ibérica suroriental), prestando atención especial al posible papel que juega la tectónica como agente que condiciona el contexto morfotopográfico e hidrodinámico en el que tiene lugar toda esta actividad travertínica.

## ÁREA DE ESTUDIO

El cañón fluvial del río Mijares en el sector del Molino de la Hoz se localiza en el extremo SE de la provincia de Teruel (fig. 1), unos 5 km al W de la localidad de Olba. Desde un punto de vista geológico (fig. 2) (GAUTIER, 1974; PARICIO, 1985) el área de estudio queda incluida en la depresión del Mijares, dentro del sector suroriental de la Cordillera Ibérica. Afloran materiales del Jurásico y Cretácico correspondientes a ambientes marinos y transicionales. Por encima aparecen varias unida-

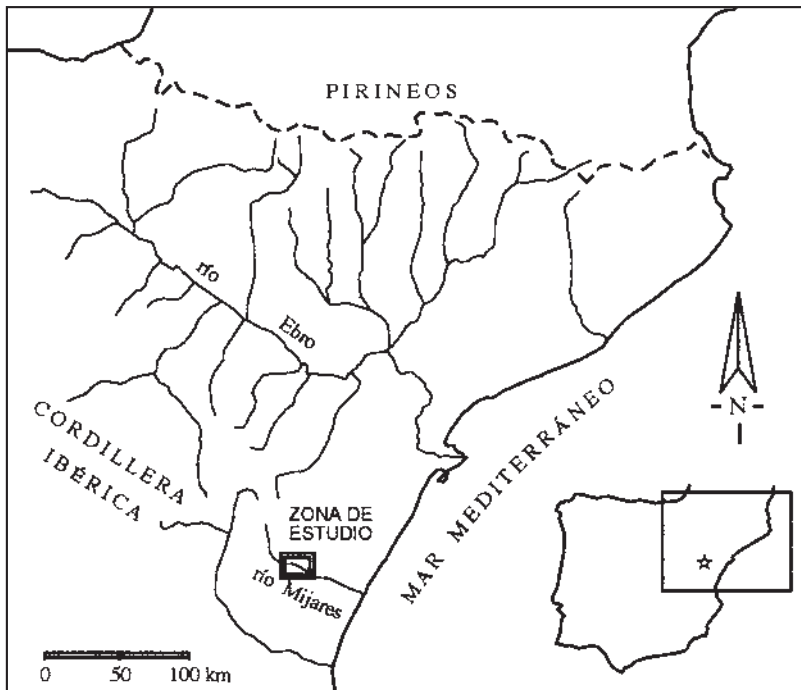


Fig. 1. Situación geográfica del área de estudio.

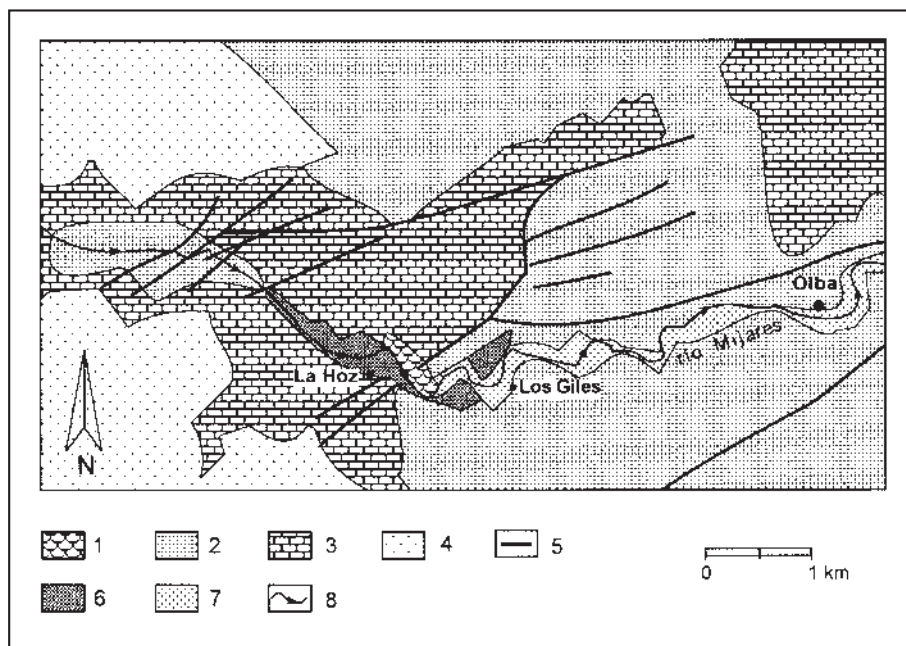


Fig. 2. Esquema geológico del entorno del Molino de la Hoz en el río Mijares elaborado a partir de datos de GAUTIER (1974) y PARICIO (1985). 1. Jurásico; 2. Cretácico; 3. Mioceno inferior (conglomerados y calizas travertínicas); 4. Mioceno superior-Pliocuaternario (conglomerados y arcillas); 5. Fallas; 6. Travertinos del Molino de la Hoz; 7. Cuaternario fluvial; 8. Río Mijares.

des neógenas de carácter continental, una inferior de naturaleza conglomerática y travertínica, que termina en el Vallesiense, y otra superior de naturaleza predominantemente terrígena, que alcanza hasta el Plioceno. La región se encuentra afectada por una tectónica de cobertera sencilla con estructuras de dirección NNW-SSE, compartimentadas por fracturas ortogonales. Se ha interpretado la existencia de dos fases compresivas hasta el Vallesiense y una etapa distensiva posterior.

Geomorfológicamente (PEÑA *et al.*, 1984; LOZANO, 1988), la región estudiada queda incluida en el sector suroriental de la depresión de La Puebla de Valverde-Sarrión, también denominada depresión Sarrión-Mijares. Se trata de una morfoestructura negativa con dirección ibérica, generada durante la distensión del Plioceno superior, que separa los domos de Gúdar y Javalambre. El rasgo morfológico esencial de esta área es la existencia de dos niveles de glacia villafranquienses, que hacia el sector suroriental dejan paso a modelados estructurales elaborados por el encajamiento del río Mijares y sus tributarios en los materiales neógenos y el sustrato mesozoico infrayacente. Mientras que en cabecera el río Mijares mantiene un equilibrio entre la actividad erosiva y sedimentaria, su curso medio presenta un intenso vaciado debido al fuerte encajamiento de la red relacionado con el escalón de Tortosa-Onda (PÉREZ-CUEVA, 1988). De este modo el río Mijares en el

área del Molino de la Hoz ha modelado un cañón (fig. 3) de profundidad máxima cercana a los 400 m y laderas en las que se observan movimientos de masas recientes. En los márgenes del mismo aparecen potentes edificios travertínicos aterrazados (fot. 1, fig. 3) que constituyen el objeto de este trabajo. La existencia de estos travertinos ha sido señalada previamente por GAUTIER (1974), PEÑA *et al.* (1984), PARICIO (1985), PÉREZ-CUEVA (1988) y LOZANO (1997).

## METODOLOGÍA

Los objetivos planteados inicialmente precisan situar tanto espacial como temporalmente los edificios de travertinos asociados al río Mijares y localizados en el entorno del Molino de la Hoz. Para ello se ha efectuado, en primer lugar, un análisis del perfil longitudinal del río. A la vez se ha reconocido fotogeológicamente el área de cara a diferenciar las etapas constructivas existentes. Posteriormente, en el campo se ha analizado tanto la estructura general de los edificios, siguiendo la diferenciación propuesta por PEDLEY (1990), como los principales tipos de facies, a partir de los criterios de clasificación utilizados por BUCCINO *et al.* (1978), ORDÓÑEZ y GARCÍA del CURA (1983) y PEDLEY (1990). Las características micromorfológicas se han analizado mediante microscopía de luz polarizada convencional, teniendo en cuenta los trabajos de IRION y MULLER (1968), CHAFETZ y



Fot. 1. Edificios travertínicos en el Molino de la Hoz. HOZ I: aparece en el lateral derecho y su cota máxima es de 120 m sobre el cauce actual. HOZ II: presenta una morfología de terraza localizada a 35 m sobre el río Mijares encajada en el edificio anterior.

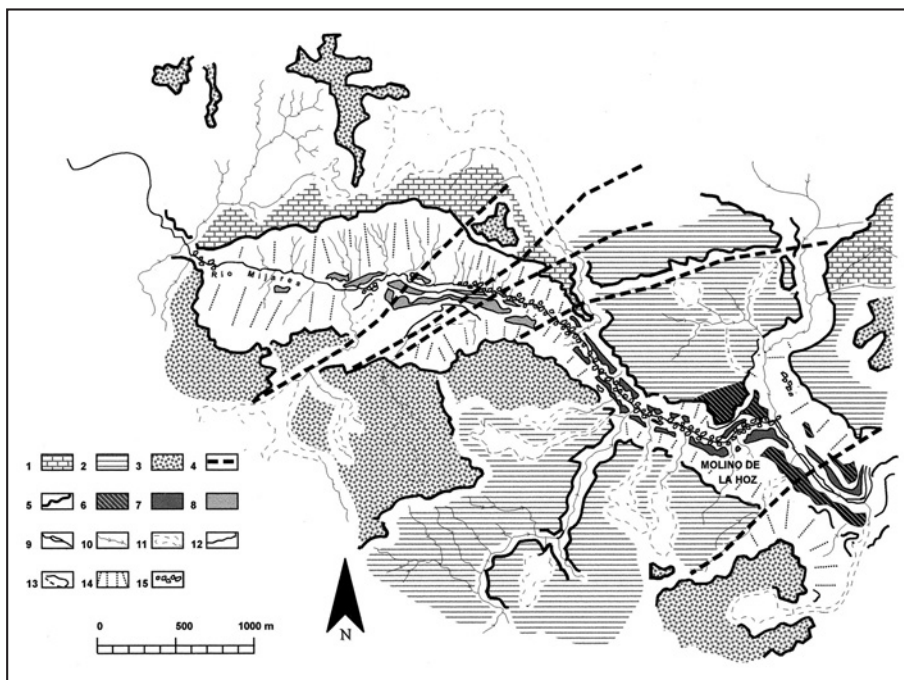


Fig. 3. Cartografía geomorfológica del valle del río Mijares en el sector del Molino de la Hoz. 1. Calizas mesozoicas; 2. Conglomerados y calizas travertínicas del Mioceno inferior; 3. Conglomerados y arcillas del Mioceno superior-Pliocuatrnario; 4. Principales fracturas; 5. Escarpes estructurales; 6. Travertinos del Molino de la Hoz (HOZ I); 7. Travertinos del Molino de la Hoz (HOZ II); 8. Niveles inferiores de acumulación fluvial; 9. Río Mijares; 10. Barrancos de incisión lineal; 11. Valles de fondo plano; 12. Escarpes sobre materiales cuaternarios; 13. Grandes deslizamientos; 14. Regularizaciones de ladera; 15. Masas de bloques.

FOLK (1984), ORDÓÑEZ y GARCÍA del CURA (1983), ORDÓÑEZ *et al.* (1986), JULIÀ (1983), HEIMAN y SASS (1989), VILES y GOUDIE (1990), FREYTET y PLET (1991) y FREYTET (1997 y 1998). También se han caracterizado mineralógicamente estos depósitos mediante la utilización de la difracción de rayos-X y el calcímetro de Bernad. Por último, se han obtenido dataciones cronológicas absolutas mediante análisis isotópicos de U/Th y de C-14, realizadas en el Centre d'Etudes et de Recherches Appliquées au Karst de la Faculté Polytechnique de Mons (Bélgica) y en el Geographisches Institut de la Universität Zürich-Irchel (Suiza), respectivamente.

## CARACTERÍSTICAS DE LOS TRAVERTINOS

### LOCALIZACIÓN MORFOTOPOGRÁFICA

Uno de los datos iniciales obtenidos del estudio de los travertinos del Molino de la Hoz se deriva de la localización de los afloramientos con respecto al perfil longitudinal del río Mijares en este sector. Llama la atención que los travertinos aparecen en el tramo con mayor pendiente de todo el perfil longitudinal analizado. En una longitud de unos 2 km, el río supera un desnivel de más 60 m, con segmentos que alcanzan una pendiente superior al 3%. Al intentar explicar esta ruptura en la pendiente, debemos remitirnos a las características geológicas locales en este sector. Se advierte rápidamente la presencia de un conjunto de fracturas muy próximas unas de otras de dirección ESE-WNW que son cortadas casi perpendicularmente por el curso del río Mijares (figs. 2 y 3). Estas fracturas aparecen en un punto muy localizado del perfil longitudinal del río. Cuando se relacionan gráficamente estas fracturas en dicho perfil (fig. 4) se observa claramente que es aguas abajo de las mismas cuando se produce la inflexión brusca en la pendiente longitudinal, por lo que parece evidente un control directo del sistema de fracturas en dicha pendiente. Además, litológicamente no se advierten discontinuidades relacionadas con las rupturas de pendiente del río. Por otro lado, resulta obvia la relación entre estas rupturas y la presencia de los afloramientos de los travertinos (fig. 4).

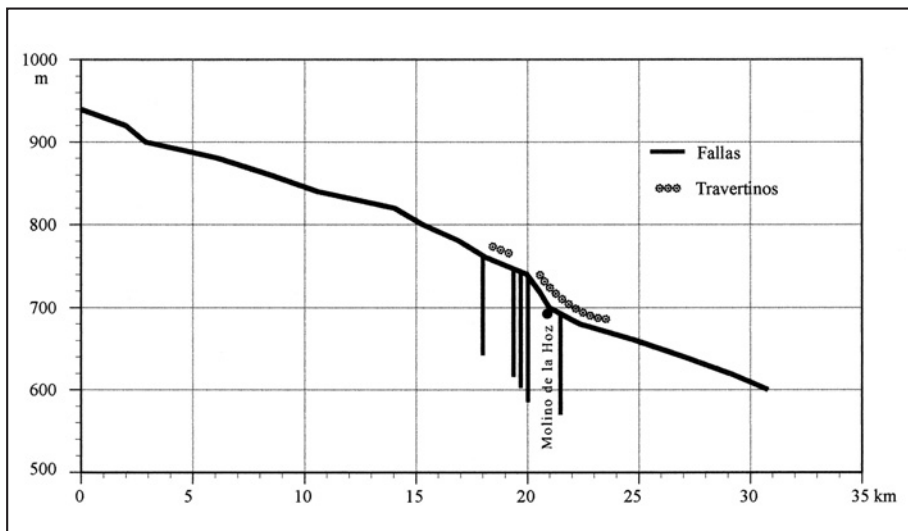


Fig. 4. Perfil longitudinal del río Mijares, fallas principales y localización de los afloramientos travertínicos.

## ETAPAS CONSTRUCTIVAS TRAVERTÍNICAS

El reconocimiento fotogeomorfológico y de campo del cañón excavado por el río Mijares en el sector del Molino de la Hoz pone de manifiesto la existencia, en su interior, de construcciones travertínicas que es posible agrupar en dos etapas de desarrollo evolutivo (fig. 5, fot. 1).

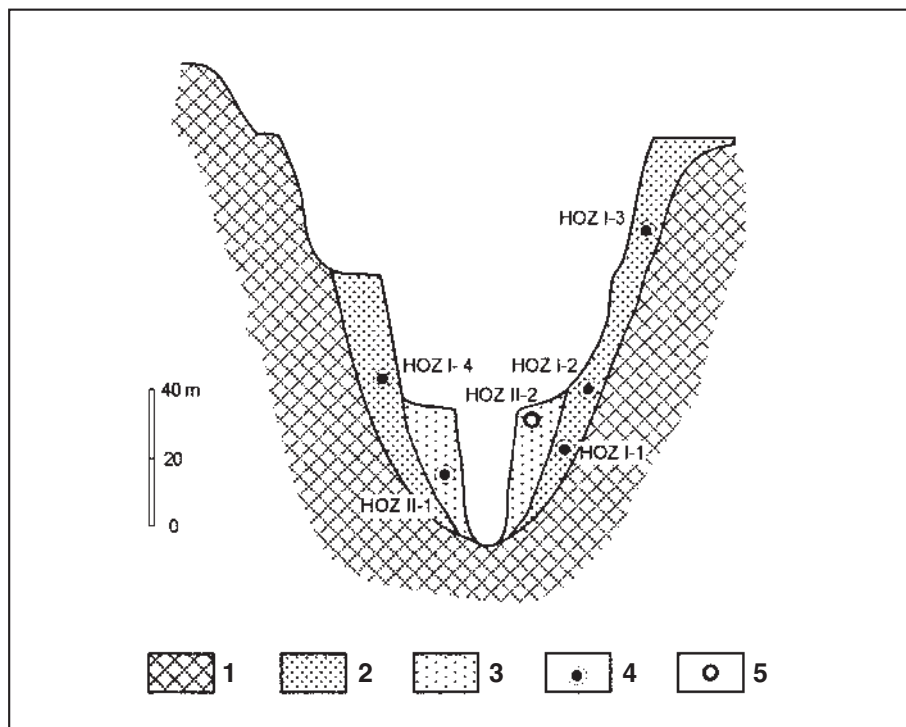


Fig. 5. Sección transversal del cañón del Mijares, etapas de construcción travertínica y posición estratégica de las muestras utilizadas para dataciones. 1. Substrato; 2. Etapa constructiva HOZ I; 3. Etapa constructiva HOZ II; 4. Puntos de datación U/Th; 5. Puntos de datación C-14.

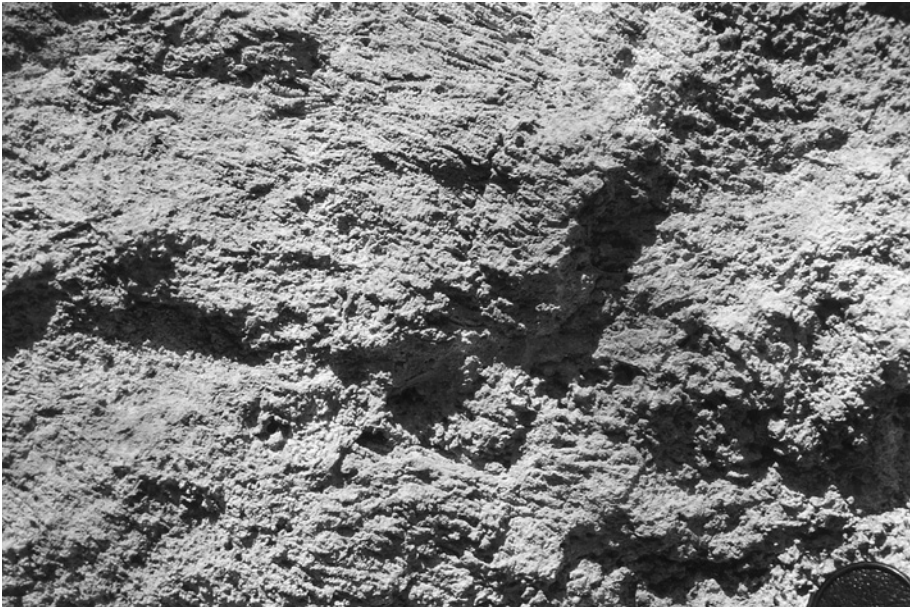
### Edificio travertínico HOZ I

La primera etapa constructiva travertínica, denominada HOZ I, alcanza unos 120 m de potencia, si bien existen variaciones laterales de espesor importantes, a veces de carácter muy brusco. La estructura general está constituida por un conjunto de barreras (fot. 2) y represamientos fluviales y un crecimiento dirigido de W a E. En la base de este edificio travertínico aparece un caos de bloques que sirve para iniciar el desarrollo de barreras fitohermales con facies de musgos (fot. 3), pre-





Fot.2. Estructura de barrera en el edificio HOZ I constituida principalmente por facies de musgos.

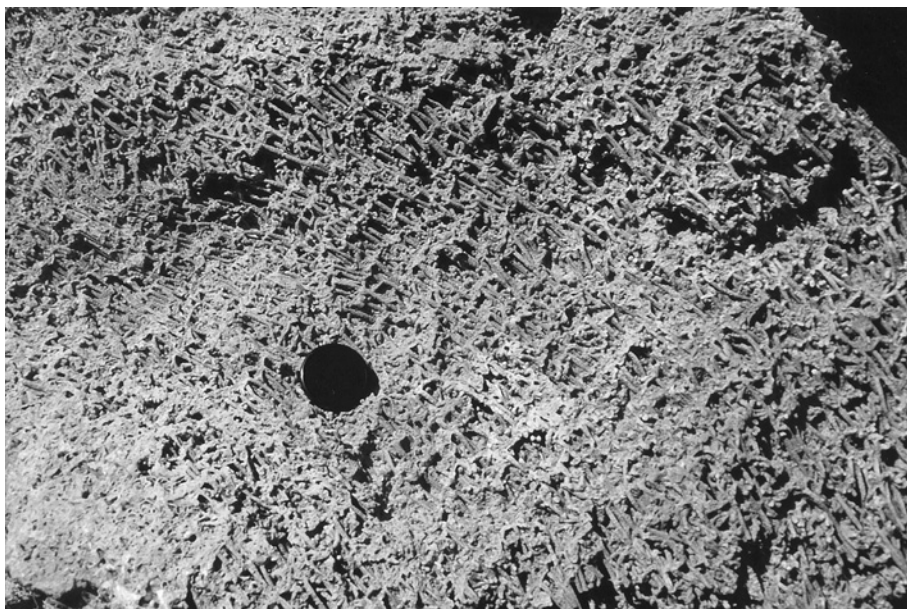


Fot. 3. Facies de musgos en el edificio HOZ I.

dominantemente, acompañadas de algas caráceas (fot. 4) y facies de hojas y tallos. En estas barreras se observan intercalaciones fitoclásticas. En la zona intermedia del edificio predominan las facies de represamiento constituidas por carbonato pulverulento, facies microfítoclásticas y biomicrocíticas. Por encima se diferencia otro edificio fitohermal de barrera con una estructura muy verticalizada en su punto de nucleación inicial y una acreción longitudinal hacia el E de la misma. Finalmente, aparece otro tramo superior también de características fitohermales pero con una estructura muy degradada. El análisis de campo indica que el cañón llegaría a colmatarse con depósitos travertínicos e incluso su crecimiento llegaría a sobrepasar los bordes del mismo. En el conjunto de todo el edificio aparecen, localmente, intercalados niveles de gravas y arenas de cierta importancia.

Un dato interesante a destacar en estos depósitos es la existencia de manera muy local de familias conjugadas de fracturas subverticales. Estas estructuras presentan direcciones subparalelas al escarpe generado por el encajamiento del río Mijares. Aunque su génesis parece estar relacionada con esfuerzos distensivos posteriormente ha debido de existir un cierto reajuste gravitacional, ligado a la evolución del escarpe.

Tras esta gran etapa de crecimiento más o menos continuo, se produciría un encajamiento muy fuerte del río en los propios depósitos travertínicos, que llegó a alcanzar al substrato. Además de la erosión mecánica del conjunto, en la parte superior se produce una degradación por procesos de disolución que afectan al interior del edificio, que se manifiesta por la presencia de crecimientos



Fot. 4. Facies de algas caráceas en el edificio HOZ I con indicación de la dirección de la corriente.

secundarios de facies de tallos con estructura de surgencia en cascada. Esta etapa de degradación química es posterior al inicio del encajamiento, si bien no es posible precisar su límite cronológico superior.

## Edificio travertínico HOZ II

La segunda etapa constructiva travertínica, denominada HOZ II, aparece aterrazada y encajada con respecto a la anterior. Los depósitos correspondientes alcanzan una potencia de unos 35 m. La base del edificio está compuesta por depósitos detríticos de gravas. En el edificio travertínico se diferencian facies fitohermales de barrera, con musgos y algas, que lateralmente aguas arriba pasan a facies de represamiento, a veces con geometrías de relleno de canal, compuestas por carbonato pulverulento con gasterópodos y microfitoclástico y algunos niveles ricos en materia orgánica. En estos niveles correspondientes a facies pulverulentas, la relación de especies de gasterópodos identificadas está formada por *Melanopsis tricarinata*, *Theodoxus velascoi*, *Pseudamnicola* sp., *Radix peregra* y *Rumina decolla*. Se trata de una asociación que señala la existencia de condiciones térmicas elevadas correspondientes, inicialmente, a periodos climáticos muy cálidos, con indicadores claros como *Theodoxus velascoi*. Las barreras no suelen presentar grandes desarrollos y están constituidas, en ocasiones, por una acumulación irregular de facies de hojas, microtallos y musgos.

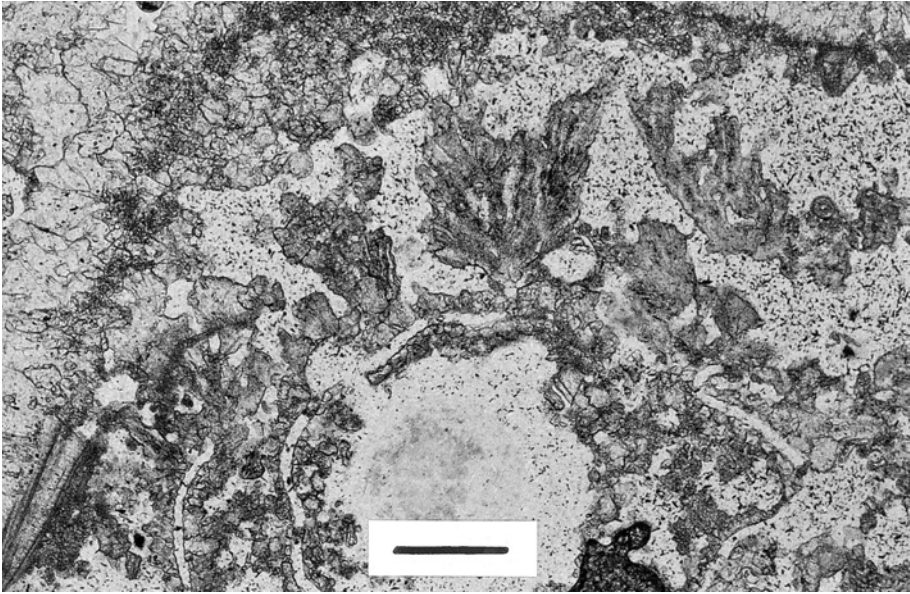
En esta etapa constructiva, un dato puntual interesante está relacionado con la observación, en algunos sectores, de basculamientos contrapendiente en depósitos de represamiento, que inicialmente deberían de permanecer horizontales.

Tras la etapa constructiva tiene lugar otra fase de erosión en la que el río se encaja totalmente en el edificio construido afectando también al sustrato. Por otro lado, también interesa destacar la presencia de una ladera regularizada que fosiliza al segundo edificio travertínico. Los depósitos de esta ladera son posteriores al inicio del encajamiento del río, si bien éste ha continuado después de la etapa de regularización.

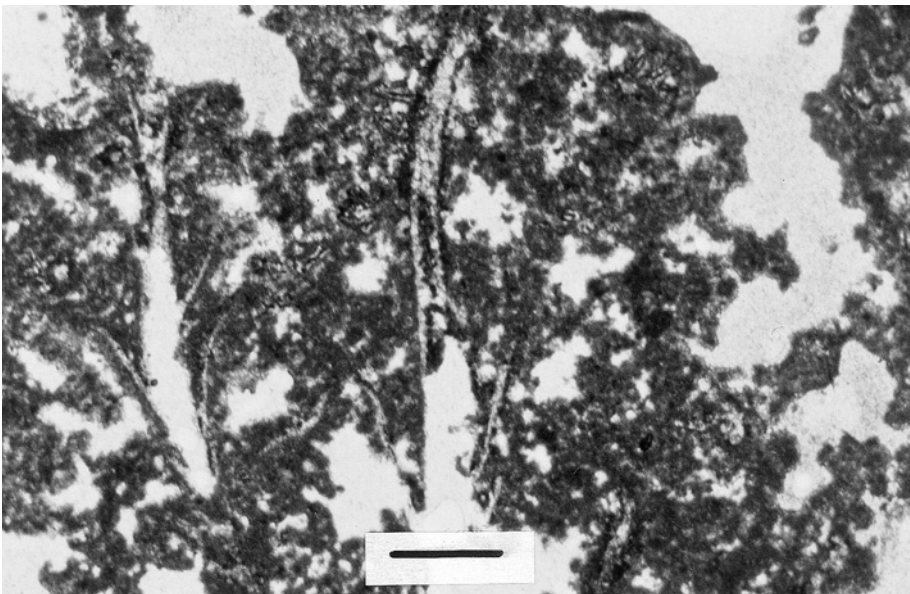
## RASGOS MICROMORFOLÓGICOS

En las facies fitohermales de barrera predominan los crecimientos de musgos. Micromorfológicamente se observan micritas grumerales y crecimientos arborescentes, formando estructuras concéntricas o en forma de espiga, según se trate de cortes transversales (fot. 5) o longitudinales (fot. 6) de los protonemas de los musgos. También se han identificado secciones perpendiculares de tallos de carofitas en posición de vida, en las que se diferencia un tubo central rodeado de microtubos corticales. Estos componentes micromorfológicos están trabados por una matriz micrítica.

En las facies de represamiento una de las texturas principales está relacionada con carbonatos biomicríticos. Se trata de una micrita algo grumelar, agradada a microesparita en los bordes de los elementos micríticos en la que se encuentran de manera dispersa secciones de caráceas, gasterópodos y ostrácodos, así como crecimientos poco importantes de filamentos de algas cianofíceas.



Fot. 5. Textura concéntrica arborescente correspondiente a una sección transversal de un protonema de musgo. Escala gráfica 0,15 mm.



Fot. 6. Aspecto de secciones longitudinales de protonemas de musgos. Escala gráfica 0,5 mm.

Puede interpretarse como un barro carbonatado acumulado en un ambiente lacustre tranquilo con fuerte actividad biológica que induciría la precipitación y decantación del lodo calcáreo.

Ocupando zonas encharcadas, tanto en la parte superior represada por las barreras como en las depresiones generadas en las áreas de caída del agua de las mismas, es posible encontrar facies de tallos de plantas superiores en posición de vida caracterizadas por el desarrollo de envueltas concéntricas alrededor de los mismos. Micromorfológicamente, estas envueltas están formadas por crecimientos algales de cianofíceas. Estas algas son de tipo incrustante, de manera que inducen la precipitación del carbonato disuelto en el agua sobre sus estructuras. Es posible diferenciar envueltas de filamentos aislados y otras de fascículos de filamentos. En el primer caso (fots. 7 y 8), se trata de filamentos cuyo diámetro medio es de 20-30  $\mu\text{m}$  diferenciando un tubo oscuro formado por materia orgánica y/o micrita relleno de esparita y/o micrita de color más claro. Son filamentos rectilíneos algo inclinados respecto al tallo, que se disponen formando una red recta, que presenta un entramado de compacidad variable según las envueltas. En el segundo caso (fots. 9 y 10) se trata de fascículos de una anchura promedio de 150  $\mu\text{m}$ , en cuyo interior los filamentos se disponen de manera radial y divergente. Esta alternancia en las envueltas debe de estar relacionada con modificaciones ambientales cíclicas, pero siempre en ambientes cálidos que favorecen el grado de actividad de las cianobacterias. En cualquiera de los dos casos las micromorfologías identificadas guardan un cierto paralelismo con la asociación *Phormidium/Schizothrix/Gongrosira*.

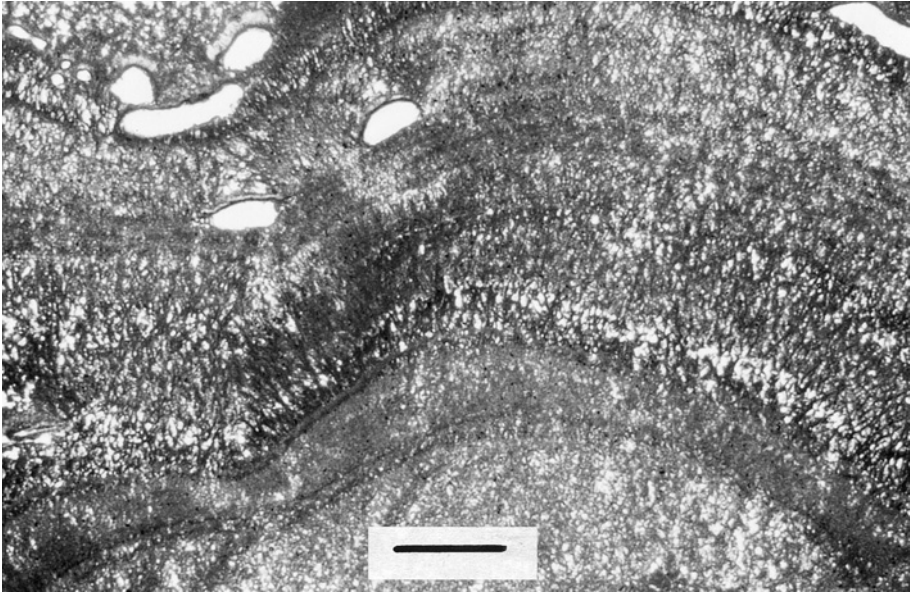
En general, para todas las facies y texturas es frecuente la existencia de procesos de agradación a microesparita como resultado de la recristalización de micrita. Además se trata de texturas muy abiertas en las que los poros y huecos existentes están tapizados por cemento macrocristalino heterométrico de calcita. Estos cementos se interpretan ligados a la circulación de agua vadosa por el interior de la estructura travertínica en etapas postsedimentarias.

## CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS

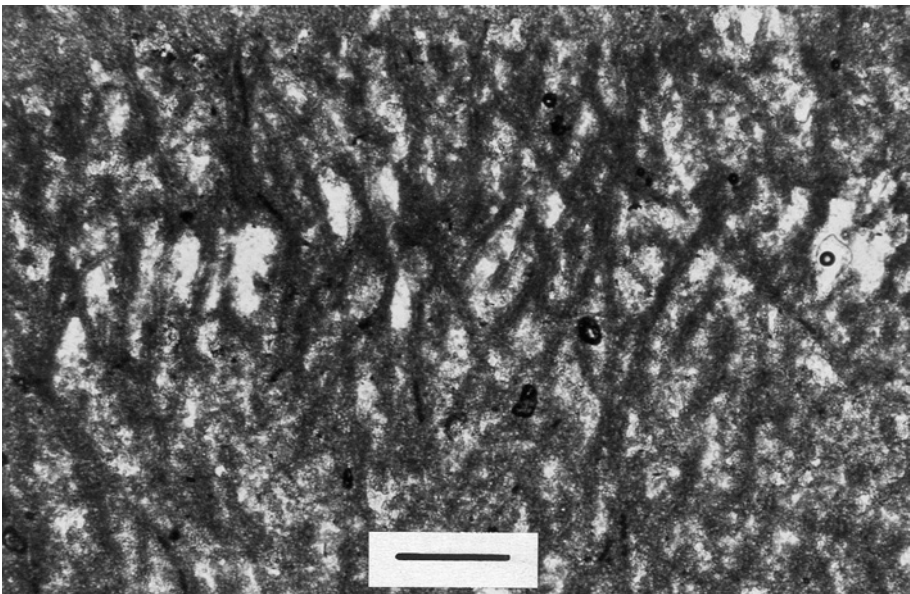
Se han analizado diferentes muestras correspondientes al edificio travertínico denominado HOZ I. Desde el punto de vista mineralógico, los diagramas de difracción de rayos-X obtenidos sobre muestra total en polvo desorientado indican que estos travertinos están compuestos exclusivamente por calcita en la mayor parte de las muestras. Solamente en algunas se han apreciado cantidades poco importantes de cuarzo. Desde un punto de vista cuantitativo, las calcimetrías indican que la cantidad de calcita oscila entre el 85 y el 97% del total de la muestra, con un valor medio del 90%.

## DATOS CRONOLÓGICOS

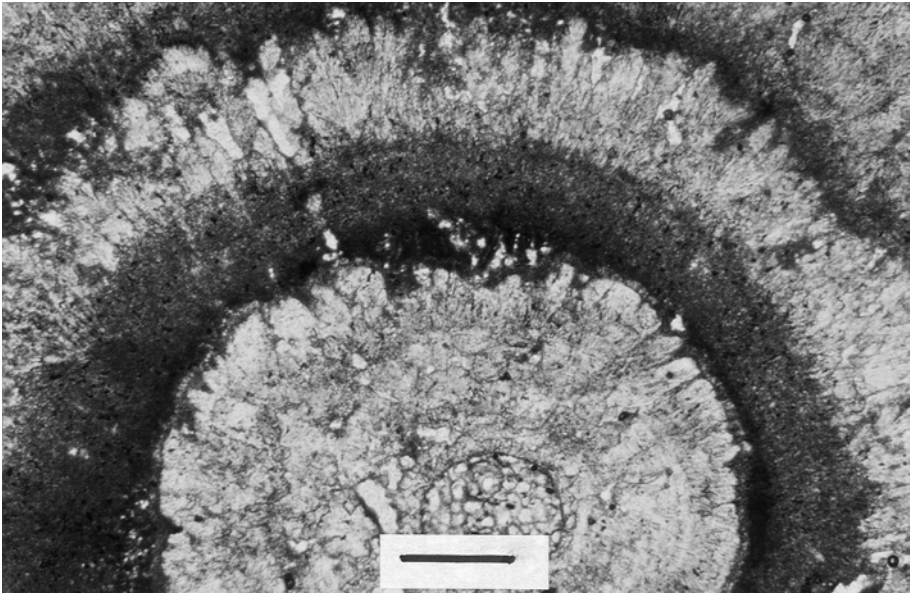
La posición estratigráfica relativa de todas las muestras utilizadas para realizar determinaciones cronológicas mediante los métodos de U/Th y C-14 puede observarse en la figura 5. Los datos y resultados correspondientes a los análisis efectuados de los edificios HOZ I y HOZ II aparecen en la tabla 1. En general, las edades obtenidas con las diferentes muestras presentan buena fiabilidad.



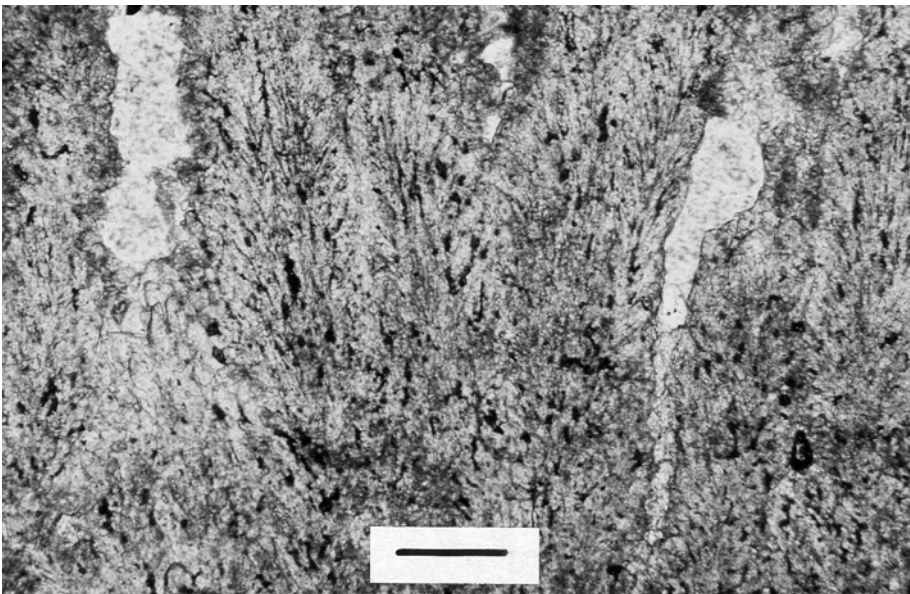
Fot. 7. Envueltas alrededor de un tallo formadas por filamentos de algas cianofíceas. Escala gráfica 1 mm.



Fot. 8. Filamentos de algas cianofíceas. Escala gráfica 0,15 mm.



Fot. 9. Envueltas alrededor de un microtallo formadas por filamentos y fascículos de algas cianofíceas alternantes. Escala gráfica 0,5 mm.



Fot. 10. Fascículos de algas cianofíceas. Escala gráfica 0,15 mm.

De todos los análisis, tan sólo la edad de muestra HOZ I-3 puede plantear algún grado de incertidumbre debido a la baja relación isotópica  $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ . La edad de la muestra HOZ I-1 es fiable a pesar de una relación isotópica  $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$  débil, por lo que la edad podría ser un poco más reciente. En cualquier caso con total seguridad pertenece al estadio isotópico 7. La edad Holoceno de la muestra HOZ II-1 es segura aunque la relación isotópica  $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$  es muy débil. Las edades de las muestras HOZ I-2 y HOZ I-4 son totalmente seguras y fiables.

Por otro lado, los depósitos de la ladera regularizada, que fosiliza al edificio HOZ II, contienen cerámicas correspondientes a la cultura de Campos de Urnas (en torno a 700 años a.C.), por lo que la regularización de la ladera es posterior a los 2.700 años, aproximadamente.

Con todos estos datos es posible precisar que el edificio travertínico HOZ I comienza a formarse antes de los 200.000 años y termina con posterioridad, probablemente, a los 50.000 años. Por otro lado, el edificio HOZ II inicia su construcción en torno a los 10.000 años y termina su desarrollo después de 5.000-6.000 años, teniendo en cuenta que la ladera regularizada que lo afecta es posterior a los 2.700 años y que el encajamiento del río en esta segunda generación de travertinos ya se había iniciado.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El análisis de las características geomorfológicas y cronoestratigráficas de los travertinos del río Mijares en el sector del Molino de la Hoz pone de manifiesto la existencia de una serie de aspectos de interés y que los diferencian claramente de otras construcciones travertínicas fluviales analizadas hasta la fecha en el contexto de la Cordillera Ibérica.

1. En primer lugar es conveniente analizar las causas que intervienen en la localización que los travertinos ocupan a lo largo del perfil longitudinal del río Mijares. El hecho de que estos depósitos tobáceos se desarrollen en un tramo del perfil del río en el que se produce una inflexión importante con existencia de un fuerte gradiente no es nuevo, ya que estas zonas son muy propicias para que se incremente la velocidad del flujo de agua y por tanto la agitación y la turbulencia, de manera que en este contexto se favorece una desgasificación física del agua y se produce la precipitación de calca (ORDÓÑEZ y GARCÍA del CURA, 1983; ORDÓÑEZ *et al.*, 1986). Estas discontinuidades en el gradiente del río suelen estar relacionadas con el afloramiento cartográfico de diferentes materiales litológicos (MELÉNDEZ *et al.*, 1996; SANCHO *et al.*, 1997) o con el desarrollo de las propias barreras travertínicas (D'ARGENIO y FERRERI, 1988). Sin embargo, que estas irregularidades en el perfil longitudinal estén controladas por fracturas es una circunstancia más novedosa en los ríos que drenan la Cordillera Ibérica (MARÍN, 1985). En definitiva, proponemos que la actividad de las fallas transversas al curso del río Mijares aguas arriba del Molino de la Hoz puede ser la responsable directa de las irregularidades en el perfil longitudinal del río, y en consecuencia del desarrollo de los travertinos.

2. Por otro lado, y en segundo lugar, en el análisis de estos depósitos travertínicos, llama la atención la elevada potencia de los mismos. No es frecuente encontrar travertinos fluviales con estos espesores, lo que puede indicar que las etapas constructivas se corresponden con episodios



de larga duración temporal y/o periodos con una alta tasa de acumulación travertínica. En el primer caso, debe mantenerse un cierto gradiente morfotopográfico en el perfil del río que facilite una continuidad en la actividad travertínica. En la segunda situación debería producirse una fuerte desgaseificación mecánica relacionada con escalones morfotopográficos importantes. En cualquiera de los dos casos es necesario una funcionalidad tectónica reciente que active las fracturas transversas al cauce identificadas. Como consecuencia de esta actividad tectónica se favorece el desarrollo de dos edificios travertínicos encajados de 120 m y 35 m de potencia, en vez de elaborar un sistema de terrazas travertínicas localizadas a diferentes alturas y correspondientes a distintas etapas de construcción travertínica, tal y como sucede en los sistemas similares del entorno de la Cordillera Ibérica estudiados previamente (ORDOÑEZ *et al.*, 1987 y 1990), en los que inicialmente el control es, exclusivamente, de tipo climático. Además, aunque los travertinos no son materiales adecuados para analizar posibles deformaciones posteriores, se han observado localmente sistemas conjugados de fracturas y basculamientos que pueden estar relacionados con toda esta actividad tectónica. Así pues, parece existir un espesor de travertinos superior al habitual, que se interpreta como debido a la actividad neotectónica en la zona.

3. Por último, y en tercer lugar, es necesario considerar en la interpretación de los travertinos del Molino de la Hoz aspectos de tipo cronológico. Las edades obtenidas indican que, por lo menos para el edificio HOZ I, el periodo de tiempo durante el que se produce la acumulación travertínica se inicia con anterioridad a los 200.000 años y continúa hasta hace 50.000 años como mínimo. Para el edificio HOZ II el depósito travertínico comienza en torno a los 10.000 años y termina después de los 5.000 años. Es bien conocido, tanto a nivel peninsular (DURÁN, 1987) como a nivel europeo (HENNING *et al.*, 1983), la existencia de una serie de etapas de desarrollo travertínico controladas climáticamente y correlacionadas con etapas climáticas cálidas y húmedas de estadios isotópicos impares.

En este sentido, el edificio HOZ II se relaciona claramente con el estadio isotópico 1 y regionalmente se correlaciona con otros travertinos estudiados en la Cordillera Ibérica (MARTÍNEZ-TUDELA, 1986; PEÑA *et al.*, 1994; SANCHO *et al.*, 1997). Las características cálidas de este periodo vienen puestas de manifiesto también por la presencia de gasterópodos acuáticos, como *Theodoxus velascoi*, habituados a ambientes de altas temperaturas. A nivel global, resulta evidente la existencia de condiciones interglaciares óptimas entre 5.000 y 10.000 años (MANNION, 1997), incluyendo el periodo Atlántico (GOUDIE, 1992).

Por otro lado, el edificio HOZ I debe de incluir los estadios isotópicos 3, 5 y 7. GARCÍA del CURA *et al.* (1996) indican la presencia de edificios travertínicos asociados con estos tres estadios isotópicos impares en las Lagunas de Ruidera. ORDOÑEZ *et al.* (1990) señalan también el desarrollo de sistemas travertínicos correspondientes a los estadios 1, 5, 7 y otro todavía más antiguo, combinando información de diferentes áreas del alto Tajo. Sin embargo, resulta mucho más interesante el hecho de que existan periodos de tiempo que vienen a coincidir con los estadios isotópicos pares en los que las condiciones climáticas frías impedirían el desarrollo de los travertinos y favorecerían la degradación de los edificios previos. En este sentido, DURÁN (1987) señala que a nivel peninsular

existen dos periodos de tiempo localizados a 45.000-60.000 años y 160.000-180.000 años correlacionables con los estadios 4 y 6 (HENNING *et al.*, 1983), respectivamente, en los que no se desarrollan travertinos. Curiosamente, algunas de las dataciones fiables obtenidas (HOZ I-2, 61.000 años) quedan incluidas en el estadio 4. Esto significa que algunos tramos del edificio travertínico HOZ I se han formado en etapas climáticamente desfavorables, de manera que si el clima a nivel global no controla su formación deben ser otros factores locales los que condicionen su desarrollo. Entre ellos puede estar la actividad tectónica, de manera que debieron de existir periodos de tiempo en los que probablemente la descarga de agua de los sistemas kársticos y la concentración en iones bicarbonato del agua serían reducidas, si bien la pendiente elevada facilitaría una desgasificación física importante y, en consecuencia, la precipitación de la menor cantidad de carbonato contenido en el agua. Adicionalmente, en estos periodos de tiempo tendrían lugar los episodios de mayor detritismo. Por tanto, existieron etapas alternantes de aguas limpias que favorecen el desarrollo de facies bioconstruidas de carácter fitohermal (ORDÓÑEZ y GARCÍA del CURA, 1983; ORDÓÑEZ *et al.*, 1986), sobre todo musgos y algas, correspondientes a un contexto climático cálido y húmedo favorable, con otras de mayor detritismo típicas de condiciones climáticas menos favorables. Todos estos aspectos también parecen indicar que la acumulación travertínica se mantiene, probablemente ralentizada, en periodos climáticos desfavorables gracias al incremento de la desgasificación física del agua relacionada con la actividad de las fracturas anteriores, lo que significa que esta actividad se mantiene por lo menos durante algún tiempo a la vez que se produce la acumulación travertínica.

4. Adicionalmente, y considerando los datos de espesor para los dos edificios de travertinos y las edades de los mismos, es posible plantear una propuesta relacionada con la velocidad de actuación de los procesos de acumulación travertínica. De esta manera, considerando los 120 m de potencia del edificio HOZ I y un intervalo de tiempo máximo transcurrido para su desarrollo de 150.000 años, la tasa de acumulación media sería de 0,8 mm/año como mínimo. Por lo que se refiere al edificio HOZ II es posible precisar un poco más la velocidad de acreción del edificio ya que sus 35 m de espesor se han acumulado como máximo en 7.000-8.000 años, por lo que el ritmo de crecimiento sería como mínimo de 4-5 mm/año. Estos datos son perfectamente correlacionables con los ofrecidos por VILES y GOUDIE (1990) sobre tasas de acumulación en sistemas travertinos meteógenos. Estos autores indican tasas medias de 3 mm/año con valores mínimos de 0,2 y máximos de 10 mm/año, respectivamente. Los valores obtenidos para el río Mijares nos indican tasas de actividad mínima y pueden presentar modificaciones temporales importantes. No obstante pueden ser orientativos e indicativos de la intensa actividad de los sistemas travertínicos en el sector del Molino de la Hoz.

Todos los datos y consideraciones precedentes parecen indicar la existencia de un control climático y tectónico en el desarrollo de las construcciones travertínicas asociadas al río Mijares en el sector del Molino de la Hoz. El factor desencadenante de toda esta actividad travertínica está relacionado con las rupturas en el perfil longitudinal del río asociadas a la actividad tectónica, lo que provocaría un incremento importante de la desgasificación física del agua. Por otro lado, si bien existió una continuidad en el desarrollo de los edificios HOZ I y HOZ II, dando lugar a construcciones de

gran espesor, la mayor tasa de acreción de los sistemas travertínicos podría relacionarse con periodos climáticos húmedos y cálidos coincidentes con los estadios isotópicos impares a nivel global.

El papel de la tectónica en el desarrollo de los travertinos del río Mijares en el sector del Molino de la Hoz confirmaría la existencia de actividad neotectónica durante el Pleistoceno superior-Holoceno en este sector de la Cordillera Ibérica. En este sentido conviene recordar que el valle del río Mijares ha sido definido como una depresión tectónica que constituye un elemento transversal dentro del sistema de *horsts* y *grabens* de dirección ibérica confeccionado por una Etapa Distensiva Principal situada al comienzo del Plioceno superior (SIMÓN, 1984), si bien su configuración final ha podido alcanzarse a comienzos del Pleistoceno con la Etapa de Fracturación del Maestrazgo (SIMÓN, 1984). Esta pulsación ha podido tener su continuación hasta tiempos recientes generando modificaciones importantes del relieve (PÉREZ-CUEVA, 1988).

### Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración en las dataciones radiométricas del Dr. Y. Quinif, del Centre d'Etudes et de Recherches Appliquées au Karst de la Faculté Polytechnique de Mons, y del Dr. K. Graf, del Geographisches Institut de la Universität Zürich-Irchel. También la realización de las determinaciones mineralógicas a cargo de la Dra. Cinta Osacar, del área de Cristalografía y Mineralogía, y la ayuda ofrecida por la Dra. Concepción Arenas, del área de Estratigrafía, en la caracterización textural y micromorfológica, ambas del Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Zaragoza. Por último queremos indicar que la clasificación de los gasterópodos ha sido realizada por el Dr. Fernando Robles, del Departamento de Geología de la Universidad de Valencia.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMAMOU, M.; CONRAD, G. y PLAZIAT, J.C. (1989), «Réinterprétation des conditions de dépôt des calcaires fluviatiles, lacustres et palustres du basin plio-quadernaire du Saïss de Fès (Maroc)», *Méditerranée*, 23, pp. 41-49.
- BUCCINO, G.; D'ARGENIO, B.; FERRERI, V.; BRANCACCIO, L.; FERRERI, M.; PANICHI, C. y STANZIONE, D. (1978), «I travertini della bassa valle del Tanagro (Campania) studio geomorfologico, sedimentologico e geochimico», *Bolletino della Societa Geologica Italiana*, 97, pp. 617-646.
- CHAFETZ, H.S. y FOLK, R.L. (1984), «Travertines: depositional morphology and the bacterially constructed constituents», *Journal of Sedimentary Petrology*, 54, pp. 289-316.
- D'ARGENIO, B. y FERRERI, V. (1988), «Ambienti di deposizione e litofacies dei travertini quaternari dell'Italia centro-meridionale», *Memorias della Societa Geologica Italiana*, 41, pp. 861-868.
- DÍAZ del OLMO, F. (1989), «Karst du massif de Cabra et travertin de Priego», en DELANNOY, J.J.; DÍAZ del OLMO, F. y PULIDO, A. (eds.), *Reunion franco-espagnole sur les karsts mediterraneens d'Andalousie Occidentale*, pp. 25-62.
- DURÁN, J.J. (1987), «Geocronología de los depósitos asociados al karst en España», en DURÁN, J.J. y MARTÍNEZ, J. (eds.), *El karst en España*, Monografía S.E.G., 4, pp. 243-256.

- FORD, T.D. y PEDLEY, H.M. (1996), «A review of tufa and travertine deposits of the world», *Earth-Science Reviews*, 41, pp. 117-175.
- FREYET, P. (1997), «Algues d'eau douce du Permien à l'Holocène de France et des pays limitrophes», *Annales de Paléontologie*, 83, pp. 289-332.
- (1998), «Algues d'eau douce du Permien à l'Holocène de France et des pays limitrophes», *Annales de Paléontologie*, 84, pp. 3-51.
- FREYET, P. y PLET, A. (1991), «Les formations stromatolitiques (tufs calcaires) récentes de la région de Tournus (Saône et Loire)», *Geobios*, 24, pp. 123-139.
- GARCÍA del CURA, M.A.; GONZÁLEZ, J.A.; ORDÓÑEZ, S. y PEDLEY, M. (1996), «Las Lagunas de Ruidera», en GARCÍA, J.L. y GONZÁLEZ, E. (coords.), *Elementos del Medio Natural en la provincia de Ciudad Real*, Universidad de Castilla-La Mancha, pp. 84-129.
- GAUTIER, F. (1974), *Mapa Geológico de España, escala 1:50.000, Hoja 614 (Manzanera)*, Instituto Geológico y Minero de España, 24 págs.
- GOUDIE, A. (1992), *Environmental change*, Clarendon Press, 329 págs.
- GOUDIE, A.S.; VILES, H.A. y PENTECOST, A. (1993), «The late-Holocene tufa decline in Europe», *The Holocene*, 3, pp. 181-186.
- HEIMAN, A. y SASS, E. (1989), «Travertines in the northern Hula Valley, Israel», *Sedimentology*, 36, pp. 95-108.
- HENNING, G.J., GRUN, R. y BRUNNACKER, K. (1983), «Speleothems, Travertins and Paleoclimates», *Quaternary Research*, 20, pp. 1-29.
- IRION, G. y MULLER, G. (1968), «Mineralogy, petrology and chemical composition of some calcareous tufa from the Schwäbische Alb, Germany», en MULLER, G. y FRIEDMAN, G.M. (ed.), *Recent developments of carbonate sedimentology in central Europe*, Springer Verlag, pp. 157-171.
- JULIÀ, R. (1983), «Travertines», en SCHOLLE, P.A.; BEBOUT, D.G. y MOORE, C.H. (eds.), *Carbonate depositional environments*, The American Association of Petroleum Geologists, Memoir 33, pp. 64-72.
- LOZANO, M.V. (1988), *Estudio geomorfológico de las Sierras de Gúdar (Provincia de Teruel)*, Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza (inédita), 804 págs.
- (1997), «Notas geomorfológicas sobre la depresión de Sarrión y el valle del río Mijares», *Studium. Revista de Humanidades*, 4, pp. 141-161.
- MAGNIN, F.; GUENDON, J.L.; VAUDOUR, J. y MARTIN, Ph. (1991), «Les travertins: accumulations carbonatées associées aux systèmes karstiques, séquences sédimentaires et paléoenvironnements quaternaires», *Bulletin de la Société Géologique de France*, 162, pp. 585-594.
- MANNION, A.M. (1997), *Global environmental Change*, Longman, 387 págs.
- MARÍN, C. (1985), «Análisis numérico de los perfiles hidrográficos», *Cuadernos de Investigación Geográfica*, XI, pp. 103-111.
- MARTÍNEZ-TUDELA, A.; CUENCA, F.; SANTISTEBAN, C.; GRUN, R. y HENTZSCH, B. (1986), «Los travertinos del Río Matarraña, Becete (Teruel) como indicadores paleoclimáticos del Cuaternario», en LÓPEZ-VERA, A. (ed.), *Quaternary Climate in Western Mediterranean*, pp. 307-324.
- MELÉNDEZ, A.; PEÑA, J.L. y SANCHO, C. (1996), «Factores fisicoquímicos que intervienen en el desarrollo de las barreras tobáceas bioconstruidas del río de la Fuente del Berro (Sierra de Albarracín, Teruel)», *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 9, pp. 125-134.

- NICOD, J. (1981), «Repartition, classification, relation avec les milieux karstiques et karstification», *Colloque Formations carbonatées externes, tufs et travertins*, pp. 173-176.
- ORDÓÑEZ, S. y GARCÍA del CURA, M.A. (1983), «Recent and Tertiary fluvial carbonates in Central Spain», en COLLINSON, J.D. y LEWIN, J. (eds.), *Ancient and Modern Fluvial Systems*, International Association of Sedimentologists, Special Publication 6, pp. 485-497.
- ORDÓÑEZ, S. y GÓNZALEZ, J.A. y GARCÍA del CURA, M.A. (1986), «Petrographie et morphologie des édifices tuf-feux quaternaires du centre de l'Espagne», *Méditerranée*, 1-2, pp. 52-60.
- (1987), «Formaciones travertínicas y tobáceas en el valle del Tajo (Sector Cifuentes-Trillo): estudio geomorfológico, petrológico y sedimentológico», *Cuaternario y Geomorfología*, 1, pp. 231-245.
  - (1990), «Datación radiogénica (U-234/U-238 y Th-230/U-234) de sistemas travertínicos del Alto Tajo (Guadalajara)», *Geogaceta*, 8, pp. 53-56.
  - (1997), «Tipología y génesis de depósitos tobáceos fluvio-lacustres: el sistema tobáceo de Las Lagunas de Ruidera (Ciudad Real-Albacete)», *Cuadernos de Geología Ibérica*, 22, pp. 333-348.
- PARICIO, J. (1985), «La Unidad inferior neógena del valle medio del Mijares (Cordillera Ibérica)», *Teruel*, 74, pp. 9-65.
- PEDLEY, H.M. (1990), «Classification and environmental models of cool freshwater tufas», *Sedimentary Geology*, 68, pp. 143-154.
- PENTECOST, A. (1996), «The quaternary travertine deposits of Europe and Asia Minor», *Quaternary Science Reviews*, 4, pp. 1005-1028.
- PEÑA, J.L.; GUTIÉRREZ, M.; IBÁÑEZ, M.J.; LOZANO, M.V.; RODRÍGUEZ, J.; SÁNCHEZ, M.; SIMÓN, J.L.; SORIANO, A. y YETANO, L.M. (1984), *Geomorfología de la provincia de Teruel*, Instituto de Estudios Turolenses, 149 págs.
- PEÑA, J.L.; SANCHO, C.; MELÉNDEZ, A. y JIMÉNEZ, A. (1994), «Las formaciones travertínicas holocenas de la cuenca del río Guadalaviar (Sierra de Albarracín, provincia de Teruel). Aspectos geomorfológicos y paleoclimáticos», en ARNÁEZ, J.; GARCÍA-RUIZ, J.M. y GÓMEZ, A. (eds.), *Geomorfología de España*, pp. 159-172.
- PÉREZ-CUEVA, A. (1988), *Geomorfología del sector ibérico valenciano, entre los ríos Mijares y Turia*, Universidad de Valencia, 217 págs.
- SANCHO, C.; PEÑA, J.L. y MELÉNDEZ, A. (1997), «Controls on Holocene and present-day travertine formation in the Guadalaviar River (Iberian Chain, NE Spain)», *Zeitschrift für Geomorphologie*, 41, pp. 289-307.
- SIMÓN, J.L. (1984), *Compresión y distensión alpinas en la Cadena Ibérica Oriental*, Instituto de Estudios Turolenses, 269 págs.
- VILES, H.A. y GOUDIE, A.S. (1990), «Tufas, travertines and allied carbonate deposits», *Progress in Physical Geography*, 14, pp. 19-41.

Recibido el 17 de julio de 1998  
Aceptado el 3 de septiembre de 1998





**LÍQUENES EPIFÍTICOS DE LA SIERRA DEL  
TREMEDAL (GUADALAJARA-TERUEL)**



*Gregorio Aragón, Isabel Martínez y Ana Rosa Burgaz*





# LÍQUENES EPIFÍTICOS DE LA SIERRA DEL TREMEDAL (GUADALAJARA-TERUEL)

Gregorio Aragón\*, Isabel Martínez\*\*  
y Ana Rosa Burgaz\*\*

## RESUMEN

Se presenta, como resultado del estudio, un catálogo florístico de los líquenes epifíticos de la Sierra del Tremedal (Teruel). En él se da cuenta de un total de 127 especies. Consideramos, según nuestros datos, que 23 especies son nuevas citas para Guadalajara y 31 especies son nuevas citas para la provincia de Teruel. Se incluyen comentarios acerca de la ecología y corología de cada especie. Entre ellas, destacamos *Chaenothecopsis debilis* y *Lecidea hypopta* por ser primeras citas para España. Asimismo, *Bacidia incompta*, *B. subincompta*, *Bryoria implexa*, *Buellia cedricola*, *Chromatochlamys muscorum*, *Lecanora quercicola*, *Micarea synotheoides*, *Pannaria conoplea*, *P. rubiginosa* y *Waynea adscendens* constituyen aportaciones corológicas de interés en la Península Ibérica. Destacamos las localidades del arroyo de Gargantavellanos (Orihuela del Tremedal), barranco de las Fuentes (Noguera) y los melojares del término municipal de Bronchales, por presentar mayor grado de biodiversidad de líquenes epifíticos.

**Palabras clave:** líquenes epifíticos, corología, ecología, Guadalajara, Teruel, Península Ibérica.

\* Departamento de Biología Vegetal II, Facultad de Farmacia, Universidad Complutense, 28040 Madrid.

\*\* Departamento de Biología Vegetal I, Facultad de Farmacia, Universidad Complutense, 28040 Madrid.

## ABSTRACT

*Epiphytic lichens from Sierra del Tremedal (Guadalajara-Teruel).*

In this study a catalogue of epiphytic lichens from the Sierra del Tremedal mountains is presented. A total number of 127 species is reported. According to our data, *Chaenothecopsis debilis* and *Lecidea hypopta* are considered first record for Spain; 23 species are new records for Guadalajara Province and 31 species are new records for Teruel Province. For each species ecological and chorological remarks are included. *Bacidia incompta*, *B. subincompta*, *Bryoria implexa*, *Buellia cedricola*, *Chromatochlamys muscorum*, *Lecanora quercicola*, *Micarea synotheoides*, *Pannaria conoplea*, *P. rubiginosa* and *Waynea adscendens* are specially considered due to its chorological implications in the Iberian Peninsula. We point out the localities of Arroyo de Gargantavellanos (Orihuela del Tremedal), Barranco de las Fuentes (Noguera) and Bronchales for present a larger biodiversity of epiphytic lichens.

**Key words:** epiphytic lichens, chorology, ecology, Guadalajara, Teruel, Iberian Peninsula.

## INTRODUCCIÓN

La Sierra del Tremedal constituye un macizo paleozoico que, junto a los macizos de Sierra Carbonera, Collado de la Plata y macizo del Nevero, forman la Sierra de Albarracín. Presenta una variación altitudinal que oscila entre los 1.935 m del pico Caimodorro I y los 1.230 m del pueblo de Torres de Albarracín. Esta sierra está enclavada en el extremo occidental de la provincia de Teruel y oriental de la provincia de Guadalajara, y junto a las sierras de Gúdar y Javalambre constituyen el Sistema Ibérico meridional.

Como características hidrográficas de la zona hay que destacar el carácter divergente de la red fluvial y el profundo encajamiento de sus cauces. Los principales ríos que surcan esta sierra son el Tajo y el Guadalaviar, con numerosos arroyos que dan lugar a profundos barrancos. Sin embargo, los ríos son poco caudalosos, debido a la proximidad de su nacimiento y a la existencia de grandes zonas calcáreas, lo que motiva que grandes tramos de su cauce se encuentren secos gran parte del año. Por el contrario, en las zonas de materiales silíceos, los cauces se amplían y la escorrentía superficial es de mayor importancia.

El conjunto de la Sierra de Albarracín forma parte de la Cordillera Ibérica, que puede definirse como una cordillera alpina compuesta por sedimentos calcáreos mesozoicos, depositados sobre un zócalo silíceo paleozoico que aflora en algunas zonas. La orogenia alpina ha configurado la estructura de esta sierra, y los fenómenos erosivos más recientes han modelado su relieve actual. Aparecen materiales del Ordovícico y del Silúrico, principalmente pizarras y cuarcitas alternantes.

Las precipitaciones oscilan entre los 1.085 mm y los 518 mm, apreciándose un gradiente negativo en sentido SW-NE. La temperatura media anual varía entre 7,3°C y 10,2°C, y su oscilación tér-

mica se sitúa entre 16,5 y 19°C, lo que indica una acusada continentalidad. La media de las máximas oscila de 25,4 a 29°C, y la de las mínimas de -4 a -2,9°C. La zona estudiada se caracteriza por poseer un clima mediterráneo continental con un periodo de aridez estival corto y de intensidad no extremada.

Desde el punto de vista corológico, el territorio estudiado se incluye dentro de la provincia Castellano-Maestrazgo-Manchega, sector Celtibérico-Alcarreño (RIVAS-MARTÍNEZ, 1987). En la zona de estudio están representados los pisos supra- y oromediterráneo.

Las series de vegetación que podemos encontrar son las siguientes:

– Serie oromediterránea maestrazgo-conquense basófila de *Juniperus sabina* o sabina rastrera (*Sabino-Pineto sylvestris* S.). En su estado maduro, esta serie corresponde a un pinar abierto provisto de un estrato arbustivo denso que puede cubrir todo el suelo. Se sitúa por encima de los 1.500 m y hasta las cumbres.

– Serie supramediterránea maestrazgo-ibérico-alcarreña de *Juniperus thurifera* o sabina albar (*Junipereto hemisphaerico-thuriferae* S.). Esta serie corresponde, en su estado maduro, a bosques más o menos abiertos que poseen un estrato arbustivo muy denso, que cuando se degrada deja paso a pastizales y tomillares. Se trata de unos ecosistemas que ocupan actualmente las áreas más continentales de la meseta. Actualmente estas formaciones se encuentran aclaradas por el pastoreo de forma que las sabinas se sitúan aisladas y sin un sotobosque manifiesto. Se instala en parameras o en laderas expuestas, donde las condiciones climáticas son duras y encuentran menos competencia.

– Serie supramediterránea carpetano-ibérica-leonesa y alcarreña subhúmeda silicícola de *Quercus pyrenaica* o roble melojo (*Luzulo forsteri-Querceto pyrenaicae* S.). La etapa madura de esta serie corresponde a robledales densos y bastante sombríos. En nuestra zona, actualmente las formaciones de *Quercus pyrenaica* han quedado restringidas a pequeños rodales abiertos, formados por ejemplares jóvenes.

Sin embargo, la mayor parte del territorio estudiado está cubierto de extensos pinares de *Pinus sylvestris*, que se han extendido por los pisos supra- y oromediterráneo, a costa de la vegetación climática de la zona.

El Sistema Ibérico meridional incluye un conjunto amplio de sierras (Gúdar, Albarracín y Javalambre), que se extienden principalmente por las provincias de Guadalajara, Teruel y Castellón. Su situación geográfica y biogeográfica, el elevado número de biotopos que aparecen, que incluyen substratos muy diversos desde altitudes cercanas a los 2.000 m hasta húmedos y profundos valles, el grado de conservación de los ecosistemas y la escasez de datos que sobre los líquenes de esta zona tenemos, nos llevó a proponer la realización, a largo plazo, de un estudio de la flora líquénica de estas sierras. Dada la gran amplitud del territorio, el primer objetivo que nos planteamos fue abordar un estudio completo de la flora de líquenes epifíticos que aparecen en las formaciones arbóreas de la Sierra de Gúdar (MARTÍNEZ *et al.*, 1998) y el segundo objetivo, que presentamos en este trabajo, ha sido el estudio de la flora de líquenes epifíticos de la Sierra del Tremedal.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Las herborizaciones incluyen material epifítico recolectado sobre diferentes forófitos: *Juniperus communis*, *J. thurifera*, *Quercus pyrenaica*, *Pinus nigra* subsp. *salzmannii*, *P. sylvestris*, *Populus nigra*, así como tocones de coníferas.

El material, recolectado en su totalidad por los autores, se encuentra depositado en el herbario del Real Jardín Botánico de Madrid (MA).

En la figura 1 se representa un mapa con su localización según las coordenadas UTM, y en la tabla 1 se incluye una lista numerada de las localidades muestreadas.

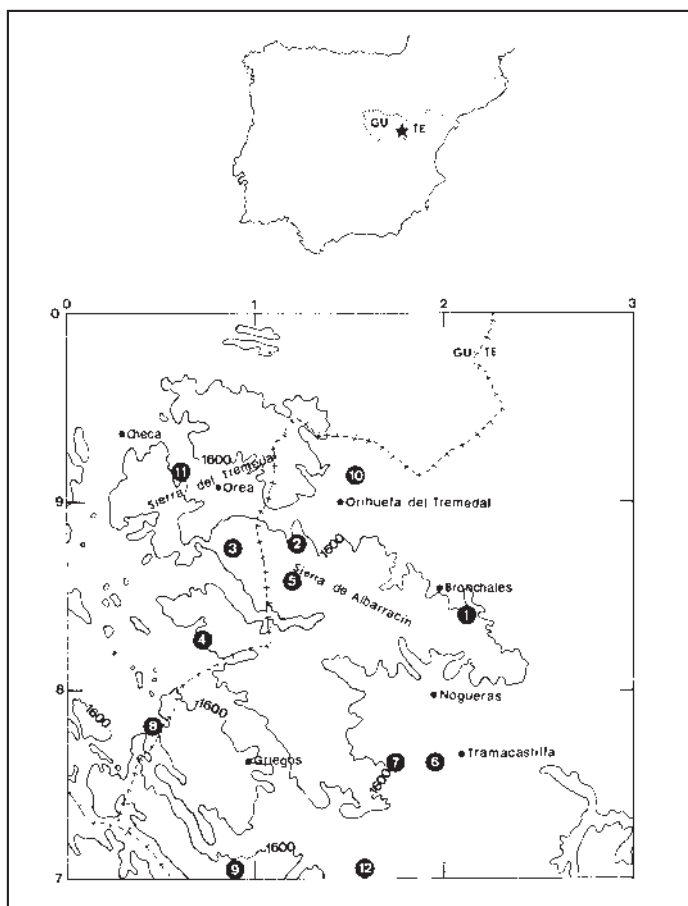


Fig. 1. Localización del área estudiada, con la situación de las localidades muestreadas según sus coordenadas UTM (30TXK).

El catálogo se lista por orden alfabético. Para las especies más interesantes se incluyen algunos comentarios sobre sus características ecológicas y corológicas más relevantes, y para las especies menos conocidas se señala alguna referencia bibliográfica donde exista una descripción, foto o dibujo que la caracterice (Ref.).

Delante del nombre de cada taxón se indica si se trata de una nueva cita para la provincia de Guadalajara (#), Teruel (\*) y nueva cita española (\*\*).

TABLA 1

### Lista de localidades prospectadas

- 
- Loc. 1. Teruel: Bronchales, Sierra del Tremedal, cerca de la Maja de las Cabras, 30TXK2183, 1.630 m, bosque de *Quercus pyrenaica* mezclado con pinar de *Pinus sylvestris*, areniscas.
- Loc. 2. Teruel: Orihuela del Tremedal, Sierra del Tremedal, arroyo de Gargantavellanos, 30TXK1188, 1.600 m, rodal de *Quercus pyrenaica* en el interior de un extenso pinar de *Pinus sylvestris*, areniscas.
- Loc. 3. Guadalajara: Orea, Sierra del Tremedal, arroyo del Enebral, 30TXK0887, 1.650 m, pequeño rodal de *Quercus pyrenaica*, areniscas.
- Loc. 4. Guadalajara: Orea, Sierra del Tremedal, Cerro Caballo, 30TXK0783, 1.680 m, pinar de *Pinus sylvestris*, areniscas cuarcíticas.
- Loc. 5. Teruel: Orihuela del Tremedal, Sierra del Tremedal, El Castillejo, 30TXK1185, 1.730 m, pinar de *Pinus sylvestris*, areniscas cuarcíticas.
- Loc. 6. Teruel: Tramacastilla, Sierra del Tremedal, subida al Portillo, 30TXK2076, 1.430 m, sabinar de *Juniperus thurifera*, calizas.
- Loc. 7. Teruel: Noguera, Sierra del Tremedal, barranco de las Fuentes, 30TXK1676, 1.480 m, sabinar-pinar, calizas.
- Loc. 8. Guadalajara: Checa, Sierra del Tremedal, cerca del cerro del Moro, 30TXK0377, 1.600 m, pinar de *Pinus sylvestris*, calizas.
- Loc. 9. Teruel: Villar del Cobo, barranco de la Melchora, cerca de La Cañada, 30TXK0868, 1.700 m, pinar de *Pinus sylvestris*.
- Loc. 10. Teruel: Orihuela del Tremedal, Sierra del Tremedal, 30TXK1591, 1.500 m, pequeña repoblación de *Populus nigra* junto a un rodal de *Quercus pyrenaica*, cuarcitas.
- Loc. 11. Guadalajara: Orea, arroyo del río Cabrillas, 30TXK0592, 1.500 m, pequeña repoblación de *Populus nigra*, areniscas cuarcíticas.
- Loc. 12. Teruel: Frías de Albarracín, barranco de las Casas de Frías, subida hacia el alto del Moro, 30TXK1469, 1.470 m, sabinar-pinar, calizas.
- 

## RESULTADOS

*Anptychia ciliaris* (L.) Körb. - Loc. 6, 7 y 12, *Juniperus thurifera*. Loc. 11, *Populus nigra*. Loc. 1, 3 y 10, *Quercus pyrenaica*.

*Bacidia bagliettoana* (A. Massal & De Not.) Jatta - Loc. 6, sobre *Peltigera* sp.

**\*Bacidia incompta** (Borrer ex Hook.) Anzi - Ref.: VAINIO (1922: 166). Loc. 12, *Juniperus thurifera*. Epífita y poco frecuente, la encontramos sobre corteza de sabina junto a *Waynea adscendens*. En la Península Ibérica se conoce de Cataluña (LLIMONA, 1991), Navarra (ETAYO, 1990) y Portugal (BOOM *et al.*, 1990). Hasta ahora, *Bacidia incompta* parecía tener preferencia a instalarse sobre cortezas ricas en bases, por lo que con nuestro hallazgo se amplía notablemente el rango ecológico de la especie y su área de distribución en la Península Ibérica. En Europa es conocida desde el sur de Escandinavia hasta las regiones más templadas del Mediterráneo (NIMIS, 1993) y también es conocida de Norteamérica.

**#Bacidia naegelii** (Hepp) Zahlbr. - Loc. 3, *Quercus pyrenaica*. Loc. 6, *Juniperus thurifera*.

**Bacidia rubella** (Hoffm.) A. Massal. - Loc. 1 y 2, *Quercus pyrenaica*.

**\*Bacidia subincompta** (Nyl.) Arnold - Ref.: VAINIO (1922: 154). Loc. 7, *Juniperus thurifera*. Se trata de una especie muy escasa en la zona de estudio, que crece sobre corteza de *Juniperus thurifera*, en un sabinar situado en el fondo del barranco de las Fuentes. En la Península Ibérica se conoce de Cataluña (GÓMEZ BOLEA, 1985), Navarra (ETAYO, 1990) y Algarve (Portugal) (BOOM y GIRALT, 1996). Se extiende por todo el continente europeo, desde las zonas boreales hasta las templadas, apareciendo también en Norteamérica (NIMIS, 1993).

**Bryoria capillaris** (Ach.) Brodo & D. Hawksw. - Loc. 4, 5, 7, 8 y 9, *Pinus sylvestris*.

**Bryoria fuscescens** (Gyeln.) Brodo & D. Hawksw. - Loc. 1, *Quercus pyrenaica*. Loc. 4, 5, 8 y 9, *Pinus sylvestris*.

**\*Bryoria implexa** (Hoffm.) Brodo & D. Hawksw. - Ref.: BRODO y HAWKSWORTH (1977: 121), HOLIEN (1989: 247). Loc. 1, 4, 7, 8 y 9, *Pinus sylvestris*. Loc. 3, *Quercus pyrenaica*. Frecuente en los pisos supra- y oromediterráneo de la Sierra del Tremedal, entre los 1.400 y 1.700 m. Habita en los bosques de coníferas (*Pinus sylvestris*) subhúmedos, maduros y estables. Aparece junto a *Bryoria fuscescens*, *Hypogymnia farinacea* y *Pseudevernia furfuracea*. Es una especie escasa en la Península Ibérica, donde sólo se conoce del norte (OTTOSON, 1968; LLIMONA, 1976; GÓMEZ-BOLEA, 1985) y de las sierras meridionales salmantinas (MARCOS, 1986). Presenta una distribución dispersa en áreas centrales del norte, centro y este de Europa.

**Buellia alboatra** (Hoffm.) Th. Fr. - Loc. 6 y 7, *Juniperus thurifera*.

**\*Buellia cedricola** Werner - Ref.: BURGAZ y SARRIÓN (1995: 305). Loc. 7, leño de *Juniperus thurifera*. Herborizada exclusivamente sobre madera de sabina de gran dureza. Con esta nueva aportación, su área de distribución se amplía notablemente ya que, hasta ahora, esta especie se conocía únicamente de Sierra Madrona (Ciudad Real), Montes de Toledo, Sierra Morena y Sierra de Segura (Jaén), siempre sobre leño de *Juniperus oxycedrus* y *J. phoenicea* (BURGAZ y SARRIÓN, 1995; SARRIÓN y ARAGÓN, 1995; SARRIÓN y BURGAZ, 1995; ARAGÓN y MARTÍNEZ, 1997). De distribución mediterránea, se desarrolla habitualmente sobre madera muerta de enebro en comunidades del *Buellietum cedricolae*. Especie de distribución mediterránea, conocida del norte de Marruecos y Córcega (BURGAZ y SARRIÓN, 1995).

- Buellia disciformis** (Fr.) Mudd - Loc. 4 y 7, *Pinus sylvestris*. Loc. 9, tocón de *Pinus sylvestris*.
- #**Buellia griseovirens** (Turner & Borrer ex Sm.) Almb. - Loc. 11, *Populus nigra*.
- \***Buellia lauricassiae** (Fée) Müll. Arg. - Loc. 7, *Juniperus thurifera*.
- Caloplaca cerina** (Hedwig) Th. Fr. - Loc. 6 y 12, *Juniperus thurifera*. Loc. 7, *Pinus sylvestris*. Loc. 10 y 11, *Populus nigra*.
- Caloplaca citrina** (Hoffm.) Th. Fr. - Loc. 6 y 12, *Juniperus thurifera*. Loc. 4, *Pinus sylvestris*.
- Caloplaca ferruginea** (Huds.) Th. Fr. - Loc. 7 y 9, *Pinus sylvestris*. Loc. 1 y 3, *Quercus pyrenaica*.
- Caloplaca flavorubescens** (Huds.) J.R. Laundon - Loc. 4, *Pinus sylvestris*. Loc. 10, *Populus nigra*.
- Caloplaca haematites** (Saint-Amans) Zwackh - Loc. 6, *Juniperus thurifera*. Loc. 10, *Populus nigra*.
- #**Caloplaca holocarpa** (Hoffm.) Wade - Loc. 4 y 7, *Pinus sylvestris*. Loc. 10 y 11, *Populus nigra*.
- Candelariella vitellina** (Hoffm.) Müll. Arg. - Loc. 1, *Quercus pyrenaica*.
- Candelariella xanthostigma** (Ach.) Lettau - Loc. 5 y 7, *Pinus sylvestris*. Loc. 1, *Quercus pyrenaica*.
- Cetraria chlorophylla** (Willd.) Vain. - Loc. 1, 4, 5, 7, 9 y 12, *Pinus sylvestris*.
- Chaenotheca furfuracea** (L.) Tibell - Loc. 5, base de *Quercus pyrenaica*.
- \*\***Chaenothecopsis debilis** (Turner & Borrer ex Sm.) Tibell - Ref.: SARRIÓN *et al.* (en prensa). Loc. 6 y 12, *Juniperus thurifera*. Es la primera vez que se cita esta especie en la Península Ibérica, junto a otros cuatro ejemplares recolectados en las provincias de Asturias, Ciudad Real, Cuenca y Navarra (SARRIÓN *et al.*, en prensa). *Ch. debilis* presenta una distribución dispersa en la Península Ibérica, donde habita en los pisos montano y mesomediterráneo superior (SARRIÓN *et al.*, en prensa).
- \***Chromatochlamys muscorum** (Fr.) Mayrhofer & Poelt - Ref.: MAYRHOFER y POELT (1985: 28). Loc. 1, base de *Pinus sylvestris*. Loc. 2, *Quercus pyrenaica*. Es frecuente encontrarlo viviendo sobre briofitos que colonizan la base de los árboles. En España es conocido de Asturias (MAYRHOFER y POELT, 1985), Navarra (ETAYO, 1987), La Rioja (ETAYO y BREUSS, 1996), Salamanca (MARCOS, 1986) y Zamora (ARAGÓN *et al.*, 1998). De amplia distribución en Europa, desde Escandinavia hasta las montañas de la Región Mediterránea (MAYRHOFER, 1987; NIMIS, 1993).
- Cladonia chlorophaea** (Sommerf.) Sprengel - Loc. 4, 5, 7, 8 y 9, base de *Pinus sylvestris*.
- Cladonia coniocraea** (Flörke) Spreng. - Loc. 5, base de *Pinus sylvestris*. Loc. 4, 5 y 8, tocón de *Pinus sylvestris*.
- #\***Cladonia diversa** Asperges - Ref.: BURGAZ y AHTI (1994: 406). Loc. 8 y 9, base de *Pinus sylvestris*. Se instala sobre suelos ácidos, restos vegetales, madera en descomposición y bases de árboles, en el interior de bosques de coníferas. En el territorio estudiado es especialmente frecuente en

el piso oromediterráneo, donde la encontramos en el interior de pinares bien conservados. De amplia distribución en la Península Ibérica y resto de Europa.

**Cladonia fimbriata** (L.) Fr. - Loc. 1 y 7, base de *Pinus sylvestris*. Loc. 2, *Quercus pyrenaica*.

**Cladonia ochrochlora** Flörke - Loc. 1 y 7, base de *Pinus sylvestris*.

**Cladonia pyxidata** (L.) Hoffm. - Loc. 1, 2 y 3, *Quercus pyrenaica*.

**Cladonia subulata** (L.) Wigg. - Loc. 5, base de *Pinus sylvestris*.

\***Collema nigrescens** (Huds.) DC. - Loc. 1, *Quercus pyrenaica*. *Collema nigrescens* es una especie cortícola e higrófila, que vive sobre troncos musgosos de *Quercus pyrenaica*. Es un elemento oceánico, que en Europa aparece en zonas con esta influencia, desde el Ártico hasta la Región Mediterránea; también conocido del norte de África (DEGELIUS, 1954; SCHAUER, 1965; NIMIS, 1993).

\***Dendriscoaulon umhausense** (Auersw.) Degel. - Loc. 1, 2 y 3, *Quercus pyrenaica*.

**Diploschistes muscorum** (Scop.) R. Sant. - Loc. 7, sobre *Cladonia* sp., base de *Pinus sylvestris*.

**Evernia prunastri** (L.) Ach. - Loc. 1, 2 y 3, *Quercus pyrenaica*. Loc. 7, *Pinus sylvestris*.

**Hypocenyomyce scalaris** (Ach.) M. Choisy - Loc. 1, 4, 5, 7 y 8, *Pinus sylvestris*.

**Hypogymnia farinacea** Zopf - Loc. 1, 4, 5, 7, 8 y 9, *Pinus sylvestris*.

**Hypogymnia physodes** (L.) Nyl. - Loc. 1, 4, 5, 7, 8 y 9, *Pinus sylvestris*.

**Hypogymnia tubulosa** (Schaer.) Hav. - Loc. 4, 5, 7, 8, 9 y 12, *Pinus sylvestris*. Loc. 1, 2, 3 y 10, *Quercus pyrenaica*.

#**Imshaugia aleurites** (Ach.) S.F. Meyer - Loc. 1 y 8, *Pinus sylvestris*.

**Lecanora carpinea** (L.) Vain. - Loc. 7, *Acer* sp. Loc. 1, 2, 3 y 10, *Quercus pyrenaica*.

**Lecanora chlarotera** Nyl. - Loc. 1 y 2, *Quercus pyrenaica*. Loc. 6, *Juniperus thurifera*. Loc. 10 y 11, *Populus nigra*.

#**Lecanora hagenii** (Ach.) Ach. - Loc. 6, *Juniperus thurifera*. Loc. 7, *Pinus sylvestris*. Loc. 11, *Populus nigra*.

**Lecanora horiza** (Ach.) Lindsay - Loc. 6, 7 y 12, *Juniperus thurifera*. Loc. 10, *Populus nigra*.

**Lecanora intumescens** (Rebent.) Rabenh. - Loc. 7, *Acer* sp. Loc. 2 y 3, *Quercus pyrenaica*.

**Lecanora meridionalis** H. Magn. - Loc. 7, *Acer* sp.

#\***Lecanora pulicaris** (Pers.) Ach. - Loc. 8 y 9, *Pinus sylvestris*.

#\***Lecanora quercicola** Coppins & P. James - Ref.: COPPINS y JAMES (1979: 145). Loc. 1, 4, 5, 7, 8 y 9, *Pinus sylvestris*. Se trata de una especie que vive sobre corteza de pino silvestre. Se distribuye por los pisos supra y oromediterráneo de toda la Sierra del Tremedal. En España se conoce únicamente en Navarra (ETAYO y GÓMEZ BOLEA, 1992) y Lugo (ETAYO et al., 1992). Presenta aún una



distribución incierta, ya que sólo se conoce citada de las Islas Británicas, Francia, Italia y norte de España (NIMIS, 1993).

*Lecanora rugosella* Zahlbr. - Loc. 3, *Quercus pyrenaica*.

#\**Lecanora saligna* H. Magn. - Loc. 5, 8 y 9, tocón de *Pinus sylvestris*.

#\**Lecanora strobilina* (Spreng.) Kieff. - Loc. 7 y 8, *Pinus sylvestris*.

\*\**Lecidea hypopta* Ach. - Syn.: *Lecanora hypopta* (Ach.) Vain., *Biatora hypopta* (Ach.) Räsänen Ref.: PURVIS *et al.* (1992: 329). Loc. 4, 5, 7, 8 y 9, *Pinus sylvestris*. Se trata de una especie epifítica y frecuente, que vive sobre corteza de *Pinus sylvestris*, en el interior de pinares estables y bien conservados. Es común en el centro y norte de Europa, Islas Británicas y Norteamérica, siempre sobre madera de coníferas (PURVIS *et al.*, 1992). *L. hypopta* es incluida por algunos autores dentro del género *Lecanora*, del que la excluimos por la ausencia de excípulo talino y la presencia de asco del tipo *Catillaria* y no *Lecanora*.

*Lecidella elaeochroma* (Ach.) M. Choisy - Loc. 3, *Quercus pyrenaica*.

*Lecidella euphorea* (Flörke) Hertel - Loc. 1, *Quercus pyrenaica*. Loc. 6 y 12, *Juniperus thurifera*. Loc. 10 y 11, *Populus nigra*.

*Lepraria incana* (L.) Ach. - Loc. 1 y 2, *Quercus pyrenaica*. Loc. 4 y 5, tocón de *Pinus sylvestris*. Loc. 8 y 9, *Pinus sylvestris*.

\**Leptogium gelatinosum* (With.) J.R. Laundon - Loc. 1, *Quercus pyrenaica*. Se trata de una especie epifítica y escasa, que herborizamos sobre corteza de *Quercus pyrenaica*, siempre asociada con briofitos. Convive con *Leptogium lichenoides*, *L. saturninum*, *Melanelia* sp. Presenta el mismo comportamiento ecológico que *Leptogium lichenoides*, pero más escaso que éste. De amplia distribución en España y Europa.

\**Leptogium lichenoides* (L.) Zahlbr. - Loc. 1, *Quercus pyrenaica*. Loc. 6 y 7, *Juniperus thurifera*.

\**Leptogium saturninum* (Dickson) Nyl. - Loc. 1, *Quercus pyrenaica*. Loc. 10, *Populus nigra*.

*Letharia vulpina* (L.) Hue - Loc. 5, *Pinus sylvestris*.

\**Lobaria scrobiculata* (Scop.) DC. - Loc. 1 y 2, *Quercus pyrenaica*.

#*Megaspora verrucosa* (Ach.) Haf. & Wirth - Loc. 6 y 12, *Juniperus thurifera*. Loc. 11, *Populus nigra*.

*Melanelia elegantula* (Zahlbr.) Essl. - Loc. 1 y 2, *Quercus pyrenaica*.

*Melanelia exasperata* (De Not.) Essl. - Loc. 7, *Acer* sp. Loc. 6 y 12, *Juniperus thurifera*. Loc. 11, *Populus nigra*. Loc. 1, 2 y 10, *Quercus pyrenaica*.

*Melanelia exasperatula* (Nyl.) Essl. - Loc. 1, 2 y 3, *Quercus pyrenaica*. Loc. 7 y 9, *Pinus sylvestris*.

#*Melanelia fuliginosa* (Fr.) Essl. - Loc. 2 y 3, *Quercus pyrenaica*.

**Melanelia glabra** (Schaerer) Essl. - Loc. 1 y 2, *Quercus pyrenaica*.

**Melanelia laciniatula** (Flagey ex H. Olivier) Essl. - Loc. 1, *Pinus sylvestris*.

#**Melanelia subargentifera** (Nyl.) Essl. - Loc. 1, 2 y 3, *Quercus pyrenaica*. Loc. 11, *Populus nigra*.

**Melanelia subaurifera** (Nyl.) Essl. - Loc. 7 y 8, *Pinus sylvestris*. Loc. 3, *Quercus pyrenaica*.

#**Micarea denigrata** (Fr.) Hedl. - Loc. 4, tocón de *Pinus sylvestris*.

**Micarea prasina** Fr. - Loc. 5, tocón de *Pinus sylvestris*.

#\***Micarea synotheoides** (Nyl.) Coppins - Ref.: COPPINS (1983). Loc. 1 y 3, *Quercus pyrenaica*. Se trata de una especie que vive sobre corteza de *Quercus pyrenaica*, en los escasos rodales de melojos que existen en la sierra. Aparece junto a *Bacidia rubella*, *Melanelia* sp. y *Pannaria mediterranea*. En España aparece de forma dispersa en Ciudad Real (SARRIÓN *et al.*, 1993), Navarra (ETAYO y GÓMEZ BOLEA, 1992), Tarragona (GIRALT y GÓMEZ BOLEA, 1990) y Segovia (MARTÍNEZ y ARAGÓN, 1996). Especie suboceánica que se extiende por Japón, Islas Británicas, Azores y penetra hasta el Mediterráneo (NIMIS, 1993).

**Mycocalicium subtile** (Pers.) Szat. - Loc. 12, *Juniperus thurifera*.

\***Nephroma parile** (Ach.) Ach. - Loc. 1 y 2, *Quercus pyrenaica*. En la zona estudiada es una especie corticícola, que aparece en formaciones boscosas más o menos cerradas y poco alteradas, donde existe elevada humedad atmosférica y aire no contaminado. Crece en la base musgosa de ejemplares de *Quercus pyrenaica*. En la Península Ibérica, es más común en zonas con influencia oceánica del norte y oeste, haciéndose progresivamente más rara en el resto, donde sólo aparece en localidades con elevada humedad atmosférica (ARAGÓN y MARTÍNEZ, 1995). Presenta una distribución circumboreal templada en el Hemisferio Norte, extendiéndose a las regiones árticas. También es conocido de Tierra de Fuego, en Chile (NIMIS, 1993).

**Ochrolechia pallescens** (L.) A. Massal. - Loc. 1, *Quercus pyrenaica*. Loc. 4, *Pinus sylvestris*. Loc. 6 y 7, *Juniperus thurifera*.

#**Ochrolechia turneri** (Sm.) Hasselrot - Loc. 1, 4, 5, 7, 8 y 9, *Pinus sylvestris*.

\***Opegrapha varia** Pers. - Loc. 7, *Juniperus thurifera*.

\***Pannaria conoplea** (Ach.) Bory - Loc. 1 y 2, *Quercus pyrenaica*. Especie epifítica y frecuente, que aparece junto a *Nephroma parile*, *Pannaria mediterranea*, *P. rubiginosa* y *Peltigera collina*. *Pannaria conoplea* es más frecuente en la región Eurosiberiana. En la región Mediterránea, queda relegada a bosques poco alterados, más o menos cerrados y con cierta humedad ambiental. De amplia distribución en Europa, aparece desde el sur de la Península Ibérica hasta el norte de Noruega (JØRGENSEN, 1978).

\***Pannaria mediterranea** Tavares - Loc. 1 y 2, *Quercus pyrenaica*.

\***Pannaria rubiginosa** (Ach.) Bory - Loc. 1, *Quercus pyrenaica*. Especie epifítica y muy escasa en el área de estudio, que vive en formaciones arbóreas bien conservadas y con cierta humedad

atmosférica. Comparte hábitat con *Nephroma parile*, *Pannaria conoplea* y *Pannaria mediterranea*. En España, es más frecuente en los bosques de fagáceas del norte de la Península Ibérica (Asturias, Cantabria, Navarra), que en el sur, donde sólo la conocemos citada de la provincia de Málaga (ARVIDSSON, 1979) y Jaén (ARAGÓN y RICO, 1997). De amplia distribución en Europa, desde la Península Escandinava hasta la Región Mediterránea, prefiere vivir en bosques poco alterados y con elevada humedad atmosférica (JØRGENSEN, 1978; NIMIS, 1993).

*Parmelia saxatilis* (L.) Ach. - Loc. 1, 5, 7, 8, 9 y 12, *Pinus sylvestris*. Loc. 3, *Quercus pyrenaica*.

*Parmelia sulcata* Taylor - Loc. 1 y 2, *Quercus pyrenaica*.

*Parmelina quercina* (Willd.) Hale - Loc. 7, *Acer* sp.

*Parmelina tiliacea* (Hoffm.) Hale - Loc. 4, *Pinus sylvestris*. Loc. 10, *Populus nigra*.

*Parmeliopsis ambigua* (Wulfen) Nyl. - Loc. 1, 4, 5, 7, 8, 9 y 12, *Pinus sylvestris*.

*Peltigera canina* (L.) Willd. - Loc. 3, *Quercus pyrenaica*. Loc. 4, *Juniperus communis*.

*Peltigera collina* (Ach.) Schrad. - Loc. 1 y 2, *Quercus pyrenaica*.

*Pertusaria albescens* (Huds.) M. Choisy & Werner - Loc. 1 y 2, *Quercus pyrenaica*. Loc. 6, 7 y 12, *Juniperus thurifera*. Loc. 10, *Populus nigra*.

*Pertusaria amara* (Ach.) Nyl. - Loc. 1, 2 y 3, *Quercus pyrenaica*.

\**Pertusaria coccodes* (Ach.) Nyl. - Loc. 1, *Quercus pyrenaica*. Loc. 7, *Juniperus thurifera*.

#*Pertusaria hemisphaerica* (Flörke) Erichsen - Loc. 2 y 3, *Quercus pyrenaica*.

*Pertusaria paramerae* Crespo & Vezda - Loc. 6, 7 y 12, *Juniperus thurifera*.

*Phaeophyscia orbicularis* (Necker) Moberg - Loc. 10 y 11, *Populus nigra*.

*Phlyctis argena* (Spreng.) Flot. - Loc. 1 y 3, *Quercus pyrenaica*. Loc. 12, *Juniperus thurifera*.

*Physcia adscendens* (Fr.) H. Olivier - Loc. 6, 7 y 12, *Juniperus thurifera*. Loc. 10 y 11, *Populus nigra*.

*Physcia aipolia* (Humb.) Hampe - Loc. 1, 2 y 3, *Quercus pyrenaica*. Loc. 10 y 11, *Populus nigra*.

*Physcia biziana* (A. Massal.) Zahlbr. - Loc. 6 y 7, *Juniperus thurifera*.

*Physcia stellaris* (L.) Nyl. - Loc. 10, *Quercus pyrenaica*. Loc. 11, *Populus nigra*.

*Physcia tenella* (Scop.) DC. - Loc. 7, *Juniperus thurifera*.

\**Physconia distorta* (With.) J.R. Laundon - Loc. 1, *Quercus pyrenaica*. Loc. 10 y 11, *Populus nigra*.

*Physconia enteroxantha* (Nyl.) Poelt - Loc. 1, 2, 3 y 10, *Quercus pyrenaica*. Loc. 11, *Populus nigra*. Loc. 12, *Juniperus thurifera*.

*Physconia perisidiosa* (Erichsen) Moberg - Loc. 1, 2 y 3, *Quercus pyrenaica*.

- Physconia venusta** (Ach.) Poelt - Loc. 1, 2 y 3, *Quercus pyrenaica*.
- Platismatia glauca** (L.) W. L. Culb. & C.F. Culb. - Loc. 1, 4, 7 y 8, *Pinus sylvestris*.
- Pleurosticta acetabulum** (Neck.) Elix & Lumbsch - Loc. 1, 2 y 10, *Quercus pyrenaica*. Loc. 7, *Acer* sp. Loc. 8 y 9, *Pinus sylvestris*. Loc. 11, *Populus nigra*.
- Pseudevernia furfuracea** (L.) Zopf - Loc. 1 y 10, *Quercus pyrenaica*. Loc. 4, 5, 7, 8, 9 y 12, *Pinus sylvestris*.
- \*Psoroma hypnorum** (Vahl) Gray - Loc. 7, base de *Pinus sylvestris*. Especie muscícola o terrícola, que encontramos viviendo sobre briofitos en la base de *Pinus sylvestris*. En la Península Ibérica es una especie rara que aparece con mayor frecuencia en los bosques de la región Eurosiberiana. Es común en el norte de Europa (JØRGENSEN, 1978).
- Ramalina farinacea** (L.) Ach. - Loc. 1, 2 y 10, *Quercus pyrenaica*. Loc. 7, *Juniperus thurifera*.
- Ramalina fastigiata** (Pers.) Ach. - Loc. 1, *Quercus pyrenaica*.
- Ramalina fraxinea** (L.) Ach. - Loc. 1, 2, 3 y 10, *Quercus pyrenaica*.
- \*Ramalina pollinaria** (Westr.) Ach. - Loc. 1 y 3, *Quercus pyrenaica*.
- Rinodina archaea** (Ach.) Arnold - Loc. 4 y 5, *Pinus sylvestris*.
- Rinodina colobina** (Ach.) Th. Fr. - Loc. 6, 7 y 12, *Juniperus thurifera*.
- Rinodina exigua** (Ach.) Gray - Loc. 1 y 3, *Quercus pyrenaica*.
- Rinodina pyrina** (Ach.) Arnold - Loc. 1, *Quercus pyrenaica*. Loc. 10, *Populus nigra*.
- #Saccomorpha icmalea** (Ach.) Clauz. & Roux - Loc. 4 y 8, tocón de *Pinus sylvestris*.
- Tephromela atra** (Huds.) Hafellner - Loc. 7 y 12, *Juniperus thurifera*.
- #Trapeliopsis flexuosa** (Fr.) Coppins & P. James - Loc. 1, 4, 7, 8, 9 y 12, base de *Pinus sylvestris*.
- \*Usnea glabrescens** (Vain.) Vain. - Loc. 1 y 3, *Quercus pyrenaica*.
- Usnea hirta** (L.) Weber ex F.H. Wigg. - Loc. 1, 4, 5, 7, 8, 9 y 12, *Pinus sylvestris*.
- \*Usnea substerilis** Motyka - Loc. 1, 2, 3 y 10, *Quercus pyrenaica*. La taxonomía de esta especie ha sido muy variable, ya que fue incluida en *U. laricina* de la cual se diferencia por poseer numerosas papilas (OZENDA y CLAUZADE, 1970) y como sinónimo de *U. lapponica* junto con *U. wasmuthii* y *U. fulvorenans* (CLAUZADE y ROUX, 1985). Ph. Clerc (com. pers.) la considera un taxón independiente por sus características morfológicas y químicas. En el territorio estudiado es una especie frecuente, que vive sobre troncos y ramas de *Quercus pyrenaica*. Debido a la confusión nomenclatural existente en esta especie, su distribución es aún incierta. En España se conoce de Ciudad Real (SARRIÓN *et al.*, 1993) y Gerona (GÓMEZ BOLEA, 1984).
- \*Waynea adscendens** Rico - Ref.: RICO (1991: 130), ROUX *et al.* (1995: 394). Loc. 7 y 12, *Juniperus thurifera*. Taxón frecuente, recolectado siempre sobre corteza de sabinas centenarias.

en zonas del tronco poco expuestas a la luz solar y cubiertas de briofitos. Es la primera vez que se ha observado viviendo sobre cortezas ácidas (*Juniperus thurifera*) ya que, hasta el momento, todas las referencias a este taxón han sido sobre cortezas neutras, preferentemente de encina. Las citas aportadas hasta ahora nos indican que esta especie presenta una ecología muy peculiar, apareciendo siempre en árboles centenarios, en bosques estables y poco alterados. En la Península Ibérica solamente ha sido citado con anterioridad de Jaén (RICO, 1991) y Toledo (ARAGÓN y MARTÍNEZ, 1997). Hasta la fecha, los datos que tenemos sobre la distribución de esta especie se refieren al sur de Francia y SE de España (ROUX *et al.*, 1995). Parece ser una especie de ámbito Mediterráneo.

\**Xanthoria candelaria* (L.) Th. Fr. - Loc. 10 y 11, *Populus nigra*.

*Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. - Loc. 6, 7 y 12, *Juniperus thurifera*. Loc. 10 y 11, *Populus nigra*.

#*Xylographa abietina* (Pers.) Zahlbr - Loc. 5 y 8, tocón de *Pinus sylvestris*.

## CONCLUSIONES

Como resultado del estudio de los líquenes epifíticos de la Sierra del Tremedal, hemos confeccionado un catálogo que incluye 127 especies recolectadas en 12 localidades distintas. Las campañas para la recogida de datos y muestras se han llevado a cabo durante los años 1997 y 1998. Se han estudiado 650 pliegos que incluyen material epifítico sobre diversos forófitos.

Según nuestros datos, 23 especies constituyen nuevas citas para la provincia de Guadalajara y 31 de ellas son nuevas citas para la provincia de Teruel. Entre ellas destacamos por su importancia corológica: *Bacidia incompta*, *B. subincompta*, *Bryoria inplexa*, *Buellia cedricola*, *Chromatochlamys muscorum*, *Lecanora quercicola*, *Micarea synotheoides*, *Pannaria conoplea*, *P. rubiginosa* y *Waynea adscendens*. Su hallazgo representa grandes ampliaciones en su área de distribución peninsular. Además, señalamos que *Chaenothecopsis debilis* y *Lecidea hypopta* constituyen primeras citas para la Península Ibérica.

Del análisis de los resultados, hay que señalar que la mayoría de las especies recolectadas son de amplia distribución. Destacamos la abundancia de líquenes con biotipo crustáceo (alrededor del 50%) que aparecen con mayor frecuencia en las zonas de menor altitud. Prevalcen aquellos que viven sobre cortezas ricas en nutrientes, en zonas expuestas, bordes de carreteras y pistas y zonas alteradas por el ganado y el uso agrícola (*Caloplaca*, *Lecanora*, *Lecidella*, *Rinodina*), en contraposición con la mayor abundancia de macrolíquenes (biotipo foliáceo, fruticuloso y compuesto) que se instalan en las formaciones de *Pinus sylvestris* y *Quercus pyrenaica* de los pisos supramediterráneo superior y oromediterráneo.

Destacamos la localidad 2, arroyo de Gargantavellanos, enclave especialmente húmedo, donde se instala un pinar de *Pinus sylvestris* con una cobertura cercana al 80% y en cuyo interior se desarrollan pequeños rodales de *Quercus pyrenaica*. También, la localidad 1 merece especial mención, ya que en ella se encuentra el melojar (*Quercus pyrenaica*) más estable y mejor conservado de toda

la Sierra, cuyo interior alberga una flora de líquenes epífitos de gran riqueza y diversidad (*Lobaria scrobiculata*, *Melanelia subargentifera*, *Nephroma parile*, *Pannaria conoplea*, *P. rubiginosa*, *Usnea substerilis*). Por último, destacamos la localidad 7, barranco de las Fuentes, donde se instala un sabinar de ladera formado por ejemplares ancianos y de gran porte. En él aparecen especies de notable importancia corológica tales como: *Bacidia subincompta*, *Buellia cedricola* y *Waynea adscendens*.

Debido a las particulares condiciones orográficas, climáticas e hídricas de la Sierra del Tremedal y el buen estado de conservación que presentan algunos pinares y sabinares en los pisos supra y oromediterráneo, aparece una gran diversidad florística, tanto de flora vascular como liquénica. Esta flora está constituida por una mezcla de especies típicamente mediterráneas y de otras de procedencia centroeuropea, adaptadas a ambientes de mayor humedad. Esta riqueza y diversidad florística hacen de determinadas zonas de la Sierra del Tremedal un lugar con un gran valor biológico, que los hacen merecedores de medidas adecuadas de protección.

### Agradecimientos

Queremos agradecer la financiación de este trabajo al Instituto de Estudios Turolenses por la concesión de una ayuda de la sección de Biología en 1997. Agradecemos también a los Drs. Etayo y Lumbsch la confirmación del material crítico de los géneros *Bacidia* y *Lecanora* respectivamente.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAGÓN, G. y MARTÍNEZ, I. (1995), «Cartografía Corológica de Líquenes Ibéricos, II», *Bot. Complutensis*, 20, pp. 117-137.
- (1997), «Contribución al conocimiento de los líquenes epífitos de los Montes de Toledo (Toledo, España)», *Cryptogamie, Bryol. Lichénol.*, 18, pp. 63-75.
- ARAGÓN, G.; MARTÍNEZ, I. y BURGAZ, A.R. (1998), «Contribución al conocimiento de los líquenes epífitos del Valle de Sanabria (Zamora)», *Cryptogamie, Bryol. Lichénol.* (en prensa).
- ARAGÓN, G. y RICO, V.J. (1997), «Los macrolíquenes del macizo del Calar del Mundo (Albacete) y de la Sierra de Segura (Jaén, España)», *Lazaroa*, 18, pp. 45-93.
- ARVIDSSON, L. (1979), «Notes on some interesting lichens from Morocco and Spain», *Göteborgs Svanplubbs Årsskrift*, pp. 21-37.
- BOOM, P. van den; APTROOT, A. y KNAAP, W.O. van den (1990), «New and interesting lichen records from Portugal», *Nova Hedwigia*, 50, pp. 463-472.
- BOOM, P. van den y GIRALT, M. (1996), «Contribution to the flora of Portugal, lichens and lichenicolous fungi I», *Nova Hedwigia*, 63, pp. 145-172.
- BRODO, I.M. y HAWKSWORTH, D.L. (1977), «*Alectoria* and allied genera in North America», *Opera Bot.*, 42, pp. 1-164.
- BURGAZ, A.R. y AHTI, T. (1994), «Contribution to the study of the genera *Cladina* and *Cladonia* in Spain. II», *Nova Hedwigia*, 59, pp. 399-440.

- BURGAZ, A.R. y SARRIÓN, F.J. (1995), «*Buellia cedricola* new to Europe», *Lichenologist*, 27, pp. 305-319.
- CLAUZADE, G. y ROUX, C. (1985), «Likenoj de Okcidenta Europo. Ilustrita determinlibro», *Bull. Soc. Bot. Centre-Ouest, Nouv. Sér.*, 7, 893 pp.
- COPPINS, B.J. (1983), «A taxonomic study of the lichen genus *Micarea* in Europe», *Bull. British Museum (Nat. Hist.)*, 11, 2, pp. 17-214.
- COPPINS, B.J. y JAMES, P.W. (1979), «New or interesting British Lichens IV», *Lichenologist*, 11, pp. 139-179.
- DEGELIUS, G. (1954), «The lichen genus *Collema* in Europe. Morphology, taxonomy, ecology», *Symb. Bot. Upsal.*, 13, 499 págs.
- ETAYO, J. (1987), «Algunos líquenes epífitos de la montaña navarra», *Anales Jard. Bot. Madrid*, 44, pp. 23-29.
- (1990), «Consideraciones corológicas sobre la flora líquénica epífita de Navarra», *Príncipe de Viana*, 10, pp. 73-93.
- ETAYO, J. y BREUSS, O. (1996), «Líquenes y hongos liquenícolas de los Pirineos occidentales y norte de la Península Ibérica. IV», *Cryptogamie, Bryol. Lichénol.*, 17, pp. 213-230.
- ETAYO, J. y GÓMEZ-BOLEA, A. (1992), «Estabilidad ecológica por medio de bioindicadores líquénicos en robledales de los Pirineos atlánticos», *Folia Bot. Misc.*, 8, pp. 61-75.
- ETAYO, J.; LÓPEZ de SILANES, M.E. y BAHILLO, L. (1992), «Contribución a la flora líquénica de Galicia Central-Tras os Montes», *Nova Acta Ci. Compostelana (Biología)*, 2, pp. 31-39.
- GIRALT, M. y GÓMEZ-BOLEA, A. (1990), «Líquenes epífitos nuevos o interesantes, recolectados en el litoral sur de Cataluña (España). I», *Cryptogamie, Bryol. Lichénol.*, 11, pp. 43-56.
- GÓMEZ-BOLEA, A. (1984), «Líquenes epífitos de *Abies alba*, *Pinus sylvestris* y *Pinus uncinata*, en la collada de Toses (Girona)», *Anales Biol. (Murcia)*, 1, pp. 233-235.
- (1985), *Líquenes epífitos en Cataluña*, resumen de la Tesis presentada para aspirar al grado de Doctor en C.C. Biológicas, Barcelona, 54 págs., Centre de Publ. Intercanvi Científic i Extensió Universitaria.
- HOLIEN, H. (1989), «The genus *Bryoria* secc. *Implexae* in Norway», *Lichenologist*, 21, pp. 243-258.
- JØRGENSEN, P.M. (1978), «The lichen family *Pannariaceae* in Europe», *Opera Bot.*, 45, 123 pp.
- LLIMONA, X. (1976), «Prospecciones liquenológicas en el alto Aragón Occidental», *Collect. Bot. (Barcelona)*, 10, pp. 281-328.
- (1991), *Fongs i líquens. Història Natural dels Països Catalans*, vol 5, 528 págs. (Líquenes: 343-459), Barcelona, Enciclopedia Catalana S.A.
- MARCOS, B. (1986), *Flora y vegetación líquénica epífita de las sierras meridionales salmantinas*, Ediciones Universidad de Salamanca, Serie Resúmenes de Tesis Doctorales, Facultad de Farmacia, Universidad de Salamanca, 46 págs.
- MARTÍNEZ, I. y ARAGÓN, G. (1996), «Líquenes epífitos de la vertiente Norte del Puerto de la Quesera, Macizo de Ayllón (Centro de España)», *Cryptogamie, Bryol. Lichénol.*, 17, pp. 143-156.
- MARTÍNEZ, I.; ARAGÓN, G. y BURGAZ, A.R. (1998), «Estudio de la flora líquénica epífita de la Sierra de Gúdar (Teruel)», *Teruel* (en prensa).
- MAYRHOFER, H. (1987), «Monographie der Flechtengattung *Thelenella*», *Bibl. Lichenol.*, 26, 106 págs.
- MAYRHOFER, H. y POELT, J. (1985), «Die Flechtengattung *Microglæna* sensu Zahlbruckner in Europa», *Herzogia*, 7, pp. 13-79.

- NIMIS, P.L. (1993), *The lichens of Italy*, Museo Regionale di Scienze Naturali, Monografie XII, 897 págs.
- OTTOSSON, I. (1968), «*Usnea longissima* Ach. found in North-Western Spain», *Svensk. Bot. Tidkr.*, 62, pp. 515-520.
- OZENDA, P. y CLAUZADE, G. (1970), *Les Lichens. Étude biologique et flore Illustrée*, Paris, Masson, 801 págs.
- PURVIS, O.W.; COPPINS, B.J.; HAWKSWORTH, D.L.; JAMES, P.W. y MOORE, D.M. (1992), *The lichen flora of Great Britain and Ireland*, London, Natural History Museum Publications, 710 págs.
- RICO, V.J. (1991), «A new species of the genus *Waynea* Moberg: *W. adscendens* (Lichenes, *Bacidiaceae*)», *Rivasgodaya*, 6, pp. 129-136.
- RIVAS-MARTÍNEZ, S. (1987), *Memoria y mapa de las series de vegetación de España (escala 1: 400.000)*, Madrid, Publ. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - ICONA.
- ROUX, C.; CLERC, Ph.; CLAUZADE, G. y BRICAUD, O. (1995), «La genro *Waynea* Moberg (Ascomycetes, *Lecanorales*, *Bacidiaceae*)», *Biblioth. Lichenol.*, 58, pp. 383-404.
- SARRIÓN, F.J. y ARAGÓN, G. (1995), «Fragmenta Chorologica Occidentalia Lichenes, 5391-5410», *Anales Jard. Bot. Madrid*, 53, pp. 107-108.
- SARRIÓN, F.J.; ARAGÓN, G. y BURGAZ, A.R. (en prensa), «Studies on mazaediate lichens and calicoid fungi in the Iberian Peninsula», *Mycotaxon*.
- SARRIÓN, F.J. y BURGAZ, A.R. (1995), «Comunidades lignícolas del sector central de Sierra Morena (SW de España)», *Cryptogamie. Bryol. Lichénol.*, 16, pp. 137-144.
- SARRIÓN, F.J.; MARTÍNEZ, I. y BURGAZ, A.R. (1993), «Líquenes epífitos de Sierra Madrona (Ciudad Real, España)», *Cryptogamie. Bryol. Lichénol.*, 14, pp. 389-400.
- SCHAUER, T. (1965), «Ozeanische Flechten im Nordalpenraum», *Portugaliae Acta Biol.*, Sér. B, Sist., 8, pp. 17-226.
- VAINIO, E.A. (1922), «Lichenographia fennica II», *Actas Soc. Fauna Flora Fenn.*, 53, pp. 1-340.

Recibido el 17 de julio de 1998  
Aceptado el 10 de septiembre de 1998





**NUEVOS DATOS SOBRE LA INVERNADA DE LA  
LECHUZA CAMPESTRE EN UN MEDIO ESTEPARIO  
DE LA DEPRESIÓN DEL EBRO: LAS SALADAS  
DE ALCAÑIZ (NE DE TERUEL)**



*Adrián Ponz Miranda*



# NUEVOS DATOS SOBRE LA INVERNADA DE LA LECHUZA CAMPESTRE EN UN MEDIO ESTEPARIO DE LA DEPRESIÓN DEL EBRO: LAS SALADAS DE ALCAÑIZ (NE DE TERUEL)

*Adrián Ponz Miranda*

## RESUMEN

Se ha estudiado la dieta invernal y los dormideros utilizados por la lechuza campestre *Asio flammeus* en un medio estepario de la Depresión del Ebro (Saladas de Alcañiz, Teruel; UTM 30TYL345465, 350 m s.n.m.). Se han analizado egagrópilas recolectadas en invierno de 1998, observándose un claro predominio del topillo (*Microtus* sp., 86%) en la dieta invernal de dicha especie junto con una pequeña porción de ratón de campo (*Apodemus sylvaticus*, 14%). El estrato herbáceo elegido por esta especie para situar un dormidero es *Lygeum spartum*, caracterizado por presentar plumas de los propios individuos junto con egagrópilas al pie del mismo.

Por otra parte, se reflexiona sobre el área de distribución de la lechuza campestre y se propone la realización de futuros estudios en la Depresión del Ebro sobre esta especie que sirvan para establecer de manera definitiva su área de distribución en la Península Ibérica.

**Palabras clave:** lechuza campestre, *Asio flammeus*, dieta invernal, dormideros, Saladas de Alcañiz, Teruel, España.

## ABSTRACT

*New data about the wintering of the short-eared owl in a steppe of the Ebro Depression (Saladas de Alcañiz, NE Teruel, Spain).*

Winter diet and roost characteristics are studied in a steppe of Ebro Depression (Saladas de Alcañiz, Teruel; UTM 30TYL345465, 350 m asl). I analysed pellets collected during the winter of the year 1988. Winter diet is

formed by *Microtus* sp. (86%) and *Apodemus sylvaticus* (14%). The vegetal layer selected by this specie for to establish its roost was *Lygeum spartum*, and this presented feathers and pellets in its border.

Moreover, I reflect on the distribution area of short-eared owl and I propose the realisation of future studies in the Ebro Depression about this specie from to establish definitively its distribution area in the Iberian Peninsula.

**Key words:** short-eared owl, *Asio flammeus*, winter diet, roosts, Saladas de Alcañiz, Teruel, Spain.

## INTRODUCCIÓN

La biografía de la lechuza campestre (*Asio flammeus*) en la Península Ibérica, a pesar de los estudios realizados durante los últimos años por una buena parte de investigadores españoles (véanse referencias enumeradas en la Bibliografía), todavía no está bien conocida. Algunos estudios versan sobre alimentación de esta especie (GONZÁLEZ *et al.*, 1980; DELIBES *et al.*, 1991; CALVO, 1995), mientras que unos pocos sobre su ecología y distribución (ASENSIO *et al.*, 1992; FAJARDO *et al.*, 1994; JUBETE *et al.*, 1996).

ANENTO y PONZ (1992) señalan a la lechuza campestre como ave nidificante e invernante en las Saladas de Alcañiz (Teruel). En la revisión de JUBETE *et al.* (1996) se muestra a esta especie como nidificante exclusivamente en la Meseta norte y en Cataluña, e invernante sólo en la Meseta norte, franja cantábrica y zona costera de Levante y Andalucía, posiblemente por desconocimiento del estudio realizado con anterioridad en Alcañiz (Teruel), y datos aportados por el Anuario Ornitológico de Aragón "Rocín" (1991-1992) con citas de esta especie como invernante en Villar del Saz (Teruel) y en "Huerrios" (Huesca) (SEO-Aragón, 1994). Por otra parte, JUBETE *et al.* (1996) sugieren que el asentamiento de esta especie en la Península Ibérica parece estar determinada por la explosión del topillo campesino (*Microtus arvalis*), producida a partir de los comienzos de la década de los años ochenta (DELIBES y BRUNET-LECOMPTÉ, 1980; PALACIOS *et al.*, 1988), y su extensión futura por nuestra geografía dependería así de la disponibilidad de dichas poblaciones presa, al constituir el topillo campesino el principal componente de su dieta (véase para más detalle GONZÁLEZ *et al.*, 1980; JIMÉNEZ *et al.*, 1989; DELIBES *et al.*, 1991).

Con el presente trabajo se pretende aportar nuevos datos sobre la dieta invernal de la lechuza campestre, describir aspectos específicos de los dormideros utilizados por ésta y reflexionar sobre su área de distribución en la Península Ibérica.

## ÁREA DE ESTUDIO Y MÉTODOS

El área de estudio elegida fue un medio con vegetación natural esteparia situada en la Salada Grande perteneciente al complejo endorreico de la Salada de Alcañiz (Teruel; UTM 30TYL345465,

350 m s.n.m.). Detalles sobre su clima, geomorfología, vegetación y fauna han sido descritos por ANENTO y PONZ (1992).

La observación de individuos invernantes se realizó mediante visitas periódicas irregulares al área de estudio durante los años 1987-88-89, muestreando intensamente la vegetación natural en torno a la Salada Grande en busca de posibles dormitorios al amanecer y atardecer. La recolección de las egagrópilas se llevó a cabo durante el invierno de 1987-1988 en un dormitorio que se localizó en el área de estudio que fue utilizado por 6 individuos. Para determinación de los individuos-presa se realizó un análisis del contenido de las egagrópilas recogidas, utilizando una lupa binocular (20 x 12 mm), al mismo tiempo que se medían algunas de las estructuras óseas de las presas mediante un calibre (precisión 0,05 mm). Se utilizó como clave de determinación la proporcionada por GÁLLEGO y ALEMANY (1985) en función de la biometría de los individuos (véase resultados), y las características biométricas expuestas por REY (1973). Debido a la dificultad existente para diferenciar las dos especies del género *Microtus*, *M. arvalis* y *M. cabrerae*, a partir de sus restos óseos, a pesar de las referencias consultadas (véase bibliografía), y puesto que los restos encontrados pertenecen con seguridad a una de las dos especies, en el presente trabajo se utiliza el género *Microtus* para representar únicamente a estas dos especies, evitándose así cometer errores en su determinación específica.

## RESULTADOS

El tamaño medio de las egagrópilas recolectadas fue de 34,96 mm (d.t. = 7,13) por 21,23 mm (d.t. = 3,59, n = 11, fot. 1). La dieta invernal de la lechuza campestre en las Saladas de Alcañiz está compuesta principalmente por el topillo (*Microtus* sp.) con un 86% de presencia, y por el ratón de campo (*Apodemus sylvaticus*) que representa un 14% de la misma. La biometría de las estructuras óseas de las presas puede verse en la tabla 1.

TABLA 1

### Biometría de algunas estructuras óseas de las presas de lechuza campestre en las Saladas de Alcañiz, en mm

	MICROTUS SP.			APODEMUS SYLVATICUS		
	MEDIA	D.T.	n	MEDIA	D.T.	n
Anchura cigomática	12,110	2,099	11	11,630	0,025	2
Foramen palatino	3,914	0,607	11	4,175	0,375	2
Diastema	6,529	1,343	14	6,200	0,147	3
Nasales	5,844	1,075	9	6,425	0,175	2
Serie molar superior	3,845	1,104	12	3,450	0,216	3
Serie molar inferior	3,831	1,522	18	2,950	0,308	3
Mandíbula inferior	12,260	2,015	18	11,930	0,330	3



Fot. 1. Egagrópila de lechuza campestre.

El número de individuos observados durante el periodo de estudio en los distintos muestreos se indica en la tabla 2, coincidiendo su mayor número con la fecha en la que se consiguió localizar el único dormitorio, utilizado por seis individuos. F.J. Serrano (com. pers.) encontró ejemplares invernantes de esta especie en Albalate del Arzobispo (Teruel) en diciembre de 1995 (1 individuo), noviembre de 1996 (3 individuos), y noviembre de 1997 (5 individuos).

TABLA 2

**Número de individuos observados por muestreo (separados por una barra)  
de lechuza campestre durante el periodo de estudio**

MES	1987-1988	1988-1989
Noviembre	0/0	0/0
Diciembre	0/3/0/0	0/0
Enero	6/3	0/0/0
Febrero	0/0/0	2

Los estratos herbáceos utilizados como dormitorios están formados básicamente por *Lygeum spartum* (véase fot. 2), que la lechuza campestre acomoda para refugiarse en ellos, y que se caracterizan por presentar una buena parte de dicha planta aplastada por el propio peso del animal (similar a un refugio temporal de liebre *Lepus capensis*), y algunas plumas de los propios individuos junto con egagrópilas en el borde del mismo. Cuando sorprendíamos a los individuos utilizando los dormitorios, permanecían ocultos en sus refugios hasta el momento mismo en el que accedíamos a éstos.



Fot. 2. Zona utilizada por la lechuza campestre para el establecimiento de dormitorios invernales.

## DISCUSIÓN

La lechuza campestre en las Saladas de Alcañiz selecciona predominantemente al topillo en su dieta invernal frente a otras presas disponibles en el medio, halladas por ANENTO y PONZ (1922) en función de un estudio de egagrópilas de lechuza común (*Tyto alba*), corroborando en cierta forma los resultados de la revisión de JUBETE *et al.* (1996) en el apartado de alimentación, autores que presentan al topillo campesino como principal componente de la dieta de esta especie, y responsable de la extensión de su zona de cría a nuevas áreas de la Península Ibérica. La observación reciente de la lechuza campestre en las Saladas de Alcañiz podría explicarse por un aumento reciente en la disponibilidad de topillo en este medio, aunque hasta el momento no se conocen datos sobre la evolución poblacional de este taxón presa en el área de estudio.

El estrato herbáceo elegido por dicha especie para situar su dormitorio es *Lygeum spartum*, en el que se aprecian plumas de los individuos, junto con egagrópilas al pie del mismo, posiblemente por constituir el mejor refugio disponible contra el frío y el viento de este medio estepario, y que también utiliza temporalmente la liebre como he podido observar personalmente.

Ningún estudio sobre el área de distribución de esta especie ha nombrado anteriormente al valle del Ebro como un área de invernada y reproducción de la misma, por desconocer un estudio previo sobre este medio (véase ANENTO y PONZ, 1992) y los datos proporcionados por el Anuario Ornitológico de Aragón 1991-1992 "Rocín" (SEO-Aragón, 1994). Además, se ha confirmado la reproducción en barbechos y eriales de la provincia de Ciudad Real de 8 parejas durante 1997 (véase Noticiero Ornitológico de *Ardeola*, 44, p. 257), así como la invernada reciente de ejemplares de esta especie en el Bajo Aragón (véase el apartado de resultados). Por todo ello se debería reconsiderar su área de distribución basándose en los datos aportados en el presente trabajo y sugiero que nuevos estudios en la Depresión del Ebro y otras regiones próximas son necesarios para establecer de manera definitiva el área de distribución de esta especie en la Península Ibérica, acompañados de trabajos sobre su ecología alimentaria y su interacción con su, hasta ahora, principal presa, el topillo campesino.

## Agradecimientos

A F.J. Serrano por su valiosa aportación de datos recientes sobre la invernada de la lechuza campestre en el Bajo Aragón. A J. Escorza por su colaboración. Y muy especialmente a todos aquellos amigos ornitólogos que en alguna ocasión me acompañaron en las visitas al área de estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

- ANENTO, J.L. y PONZ, A. (1992), «Las Saladas de Alcañiz: un complejo estepario a conservar», *Cuadernos de Estudios Caspolinos*, XLVIII, pp. 247-278.
- ASENSIO, B.; CANTOS, F.; FERNÁNDEZ, A. y FAJARDO, I. (1992), «La lechuza campestre en España», *Quercus*, 76, pp. 18-24.
- CALVO, J.M. (1995), «Alimentación invernal de lechuza campestre (*Asio flammeus*) en una localidad del norte de España», *Congreso Internacional de Rapaces del Holártico*, Badajoz.
- DELIBES, J.; HIRALDO, F. y HEREDIA, B. (1991), «Datos sobre la dieta de la lechuza campestre (*Asio flammeus*) en un periodo de abundancia de topillo campesino (*Microtus arvalis*) en la submeseta norte (España)», *Ecología*, 5, pp. 355-358.
- DELIBES, M. y BRUNET-LECOMPTE, P. (1980), «Presencia del topillo campesino *Microtus arvalis asturianus* en la meseta del Duero», *Doñana Acta Vertebrata*, 7, pp. 120-123.
- FAJARDO, L.; PIDIVAL, V. y CEBALLOS, W. (1994), «Causes of mortality of the Short-eared owl (*Asio flammeus*) in Spain», *Ardeola*, 41, pp. 129-134.
- GÁLLEGO, L. y ALEMANY, A. (1985), *Roedores y lagomorfos*, Vertebrados Ibéricos, 6, Mallorca, Ed. Bilbilis.



- GONZÁLEZ, L.M.; GONZÁLEZ, J.L.; LLANDRÉS, C. y PALACIOS, F. (1980), «Alimentación de la lechuza campestre (*Asio flammeus* Pontoppidan 1783) en España», *Actas II Reunión Iberoamericana sobre Conservación y Zoología de Vertebrados*, Cáceres, pp. 224-253.
- JIMÉNEZ, J.; GÓMEZ, J.A.; VICENTE, J. y LACOMBA, I. (1989), «Estudio de la alimentación de la lechuza campestre (*Asio flammeus*) y la lechuza común (*Tyto alba*) en l'Albufera de Valencia», *Medi Natural*, 1 (1 y 2), pp. 81-88.
- JUBETE, F.; ONRUBIA, A. y ROMÁN, J. (1996), «La lechuza campestre en España: de invernante a reproductor», *Quercus*, 119, pp. 19-22.
- PALACIOS, A.; JUBETE, F.; GONZÁLEZ, J.; ROMÁN, J.; PÉREZ, F.J. e IRISARRI, R. (1998), «Nuevos datos acerca de la distribución del topillo campesino (*Microtus arvalis* Pallas, 1778) en la Península Ibérica», *Doñana Acta Vertebrata*, 15, pp. 169-171.
- REY, J.M. (1973), «Notas sobre mastozoología ibérica. 1. Las características biométricas y morfológicas del topillo campesino, *Microtus arvalis astruinus*, del Sistema Ibérico (Mammalia, Rodentia)», *Bol. R. Soc. Española Hist. Nat. (Biol.)*, 71, pp. 283-297.
- SEO-ARAGÓN (1994), *Anuario ornitológico de Aragón 1991-1992*. Rocín. Zaragoza. SEO-Aragón.

Recibido el 9 de abril de 1999  
Aceptado el 4 de junio de 1999





**CRECIMIENTO Y DESARROLLO EN UNA PLANTACIÓN  
DE ENCINAS MICORRIZADAS. ASPECTOS FISIOLÓGICOS  
DE UN PATRÓN PARA LA REFORESTACIÓN DE TIERRAS  
AGRÍCOLAS MARGINALES EN ARAGÓN**



*M. Pardos Mínguez*



# CRECIMIENTO Y DESARROLLO EN UNA PLANTACIÓN DE ENCINAS MICORRIZADAS. ASPECTOS FISIOLÓGICOS DE UN PATRÓN PARA LA REFORESTACIÓN DE TIERRAS AGRÍCOLAS MARGINALES EN ARAGÓN

M. Pardos Mínguez\*

## RESUMEN

Se estudia el comportamiento de una plantación de encinas micorrizadas de cinco años realizada sobre un antiguo terreno agrícola, mediante aspectos puntuales concernientes a su crecimiento y desarrollo (parámetros hídricos y de intercambio gaseoso, dasométricos y edáficos, nutrientes, aporte de agua y análisis edáfico), con el fin de disponer de datos experimentales de apoyo a la gestión. El estudio se prolonga durante dos periodos vegetativos, sobre un total de 80 plantas, con cuatro bloques y cuatro tratamientos distribuidos al azar dentro de cada uno de ellos (control, riego, abono y riego+abono). Los resultados muestran el carácter esclerófilo de la encina, capaz de sobrevivir y crecer bajo condiciones limitantes, tanto de agua como de nutrientes.

**Palabras clave:** encina, potencial hídrico, intercambio gaseoso, edafología, estado nutritivo, parámetros dasométricos.

## ABSTRACT

*Growth and development of a mycorrhized holm oak plantation in Aragón (Spain).*

The performance of a 5-years old mycorrhized holm oak (*Quercus ilex* L.) plantation in an old agricultural stand is studied. Different growth and development punctual aspects are analyzed as the basis to support an

\* Área de Selvicultura y mejora, CIFOR-INIA. Apto. de Correos 8111, 28080 Madrid.

adequate management in these areas: water potential, gas exchange and soil parameters, nutrition, water availability and soil analysis. The study covers two growth seasons, with a total of 80 plants, divided in four blocks with four randomized treatments in each one (control, irrigation, fertilization and irrigation+fertilization). The results show the sclerophyllous nature of the holm oak, capable not only to survive, but even grow under limiting environmental conditions.

**Key words:** holm oak, water potential, gas exchange, soil analysis, mineral nutrition, dasometric parameters.

## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La encina es la especie arbórea forestal con mayor extensión en la Península Ibérica. Con una distribución circunmediterránea, alcanza una superficie de 2.800 Ha en España (ICONA, 1980). Aparece desde el nivel del mar hasta los 1.200 m, incluso se encuentra a 2.000 m en Sierra Nevada, aunque su óptimo altitudinal se localiza entre los 300 a 700 m, donde se produce la máxima producción de frutos. En general, en el interior de la península no desarrolla portes arbóreos a partir de los 1.500 m (CEBALLOS y RUIZ de la TORRE, 1979), siendo la sequía estival y el frío invernal los dos factores abióticos principales que limitan su distribución (TERRADAS y SAVÉ, 1992).

Sus dos tradicionales formas de aprovechamiento han sido la dehesa, para producción de bellota en montanera, y el monte bajo, a turnos de 10 a 14 años, para producción de leña (ICONA, 1996). Un uso complementario, restringido a encinares sobre terrenos calizos y suelos generalmente pobres, en ocasiones en mezcla con otros *Quercus* (por ejemplo *Q. faginea*) es la obtención de trufas, carpóforos de *Tuber melanosporum* en simbiosis micorrícica con sus raíces (CALLOT y JAILLARD, 1996; SHAW *et al.*, 1996).

El progresivo abandono de tierras agrícolas marginales y su reconversión en las masas forestales que las ocuparon en tiempos pasados, impulsada por las ayudas generadas al amparo de la Política Agraria Comunitaria, ha conducido a plantaciones de encinas, quejigos y rebollos; y se ha extendido el uso de planta micorrizada con *Tuber* en vivero, con el objeto de obtener una renta, a veces importante, de la cosecha de las trufas producidas al cabo de unos años.

Las plantaciones con encinas micorrizadas se vienen haciendo en terrenos pobres, de baja fertilidad y precipitaciones escasas e irregulares, en muchos casos antiguos campos de cebada, que sustituyeron a antiguas poblaciones de *Quercus*, también en mezcla con *Juniperus*, y a formaciones de maquis.

La gestión técnica de estas plantaciones está falta de conocimientos científicos que la sustenten, en especial los que afectan a la incidencia de la disponibilidad de agua y nutrientes en el desarrollo de las plantas, con énfasis en las bases fisiológicas de estos factores. De este modo se ha planteado el presente trabajo, en que se lleva a cabo un seguimiento de una parcela experimental establecida en una plantación de encinas micorrizadas en la provincia de Teruel y en el que se ana-

liza la variación, durante dos años, de parámetros hídricos, nutricionales y de intercambio gaseoso, en respuesta a la estación y a los tratamientos de fertilización y riego llevados a cabo.

El vigor de la plantación, su capacidad de supervivencia y su crecimiento se han relacionado con los valores de parámetros hídricos (potencial hídrico de base y mínimo diarios), de intercambio gaseoso (tasa fotosintética al mediodía) y estado nutritivo (contenido foliar de nitrógeno, fósforo y potasio) de plantas muestreadas al efecto, y con el análisis del perfil edáfico y humedad del suelo.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### DESCRIPCIÓN DE LA ZONA

El terreno, perteneciente a la Sociedad Agraria de Transformación "El Carrascalejo", n.º 2.182, se encuentra situado en el término municipal de Teruel, al borde de la carretera de San Blas a Bezas, entre los mojones kilométricos 9 y 10.

Se trata de un terreno de pendiente suave, con ligera orientación este-sureste, muy pedregoso y menos compacto en las zonas que forman suaves lomas, más arcilloso y con menor pedregosidad en las pequeñas hondonadas. En tiempos estaría, presumiblemente, ocupado por *Quercus ilex* subsp. *ballota*, *Quercus faginea* subsp. *faginea*, *Juniperus thurifera*, *Juniperus phoenicea*, *Juniperus communis*, que todavía salpican los cerros y zonas limítrofes no roturadas, acompañados de *Thymus* sp., *Genista scorpius*, *Phlomis lychnitis*, *Braquipodium* sp., etc. Roturado tiempo atrás, se ha cultivado en el mismo cebada, posiblemente hasta la implantación de las encinas objeto de este estudio.

La altitud media es de 1.100 m, con una temperatura media durante el periodo vegetativo (abril a octubre) de 18,3°C y una temperatura media anual, media máxima del mes más cálido y media mínima del mes más frío de 11,7, 29,9 y -1,6°C, respectivamente. La precipitación anual durante 1996 fue de 359,1 mm y alcanzó los 463,8 mm en 1997. Puede, por tanto, clasificarse dentro del subtipo nemoromediterráneo genuino VI(IV)<sub>1</sub> (ALLÚE, 1990).

### LA PLANTACIÓN. ORIGEN DEL MATERIAL, DISEÑO DE EXPERIMENTOS Y TRATAMIENTOS APLICADOS

La plantación ocupa una superficie de 20 Ha, de las 500 Ha totales de la finca. Las encinas fueron plantadas a marco cuadrado de 7 m x 7 m en marzo de 1991, para lo cual se emplearon plantas de dos savias cultivadas en envase y micorrizadas artificialmente, suministradas por la empresa Agritur, procedentes de Soria, reponiéndose las escasas pérdidas en años sucesivos. Se practicó un riego tras la plantación, complementado con algún aporte de agua ocasional en los años anteriores al experimento.

En la plantación se delimitaron cuatro bloques completos, con una superficie de 140 m<sup>2</sup> cada uno, incluyendo cuatro filas de cinco plantas por bloque, estando las plantas de cada fila sometidas

al mismo tratamiento, con una distribución aleatoria de los tratamientos dentro de cada bloque. Ello supone un total de 80 plantas. Los bloques representan las dos condiciones del suelo inicialmente perceptibles de visu e integran plantas de diverso tamaño, e incluso de edad (debido a las que hubo que reponer), si bien en su mayoría tenían cinco años al comienzo de este trabajo en abril de 1996. En la fotografía 1 se muestra un aspecto parcial de la plantación en el año 1996.



Fot. 1. Aspecto parcial de la plantación en el año 1996.

Los bloques se designan con las siglas B.1 a B.4, y las plantas de cada fila y bloque se numeran del 1 al 5. Los cuatro tratamientos considerados son:

T1: riego y abonado (R+A)

T3: abonado (A)

T2: riego (R)

T4: control, no regado y no abonado (Co)

La distribución de los tratamientos en cada bloque se representa en la figura 1.

El riego ha consistido en la adición en el alcorque de cada planta de 10 litros de agua, lo que equivaldría a una precipitación de  $40\text{ l/m}^2$  por riego. Los cuatro riegos efectuados en 1996 –entre mayo y septiembre– supondrían un complemento a la lluvia de  $160\text{ l/m}^2$ , y para el año 1997, en que se efectuaron cinco riegos, se añadió un complemento de  $200\text{ l/m}^2$ . La cantidad de abono añadido por planta se fijó en una dosis de  $0,1\text{ g}$  de fertilizante por  $\text{dm}^3$  de suelo, lo que supuso  $2,4\text{ g}$  de abono por planta de un fertilizante Peter's 20: 7: 19 durante la primera parte del periodo vegetativo, y 4: 25: 35, al final, para favorecer el desarrollo del sistema radical.



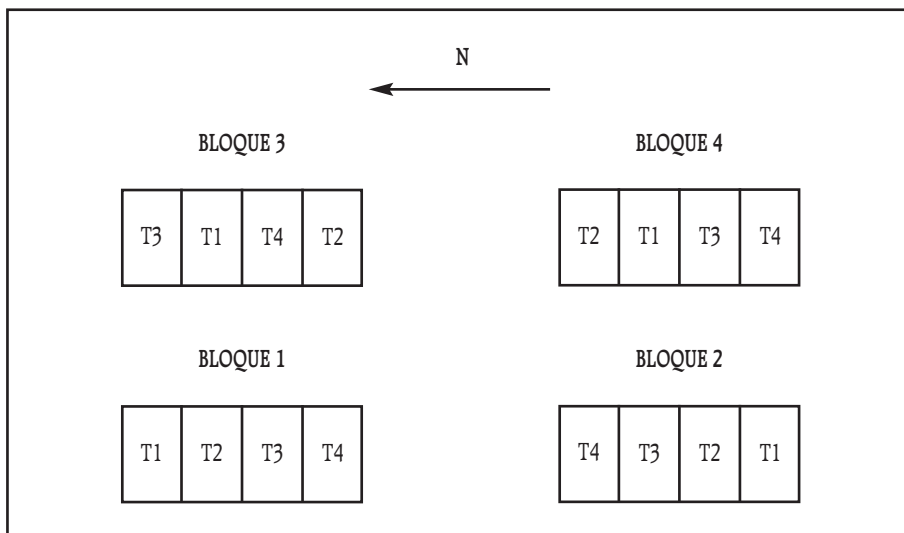


Fig. 1. Distribución de los tratamientos en cada bloque.

Los tratamientos se aplicaron a lo largo del periodo vegetativo, en las mismas fechas en que se llevaron a cabo las mediciones de los parámetros fisiológicos.

## ANÁLISIS DEL SUELO Y PARÁMETROS EDAFOLÓGICOS

En las fechas antes mencionadas se midió la humedad del suelo, antes y después de cada riego, insertando en el suelo, a 20 cm del eje de la planta, una sonda conectada a un TDR, que proporciona el valor medio de la humedad del suelo, expresada volumétricamente, a lo largo de la longitud de la sonda (20 cm). Asimismo, se midió la temperatura del suelo en el mismo punto mediante un sensor de termopares.

Por otra parte, se realizaron dos calicatas en dos zonas que, por su aspecto externo y situación, cabía presumir que eran representativas de los dos tipos de suelo presentes en la parcela. Una, A, más extendida, presente en las zonas más altas, formando suaves lomas, con abundante piedra caliza suelta; la otra, B, de superficie más reducida, en zonas suavemente hundidas, con menor pedregosidad y mayor riqueza de finos.

Se tomaron muestras de entre 1 y 2 kg de peso en cada uno de los cuatro horizontes que se distinguían de visu en el perfil del suelo. Con ellas se llevó a cabo un análisis granulométrico, determinándose la cantidad y proporción de gravas y gravillas gruesas, gravillas finas, arena y tierra fina; materia orgánica, carbonatos, caliza activa y humedad. Se determinó asimismo el coeficiente del análisis mecánico. En las muestras del primer horizonte se calculó, además, el contenido en nitró-

geno, fósforo, potasio y hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), pH en agua y en cloruro potásico y conductividad eléctrica. Para las determinaciones correspondientes se siguió la metodología descrita en el manual de Prácticas de Edafología (GANDULLO *et al.*, 1989).

## PARÁMETROS FISIOLÓGICOS

Los parámetros hídricos y de intercambio gaseoso se midieron a lo largo del periodo vegetativo de los dos años de duración del estudio, con una periodicidad aproximadamente mensual, lo que supuso cinco mediciones por año: 25-26 mayo, 21-22 junio, 27-28 julio, 6-7 septiembre y 18-19 octubre, en 1996; y 25-26 abril, 8-9 junio, 26-27 julio, 6-7 septiembre y 3-4 octubre, en 1997.

Se midió *in situ* –en una hoja del segundo año por planta– el potencial al amanecer (potencial máximo) y al mediodía (potencial mínimo), utilizando una cámara de presión PMS modelo 1000 (BOYER, 1995). Para las mediciones al amanecer, dado su número y el tiempo invertido en su ejecución, se taparon las plantas con una bolsa negra la tarde anterior con el fin de minimizar las posibles diferencias entre plantas medidas realmente al amanecer y aquellas otras medidas cuando ya había amanecido. En todo caso, se procedió siempre por bloques completos intercalando tratamientos.

Las tasas fotosintética (A) y transpiratoria (E), así como otros parámetros implicados en los procesos (conductancia estomática – $g_s$ –, concentración interna de  $\text{CO}_2$  – $C_i$ –) (HALL *et al.*, 1993; LARCHER, 1995; KOZLOWSKI y PALLARDY, 1997), se determinaron al mediodía con un IRGA portátil ADC modelo LCA. Con los datos obtenidos se calculó asimismo la eficiencia en el uso del agua ( $\text{EUA} = A/E$ ) y la eficiencia intrínseca en el uso del agua ( $\text{EIUA} = A/g$ ).

Al comienzo y final del segundo periodo vegetativo se tomaron una cantidad fija de hojas del año, de un mismo número de encinas para cada bloque y tratamiento, y en ellas se determinaron los pesos fresco y seco, tras llevarlas a estufa a  $80^\circ\text{C}$  hasta peso constante. Las muestras secas se trituraron en micromolino a un tamaño de 0,8 mm. En tres alícuotas del material proveniente de cada bloque y tratamiento se determinó el contenido en nitrógeno según Kjeldahl; para fósforo y potasio la muestra se redujo a cenizas en mufla durante 3 horas a  $550^\circ\text{C}$  y con las cenizas se preparó un extracto de clorhídrico; en este se valoró el fósforo por medición espectrofotométrica del fosfomolibdato amónico derivado del fósforo de la muestra y el potasio por fotometría a la llama en el extracto de clorhídrico (MARSNCHER, 1996).

## PARÁMETROS DENDROMÉTRICOS

Se midió la altura de las plantas y dos diámetros perpendiculares (N-S, E-O) en la base del tronco, al comienzo y al final de cada periodo vegetativo. Con los datos obtenidos se calcularon los valores medios por tratamiento del crecimiento absoluto y el crecimiento relativo para la altura (en cm y en  $\text{cm}\cdot\text{cm}^{-1}$  respectivamente) y el diámetro (en mm y  $\text{mm}\cdot\text{mm}^{-1}$  respectivamente) de ambos años.

Al final del periodo vegetativo de ambos años, con el fin de estimar el índice de superficie foliar (LAI) o la densidad foliar expresada en superficie foliar por volumen de copa, se realizaron medicio-

nes con un equipo LAI de LICOR. Éstas se llevaron a cabo situando el sensor en la base del tronco, orientado en las cuatro direcciones de los puntos cardinales, con un ángulo de entrada de luz de 90°. Asimismo y con idéntico objetivo se tomaron las coordenadas respecto al eje de la planta, en altura y distancia al mismo, del extremo distal de un buen número de ramas de la copa. Con los datos generados, el sistema informático del equipo permitió evaluar estimativamente el volumen de copa. Con las medidas de la radiación que llegaba al sensor, constituido por ocho lentes en anillo (ojo de buey), y el volumen de copa se calculó la densidad foliar.

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se utilizaron los paquetes estadísticos BMDP y SAS. Se realizaron análisis de varianza (proc glm) y test de medias de Tukey para cada variable considerada para observar las diferencias entre fechas de medición y entre tratamientos dentro de cada medición (SAS Institute, 1988).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### APORTE DE AGUA POR PLANTA EN EL PERIODO VEGETATIVO

Partiendo de los valores de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica de Teruel durante los periodos de abril a octubre de los dos años de estudio (313,8 mm en 1996 y 208,12 mm en 1997), en la tabla 1 se muestran los valores medios estimados del agua, en mm.m<sup>-2</sup>, que ha recibido cada planta durante el periodo vegetativo, para los cuatro tratamientos, teniendo en cuenta las precipitaciones y los riegos diferenciales a que se sometieron.

TABLA 1

**Valores medios estimados (mm.m<sup>-2</sup>) del agua recibida mensualmente por cada planta (riego + precipitación) durante el periodo vegetativo según tratamiento**

AÑO	TRATAMIENTO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE
1996	R+A	15,7	83,2	57,4	66,5	79,3	65,2	0,8
	R	15,7	83,2	57,4	66,5	79,3	65,2	0,8
	A	15,7	43,2	17,4	26,5	79,3	25,2	0,8
	Co	15,7	43,2	17,4	26,5	79,3	25,2	0,8
1997	R+A	77,4	88,9	106,1	68,6	53,1	67,5	56,2
	R	77,4	88,9	106,1	68,6	53,1	67,5	56,2
	A	37,4	88,9	66,1	28,6	53,1	27,5	16,2
	Co	37,4	88,9	66,1	28,6	53,1	27,5	16,2

## ANÁLISIS DEL SUELO Y PARÁMETROS EDAFOLÓGICOS

La zona denominada A, de condición más pedregosa, presenta fragmentos angulosos y subangulosos de marga caliza bastante consistentes. La zona B, de pedregosidad no muestreable, tiene una mayor riqueza en finos.

Las tablas 2, 3, 4 y 5 muestran los valores resultantes de los análisis del suelo realizados con las muestras obtenidas en las dos calicatas.

La roca madre no se encuentra hasta 2 m de profundidad en A y a 2,5 m en B, lo que revela un suelo profundo, en el que se han ido acumulando arrastres de las zonas limítrofes más altas.

La mayor pedregosidad superficial, ya señalada, de la zona A se refleja cuantitativamente en el mayor porcentaje de gravas y gravillas, gruesas y finas, de los horizontes 1 y 2, circunstancia que se invierte en el horizonte 3. Lo contrario sucede para la tierra fina.

El coeficiente del análisis mecánico presenta valores muy uniformes en ambas calicatas y para todos los horizontes. La zona A presenta mayor contenido en materia orgánica, especialmente en el horizonte superior, cuyo valor (2,89%) puede considerarse alto para un suelo de uso forestal.

La humedad en el primer horizonte es mayor en A, pero se invierte la relación para los demás horizontes. La textura (franca) en A, con mucho mayor contenido de arcilla y limo que en B, unido a la existencia de la capa de gravas y gravillas, que protege al suelo de la evaporación, y, por otra parte, el mayor contenido en arcilla en los horizontes inferiores de B (textura franca algo arcillosa en 2), justifican las diferencias de los valores de humedad encontrados en unos y otros horizontes.

TABLA 2

**Valores medios del análisis granulométrico, porcentaje de materia orgánica y porcentaje de humedad según horizontes en las dos zonas donde se realizaron las calicatas (Orden de los horizontes: de la superficie hacia abajo)**

ZONA	HORIZONTE	% GG	% GF	% TF	COEF. A.M.	% M.O.	% HUMEDAD
A	1	10,95	11,14	77,91	5,363	2,89	2,79
	2	4,91	5,29	89,80	5,154	2,03	2,05
	3	2,65	2,55	94,80	5,512	1,08	1,65
	4	5,88	2,08	92,04	5,271	0,99	1,82
B	1	2,42	7,55	90,03	5,548	1,62	1,62
	2	1,61	5,99	92,40	5,545	1,73	3,71
	3	8,18	6,63	85,19	5,381	1,02	2,56
	4	2,08	4,01	93,91	5,262	0,92	2,38

% GG: % gravas y gravillas gruesas (g); % GF: % gravillas finas (g); % TF: % tierra fina; coef. a.m: coeficiente del análisis mecánico; % M.O.: % materia orgánica.

TABLA 3  
**Porcentajes de carbonatos y caliza activa según horizontes  
 en las dos zonas donde se realizaron las calicatas  
 (Orden de los horizontes: de la superficie hacia abajo)**

ZONA	HORIZONTE	GRANULOMETRÍA	% CARBONATOS	% CALIZA ACTIVA
A	1	g	72,51	57,56
		arena	56,63	
		TF	57,77	
	2	g	82,05	67,38
		arena	68,27	
		TF	67,64	
	3	g	87,57	77,03
		arena	82,78	
TF		77,30		
4	g	84,77	78,01	
	arena	88,7		
	TF	78,27		
B	1	g	75,00	27,84
		arena	24,31	
		TF	27,94	
	2	g	74,32	26,07
		arena	23,45	
		TF	26,16	
	3	g	79,69	43,47
		arena	34,77	
TF		43,59		
4	g	79,70	49,31	
	arena	56,61		
	TF	49,57		

g: gravillas finas; TF: tierra fina.

El contenido en caliza activa y el porcentaje de carbonatos en las tres fracciones granulométricas son, en casi todos los casos y para todos los horizontes, más altos en A.

Los valores de la tabla 4 ponen de manifiesto diferencias notables entre las dos zonas, A y B, junto a la existencia de rasgos comunes. Ambas muestran un pH moderadamente básico, con valo-

TABLA 4

**Porcentaje de óxido de hierro, concentración de nutrientes (N/P/K), pH (en H<sub>2</sub>O y KCl) y conductividad según horizontes en las dos zonas donde se realizaron las calicatas. (Orden de los horizontes: de la superficie hacia abajo)**

ZONA	HORIZONTE	% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% N	P (ppm)	K (ppm)	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	CONDUCTIVIDAD (mmhos/cm)
A	1	1,87	<0,0010	9,77	159,32	8,06	7,80	0,211
	2	0,69						
	3	1,03						
	4	1,39						
B	1	3,13	<0,0010	6,24	89,32	8,18	7,90	0,170
	2	2,87						
	3	2,78						
	4	3,36						

TABLA 5

**Clasificación textural de tierras para cada horizonte, correspondiente a las dos calicatas realizadas en la zona de estudio**

ZONA	HORIZONTE	% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	DESIGNACIÓN
A	1	33,5	42,3	24,2	Franca
	2	30,7	46,9	22,4	Franca
	3	26,7	52,3	21	Franca bastante limosa
	4	20,9	58,8	20,3	Franca bastante limosa
B	1	52	33,9	14,1	Franca bastante arenosa
	2	31,5	40,2	28,3	Franca algo arcillosa
	3	30	44,5	25,5	Franca
	4	22,5	54,9	22,6	Franca bastante limosa

res similares entre sí, ligeramente más bajos en KCl que en agua. En cuanto a los otros parámetros, el suelo de la zona A muestra los valores más altos de todos los demás parámetros, salvo en el contenido en hierro. Asimismo, en ambos casos el suelo es muy deficiente en fósforo y su contenido en nitrógeno es bajo. El potasio es algo deficiente en la zona B, y está bien provista la zona A. Los valores de conductividad eléctrica evidencian que el suelo está libre de influencia negativa de sales.

Se trata, por tanto, de un suelo cuya estructura y textura, así como los otros índices analizados, muestran su aptitud para el desarrollo de la encina, circunstancia reflejada por su existencia natural en los montículos próximos a la parcela. No obstante, la escasez de fósforo será un factor limitante del crecimiento, aunque no excluyente. La micorrización, si se desarrolla bien, puede ser muy positiva a este respecto.

La figura 2 muestra la evolución estacional de la temperatura y la humedad del suelo en 1996 y 1997.

En ambos años la temperatura del suelo aumentó al avanzar el periodo vegetativo, con un máximo en septiembre para descender en octubre. Las diferencias entre medidas mensuales son más significativas en 1997, año en que igualmente las temperaturas son más altas a partir de junio, para el que es de destacar el rango de temperaturas, casi de 10°C, entre el comienzo (abril) y el final (septiembre) del periodo. En las mediciones hechas en mayo, junio y julio de 1996, el riego conduce a unos valores medios de temperatura del suelo algo más bajos respecto a las plantas no regadas, pero las diferencias tampoco son significativas. Sí lo son en la medición de septiembre, para la que se invierte el signo de las diferencias, resultando algo más alta la temperatura del suelo en las plantas regadas.

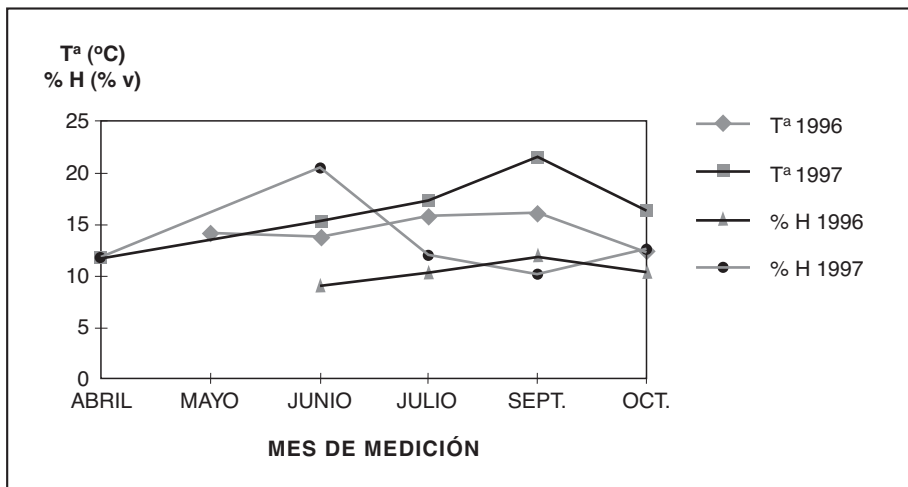


Fig. 2. Evolución estacional de la temperatura y humedad del suelo antes del riego durante el periodo vegetativo de 1996 y 1997.

Globalmente el contenido volumétrico en humedad del suelo se mueve en el rango 9,01 a 23,08%, alcanzándose los valores más altos, tras el riego, al final del verano o ya entrado el otoño en ambos años. Los valores más bajos se registran en plantas no regadas y en plantas regadas antes del riego, no existiendo diferencias entre regadas y no regadas transcurridos los días entre un riego y el siguiente.

En 1996 la humedad del suelo antes de regar es bastante homogénea tanto entre mediciones como entre tratamientos; lo mismo sucede para los valores después del riego al comparar tratamientos. En 1997 las diferencias entre meses, antes de regar, son mucho más acusadas, registrándose en junio unos valores antes del riego comparables a las medidas obtenidas otros meses después del riego, debido a la lluvia caída justamente antes del mismo.

## PARÁMETROS FISIOLÓGICOS

### Potencial hídrico

#### *Potencial de base (al amanecer)*

La tabla 6 muestra los valores medios del potencial de base, en MPa, en las fechas indicadas anteriormente durante los dos años de medida.

En 1996 el potencial de base para los distintos tratamientos presenta un rango de valores medios entre -0,34 y -0,80 MPa, con una pauta de variación estacional muy semejante entre todos los tratamientos. Los valores más altos se registraron en junio para todos los tratamientos y los más bajos, con excepción del control, sorprendentemente en octubre, tras una recuperación en septiembre de la caída habida en julio. La escasa disponibilidad de agua en el periodo inmediatamente anterior a la medición de octubre y la temperatura justifican la caída de potencial registrada en octubre. Al comparar tratamientos, solamente resultan estadísticamente significativas las diferencias en la medición de septiembre entre plantas no regadas y abonadas (A) respecto a plantas regadas y no abonadas (R), y respecto a plantas no regadas y no abonadas (Co); y en la medición de octubre, entre plantas control (Co) y el resto. En todo caso, las tendencias observadas son coherentes con el aporte de agua recibido por las plantas en cada tratamiento y con las abundantes tormentas del comienzo y final del verano y los periodos más secos registrados en mayo y comienzos del otoño.

En 1997 los valores medios del potencial de base para el conjunto de tratamientos son mayores en todas las mediciones que en 1996, lo que se justifica por las mayores precipitaciones habidas. El patrón de variación es distinto al año anterior: los valores más bajos se dan al principio de la estación (abril), para subir después y mantenerse más altos durante todo el periodo vegetativo. El valor máximo se alcanza también en junio, pero en 1997 no se produce el mínimo de septiembre, precisamente por el régimen de lluvias. Las diferencias entre tratamientos son, asimismo, escasas, con alguna diferencia estadísticamente significativa, al comienzo y al final del periodo vegetativo, entre plantas regadas y no regadas.



TABLA 6

**Valores medios del potencial base ( $\pm$  error estándar) y test de medias de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) para cada tratamiento y fecha de medición**

AÑO	MESES	R+A	R	A	Co	MEDIA PARCELA
1996	Mayo	-0,70 $\pm$ 0,03 a	-0,64 $\pm$ 0,03 a	-0,71 $\pm$ 0,03 a	-0,70 $\pm$ 0,05 a	-0,68 $\pm$ 0,02 a
	Junio	-0,36 $\pm$ 0,03 a	-0,35 $\pm$ 0,02 a	-0,35 $\pm$ 0,02 a	-0,43 $\pm$ 0,02 a	-0,37 $\pm$ 0,01 b
	Julio	-0,57 $\pm$ 0,04 a	-0,53 $\pm$ 0,06 a	-0,59 $\pm$ 0,05 a	-0,67 $\pm$ 0,05 a	-0,59 $\pm$ 0,03 a
	Septiembre	-0,51 $\pm$ 0,04 ba	-0,37 $\pm$ 0,05 b	-0,64 $\pm$ 0,04 a	-0,47 $\pm$ 0,05 b	-0,50 $\pm$ 0,03 a
	Octubre	-0,79 $\pm$ 0,09 a	-0,78 $\pm$ 0,12 a	-0,80 $\pm$ 0,09 a	-0,65 $\pm$ 0,05 b	-0,76 $\pm$ 0,04 a
1997	Abril	-0,43 $\pm$ 0,02 ab	-0,40 $\pm$ 0,04 b	-0,48 $\pm$ 0,03 ab	-0,54 $\pm$ 0,04 a	-0,46 $\pm$ 0,03 a
	Junio	-0,11 $\pm$ 0,01 a	-0,12 $\pm$ 0,01 a	-0,11 $\pm$ 0,01 a	-0,16 $\pm$ 0,03 a	-0,12 $\pm$ 0,02 b
	Julio	-0,32 $\pm$ 0,03 a	-0,35 $\pm$ 0,04 a	-0,31 $\pm$ 0,04 a	-0,38 $\pm$ 0,04 a	-0,34 $\pm$ 0,04 c
	Septiembre	-0,21 $\pm$ 0,04 a	-0,21 $\pm$ 0,03 a	-0,19 $\pm$ 0,05 a	-0,25 $\pm$ 0,07 a	-0,21 $\pm$ 0,05 d
	Octubre	-0,24 $\pm$ 0,03 b	-0,26 $\pm$ 0,03 ab	-0,28 $\pm$ 0,06 ab	-0,39 $\pm$ 0,06 a	-0,29 $\pm$ 0,04 cd

Estos valores contrastan con los obtenidos en plantas de encina de dos años cultivadas en envase, para los que se registran resultados más bajos, tanto en plantas bien regadas (-0,65 $\pm$ 0,11 MPa) como, especialmente, en plantas sometidas artificialmente a estrés (-1,35 $\pm$ 0,18 MPa) (ACHERAR y RAMBAL, 1992); valores que podrían compararse con los obtenidos en el presente trabajo en condiciones de mayor y menor disponibilidad de agua en el suelo. Asimismo, estos valores indican una buena disponibilidad de agua para las plantas si se comparan con los obtenidos por DUHME y HINCKLEY (1992) en formas arbustivas de *Quercus ilex* en el sur de Francia durante el periodo vegetativo (-1,55 a -1,82 MPa) y por TERRADAS y SAVÉ (1992) durante la sequía estival en un encinar en Cataluña (-3,0 MPa).

### *Potencial a mediodía (mínimo)*

A partir de octubre de 1996 se determinó también el potencial mínimo (a mediodía), en alguna ocasión antes y después del riego.

Los valores medios de potencial al mediodía para el conjunto de tratamientos en la parcela experimentan un aumento en junio de 1997 para después experimentar un brusco y significativo descenso entre junio y julio, descenso que, aunque más suave, se prolonga en meses sucesivos hasta el final del periodo vegetativo. No existen diferencias entre tratamientos para ninguna fecha de medición, tanto para las medidas tomadas antes como después de cada riego. Sí existen diferencias en abril, junio y septiembre en el caso del tratamiento de riego (R) entre los valores medidos antes y después del riego, hecho por la tarde y realizada la medición de potencial al mediodía siguiente.

La figura 3 muestra la evolución del potencial al mediodía, antes y después del riego, así como la del potencial de base, durante 1997. Se evidencian unos valores altos de potencial utilizable, dado que la recuperación del potencial de base es grande para todos los tratamientos.

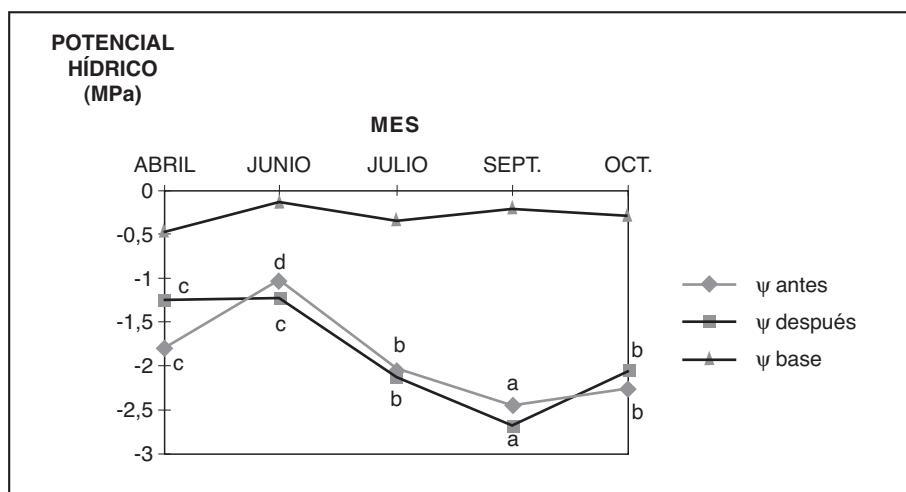


Fig. 3. Evolución del potencial hídrico al mediodía (antes y después de regar) y al amanecer durante el periodo vegetativo de 1997.

En ambos casos se observa que, aun en las plantas control, el agua no llega a ser un factor limitante para las mismas. A ello ayudan la estructura foliar, la densidad de follaje y la profundidad de las raíces, características de la encina que contribuyen a disminuir las pérdidas de agua para compensar las demandas atmosféricas (TERRADAS y SAVÉ, 1992).

### Intercambio gaseoso y eficiencia en el uso del agua

La tabla 7 muestra los valores medios de tasa fotosintética (A), tasa de transpiración (E), conductancia estomática al vapor de agua (g), concentración interna de CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>), cociente entre las con-

TABLA 7  
**Valores medios ( $\pm$  SE) y test de medias de Tukey para los parámetros de intercambio gaseoso según fecha de medición para el periodo vegetativo de 1996 y 1997**

AÑO	MESES	A	E	g	C <sub>i</sub>	C <sub>i</sub> /C <sub>a</sub>	EUA	EUA
1996	Mayo	5,05 $\pm$ 0,33 d	2,71 $\pm$ 0,23 c	77,02 $\pm$ 9,50 c	216,82 $\pm$ 12,57 b	0,69 $\pm$ 0,07 a	3,32 $\pm$ 0,49 ba	119,71 $\pm$ 15,33 ba
	Junio	9,63 $\pm$ 0,37 b	2,62 $\pm$ 0,16 c	90,31 $\pm$ 7,58 c	198,48 $\pm$ 18,74 cb	0,67 $\pm$ 0,08 a	4,20 $\pm$ 0,261 a	147,49 $\pm$ 11,86 a
	Julio	7,83 $\pm$ 0,45 c	4,64 $\pm$ 0,16 a	251,37 $\pm$ 22,60 a	270,55 $\pm$ 5,51 a	0,74 $\pm$ 0,02 a	1,74 $\pm$ 0,111 c	33,63 $\pm$ 2,88 d
	Septiembre	12,40 $\pm$ 0,44 a	5,31 $\pm$ 0,20 a	177,00 $\pm$ 8,62 b	169,83 $\pm$ 5,08 cd	0,46 $\pm$ 0,01 b	2,70 $\pm$ 0,181 bc	83,06 $\pm$ 4,83 c
	Octubre	11,45 $\pm$ 0,36 a	3,55 $\pm$ 0,14 b	145,60 $\pm$ 8,60 b	143,29 $\pm$ 7,82 d	0,41 $\pm$ 0,02 b	3,52 $\pm$ 0,13 ba	97,95 $\pm$ 4,99 bc
1997	Abril	8,01 $\pm$ 0,51 b	3,45 $\pm$ 0,24 c	127,09 $\pm$ 12,29 bc	222,21 $\pm$ 15,36 a	0,62 $\pm$ 0,04 a	3,23 $\pm$ 0,25 a	121,00 $\pm$ 13,10 a
	Junio	9,22 $\pm$ 0,44 b	4,38 $\pm$ 0,16 b	163,10 $\pm$ 8,71 ba	194,97 $\pm$ 6,99 ba	0,56 $\pm$ 0,02 ba	2,71 $\pm$ 0,17 ba	70,01 $\pm$ 5,17 c
	Julio	12,53 $\pm$ 0,48 a	5,96 $\pm$ 0,28 a	178,09 $\pm$ 12,28 a	158,61 $\pm$ 7,50 c	0,46 $\pm$ 0,02 b	2,52 $\pm$ 0,17 bc	99,69 $\pm$ 7,50 ba
	Septiembre	8,42 $\pm$ 0,55 b	4,64 $\pm$ 0,25 b	151,65 $\pm$ 16,58 bac	175,40 $\pm$ 6,05 c	0,50 $\pm$ 0,0 b	1,96 $\pm$ 0,09 c	88,46 $\pm$ 6,57 bc
	Octubre	8,92 $\pm$ 0,38 b	4,87 $\pm$ 0,19 b	111,30 $\pm$ 6,97 c	161,62 $\pm$ 6,36 c	0,48 $\pm$ 0,03 b	2,17 $\pm$ 0,09 bc	94,20 $\pm$ 5,14 bac

A:  $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ; E:  $\text{mmolH}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ; g:  $\text{mmolH}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ; C<sub>i</sub>:  $\text{mmol}\cdot\text{mol}^{-1}$ ; EUA:  $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{mmolH}_2\text{O}^{-1}\cdot\text{EUA}$ :  $\text{mmolCO}_2\cdot\text{mmolH}_2\text{O}^{-1}$ .  
 Las medias con igual letra dentro de cada año y parámetro fisiológico no son significativamente diferentes.

centraciones interna a externa de  $\text{CO}_2$  ( $C_i/C_a$ ) y eficiencia (EUA) y eficiencia intrínseca (EIUA) en el uso del agua a mediodía para el conjunto de tratamientos y fechas de medición durante los dos años de estudio.

En 1996 los valores medios de fotosíntesis para el conjunto de tratamientos van aumentando con diferencias significativas entre fechas hasta alcanzar un máximo en septiembre; no lo hacen tan claramente la transpiración y la conductancia. El valor de EIUA revela un mejor uso del agua al comienzo del periodo vegetativo.

En 1997 los valores medios de fotosíntesis, por tratamiento y fecha, presentan un amplio rango de variación: de 6,65 a 13,22  $\mu\text{mCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , con valores máximos y significativamente diferentes en julio con respecto a los demás meses. Al comparar los valores medios dentro de cada medición, solamente resultaron diferentes estadísticamente los correspondientes a Co (control) respecto a R+A (riego + abono) y R (riego) en la medición de septiembre. La escasa diferencia entre tratamientos concuerda con los resultados obtenidos en otras especies de frondosas, como el *Eucalyptus globulus*, donde tras someter a plantas de dos años a distintas dosis de riego y nutrientes, se obtuvo que aquellas con mayor disponibilidad de agua y nutrientes (próximo al óptimo) presentaban mayores crecimientos que las plantas control, pero la capacidad fotosintética era similar (PEREIRA *et al.*, 1992).

De los resultados de septiembre se observa que con valores del potencial al mediodía próximos a -2,5 MPa, las plantas son capaces de mantener una actividad fotosintética alta, dejando los estomas abiertos. Esto supone una estrategia común a los *Quercus* esclerófilos (ACHERAR y RAMBAL, 1992) y que junto con el área foliar –que afecta al balance hídrico anual– y el sistema radical –que amortigua las oscilaciones a medio plazo, por ejemplo los cambios en la distribución estacional de las precipitaciones– representan tres mecanismos que desarrollan las plantas perennes para amortiguar los efectos de la variabilidad en la disponibilidad de agua (RAMBAL, 1992). Para beneficiarse de la ventaja de mantener los estomas abiertos en momentos de potenciales hídricos muy negativos (no alcanzados en ningún momento a lo largo de las mediciones realizadas en los dos periodos vegetativos que se incluyen en este estudio) y el mantenimiento de un balance positivo de carbono, los *Quercus* esclerófilos deben mantener un flujo de transpiración relativamente alto durante los periodos de sequía. Las características biológicas de estos *Quercus* (raíces profundas, área foliar limitada, etc.), que se combinan para facilitar un uso estacional y eficiente del agua son de suma importancia.

En este mismo año 1997 la tasa de transpiración y la conductancia estomática siguen una pauta semejante a la fotosíntesis, registrándose los máximos en julio y apreciándose asimismo variaciones significativamente diferentes entre fechas aunque no siempre coincidentes. Al comparar tratamientos, no se han registrado diferencias en la conductancia, aunque sí en la transpiración: en abril entre R+A (riego + abono) y R (riego) y en junio entre R+A (riego + abono) y R (riego) y entre R y A (abono). La variación importante en la disponibilidad y demanda de agua a lo largo del año se traduce en una fluctuación de la tasa transpiratoria, aunque esta especie suele desarrollar una estrategia conservadora. Dichas tasas suelen ser mucho menores que la de otros caducifolios, especies de coníferas esclerófilas y sólo algo superiores a las de las coníferas (TERRADAS y SAVÉ, 1992).

Es por tanto la encina una especie muy efectiva en lo que respecta a su capacidad para evitar la sequía (DUHME y HINCKLEY, 1992). Lo demuestra el hecho de que para valores del potencial de base de  $-0,59$  MPa, en julio de 1996, y del potencial al mediodía, antes del riego de  $-2,0$  MPa presente valores de conductancia de  $251,37 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , frente a valores de  $100 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  para *Quercus rubra* con potenciales similares a los anteriores (WEBER y GATES, 1990). Por tanto, se obtienen dos tipos de respuesta diferentes: *Quercus rubra* frente a condiciones de estrés hídrico disminuye el intercambio gaseoso, especialmente al mediodía, mientras que la encina lo mantiene relativamente alto.

No se han encontrado diferencias entre tratamientos respecto a los restantes parámetros enumerados anteriormente. Los valores más altos de  $C_i$  se registraron en las dos primeras mediciones, con diferencias significativas respecto al resto del periodo vegetativo. Los valores significativamente más altos y homogéneos de EUA, entre tratamientos, se encontraron en julio; y los valores significativamente más bajos y homogéneos de EIUA, también para el conjunto de los tratamientos, en junio. Igualmente se dan variaciones estacionales significativas para estos parámetros, lo que evidencia una mayor eficiencia al comienzo de la estación, coincidiendo con los valores más bajos de fotosíntesis y transpiración. Los máximos de A, E y g coinciden en el mes de julio con el valor mínimo de  $C_i$ . Se observa una tendencia a la disminución progresiva de EUA a lo largo de la estación.

Si se comparan los parámetros fisiológicos obtenidos durante 1997 en las mediciones anterior y posterior al riego (datos no presentados) se observa que la fotosíntesis no presenta diferencias significativas, no siendo siempre los valores medios calculados después del riego mayores que antes del mismo; por su parte, la transpiración sí que presenta diferencias en las mediciones de abril y septiembre para R+A y en octubre para R+A y R, con valores más altos después del riego. Ello conuerda, en parte, con las diferencias encontradas para la conductancia estomática, en abril para R+A (riego + abono) y en octubre para R+A (riego + abono) y R (riego). Estas diferencias también se manifiestan para las medidas de EUA en octubre y se hacen extensivas a abril, septiembre y octubre para R+A (riego + abono) y a abril y octubre para R (riego). Los valores de  $C_i$  y  $C_i/C_a$  solamente se manifiestan diferentes en las mediciones hechas en octubre para ambos tratamientos. Estos resultados indican que la mayor disponibilidad de agua por las plantas a muy corto plazo (menos de 24 horas entre mediciones) solamente tiene algún efecto sobre algunos parámetros de intercambio gaseoso, al principio y al final del periodo vegetativo; efecto que es desfavorable en el caso de la eficiencia en el uso del agua, especialmente para EIUA, que disminuye tras el riego, al aumentar la tasa transpiratoria sin apenas hacerlo la fotosíntesis y sin que la adición del fertilizante influya claramente.

## Estado nutritivo de las plantas

Si bien el análisis del suelo revela deficiencia en fósforo y bajo nivel de nitrógeno, las plantas no muestran de visu síntomas de deficiencia nutritiva, aunque, con independencia de los tratamientos y al margen de los bloques experimentales, aparecen algunas plantas más pequeñas, con

menos hojas y poco desarrolladas, con acusada clorosis a veces con manchitas marrones, otras necróticas, síntomas que han conducido en ocasiones a su muerte, sin que se detectase una incidencia aparente de ataques de insectos y tampoco sea probable un ataque de hongos dada la sequedad del lugar.

En la tabla 8 se muestran los valores medios ( $\pm$  desviación típica) de la concentración de N, P y K en hojas del crecimiento del año cosechadas al final del periodo vegetativo de 1996 y 1997, respectivamente, para los tratamientos considerados.

Los valores de nutrientes en hojas correspondientes a 1996 corresponden a muestras tomadas en junio, ya iniciados los tratamientos, pero sin efecto detectable en el contenido en hojas. Las

TABLA 8

**Concentración de nutrientes en hojas, tasa de incremento de la concentración de nutrientes entre 1996 y 1997; producto de la concentración de nutrientes por el incremento absoluto y relativo de densidad del follaje**

NUTRIENTE	AÑO	R+A	R	A	Co
N	1996	1,16 $\pm$ 0,02 a	1,28 $\pm$ 0,11 a	1,17 $\pm$ 0,04 a	1,09 $\pm$ 0,03 a
	1997	1,43 $\pm$ 0,03 a	1,49 $\pm$ 0,041 a	1,45 $\pm$ 0,018 a	1,30 $\pm$ 0,029 b
	97-96/96(%)	23,27	16,40	23,93	19,27
P	1996	0,054	0,055	0,048	0,067
	1997	0,071 a	0,077 a	0,085 a	0,084 a
	97-96/96(%)	31,48	40,00	77,08	25,37
K	1996	0,394	0,403	0,342	0,361
	1997	0,446 a	0,480 a	0,596 a	0,499 a
	97-96/96(%)	13,19	19,10	74,26	38,22
NxIA		6049	4297	2523	2284
NxIR		224,11	107,62	102,97	31,81
PxIA		300,33	222,07	147,90	147,59
PxIR		11,13	5,56	6,04	2,06
KxIA		1886,58	1384,32	1037,04	876,74
KxIR		69,89	34,67	42,33	12,21

IA= incremento absoluto de densidad de follaje entre 1996 y 1997.

IR= IA/ densidad de follaje en 1996.

concentraciones de N y P son bajas; también, aunque menos, la de K. Ello está en correspondencia con la pobreza de fósforo y de nitrógeno en el suelo en las dos zonas A y B, además de tratarse de una característica propia de algunas plantas esclerófilas, entre las que se encuentra la encina (TERRADAS y SAVÉ, 1992).

Al término del experimento (muestras tomadas en octubre de 1997), con independencia del tratamiento, se produjo un aumento en la concentración de nitrógeno, fósforo y potasio, en cualquier caso no significativa estadísticamente.

Las diferencias de concentraciones en hojas entre tratamientos no guardan relación directa con la esperable reacción al abonado. Para el nitrógeno sólo hay diferencias significativas entre tratamientos, al término de 1997, al comparar el control con el resto de tratamientos, pero no lo hay entre éstos. Para fósforo y potasio, en la medición de 1997 las diferencias no son significativas. Esto concuerda con los resultados de CANADELL y VILÁ (1992), que obtuvieron las mayores concentraciones de N, en hojas del año en encina, a medida que disminuía la disponibilidad de nutrientes en el suelo, asociándolo a un proceso lento de mineralización mediante el cual el nitrógeno se acumulaba en el suelo, estando menos disponible para las plantas.

Según ESCUDERO *et al.* (1992) el contenido total de N por hoja aumenta al inicio del periodo de crecimiento, manteniéndose constante hasta el siguiente periodo de crecimiento. Las concentraciones de N en la encina varían mucho a lo largo de la vida de la misma, como ocurre en la mayoría de las especies arbóreas. Además, la cantidad total de N almacenado en un conjunto de hojas no empieza a disminuir hasta el tercer periodo de crecimiento, cuando las hojas quedan, en gran medida, bajo la sombra de las nuevas. Si se expresa el incremento en la concentración del nutriente entre 1996 y 1997 en porcentaje referido al contenido inicial en 1996, se obtiene una correspondencia mejor para nitrógeno y fósforo, como puede observarse en la tabla 8, especialmente al comparar entre sí los dos tratamientos extremos.

Si se expresa el contenido en potasio y fósforo referido al incremento de densidad de follaje absoluto (IA) y relativo (IR) habido entre 1996 y 1997 (tabla 10) las diferencias entre tratamientos son mucho más evidentes y las diferencias entre abonados, con valores mucho más altos, y el control, son muy patentes; incluso se manifiesta un cierto escalonamiento al pasar sucesivamente por los diversos tratamientos. Ello pone de manifiesto una mayor cantidad de nutrientes absorbidos por planta en el caso de las plantas fertilizadas; pero su mayor superficie foliar hace que su concentración en hojas no sea significativamente mayor.

## PARÁMETROS DASOMÉTRICOS

### Altura y diámetro

La tabla 9 muestra los valores medios iniciales de la altura (cm) y el diámetro (mm) en la base del tronco y el incremento ( $\Delta H$  y  $\Delta D$ ) de los mismos en los periodos estudiados, respectivamente.

TABLA 9

Valores medios e incrementos ( $\pm$  error estándar) de altura (cm) y test de medias de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) según tratamiento para cada fecha de medición y año considerados

	MESES	R+A	R	A	Co
Altura	Mayo 1996	64,4 $\pm$ 5,5 a	64,7 $\pm$ 6,8 a	76,4 $\pm$ 8,0 a	56,1 $\pm$ 2,4 a
	Febrero 1997	71,8 $\pm$ 6,1 ba	73,9 $\pm$ 8,0 ba	84,1 $\pm$ 9,0 a	58,0 $\pm$ 3,1 b
	Octubre 1997	98,5 $\pm$ 7,4 ba	98,8 $\pm$ 48,9 ba	109,8 $\pm$ 10,4 a	75,5 $\pm$ 3,0 b
	$\Delta$ H(mayo'96- febrero '97)	7,4 $\pm$ 0,6 a	9,2 $\pm$ 0,5 b	7,7 $\pm$ 0,5 a	1,9 $\pm$ 0,3 c
	$\Delta$ H(febrero'97-octubre '97)	26,7 b	24,9 b	25,7 b	17,5 a
	Diámetro	Mayo 1996	20,2 $\pm$ 1,8 a	20,2 $\pm$ 2,4 a	24,1 $\pm$ 2,2 a
Octubre 1996		27,3 $\pm$ 1,9 ba	26,2 $\pm$ 3,0 ba	29,2 $\pm$ 2,3 a	21,0 $\pm$ 1,2 b
Febrero 1997		27,5 $\pm$ 2,0 ba	26,4 $\pm$ 2,9 ba	28,8 $\pm$ 2,5 a	21,6 $\pm$ 1,2 b
Octubre 1997		33,3 $\pm$ 2,7 ba	31,3 $\pm$ 3,8 ba	35,6 $\pm$ 3,3 a	24,2 $\pm$ 1,6 b
$\Delta$ D(mayo'96-octubre '96)		7,1 $\pm$ 0,5 a	6,0 $\pm$ 0,4 ab	5,1 $\pm$ 0,5 b	2,5 $\pm$ 0,3 c
$\Delta$ D(octubre 96-febrero '97)		0,2 $\pm$ 0,0 a	0,2 $\pm$ 0,0 a	0,4 $\pm$ 0,0 b	0,6 $\pm$ 0,0 c
$\Delta$ D(febrero '97-octubre '97)		5,8 a	4,9 b	6,8 c	2,6 d

Aunque la altura de la planta no es, en el caso de especies que como la encina no tienen dominancia apical, un buen parámetro de comparación de tratamientos, los incrementos de altura experimentados por las plantas en los dos periodos considerados reflejan diferencias significativas entre el control y los tratados, aunque no se expresan claramente dichas diferencias en los demás casos. El incremento de altura durante el primer año (entre mayo, 1996 y febrero, 1997) muestra que son las plantas regadas las que presentan un valor significativamente mayor con respecto al resto de los tratamientos. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por SABATÉ *et al.* (1992), donde también para la encina es el riego el que presenta un efecto mayor en el crecimiento de los ramillos, quedando el abonado con N en segundo lugar.



Por su parte, la abundante agua de lluvia caída en 1997 acorta diferencias entre control y tratados, aunque se mantiene la significación de las diferencias, y anula prácticamente las diferencias entre los otros tratamientos, con una tendencia, no significativa, a un valor mayor en las plantas abonadas.

Las respuestas a los tratamientos encontrados para la altura se expresan también, con mayores diferencias entre tratamientos, para el incremento en diámetro. En este caso, no sólo se diferencian los tratados del control sino que también existen diferencias entre éstos, si bien los valores más altos no siempre corresponden a las plantas regadas y abonadas, que no se diferencian en todos los casos de las plantas solamente regadas. El comportamiento entre ambos años, asimismo, varía.

### Densidad de follaje

En la tabla 10 se muestran los valores medios de densidad de follaje ( $m^2$  de superficie foliar por  $m^3$  de volumen de copa: SF/VC) estimados con el equipo LAI al inicio y al final del periodo vegetativo de 1997, medidos en febrero y octubre de 1997 respectivamente y los incrementos absoluto (IA) y relativo (IR) expresados en porcentaje respecto a los valores iniciales, habidos entre ambas fechas.

Los valores medios iniciales de los bloques (datos no presentados) revelan una cierta heterogeneidad en la densidad del follaje entre plantas, lo que es apreciable de visu en el campo. Las diferencias se acentúan en el valor del incremento relativo de dicha densidad, con diferencias significativas entre el bloque B.2 y el resto de los bloques.

El incremento de densidad de copa por tratamiento también resulta significativamente diferente: el bajo valor del control (24,4%) contrasta con los correspondientes a los tres tratamientos, siendo el abonado con riego el que, como cabía presumir, da lugar al mayor incremento (156,72%), no diferenciándose entre sí los tratamientos de riego y de abonado solo.

TABLA 10

#### Valores medios de densidad de follaje (SF/CP) e incrementos absoluto (IA) y relativo (IR) correspondientes a febrero y octubre de 1997

SF/CP	R+A	R	A	Co
Febrero 1997	2,699	3,987	2,450	7,180
Octubre 1997	6,929	6,871	4,190	8,937
(IA): febrero-octubre	4,230	2,884	1,740	1,757
(IR): febrero-octubre (%)	156,72	72,33	71,02	24,47
	a	b	b	c

## FRUCTIFICACIÓN DE LAS PLANTAS

En 1995 se observó en una encina la presencia de dos bellotas. El número de plantas y el de bellotas cosechadas en los 2 años siguientes ha ido en aumento, aunque supone un porcentaje muy pequeño. No obstante, en alguna encina se han contabilizado hasta 14 bellotas.

Las bellotas recolectadas están bien desarrolladas y son germinables, mostrando un embrión normalmente desarrollado. Si bien no se ha observado todavía presencia alguna de amentos masculinos, la necesaria fertilización ha sido posible con el polen de los árboles de encina que salpican el entorno.

## MICORRIZACIÓN Y FUTURA PRODUCCIÓN DE TRUFAS

En las micorrizas el hongo facilita la nutrición de algunos minerales a la planta huésped, sustancialmente fósforo y nitrógeno, de forma especial si los niveles de éstos en el suelo son bajos. En contrapartida, aquélla proporciona al hongo hidratos de carbono que éste no es capaz de fotosintetizar; con ellos producirá sus esporocarpos, en el caso que nos ocupa, de las apreciadas trufas.

Se desconoce la forma en que se llevó a cabo la micorrización de las plantas objeto del presente estudio, que fueron adquiridas por la propiedad, ya micorrizadas, y tampoco se tiene certeza del grado de micorrización obtenido, aunque cabe pensar que fuera alto.

En todo caso, las micorrizas establecidas han tenido que competir en el terreno, a lo largo de estos años, con la flora fúngica existente en el mismo, no disponiéndose de información sobre su capacidad de evolución frente a tal competencia, por otra parte de grado y calidad totalmente desconocidos, pues no se ha llevado a cabo ningún muestreo, que hubiera exigido toma de raíces, con el consiguiente riesgo de daños al todavía poco desarrollado sistema radical.

En la situación actual la única referencia de la micorrización es la aparición de los cuerpos fructíferos o, quizá, como preludio inmediato a la misma, la formación de los denominados "quemados", superficie de suelo alrededor de cada planta que queda desprovista de vegetación accesoria por efecto del desarrollo del hongo. Tal situación todavía no se ha producido.

## CONCLUSIONES

– La respuesta de las encinas al abonado NPK, aunque no se refleja en el aumento de la concentración foliar, conduce a una copa más desarrollada, con mayor densidad foliar y grosor del tallo principal, e incluso de la altura de las plantas. No obstante, con carácter general, no se estima recomendable la fertilización en términos de rentabilidad, a no ser que las deficiencias en nutrientes fueran marcadas.

– El riego resulta eficaz cuando las escasas precipitaciones de la zona al final de la primavera y ya entrado el otoño no son acompañadas de tormentas, más frecuentes en la segunda mitad del

verano. Sin embargo, no se considera necesario, en términos de supervivencia, un riego adicional cuando la plantación, cual es este caso, ha alcanzado entre los cuatro y cinco años de edad. En todo caso, el riego siempre favorecería el desarrollo de las plantas, máxime en años de extremada sequía; y de forma indirecta este mayor desarrollo conduciría a una mayor producción trufera.

– Los parámetros hídricos, tanto en su evolución estacional como en relación con los tratamientos aplicados, corroboran la capacidad de la encina para vivir en condiciones de escasa disponibilidad de agua, que le permiten soportar valores muy bajos de potencial hídrico al mediodía, con una clara recuperación nocturna del potencial de base. Las tasas de fotosíntesis y su variación estacional muestran valores similares a los obtenidos para la especie en otras situaciones por otros autores.

– El seguimiento de la evolución del dosel de copas en relación con la poda de los árboles, ya iniciada, y su posible correlación con la futura producción de trufas, aportarán información útil para un apropiado tratamiento cultural de este tipo de plantaciones.

– Los resultados expuestos evidencian que, aunque con variabilidad entre individuos, el grado de desarrollo alcanzado en la plantación y su estado sanitario hacen predecir su estabilidad y permanencia con escasa mortalidad futura. Si bien no existen todavía signos externos de la presencia de los esporocarpóforos (trufas) de la micorrización, cabe razonablemente pensar que aparezcan en los próximos años, dado el sustrato calizo y la existencia de caliza activa en el terreno.

## Agradecimientos

El desarrollo del trabajo experimental ha sido posible, en primer lugar, gracias a la disponibilidad de la plantación de encinas objeto del estudio, facilitada por Antonio Alcalá, que asimismo ha suministrado los medios para la realización de los distintos riegos; y, en segundo lugar, a la prestación de los equipos de medición por parte de la Unidad de Anatomía, Fisiología y Genética de la ETSI Montes de la Universidad Politécnica de Madrid, al asesoramiento científico prestado por sus miembros y al uso de los laboratorios tanto de dicha unidad como, para el análisis de suelo, de la Unidad de Edafología de la mencionada institución.

## BIBLIOGRAFÍA

- ACHERAR, M. y RAMBAL, S. (1992), «Comparative water relations of four Mediterranean oak species», *Vegetatio*, 99-100, pp.177-184.
- ALLÚE ANDRADE, J.L. (1990), *Atlas fitoclimático de España*, MAPA, p. 222.
- BOYER, J.S. (1995), *Measuring the water status of plants and soils*, Academic Press, p. 178.
- CALLOT, G. y JAILLARD, B. (1996), «Incidence des caractéristiques structurales de sous-sol sur l'entree en production du *Tuber melanosporum* et d'autres champignons mycorrhiziens», *Agronomie* 16:7, pp. 405-419.
- CANADELL, J. y VILÁ, M. (1992), «Variation in tissue element concentrations in *Quercus ilex* L. over a range of different soils», *Vegetatio*, 99-100, pp. 273-282.

- CEBALLOS, L. y RUIZ de la TORRE, J. (1979), *Árboles y arbustos*, Madrid, ETSI Montes, p. 353.
- DUHME, F. y HINCKLEY, T.M. (1992), «Daily and seasonal variation in water relations of macchia shrubs and trees in France (Montpellier) and Turkey (Antalya)», *Vegetatio*, 99-100, pp. 185-198.
- ESCUDERO, A.; ARCO, J.M. del y GARRIDO, M.V. (1992), «The efficiency of nitrogen retranslocation from leaf biomass in *Quercus ilex* ecosystems», *Vegetatio*, 99-100, pp. 225-237.
- GALLEGO, H.A.; RICO, M.; MORENO, G. y SANTA REGINA, Y. (1994), «Leaf water potential and stomatal conductance in *Quercus pyrenaica* Willd. forests: vertical gradients and response to environmental factors», *Tree Physiology*, 14, pp. 1039-1047.
- GANDULLO, J.M.; SÁNCHEZ PALOMARES, O. y SERRADA, R. (1989), *Prácticas de Edafología*, Madrid, ETSI Montes, p. 180.
- HALL, D.O.; SCURLOCK, J.M.O.; BOLHAR-NORDENKAMPF, H.R.; KEEGOOD, R.C. y LONG, S.P. (eds.) (1993), *Photosynthesis and production in a changing environment. A field and Laboratory manual*, Chapman & Hall, p. 464.
- ICONA (1980), *Las frondosas en el 1.º Inventario Forestal Nacional*, Madrid, MAPA.
- (1996), *Regiones de procedencia de Quercus ilex L.*, Madrid, MAPA.
- KOZLOWSKY, T.T. y PALLARDY, S.G. (1997), *Physiology of woody plants*, Academic Press, p. 411.
- LARCHER, W. (1995), *Physiological plant ecology*, Springer, p. 506.
- MARSCHNER, H. (1996), *Mineral nutrition of higher plants*, Academic Press, p. 889.
- PEREIRA, J.S.; CHAVES, M.M.; FONSECA, F.; ARAÚJO, M.C. y TORRES, F. (1992), «Photosynthetic capacity of leaves of *Eucalyptus globulus* (Labill.) growing in the field with different nutrient and water supplies», *Tree Physiology*, 11, pp. 381-389.
- RAMBAL, S. (1992), «*Quercus ilex* L. facing water stress: a functional equilibrium hypothesis», *Vegetatio*, 99-100, pp. 147-153.
- RIEGER, M. y DUEMMEL, M.J. (1992), «Comparison of drought resistance among *Prunus* species from divergent habitats», *Tree Physiology*, 11, pp. 369-380.
- SABATÉ, S.; CALVET, S. y GRACIA, C.A. (1992), «Preliminary results of a fertilization-irrigation experiment in a *Quercus ilex* L. forest in relation to leaves and twigs characteristics», *Vegetatio*, 99-100, pp. 283-287.
- SAS INSTITUTE (1998), *SAS (Statistical Analysis System) User's Guide*, North Carolina, N.C. Cary.
- SHAW, P.J.A.; LANKEY, K. y JOURDAN, A. (1996), «Factors affecting yield of Tuber melanosporum in *Quercus ilex* plantation in southern France», *Mycological Research*, 100:10, pp. 1176-1178.
- TERRADAS, J. y SAVÉ, R. (1992), «The influence of Summer and Winter stress and water relationships on the distribution of *Quercus ilex* L.», *Vegetatio*, 99-100, pp. 137-145.
- WEBER, J.A. y GATES, D.M. (1990), «Gas exchange in *Quercus rubra* (northern red oak) during a drought: analysis of relations among photosynthesis, transpiration and leaf conductance», *Tree Physiology*, 7, pp. 215-225.

Recibido el 26 de marzo de 1998

Aceptado el 15 de junio de 1998

**DESCRIPCIÓN Y COMPORTAMIENTO DE LOS PROCESOS  
DE RESTAURACIÓN VEGETAL DE ESCOMBRERAS EN  
LAS EXPLOTACIONES A CIELO ABIERTO DE ENDESA  
EN LA CUENCA MINERA DE TERUEL**



*Manuel Martínez Pantaleón*



# DESCRIPCIÓN Y COMPORTAMIENTO DE LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN VEGETAL DE ESCOMBRERAS EN LAS EXPLOTACIONES A CIELO ABIERTO DE ENDESA EN LA CUENCA MINERA DE TERUEL\*

*Manuel Martínez Pantaleón\*\**

## RESUMEN

La restauración de terrenos que se está llevando a cabo en la cuenca minera de Teruel pone de manifiesto que es posible conciliar la explotación minera a cielo abierto con la protección del paisaje y el acondicionamiento de la superficie del terreno, eliminando los efectos negativos que dicho tipo de labores ha producido en determinadas comarcas.

Se han logrado recuperar hasta el momento más de 85 Ha de taludes en las que se han plantado más de 140.000 unidades de diversas especies arbóreo-arbustivas y más de 140 Ha de plataformas para uso agrícola, en las que se han plantado más de 9.000 árboles frutales y ornamentales, que han demostrado la viabilidad de la reconversión de las escombreras en campos de cultivo.

**Palabras clave:** carbón, erosión, restauración vegetal, Teruel (España).

\* Resumen del trabajo realizado mediante una ayuda del Instituto de Estudios Turolenses de su XV Concurso de Ayudas a la Investigación de 1997.

\*\* Ingeniero Técnico Agrícola.

## ABSTRACT

*Description and performance of process of vegetable restoration of rubble slopes at open air coal-field exploitation of ENDESA at Teruel Coal Mining.*

Restoration of lands which are being carried out at Teruel Coal Mining manifests that it's possible to join both in the open air coal-field exploitation protecting landscape and to acquire certain quality or condition of the surface of soil leaving negative effects out which have influenced in different districts these sorts of tasks.

For the present over 85 Has. taluses have been regained where have been planted over 140.000 units of several arboreal species and over 140 Has. platforms for agricultural using where have been planted over 9.000 fruitful and ornamental trees which have showed the viability of rubble slopes' transformation in crop's fields.

**Key words:** coal, erosion, vegetable restoration, Teruel (Spain).

## INTRODUCCIÓN

La hulla subbituminosa existente en las cuencas de Teruel energéticamente es una de las fuentes más importantes de la Comunidad de Aragón dentro del balance energético nacional.

Hoy, con oscilaciones variables en su demanda, el carbón se ha confirmado como recurso básico en la estructura de ese balance en general, y en la economía aragonesa en particular, haciendo frente a las variaciones de demanda y a las continuas exigencias de la Comunidad Europea, que limita progresivamente la combustión en centrales térmicas de carbones con alto contenido en azufre, como son los existentes en Aragón en esta fecha.

El principal combustible de alimentación de la central de Andorra lo constituye la hulla subbituminosa de la zona de Teruel. Las minas en explotación se encuentran ubicadas en la cuenca de Val de Ariño, que se extiende por los términos municipales de Andorra, Ariño y Alloza.

Endesa tiene en la actualidad una mina en explotación subterránea, la Oportuna, y dos a cielo abierto: Corta Barrabasa y Corta Gargallo.

## MÉTODO DE EXPLOTACIÓN EN MINERÍA A CIELO ABIERTO

La minería tradicional se practicaba por lo general mediante labores subterráneas, con movimientos relativamente pequeños de materiales, pero la disponibilidad de maquinaria cada vez más potente ha permitido mayores movimientos de tierras a bajo coste, pasándose a actividades extractivas a cielo abierto. La necesidad de recurrir a este tipo de explotaciones se justifica por razones económicas.

Desde el punto de vista de la restauración de terrenos, este método conlleva una mayor alteración de la superficie, pues suele dar lugar, por lo general, a grandes huecos excavados o cicatrices en el terreno y a importantes depósitos de estériles.



## Minería de transferencia

La explotación se efectúa por transferencia entre paneles, de tal forma que se pueden distinguir dos fases:

### 1) Apertura del hueco inicial

Se trata de conseguir un hueco con la longitud de fondo suficiente que permita el inicio del proceso de relleno. La profundidad suele ser grande, llegándose en algunos casos a superar los 200 m. Durante este proceso, las escombreras exteriores de estériles que se crean sólo proceden de los materiales del hueco inicial. Ya en esta fase se contemplan los procesos de restauración, consistentes en retirar el material edáfico que constituye parte del suelo del área de excavación para poderlo restituir sobre las posiciones finales e iniciar los trabajos de revegetación. Este proceso es conocido como capaceo.



Fot. 1. Hueco de explotación.

### 2) Transferencia entre paneles

Se trata de realizar la explotación en bloques, de modo que permita volcar en el hueco alcanzado el estéril del bloque siguiente, ya que una vez alcanzada la fase de hueco inicial en un extremo del depósito, es factible efectuar el autorrelleno. Éste no sólo es conveniente desde la óptica medioambiental, sino que es ventajoso en tanto que reduce las distancias de transporte.

Este sistema de explotación permite obtener las siguientes ventajas:

- Mínima ocupación de terrenos exteriores al hueco de explotación y disminución del impacto ambiental.
- Reducción de las distancias de transporte de estériles y de los costes de explotación.
- Ejecución de la restauración de los terrenos afectados simultáneamente con la explotación y los consiguientes efectos de reducción de costes, minimización de stocks de tierra vegetal, recuperación anticipada de las escombreras y minimización del hueco final.

## Vertido de estériles

Los materiales que componen tanto el techo de las capas de carbón a explotar, como sus intercalaciones (fundamentalmente arcillas, limos, arenas y areniscas, y en menor proporción, bancos de caliza) son los denominados estériles, para los cuales es necesario disponer de un espacio exterior a la mina donde depositarlos en escombreras, hasta que se alcance la cota de fondo en donde poder empezar a almacenar en su interior el estéril que vaya saliendo de la explotación, funcionando desde ese momento en régimen continuo de transferencia.

Durante los años en que se están acometiendo los programas de restauración minera, se han ido estudiando y proponiendo posibilidades de diseño de escombreras, susceptibles de reducir al mínimo el impacto visual, así como la de crear las medidas adecuadas que permitieran conseguir un suelo estable, lo más regular posible, en el que estén controlados los procesos de erosión y que permita su posterior uso agrícola y forestal, a la vez que una integración paisajista en consonancia con las características del entorno.

En la restauración se acometen los siguientes trabajos.

- Diseño de la geometría final de las escombreras de acuerdo con las necesidades de acumulación de estériles de la explotación minera y las características morfológicas de los terrenos adyacentes.
- Extracción de los estériles de mina y vertido de los mismos en la escombrera en bancos de 4-5 m de altura. En las zonas próximas a la superficie, tanto de plataformas como de taludes, se procura verter estériles de textura arenosa y pH próximo a 7, para facilitar la penetración en profundidad de las raíces de la cubierta vegetal que se pretende obtener.
- Construcción de la escombrera con plataformas de más de 20 m de anchura limitadas por taludes de menos de 30 m de altura y pendiente de 18°. Para obtener una mayor integración en el paisaje, se procura evitar las formas rectilíneas, se realizan plataformas de cultivo a diversas alturas y se ejecutan los bordes favoreciendo la conservación de afloramientos rocosos y zonas de arboleda naturales entre distintas masas de escombrera.
- Nivelado de las plataformas con una pendiente media del 1% para facilitar el drenaje de las mismas y evitar zonas de encharcamiento.

- Perfilado de taludes hasta los 18° de pendiente para disminuir los efectos de la erosión y facilitar las labores de reforestación y la implantación de la cubierta vegetal.
- Ejecución de una red de caminos de acceso a las zonas restauradas y de cunetas perimetrales con sección en forma de "U", tanto en la parte superior del talud, que evitaría al máximo la posible erosión por aguas de escorrentía, como en la base de la pendiente, que serviría para llevar el agua que discurriera por ésta hasta los canales de drenaje.

En las zonas de pendiente mayor del 1%, las cunetas y canales se revisten de hormigón o piedra para protegerlos de la erosión.

## Impacto ambiental

La fuerte alteración que se produce en el paisaje por la explotación minera a cielo abierto es inevitable dadas las grandes dimensiones relativas del hueco, la escombrera exterior, etc., así como otros componentes artificiales anejos a las labores mineras (cintas transportadoras, instalaciones de obra, carretera local Andorra-Ariño), provocando en definitiva un cambio sensible de la topografía, la vegetación, la distribución espacial de los usos del suelo, etc., sobre el estado original.

A pesar del impacto que supone una actividad extractiva como ésta sobre el suelo donde se crea la apertura del hueco y las escombreras, su repercusión se minimiza por la baja potencialidad original que presentan estos suelos y el posterior uso agrícola que se hace de los terrenos restaurados, aumentando la superficie útil para la agricultura.

## METODOLOGÍA DE RESTAURACIÓN

Está basada en la recuperación de terrenos llevada a cabo por el Servicio de Restauración de la Dirección de Minas de Andorra.

La restauración de terrenos es contemplada ya en la etapa de elaboración del proyecto de explotación, considerándola como parte integrante de las labores mineras. Tanto el sistema de explotación (minería de transferencia) como la ejecución de escombreras debían permitir y facilitar la utilización agrícola-paisajista del área una vez extraído el carbón.

## Objetivos

Si bien porcentualmente la superficie de las áreas de explotación no suele ser grande, su localización, en muchos casos próxima a núcleos de población, y su impacto explican su intensa percepción por amplios grupos sociales. Esto provoca un interés en actuar sobre ellas para restaurarlas.

El objetivo de la restauración es no sólo frenar e impedir la degradación en la vegetación autóctona y actuar de forma controlada sobre este medio natural, sumamente frágil, para evitar un retroceso en la serie ecológica de difícil reversibilidad, sino también el de elaborar una sistemática de trabajo que permita actuar sobre las escombreras y el hueco de explotación, obteniendo, además de

los niveles mínimos de calidad exigidos en la legislación vigente, una regeneración total de los terrenos afectados, de manera que puedan ser objeto de una explotación agrícola, forestal y ganadera similar a las de su entorno geográfico.

## Movimiento de tierras

Como se dijo anteriormente, ya desde la apertura del hueco inicial de la explotación se contemplan los procesos de restauración, consistentes en retirar el material vegetal que servirá de sustrato en los trabajos de revegetación, cuya acción más importante se puede resumir en:

– El material edáfico extendido sobre la superficie, una vez lograda la morfología final, crea un medio adecuado para la reimplantación de vegetación.

– En la mayoría de los casos resulta difícil encontrar en el mercado semillas de plantas espontáneas. Conservar el material edáfico para rehabilitar áreas naturales implica almacenar con él, además de materia orgánica y nutrientes, semillas, rizomas y bulbos que muchas veces se irán multiplicando y reemprenderán su actividad en la zona rehabilitada.

En esta fase de movimientos de tierra se realizan los siguientes trabajos:

- Determinación del espesor de tierra vegetal disponible en los paneles de avance de la mina mediante la ejecución de calicatas, así como la definición de su calidad a través de un análisis fisi-



Fot. 2. Retirada del material vegetal para su uso posterior en plataformas y taludes.

co-químico que permita hacer un arranque selectivo de la misma para su uso posterior en taludes y plataformas.

- Rebanado horizontal superior de la capa de tierra vegetal sobre un espesor medio de 0,30 m. Estas tierras se emplearán posteriormente en las plataformas y taludes definitivos.
- Acopio y extendido de la tierra vegetal sobre plataformas y taludes con un espesor aproximado de 0,50 m.

### Revegetación de los terrenos afectados

El plan de restitución tiene entre otros objetivos el de revegetar aquellas áreas afectadas por las labores mineras, minimizando su impacto causado sobre el paisaje. Esta revegetación se efectuará de manera que se creen grandes áreas para cultivos extensivos (cereales de secano) con arbolado y bosquetes intercalados acordes con el ecosistema primigenio de la zona. Asimismo, estas medidas de implantación de vegetación influirán muy positivamente sobre la erosión.



Fot. 3. Cosechadora en terrenos restaurados.

En esta línea, la ordenación paisajista de Corta Barrabasa se basa en dos puntos fundamentales: la puesta en uso agrícola de las plataformas de las escombreras resultantes de la explotación y la arborización de masas forestales en los taludes de escombrera.

Para conseguirlo, se acometen tres tipos de actividades. En primer lugar se procede a la siembra de cereal en las plataformas y gramíneas-leguminosas en los taludes. Luego se llevan a cabo plantaciones de especies arbóreo-arbustivas en los taludes y de frutales en las plataformas. Y en último lugar se efectúan los trabajos de replantación de las zonas donde los índices de prendimiento han sido bajos.

## Revegetación de plataformas

Siembras preparatorias: tras el extendido de la tierra vegetal, la plataforma recibe una siembra con cereal en otoño.

Durante los primeros años de vida de las parcelas continúa el criterio de uso cerealista con el objeto de comprobar sus rendimientos, comparándolos con los de zonas naturales próximas para analizar su evolución.

El calendario de labores es similar al que podría hacer cualquier agricultor de la zona. La dosis de siembra para cebada es de 175 kg/Ha, de 200 kg/Ha para el trigo y de 150 kg/Ha para la avena, independientemente de las variedades utilizadas. Para el abonado en presiembra se está utilizando abono mineral complejo N-P-K, tipo 8-24-16, aunque varía en función de la disponibilidad de las casas comerciales. La dosis de abonado es de 300 kg/Ha.

Los rendimientos oscilan entre 1.800 y 2.950 kg/Ha, dependiendo de la calidad de la tierra, el cultivo y la orientación de las parcelas.

Plantaciones arbóreas: en una segunda fase, o bien se continúa con el criterio cerealista, o bien se efectúan plantaciones experimentales de frutales en algunas de las plataformas. De esta manera, se inició la implantación de especies tradicionales en la zona, generalmente en función del cultivo de la trilogía mediterránea (olivo, vid y almendro) en Corta Alloza y una vez comprobada su buena adaptación al terreno, se ha continuado con otras especies no extendidas por los agricultores de la comarca, como son el cerezo y el nogal.

Los buenos resultados obtenidos con estas plantaciones cultivadas en secano animaron a poner en marcha en Corta Barrabasa una parcela experimental de frutales que supera las 6 Ha. En ella se cultivan actualmente 4 variedades de olivo, 2 de nogal, 2 de cerezo, 1 de ciruelo, 3 de almendro, 2 de higuera, 6 de peral y 8 de manzano.

CUADRO 1  
Plantaciones en las plataformas

ESPECIES	CORTA ALLOZA	CORTA BARRABASA	TOTAL
<b>FRUTALES</b>			
Almendro _____	1.132	240	1.372
Vid _____	3.800	0	3.800
Olivo _____	0	354	354
Cerezo _____	294	409	703
Nogal _____	35	50	85
Ciruelo _____	0	50	50
Peral _____	0	34	34
Manzano _____	0	30	30
Higuera _____	0	34	34
TOTAL FRUTALES _____	5.261	1.201	6.462
<b>ORNAMENTALES</b>			
Chopo _____	90	1.100	1.190
Acacia _____	100	470	570
Olmo _____	30	440	470
Otras especies _____	150	200	350
TOTAL ORNAMENTALES _____	370	2.210	2.580
TOTAL PLATAFORMAS _____	5.631	3.411	9.042

## Revegetación de taludes

Siembra de herbáceas: tras el extendido de la tierra vegetal, se efectúa la siembra, cuyo objetivo prioritario es conseguir una densa cubierta vegetal que permita estabilizar el suelo, evitando al mismo tiempo la erosión hídrica y eólica.

Para ello se utiliza una mezcla de herbáceas (leguminosas y gramíneas) que, tras un período de tiempo relativamente corto y debido a su facilidad para germinar, consigue instalar vegetación en una superficie que, de otra manera, quedaría desnuda hasta que el proceso de colonización natural, mucho más lento, se llevase a cabo.

La utilización de estas familias de herbáceas radica en el interés que ofrecen bien sea por su morfología o por su acción beneficiosa sobre el substrato; así, las leguminosas tienen la capacidad de fijar el nitrógeno atmosférico en el suelo poniéndolo a disposición de las plantas; su profundo sistema radicular permite fijar el suelo evitando posibles desprendimientos y, además, el alto grado



Fot. 4. Vista general de un talud en la escombrera exterior de Corta Barrabasa.

de biomasa que desarrollan disminuye el riesgo de erosión hídrica superficial, al amortiguar el impacto de las gotas de lluvia directamente sobre el suelo (efecto salpicadura o "splash"). Por otro lado, las gramíneas desarrollan una densa macolla a nivel superficial que dificulta la formación de regueros por incisión, y que complementa la acción de las leguminosas.

La mezcla de las semillas que se utilizan se elabora en las propias instalaciones, a partir de las especies recibidas, y posteriormente se distribuyen por la parcela que se va a sembrar.

Especies que se utilizan:

Cebada "Albacete" _____	15 kg/Ha
Avena "Previsión" _____	15 kg/Ha
Alfalfa "Tierra de Campos" _____	40 kg/Ha
Esparceta _____	40 kg/Ha
Veza Villosa _____	40 kg/Ha
TOTAL _____	150 kg/Ha

A la vez que se realiza la siembra, se procede al abonado con 350 kg/Ha del complejo 15-15-15.

El enterrado de la semilla y el abono se efectúa con un mismo pase de grada arrastrado por un tractor de baja potencia.



## Plantaciones arbóreo-arbustivas

La plantación de especies arbóreo-arbustivas constituye la segunda fase de revegetación de taludes. Con ella se pretende reconstruir un espacio afectado por la actividad minera, mediante la integración de las escombreras y huecos de explotación en el paisaje natural.

Una vez definido el uso del suelo, y proyectada la restauración de taludes con un criterio ecológico-paisajístico, el siguiente paso consiste en efectuar un estudio de las comunidades vegetales existentes en las proximidades de la zona que se pretende restaurar, con el fin de utilizarlas en los trabajos de reforestación.

En la lista que se presenta a continuación, muchas de las especies que aparecen se encuentran de forma espontánea y otras presentan una características ecológicas que las hacen compatibles con las condiciones climáticas y de suelo de los terrenos una vez recuperados edafológicamente.



Fot. 5. **Plantaciones arbustivas.**

Especies arbóreas:

- *Ailanthus altissima* (ailanto). Familia Simaroubáceas.
- *Cercis siliquastrum* (árbol del amor). Familia Leguminosas.
- *Cupressus sempervivens* (ciprés). Familia Cupresáceas.
- *Gleditsia triacanthos* (acacia de tres puntas). Familia Leguminosas.

- *Pinus halepensis* (pino carrasco). Familia Pináceas.
- *Pinus nigra* (pino negral). Familia Pináceas.
- *Robinia pseudoacacia* (acacia). Familia Leguminosas.

Especies arbustivas:

- *Atriplex halimus* (sosera). Familia Chenopodiáceas.
- *Crataegus monogyna* (majuelo). Familia Rosáceas.
- *Genista scorpius* (aliaga). Familia Leguminosas.
- *Juniperus oxycedrus* (enebro). Familia Cupresáceas.
- *Juniperus phoenicea* (sabina). Familia Cupresáceas.
- *Lavandula latifolia* (espliego). Familia Labiadas.
- *Pistacia lentiscus* (lentisco). Familia Anacardiáceas.
- *Pistacia terebintus* (cornicabra). Familia Anacardiáceas.
- *Prunus spinosa* (endrino). Familia Rosáceas.
- *Quercus coccifera* (coscoja). Familia Fagáceas.
- *Rhamnus lycioides* (espino negro). Familia Rosáceas.
- *Rosa* sp. (rosa silvestre). Familia Rosáceas.
- *Rosmarinus officinalis* (romero). Familia Labiadas.
- *Salvia lavandulifolia* (salvia). Familia Labiadas.
- *Santolina chamaecyparissus* (abrótano). Familia Compuestas.
- *Thymus mastichina* (mejorana). Familia Labiadas.
- *Thymus vulgaris* (tomillo). Familia Labiadas.

En las áreas definidas como de repoblación con coníferas sólo se empleará el pino carrasco (*Pinus halepensis*), en lugar del pino laricio o negral (*Pinus nigra*), dada la mejor adaptación del primero a las características de la zona y su mayor resistencia a la plaga de la “procesionaria del pino”, que está causando grandes estragos en los pinares de la provincia de Teruel.

La composición de la mezcla arbóreo-arbustiva es diferente en función de la orientación del talud, de tal forma que los taludes de orientación norte se cubren con una plantación de pino carrasco, con intercalaciones de ciprés arizónica, lentisco, enebro, sabina, coscoja y otros, mientras que los de orientación sur se repoblan esencialmente con aromáticas (romero, tomillo, santolina y espliego), *Atriplex halimus* y *A. nummularia* y, en menor cantidad, las especies utilizadas en los taludes de orientación norte.

La metodología que se sigue en la actualidad, independientemente de la orientación de los taludes, es la que sigue.

Un año después de la siembra de herbáceas se realizan surcos paralelos a las curvas de nivel, equidistantes 2,5 m. La ejecución de los mismos se realiza mediante un tractor de orugas con subsolador con capacidad para profundizar hasta 50 cm.

La siguiente labor es preparar los hoyos de plantación que se realizan con un ahoyador manual o mediante el sistema tradicional, utilizando una azada.

La época de plantación más adecuada coincide con los meses de reposo de la planta, entre noviembre y febrero. Sin embargo, el uso de planta en contenedor permite ampliar el plazo un mes antes y después. La plantación se realiza al "tresbolillo", con un marco de plantación variable de 2,5 x 2,5 m según las especies o la zona en la que se va a plantar.

Si se considera necesario, previo a la introducción de la planta se pueden adicionar distintos productos (abonos, retentores de humedad, hormonas, etc.) que no deben estar en contacto directo con la planta. Una vez introducida ésta, se entierra quedando el nivel del suelo a la altura del cuello de la raíz, y procurando que quede lo más vertical posible. Posteriormente, se rellena el hoyo, se compacta, y se prepara un alcorque alrededor de la planta.

Una vez efectuada la plantación, se procederá a dar un riego con el objeto de que la tierra removida con la excavación quede perfectamente asentada y en íntimo contacto con el cepellón o raíz de la planta utilizada.



Fot. 6. Tractor de orugas con subsolador.

Con los condicionantes climáticos que existen en la Val de Ariño se necesitan al menos tres riegos de mantenimiento durante el periodo estival para que las plantas superen el primer año de plantación. Estos riegos conviene darlos en horas de mínima insolación, esto es, por la tarde o por la noche.

Al concluir la plantación de un talud se realiza un mapa representativo del estado del mismo. En él aparecen localizadas las plantas dentro del conjunto que conforman los surcos.



Fot. 7. Tractor con ahoyador.



Fot. 8. Riego de las plantas.

Aproximadamente seis meses después de la plantación se realiza un control, muestreando la totalidad de la superficie, y se anotan en el mapa las variaciones existentes. Posteriormente se actualizan los datos cada 6 meses (marzo y julio).

El control de las plantaciones en verano permite averiguar las necesidades de riego de los individuos; a la salida del invierno dan a conocer la resistencia de las plantas a las heladas; así como los posibles fallos habidos en las labores de plantación; por último, el control durante periodos más largos permitirá conocer la evolución del talud en cuanto a su contenido en unidades y especies, así como la seguridad que ofrece utilizar planta de un vivero u otro.

CUADRO 2  
Plantaciones en taludes

ESPECIES	CORTA ALLOZA	CORTA BARRABASA	TOTAL
<i>Atriplex halimus</i> _____	11.700	0	11.700
<i>Atriplex nummularia</i> _____	4.000	0	4.000
<i>Cupressus</i> sp. _____	4.622	4.650	9.272
<i>Juniperus</i> sp. _____	610	1.440	2.050
<i>Lavandula</i> sp. _____	8.500	2.000	10.500
<i>Pinus halepensis</i> _____	36.892	35.940	72.832
<i>Pistacia lentiscus</i> _____	725	725	1.450
<i>Quercus</i> sp. _____	590	1.505	2.095
<i>Rosmarinus officinalis</i> _____	15.950	6.600	22.550
<i>Santolina chamaecyparissus</i> _____	750	1.250	2.000
<i>Thymus vulgaris</i> _____	700	1.015	1.715
Otros _____	1.123	1.315	2.438

## MATERIAL Y MÉTODOS

### LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Las parcelas de estudio utilizadas se encuentran en el área de explotación minera a cielo abierto de la Corta Barrabasa, enclavadas en un valle alargado y estrecho de dirección SW-NE, el cual oscila entre las cotas 500 y 700 m s.n.m., entre los términos municipales de Andorra y Alloza (en el paraje conocido como Val de Ariño) en la comarca natural del Bajo Aragón, al noreste de la provincia de Teruel (fig.1).

El área del territorio estudiado se encuentra en las estribaciones meridionales de la Sierra de Arcos, que pertenece a la avanzadilla más septentrional de la Cordillera Ibérica en su parte suoriental hacia la Depresión del Ebro, formando parte de las cordilleras Celtibéricas del Bajo Aragón, y corta al término en el que se encuentran las explotaciones en dirección NW-SE, delimitando dos

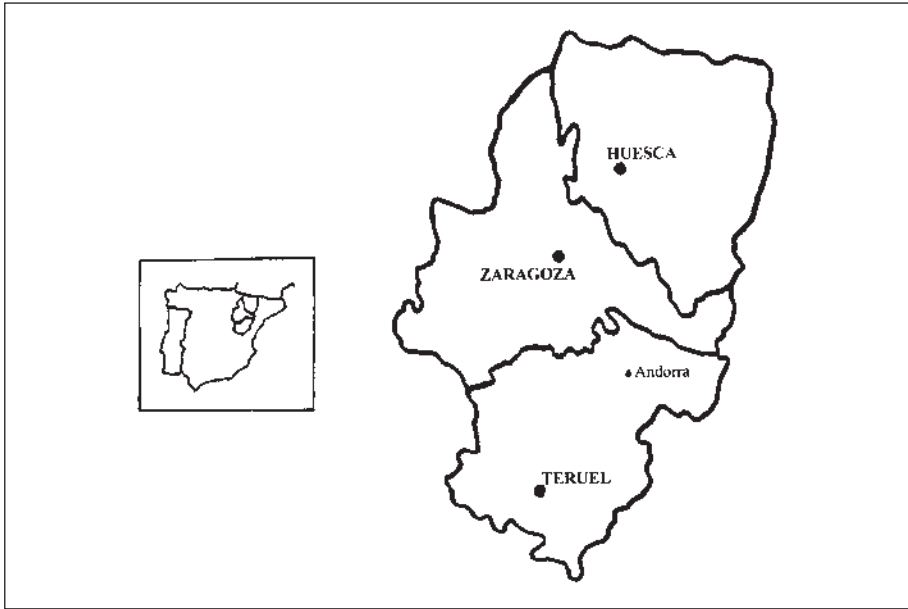


Fig. 1. Localización del término municipal de Andorra en el ámbito nacional y regional.



Fot. 9. Estado original de los terrenos afectados por la explotación minera.

zonas claramente diferenciadas: la zona norte volcada hacia el Valle del Ebro (en donde se encontraría la Val de Ariño), y que desciende hasta los 480 m, y la zona sur, donde se encuentran los puntos de mayor altitud, entre los que destacan la Peña del Gato (835 m), El Cerezo (854 m), La Cerrada (819 m), Horca Llana (774 m), La Tajonera (854 m), San Macario (807 m) y el cabezo Piagordo, con la mayor altitud (862 m).

La topografía que presenta es accidentada, fraccionada por barrancos de orientación variable y punteados por pequeñas colinas de una altura máxima de 700 m, de pendientes acusadas, erosionadas, con alineamientos de roca caliza. Su red hidrográfica es poco densa y de régimen intermitente, condicionándolo por ello a una vegetación escasa constituida por especies de monte bajo (romero, espliego, aliaga...) y algo de especies arbustivas (enebro, sabina, coscoja, lentisco...) con ejemplares aislados de pino carrasco, pino negral y encinas, que demuestran un suelo en proceso de degradación, suelo poco fértil con pequeños bancales de cultivo de secano, olivos diseminados, almendros y vid.

Como punto de referencia tomaremos el término municipal de Andorra, que se halla comprendido, aproximadamente, entre las coordenadas geográficas  $0^{\circ}31'30''$  y  $0^{\circ}20'30''$  de longitud W y entre  $40^{\circ}56'40''$  y  $41^{\circ}5'20''$  de latitud N. Posee una extensión de 14.198 Ha que representa el 0,96% del total de la provincia de Teruel y el 3,52% del Bajo Aragón.

Una vez en la localidad, aproximadamente a unos 2 km por la carretera de ámbito local que va a la también población minera de Ariño, se llega a la explotación minera a cielo abierto Corta Barrabasa, propiedad de Endesa, lugar donde se hallan ubicadas las parcelas (fig. 2).

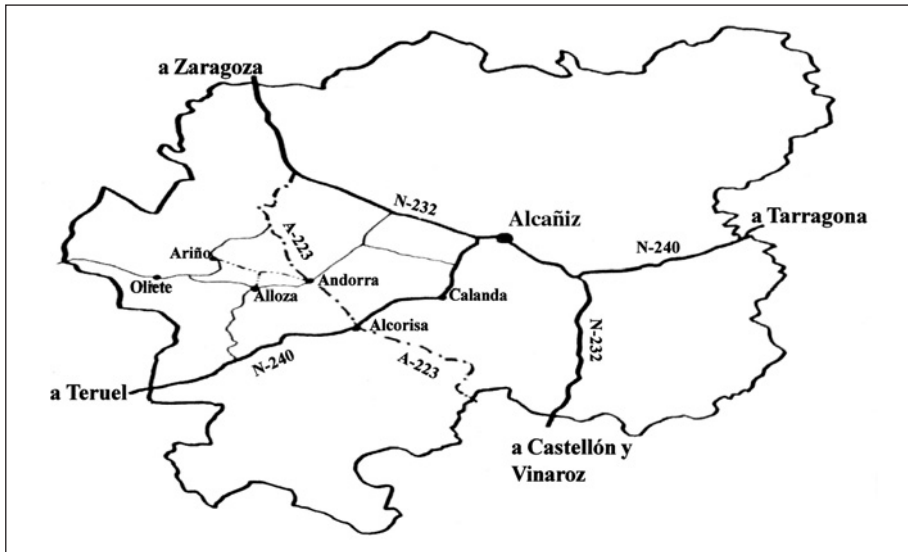


Fig. 2. Mapa oficial de carreteras. Escala 1:400.000. Ministerio de Obras Públicas.

La posición topográfica de cada parcela está representada en la figura 3, obtenida a partir del mapa topográfico de la explotación a escala 1:2.000, marcado con una cruz el lugar que ocupa cada una.

Los valores estadísticos de los parámetros de estudio se obtienen de las mediciones realizadas en la estación meteorológica Mina Oportuna, situada dentro del área de estudio, así como de los datos facilitados por el Laboratorio de Medio Ambiente ubicado dentro de la población de Andorra.

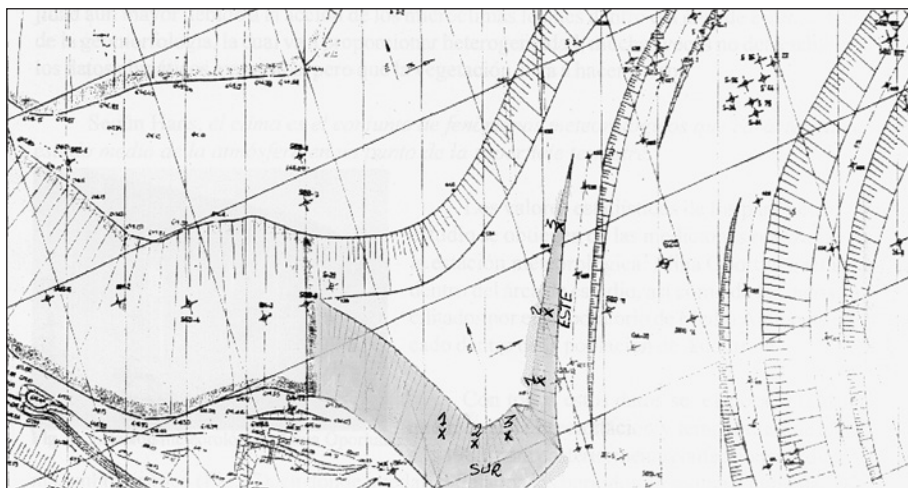


Fig. 3. Distribución de las parcelas sobre el terreno.

## CLIMA

Tras realizar un estudio climático de la zona de la Corta Barrabasa desde 1983 hasta 1997, éste queda caracterizado como clima Mesomediterráneo semiárido de inviernos fríos. Su temperatura y precipitación media anual es de 14,18 °C y 392,12 mm respectivamente, con medias mensuales de 35-40 mm en primavera y otoño y de 25-30 mm en verano e invierno. Según el diagrama ombrotérmico existe una época de sequía desde mitad de mayo hasta mitad de septiembre.

Centrándonos en el año agrícola 96/97, la temperatura media anual fue de 13,47 °C, y su precipitación de 515,2 mm que, comparándola con la media de los últimos 15 años, nos da un valor elevado. Hay que destacar la fuerte irregularidad estacional de las precipitaciones, alcanzándose las máximas en verano e invierno y no en primavera y otoño como sería de esperar.

Una vez clasificado el clima que caracteriza la zona, se estudian los factores climáticos en el período comprendido al año agrícola 96/97, en el cual las parcelas de estudio estuvieron en el terreno.



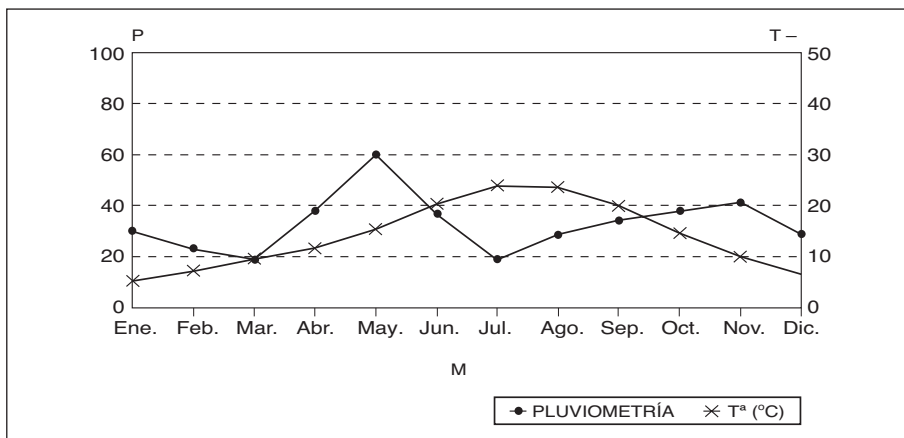


Fig. 4. Diagrama ombrotérmico.

## Temperatura ambiental

El efecto de la continentalidad provoca una configuración en cubeta en el régimen térmico de la zona. La curva térmica muestra una oscilación notable entre invierno y verano, aunque las pendientes no son muy bruscas, el salto más brusco es el de octubre-noviembre, con un descenso de 4,33 °C y una degradación rápida hasta enero. A partir de entonces se asciende paulatinamente, hasta alcanzar las máximas en julio-agosto.

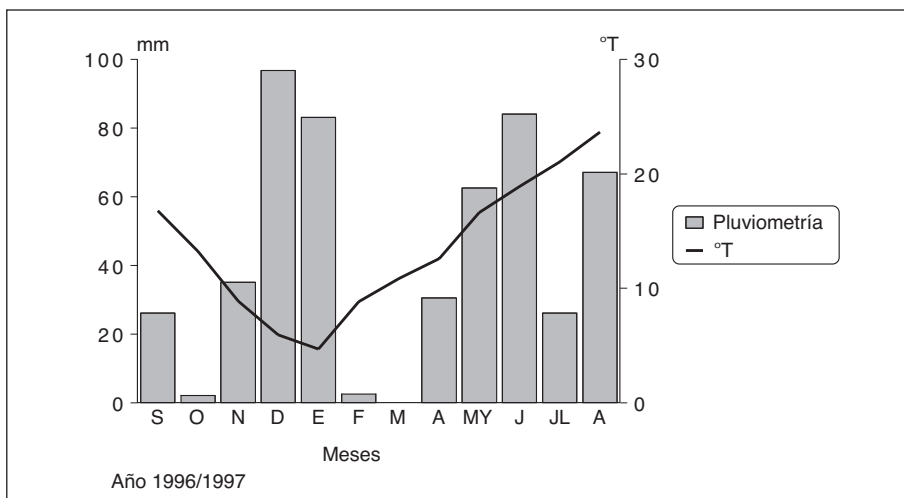


Fig. 5. Diagrama ombrotérmico en la Corta Barrabasa (502 mm).

## Precipitaciones

La característica predominante del clima en esta zona va a ser la escasez e irregularidad estacional e interanual de sus precipitaciones, con prolongados períodos de sequía atmosférica en gran parte del año. Propiedad adquirida de su régimen mediterráneo continentalizado, sin embargo, este aspecto puede verse modificado en función del relieve.

La influencia mediterránea es el origen del máximo otoñal, mientras la continentalidad provoca mínimos en invierno y es la causa de que los veranos acumulen precipitaciones tormentosas que pueden llegar a ser localmente importantes.

Observando la figura 6, se puede ver cómo la capacidad de campo se alcanza en el mes de enero y solamente hay exceso de humedad durante este mes, representando este exceso 23,55 mm = 235,5 m<sup>3</sup>/Ha.

Durante los meses de septiembre hasta diciembre, y de marzo hasta agosto, las reservas descienden por debajo de la humedad a marchitez (81,3 mm) iniciándose durante estos meses una época de aridez, que tendrá como resultado una alteración de los procesos bióticos de la planta, pudiendo ocasionar la marchitez permanente del vegetal.

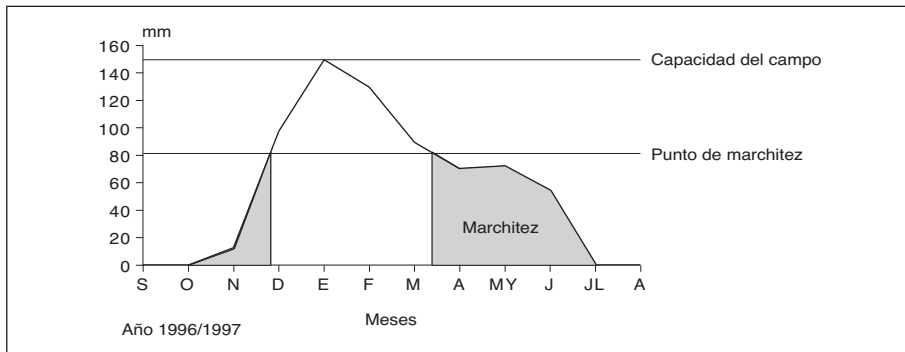


Fig. 6. Variación mensual de las reservas de agua en el suelo en la Corta Barrabasa.

## Humedad atmosférica

En esta zona, sus valores medios anuales se sitúan entre el 75 y el 85 %, estableciéndose ligeras diferencias estacionales, al igual que del día a la noche. La estación de mayor humedad relativa la registramos en invierno, debido sobre todo al descenso de las temperaturas, siendo el mes de enero el más húmedo del año, con un valor medio de 83 %, para ir decreciendo paulatinamente hasta el verano, con un valor medio del 76 %.

Las nieblas, habitualmente de irradación, forman parte de los días cubiertos, con una distribución espacial irregular, registrándose especialmente entre los meses de noviembre y febrero. Esta

suspensión de gotas de agua, formadas fundamentalmente por irradiación del suelo al perder calor, provoca un incremento de la humedad relativa; además, la insolación a que se ve sometido el suelo es menor, por lo que el grado de reserva hídrica del mismo puede mantenerse a un nivel superior.

### Otros aspectos de interés: viento e insolación

El flujo dominante es el de componente oeste, el referente al cierzo o viento de dirección noroeste, que llega seco a la región aragonesa, por donde discurre sensiblemente paralelo al cauce del Ebro, y que se genera por una fuerte diferencia de gradiente de presión entre las altas del Cantábrico y las bajas del Mediterráneo. Suele ser un viento frío y seco, invernal, que puede alcanzar fuertes velocidades, con rachas que llegan en ocasiones hasta los 100 km/h, ocasionando efectos negativos, como la fuerte erosión eólica y su efecto en la agricultura.

### GEOMORFOLOGÍA

Las parcelas de estudio se encuentran sobre un mismo talud de escombrera, el cual es continuación de otro talud restaurado el año anterior, se extienden longitudinalmente en un mismo bloque, adquiriendo en su comienzo orientación sur, para ir curvándose en su tramo final alcanzando posiciones de orientación este.

Características del talud de orientación sur:

- Pendiente máxima de 18°.
- Altura del talud de 14 metros (de la cota 621 hasta la 635 m s.n.m.).
- Longitud de la pendiente de 45 metros.

Características del talud de orientación este:

- Pendiente máxima de 18°.
- Altura del talud en su inicio de 11 metros (cota 624-635) para ir descendiendo gradualmente hasta alcanzar una altura de cero metros (cota 635-635).
- El talud alcanza en su comienzo su mayor longitud de pendiente con 35 metros, e irá reduciéndose hasta desaparecer una vez se igualen las cotas a 635 m.

Las parcelas se hallan dispuestas en orientación sur y este con objeto de estudiar el efecto de la orientación en el desarrollo de la siembra de herbáceas, efecto que modifica directamente la cantidad de radiación solar recibida y, a partir de ella, el resto de las características climáticas, como por ejemplo, la temperatura y humedad a nivel del suelo, como se ha podido constatar en este trabajo.

La zona en la que se encuentran las parcelas no presenta ningún obstáculo para la exposición continuada de la radiación solar sobre los taludes, ya que no hay grandes elevaciones que pudieran impedir en algún momento del día la radiación, presentándose desde primera hora del amanecer hasta la puesta del sol. De esto podemos deducir que la cantidad total de radiación que va a llegar



Fot. 10. Vista general del desarrollo del talud.

va a ser muy grande, por lo que se alcanzarán temperaturas máximas muy altas con amplias oscilaciones térmicas diarias, efecto que sólo se verá mitigado por la distinta orientación que presente el talud. De igual forma, la zona de estudio ofrece una buena accesibilidad a otro factor como es el viento, ya que no hay barreras que obstaculicen o frenen su velocidad.

Con objeto de que la altitud no fuera un factor clave en la modificación de la temperatura entre las distintas parcelas del talud y afectara por igual a todas ellas, se colocaron a una misma cota de 632 m, consiguiendo de esta manera reducir el distinto efecto que tendría sobre el desarrollo de la vegetación.

Ahora bien, la relación entre pendiente y cantidad de insolación tiene distinto signo dependiendo de la orientación del talud: en las orientaciones sur son directamente proporcionales, y en las norte ocurre inversamente. Con el fin de cuantificar esta diferencia, se colocaron sobre el terreno dos termómetros de máxima y mínima, cada uno instalado en un talud distinto, y se recogieron los siguientes datos:

- Hasta aproximadamente el mes de marzo, las temperaturas que se registran en los dos taludes son muy parecidas, alcanzándose pequeñas diferencias de 2 ° y 1 °C de máxima y mínima respectivamente a favor del talud de orientación este.

- A partir de la mitad del mes de abril se observa un cambio de tendencia bastante brusco, pues se pasó a tener diferencias de más de 11 °C de máxima y de 2 °C de mínima a favor del talud de orientación sur frente al de orientación este.

La temperatura también es un factor influyente en la humedad del suelo. Al incrementarse la temperatura aumenta la evaporación y disminuye el contenido en humedad. De las mediciones de muestras de suelo que se recogieron a 25 cm de profundidad y analizadas mediante el procedimiento de desecación en estufa (105 °C durante 24 horas) se puede afirmar, como ya se preveía, que el talud de orientación este conserva un mayor contenido en humedad, en concreto entre un 2 y 3,5% más (gramos de agua por 100 gramos de suelo seco). Aunque estas diferencias puedan parecer escasas, resultan significativas dada la baja magnitud de las unidades con que se trabaja.

El ángulo de incidencia también varía a lo largo del talud: en la cabecera se acerca a la perpendicularidad mientras que a pie de talud es más oblicuo, lo que origina unas pequeñas diferencias de temperatura a lo largo de su pendiente. Para poder determinar las diferencias que se establecen entre cabecera y base del talud y compararlas de igual forma entre las dos orientaciones, se colocaron sobre el terreno dos termómetros de máxima y mínima en cada una de las orientaciones del talud, aproximadamente a la mitad de la longitud de cada una, recogiendo los siguientes datos.

Diferencias entre cabecera-pie orientados al sur. La diferencia entre las máximas de las dos posiciones apenas presenta variaciones a lo largo del período de estudio de las parcelas, siendo siempre superior a la máxima de la temperatura del aire, la cual oscilará más o menos en función de la época en la que nos encontremos. Por contra, se establece hasta una diferencia máxima de 3 grados entre las mínimas, siendo superior la temperatura en cabecera respecto a la base. Aquí nos encontramos con que a veces la temperatura mínima a pie de talud es inferior a la mínima de la temperatura del aire.

Diferencias entre cabecera-pie orientados al este. Las temperaturas máximas a pie de talud suelen ser 0,5 grados superiores a las que se obtienen en la cabecera, y estas diferencias podrían ser superiores en el caso de que la longitud de pendiente fuese mayor, tal como en el talud de orientación sur. Al igual que en el caso del talud de orientación sur, las posiciones de cabecera presentan temperaturas mínimas más altas que en la base, aunque las diferencias que se registran entre ambas no son tan amplias como las primeras, puesto que apenas difieren en más de 1 grado.

Como ya se ha tenido oportunidad de nombrar, se observa cómo hasta el mes de marzo hay posibilidad de que las mínimas a pie de talud en orientación sur sean inferiores a la temperatura mínima del aire en 0,5-1 °C, si bien no ocurre lo mismo con el talud de orientación este, el cual, hasta esa fecha, no registra temperaturas por debajo de las máximas o mínimas del aire.

A partir de mitad de abril se invierten los términos: tanto las máximas como las mínimas en cabecera y a pie de talud en orientación sur son superiores a la temperatura del aire, especialmente las máximas, que alcanzan valores de hasta 7 y 8 grados por encima, llegando a ser mayores en los días en que el calor es especialmente fuerte. Mientras tanto, en el talud de orientación este se dan situaciones en que las máximas y las mínimas están por debajo de la temperatura del aire. Esta diferencia es más notable en las máximas, puesto que llegan a descender hasta 5 y 6 grados por tan sólo 0,5 de las mínimas, lo que favorecerá seguramente un mayor desarrollo de la vegetación al no tener unas condiciones tan extremas como en el talud sur.

## Suelos

Se puede observar en el análisis físico-químico que estamos ante un suelo de textura franco-arcillosa, con un contenido en M.O. bajo y una relación C/N de 12,05, con un elevado contenido en carbonato cálcico, pH básico y una conductividad eléctrica de 2,47 dS/m, por lo que mantiene un nivel ligeramente salino, el cual no reviste de importancia para los cultivos de secano de la zona.

## DISTRIBUCIÓN DE LAS PARCELAS EN EL MEDIO

Con objeto de estudiar el efecto que tiene la distinta orientación en la variabilidad del desarrollo de las especies, se dispusieron tres "parcelas" dentro de cada talud cuyas características fueran representativas del total del talud seleccionado; estas tres repeticiones son para evitar posibles variaciones puntuales en la respuesta de las plantas y los resultados obtenidos puedan ser inferidos a toda la zona. Se pretende contrastar de esta forma los datos obtenidos sobre el grado de recubrimiento y desarrollo de cada una de las especies en cada talud para comprobar la importancia que tiene la orientación de los taludes en los procesos de restauración.

## Acondicionamiento

Sobre cada talud seleccionado se dispusieron tres mallas metálicas (cada malla representa una parcela) de dimensiones 4 x 1 m<sup>2</sup>, cuadrículada de 0,10 x 0,10 m, y sustentada a 0,30 m del terreno por 8 varillas del 18 de 0,90 m de largura, clavadas 0,60 m de profundidad y unidas mediante alambre a los mismos.

Sobre cada parcela se estudió la evolución y desarrollo de cada una de las especies que se encontraban en la vertical de cada uno de los puntos de intersección de la malla dispuesta para tal fin, con lo que al final del estudio se han obtenido datos en relación a:

- Recubrimiento total de cada parcela.
- Tanto por ciento de recubrimiento de cada una de las especies introducidas.
- Tanto por ciento de recubrimiento debido a planta autóctona.
- Grado de desarrollo vertical de cada una de las especies introducidas.

Para el estudio de este trabajo se han utilizado las siguientes especies vegetales:

- Leguminosas: *Medicago sativa* (alfalfa), *Onobrychis sativa* (esparceta), *Vicia sativa* (veza).
- Gramíneas: *Avena sativa* (avena), *Hordeum vulgare* (cebada).

La utilización de estas mezclas de gramíneas y leguminosas radica en el interés que ofrecen bien sea por su morfología o por su acción beneficiosa sobre el sustrato. Algunas ventajas son:

- Las leguminosas tienen la capacidad de fijar el nitrógeno atmosférico en el suelo poniéndolo a disposición de las plantas (gramíneas), por lo que éstas rinden más que cuando se cultivan solas, y tienen un contenido proteico más alto.

- El profundo sistema radicular de las leguminosas permite fijar el suelo evitando posibles desprendimientos y, además, el alto grado de biomasa que desarrollan disminuye el riesgo de erosión hídrica superficial, al amortiguar el impacto de las gotas de lluvia directamente sobre el suelo.
- La presencia de raíces de gramíneas ocasiona una mayor agregación de las partículas del suelo y así ayuda a resistir las pérdidas por erosión, complementando de esta manera la acción de las leguminosas.
- En muchos campos los suelos son bastante variables, la siembra de mezclas proporciona cultivos adaptados a cada condición del suelo.
- La presencia de gramíneas reduce la probabilidad de que las leguminosas se levanten sobre el suelo por efecto de las heladas y deshielos.
- Las gramíneas reducen el acame o vuelco de las leguminosas y mantienen la alta calidad de la planta al proteger las hojas.

## Sistema de siembra

El sistema de siembra utilizado fue el de siembra a voleo, el cual es un método sencillo de utilizar, barato y muy adecuado en terrenos difíciles.

La siembra se realizó a principios de octubre para aprovechar las lluvias de otoño, favoreciendo la nascencia de las semillas introducidas con una densidad total de siembra de 150 kg/Ha, de las cuales 15 kg/Ha corresponden a cada una de las dos especies de gramíneas, y 40 kg/Ha para cada una de las tres especies de leguminosas utilizadas en la mezcla total.

Un problema asociado con la siembra a voleo es la distribución aleatoria e irregular de las semillas. Por esta razón se reparten las semillas en diferentes direcciones y en varias aplicaciones, homogeneizando de esta manera la superficie de siembra.

A la vez que se realiza la siembra, se procede al abonado con 350 kg/Ha del complejo 15-15-15. El enterrado de la semilla y el abono (a 1 ó 2 cm) se efectuó con un mismo pase de grada arrastrado por un tractor de baja potencia, evitando de esta forma en lo posible la depredación por parte de aves e insectos, fenómeno este que reviste de cierta importancia cuando se usa este sistema de siembra.

## PARÁMETROS QUE HAY QUE DETERMINAR

### Recubrimiento

Los datos de este parámetro se obtienen de sumar el número total de especies vegetales que se encuentran en la vertical de cada uno de los puntos de intersección en cada malla (un total de 541 puntos por malla).

Siguiendo esta metodología se determinó el recubrimiento total de cada parcela, el tanto por ciento de recubrimiento de cada una de las especies introducidas y el tanto por ciento de recubrimiento debido a planta autóctona.

## Desarrollo

El procedimiento es idéntico al anterior, nada más que ahora el parámetro que se ha de determinar es el desarrollo vertical alcanzado por cada una de las especies de estudio.

Para la consecución de tal fin, me proveí de una regla métrica de 150 cm con la cual tomaba la altura de cada una de las plantas que se encontraban en los puntos de estudio. Dicho sistema revestía de una dificultad añadida al saberme conocedor de que la mayoría de las leguminosas alcanzan un desarrollo horizontal en vez de vertical, a diferencia de las gramíneas.

## Análisis de datos

Tanto los datos de recubrimiento como los de desarrollo son evaluados estadísticamente con el programa StatView (Apple Macintosh). Se utiliza el ANÁLISIS DE VARIANZA (ANDEVA) de las diferencias mínimas cuadráticas, con una  $p \leq 0,05$ , para contrastar la significatividad de las diferencias entre las distintas parcelas dentro de un mismo talud y entre las distintas parcelas entre taludes.

El hecho de coger una probabilidad elevada ( $p \leq 0,05$ ) es debido a que es muy difícil encontrar diferencias significativas cuando las poblaciones que se van a comparar presentan una desviación típica grande, como es el caso concreto de algunas parcelas, aunque por norma general ésta no suele sobrepasar el 30%.

Hay que recordar que se quiere comparar el conjunto de una zona, la cual presenta diferencias de por sí, que nos obliga a partir de una varianza de datos elevada, que nos hará difícil hallar diferencias significativas. La gradación de las características físico-químicas de los suelos (aunque ya se dijo que provenían del mismo panel de avance) y de las comunidades vegetales provoca que exista una mayor variación. De modo que cuando en el análisis se encuentren diferencias estadísticas habrá que tenerlas muy en cuenta ya que el grado de significatividad será elevado.

## DISEÑO EXPERIMENTAL

El experimento se ha realizado según un diseño de bloques al azar con tres repeticiones. Se ha efectuado el análisis de varianza de los datos de recubrimiento y desarrollo vertical obtenidos con el programa StatView (Apple Macintosh), y se han comparado las medias por Fisher PLSD, analizando por separado y conjuntamente las parcelas.

## RESULTADOS

En este apartado expongo los resultados obtenidos a lo largo del período de estudio; los datos del recuento de las especies vegetales eran tomados aproximadamente cada 25-30 días, y a partir de ellos se han elaborado las siguientes tablas y gráficos.



## COBERTURA TOTAL

### Orientación sur

Haciendo el análisis de varianza en cada período de muestreo (tabla 1), se observa cómo existen diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre los distintos meses de estudio, a excepción del mes de abril, en el que estadísticamente no se aprecian diferencias con mayo y junio.

TABLA 1  
Porcentaje de superficie total cubierta por vegetación en la orientación sur

PARCELAS	1S	2S	3S	SUR
10-1-97	17,748	12,195	12,860	14,268 a
15-2-97	30,086	22,172	19,733	23,997 b
15-3-97	72,510	79,822	72,505	74,946 c
12-4-97	91,774	85,587	91,130	89,497 de
03-5-97	85,281	86,252	85,365	85,633 d
15-6-97	95,887	94,235	96,008	95,377 e

Las letras diferentes en cada columna (período de muestreo) indican que las medias de las distintas parcelas son significativamente diferentes, según el análisis de la varianza ( $p \leq 0,05$ ).

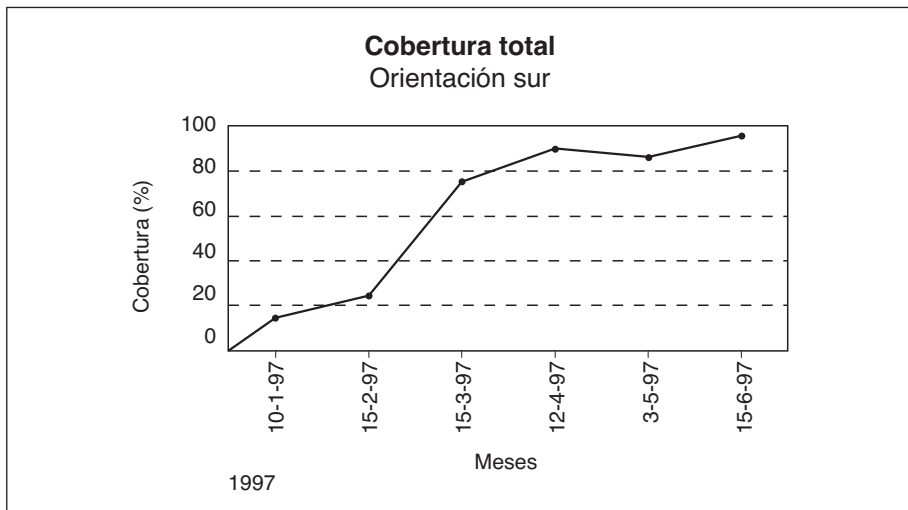


Fig. 7. Representación de los datos correspondientes a la tabla 1, considerando las desviaciones estándar de las muestras.

### Orientación este

Haciendo el análisis de varianza en cada período de muestreo (tabla 2), observamos cómo en la orientación este podemos establecer dos grupos: el primero agruparía a los meses de enero y febrero, dentro del cual no se aprecian diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ), y un segundo grupo incluiría desde marzo hasta junio, dentro del cual tampoco se aprecian diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ); entre ambos grupos sí que encontramos diferencias.

TABLA 2  
**Porcentaje de superficie total cubierta por vegetación en la orientación este**

PARCELAS	1E	2E	3E	ESTE
10-1-97	7,095	8,20	6,651	7,315 a
15-2-97	17,52	12,638	9,98	13,379 a
15-3-97	62,75	82,483	86,474	77,236 b
12-4-97	66,518	89,578	95,343	83,813 b
03-5-97	67,184	83,592	93,791	81,522 b
15-6-97	80,487	98,23	97,783	92,167 b

Las letras diferentes en cada columna (período de muestreo) indican que las medias de las distintas parcelas son significativamente diferentes, según el análisis de la varianza ( $p \leq 0,05$ ).

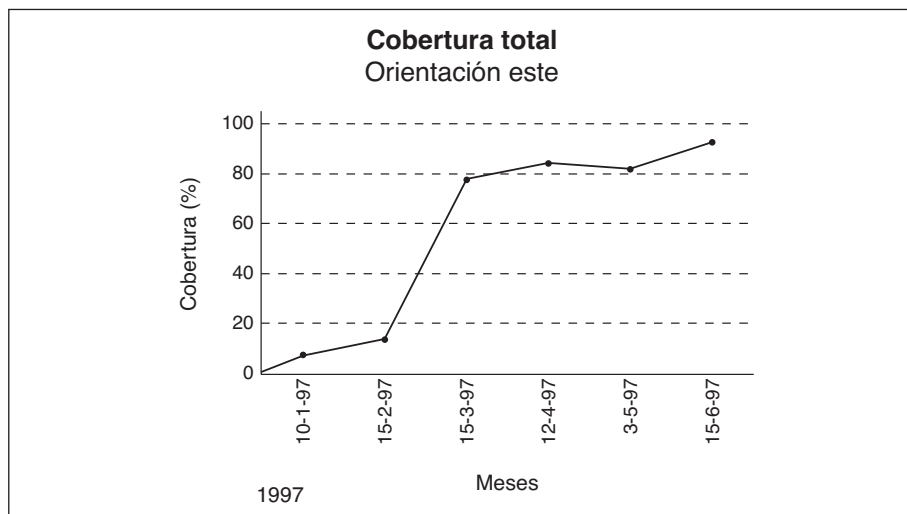


Fig. 8. Representación de los datos correspondientes a la tabla 2, considerando las desviaciones estándar de las muestras.

## Orientación sur-este

Haciendo el análisis de varianza en cada período de muestreo (tabla 3), observamos que comparando ambas orientaciones sólo obtenemos diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) para el mes de enero.

TABLA 3

### Porcentaje de superficie total cubierta por vegetación en la orientación sur-este

PARCELAS	10-1-97	15-2-97	15-3-97	12-4-97	03-5-97	15-6-97
SUR	14,268 a	23,997 a	74,946 a	89,497 a	85,633 a	95,377 a
ESTE	7,315 b	13,379 a	77,236 a	83,813 a	81,522 a	92,167 a

Las letras diferentes en cada columna (período de muestreo) indican que las medias de las distintas parcelas son significativamente diferentes, según el análisis de la varianza ( $p \leq 0,05$ ).

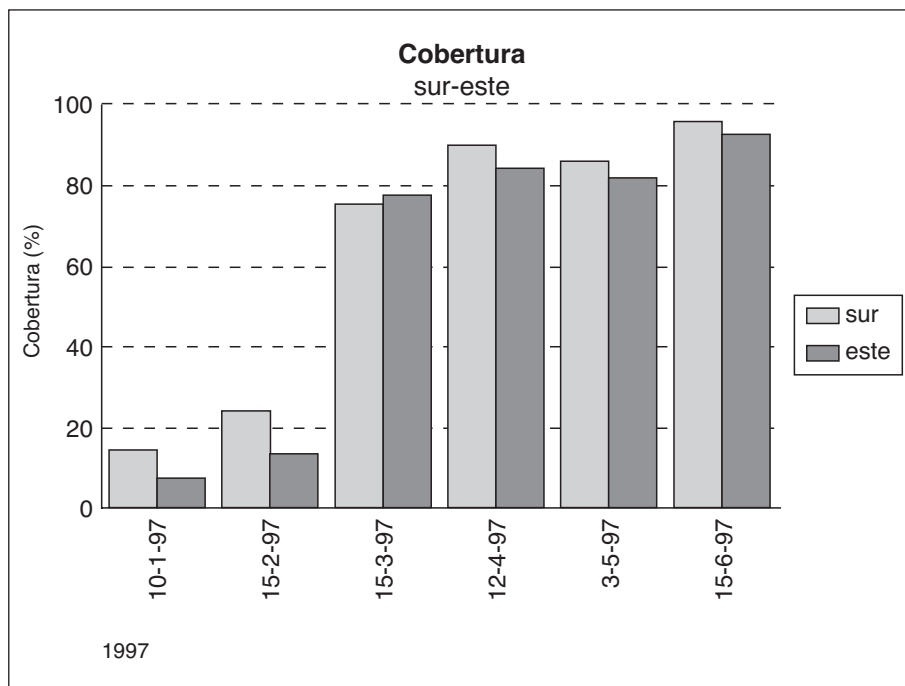


Fig. 9. Representación de los datos correspondientes a la tabla 3, considerando las desviaciones estándar de las muestras.

Como se observa en la figura, la cobertura media vegetal en la orientación sur suele tener a lo largo de todo el período de muestreo, a excepción del mes de marzo, un mayor porcentaje de cobertura que en la orientación este, siendo esta diferencia mayor en los primeros meses. Por contra, vemos que las parcelas instaladas en la orientación este presentan una mayor desviación respecto de la media que las de orientación sur, lo que le confiere una menor uniformidad.

### PORCENTAJE DE COBERTURA POR ESPECIES EN ORIENTACIÓN SUR Y ESTE

A continuación se exponen en las tablas 4 y 5 los tantos por ciento (%) de cobertura alcanzados por cada una de las especies utilizadas en los procesos de restauración; en apartados sucesivos entraré a describir en profundidad las relaciones existentes entre las distintas especies, para lo cual crearé diferentes grupos en función de la familia a la que pertenezcan.

TABLA 4

#### Porcentaje (%) de cobertura de cada una de las especies en la orientación sur

COBERTURA	ALFALFA	VEZA	ESPARCETA	CEBADA	AVENA
10-1-97	4,03 ac	4,086 a	0,219 a	3,737 a	1,974 a
15-2-97	10,984 b	5,912 a	0,876 ab	3,811 a	1,974 a
15-3-97	4,832 a	21,615 b	1,386 b	36,321 b	10,498 b
12-4-97	1,985 c	28,419 c	0,441 a	45,53 c	12,681 b
03-5-97	3,665 ac	27,675 c	0,661 ab	40,796 bc	12,105 b
15-6-97	12,582 b	19,983 b	0,443 a	38,053 bc	23,874 c

Las letras diferentes en cada columna (período de muestreo) indican que las medias de las distintas parcelas son significativamente diferentes, según el análisis de la varianza ( $p \leq 0,05$ ).

TABLA 5

#### Porcentaje (%) de cobertura de cada una de las especies en la orientación este

COBERTURA	ALFALFA	VEZA	ESPARCETA	CEBADA	AVENA
10-1-97	3,769 a	1,404 a	0,295 a	0,887 a	0,656 a
15-2-97	8,204 ab	2,289 a	0,442 ab	1,329 a	0,813 ab
15-3-97	7,982 ab	20,915 b	1,845 bc	38,802 b	7,391 ab
12-4-97	5,762 ab	18,476 bc	1,107 ab	49,371 b	8,5 ab
03-5-97	12,786 b	22,32 b	0,591 ab	36,509 b	8,277 ab
15-6-97	21,358 c	13,376 c	3,103 c	30,299 b	13,597 b

Las letras diferentes en cada columna (período de muestreo) indican que las medias de las distintas parcelas son significativamente diferentes, según el análisis de la varianza ( $p \leq 0,05$ ).

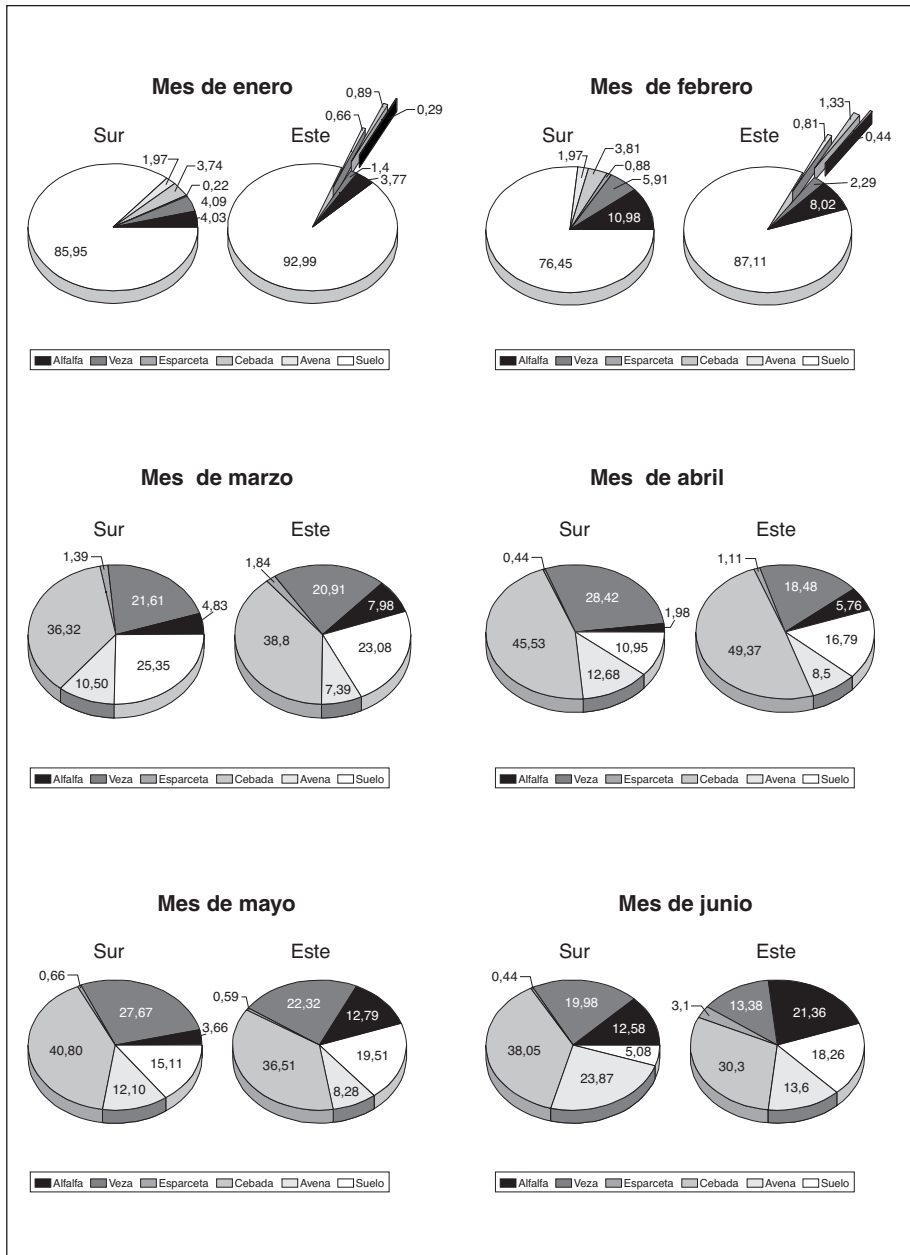


Fig. 10. Representación en gráficos de sectores de los porcentajes de cobertura ocupados por las diferentes especies a lo largo de los distintos meses.

## COMPARACIÓN DE LA COBERTURA EN LAS ESPECIES DE LEGUMINOSAS

Haciendo el análisis de varianza en cada período de muestreo (tabla 6), y observando la figura 11, se deduce lo que sigue.

Durante el mes de enero hay un dominio de las alfalfas y la veza en la orientación sur sobre el resto de las especies, no encontrándose diferencias ( $p \leq 0,05$ ) entre sí.

En febrero aparecen las primeras diferencias entre las alfalfas y la veza, siendo las primeras las que se desarrollan más rápidamente; durante este mes continúa siendo la orientación sur la que ejerce más influencia en el desarrollo de las especies. Dentro de las vezas también se establecen diferencias a favor de la citada orientación.

Durante el mes de marzo se produce una doble inversión, son las vezas las que pasan a dominar la cobertura de las leguminosas en disminución de las alfalfas, y la orientación este comienza a tener influencia en el desarrollo de algunas especies; tanto en las vezas como en las alfalfas, no se encuentran diferencias dentro de sí, pero es de destacar el hecho de que mientras en las primeras el mayor crecimiento medio se da en la orientación sur, aparecen parcelas en la orientación este con un crecimiento superior a ésta; por contra, en las alfalfas hay un claro dominio de esta última orientación, al igual que en la esparceta (que hasta ahora no la habíamos nombrado) donde este efecto se mantendrá hasta el final de su ciclo.

En el mes de abril se establecen diferencias importantes ( $p \leq 0,05$ ) dentro de las vezas en la orientación sur, las cuales experimentan un gran desarrollo con relación al mes anterior; por contra, en las alfalfas se mantiene la misma tónica que 30 días antes.

TABLA 6

### Porcentaje (%) de cobertura de las especies de leguminosas

COBERTURA	10-1-97	15-2-97	15-3-97	12-4-97	03-5-97	15-6-97
AS	4,031 a	10,984 a	4,832 ab	1,985 ab	3,665 a	12,582 a
VS	4,088 a	5,912 c	21,615 c	28,419 c	27,675 b	19,983 b
ES	0,219 b	0,876 b	1,386 a	0,441 a	0,661 a	0,443 c
AE	3,769 a	8,204 ac	7,982 b	5,762 b	12,786 c	21,358 b
VE	1,404 b	2,289 b	20,915 c	18,476 d	22,32 b	13,376 a
EE	0,295 b	0,442 b	1,845 a	1,107 a	0,591 a	3,103 c

AS: avena en orientación sur; VS: veza en orientación sur; ES: esparceta en orientación sur; AE: avena en orientación este; VE: veza en orientación este; EE: esparceta en orientación este.

Las letras diferentes en cada columna (período de muestreo) indican que las medias de las distintas parcelas son significativamente diferentes, según el análisis de la varianza ( $p \leq 0,05$ ).

Durante el mes de mayo se invierten los términos, ahora las vezas no tienen diferencias estadísticas, y sí las alfalfas, ya que las que se encuentran en la orientación este experimentan un gran desarrollo.

En el mes de junio la especie que se encuentra en mayor porcentaje es la alfalfa en la orientación este, seguida de la veza en la orientación sur, no encontrándose diferencias entre ambas, de igual forma tampoco se aprecian diferencias con sus respectivas homólogas.

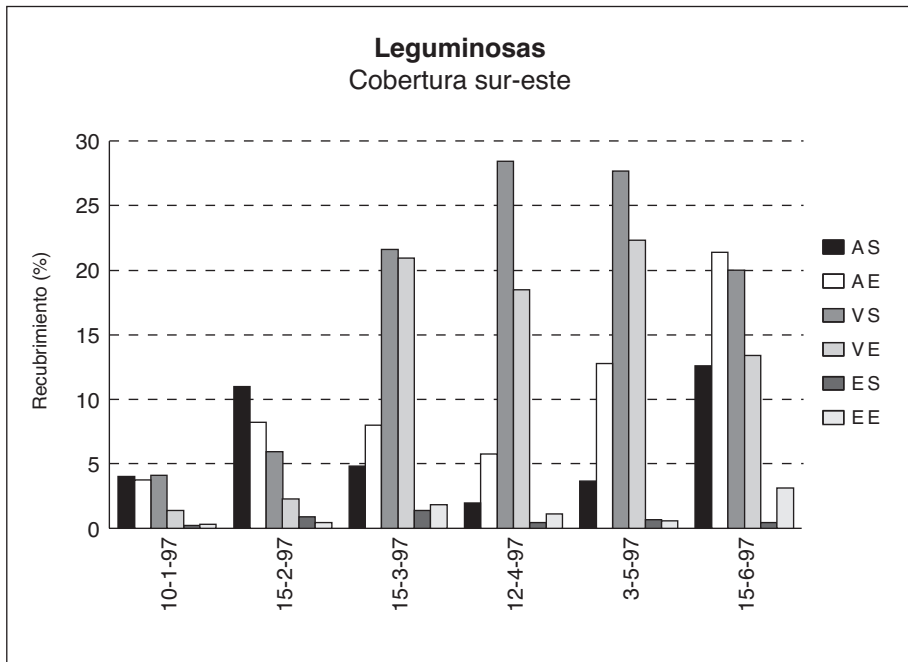


Fig. 11. Representación de los datos correspondientes a la tabla 6, considerando las desviaciones estándar de las muestras. AS: avena en orientación sur; AE: avena en orientación este; VS: veza en orientación sur; VE: veza en orientación este; ES: esparceta en orientación sur; EE: esparceta en orientación este.

## COMPARACIÓN DE LA ALTURA EN LAS ESPECIES DE LEGUMINOSAS

Haciendo el análisis de varianza en cada período de muestreo (tabla 7), y observando la figura 12, se deduce lo siguiente.

Durante el mes de enero la veza es la especie que mayor desarrollo vertical alcanza, no encontrándose diferencias ( $p \leq 0,05$ ) debidas a la orientación, lo mismo sucede con el resto de las especies, las cuales son entre sí estadísticamente similares.

TABLA 7  
**Altura en cm de las especies de leguminosas**

ALTURA	10-1-97	15-2-97	15-3-97	12-4-97	03-5-97	15-6-97
AS	0,327 a	0,807 ab	3,794 a	4,824 a	4,009 a	23,077 a
VS	0,938 b	2,321 c	12,414 b	30,736 b	39,523 b	49,193 b
ES	0,5 a	1,978 ac	7,267 ab	13,333 a	9,557 a	14,333 a
AE	0,261 a	0,686 b	3,503 a	6,479 a	25,144 ab	22,643 a
VE	0,905 b	2,056 cd	12,23 b	27,323 b	38,228 b	42,163 b
EE	0,178 a	1,053 abd	5,877 a	10,523 a	7,533 a	22,773 a

AS: avena en orientación sur; VS: veza en orientación sur; ES: esparceta en orientación sur; AE: avena en orientación este; VE: veza en orientación este; EE: esparceta en orientación este.

Las letras diferentes en cada columna (período de muestreo) indican que las medias de las distintas parcelas son significativamente diferentes, según el análisis de la varianza ( $p \leq 0,05$ ).

En febrero continúa la misma tendencia al alza del mes de enero.

Durante el mes de marzo sigue la misma progresión del mes de febrero, el mayor crecimiento de todas las especies se da en la orientación sur, pero al igual que ocurría con la cobertura en las vezas, aparecen para estas mismas especies parcelas en la orientación este con un crecimiento superior a la media.

A partir del mes de abril los gráficos de altura y cobertura guardan una cierta similitud y evolucionan de forma pareja, a excepción de la esparceta, que tiene un mayor crecimiento vertical en la orientación sur. Por lo demás, no se establecen diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre las vezas, ni tampoco entre el resto de especies entre sí.

Durante el mes de mayo la influencia de la orientación este comienza a ser notable, dándose los mayores crecimientos puntuales tanto en la veza como sobre todo en la alfalfa, no ejerciéndose esta influencia en la esparceta. Estadísticamente no se encuentran diferencias ( $p \leq 0,05$ ) entre las vezas y la alfalfa en la orientación este.

En el mes de junio, al final del ciclo vegetativo, es notable el mayor crecimiento desarrollado por las vezas, no apreciándose diferencias entre sí. De igual manera, destaca el idéntico grado de desarrollo alcanzado tanto por las alfalfas como por las esparcetas, donde no se han encontrado diferencias significativas entre ambas.



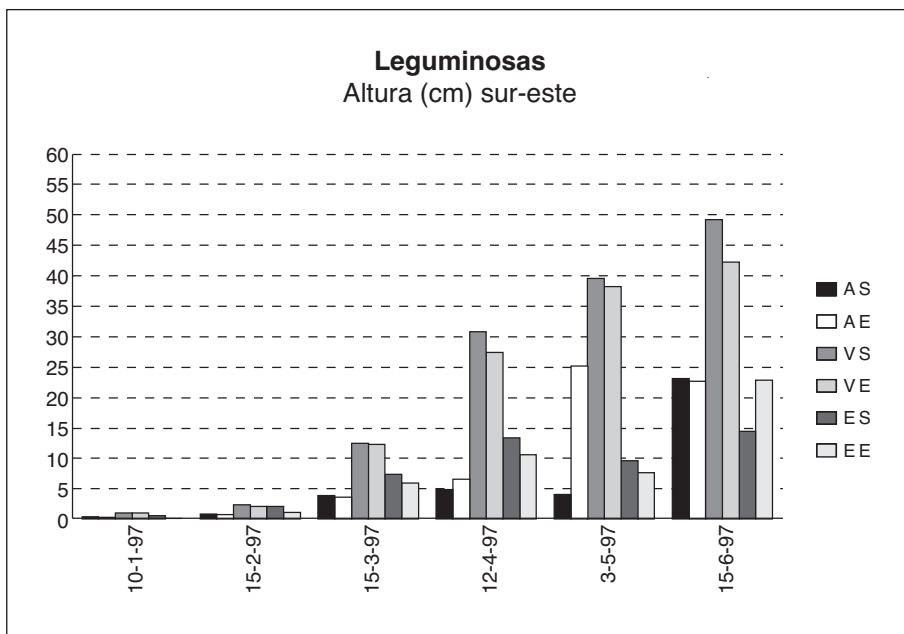


Fig. 12. Representación de los datos correspondientes a la tabla 7, considerando las desviaciones estándar de las muestras. AS: avena en orientación sur; AE: avena en orientación este; VS: veza en orientación sur; VE: veza en orientación este; ES: esparceta en orientación sur; EE: esparceta en orientación este.

## COMPARACIÓN DE LA COBERTURA EN LAS ESPECIES DE GRAMÍNEAS

Haciendo el análisis de varianza en cada período de muestreo (tabla 8), se observa durante los meses de enero y febrero en la orientación sur que hay un desarrollo mayor de las dos especies de gramíneas con respecto a la orientación este, no encontrándose relación alguna entre ambas, ya que hay diferencias significativas para una  $p < 0,05$ .

Durante el mes de marzo se produce un incremento importante de cobertura a cargo de la cebada, manteniéndose constantes estos niveles durante los dos meses siguientes; de igual manera, la avena se mantiene constante, pero con unos niveles más discretos.

En el mes de junio se produce un descenso de la cebada en las dos orientaciones, hecho que es aprovechado por la avena para aumentar sus niveles de una forma considerable.

TABLA 8  
**Porcentaje (%) de cobertura en las especies de gramíneas**

COBERTURA	10-1-97	15-2-97	15-3-97	12-4-97	03-5-97	15-6-97
CS	3,737 a	3,811 a	36,321 a	45,53 a	40,796 a	38,053 a
AVS	1,974 b	1,974 b	10,498 b	12,681 b	12,105 b	23,874 b
CE	0,887 c	1,329 bc	38,802 a	49,371 a	36,509 a	30,294 ab
AVE	0,665 c	0,813 c	7,391 b	8,5 b	8,277 b	23,648 b

CS: cebada en orientación sur; AVS: avena en orientación sur; CE: cebada en orientación este; AVE: avena en orientación este.  
 Las letras diferentes en cada columna (período de muestreo) indican que las medias de las distintas parcelas son significativamente diferentes, según el análisis de la varianza ( $p \leq 0,05$ ).

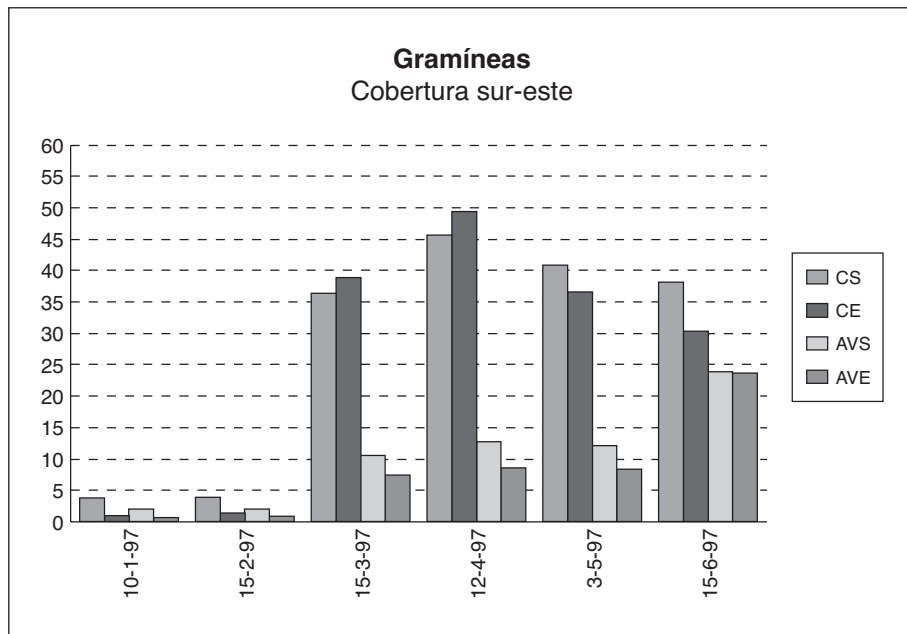


Fig. 13. Representación de los datos correspondientes a la tabla 8, considerando las desviaciones estándar de las muestras. CS: cebada en orientación sur; CE: cebada en orientación este; AVS: avena en orientación sur; AVE: avena en orientación este.

## COMPARACIÓN DE LA ALTURA EN LAS ESPECIES DE GRAMÍNEAS

Haciendo el análisis de varianza en cada período de muestreo (tabla 9), se observa que durante los meses de enero y febrero no se hallan diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre ninguna de las especies y orientaciones, lo que demuestra que en los primeros estadios de crecimiento la altura evoluciona de forma independiente a la cobertura.

TABLA 9

### Altura en cm de las especies de gramíneas

ALTURA	10-1-97	15-2-97	15-3-97	12-4-97	03-5-97	15-6-97
CS	2,741 a	9,413 a	21,909 ab	52,257 a	65,686 a	65,686 ab
AVS	3,662 a	11,149 a	23,163 a	49,108 ab	59,636 ab	59,636 a
CE	5,443 a	8,373 a	19,678 ac	46,313 ab	69,858 a	69,858 b
AVE	2,567 a	6,024 a	11,03 bc	23,388 b	35,263 b	51,514 c

CS: cebada en orientación sur; AVS: avena en orientación sur; CE: cebada en orientación este; AVE: avena en orientación este.

Las letras diferentes en cada columna (período de muestreo) indican que las medias de las distintas parcelas son significativamente diferentes, según el análisis de la varianza ( $p \leq 0,05$ ).

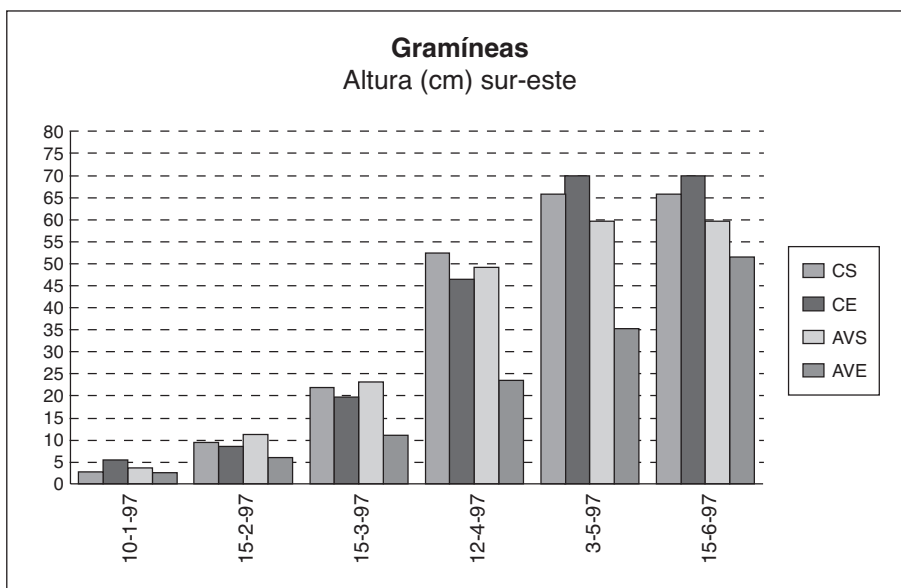


Fig. 14. Representación de los datos correspondientes a la tabla 9, considerando las desviaciones estándar de las muestras. CS: cebada en orientación sur; CE: cebada en orientación este; AVS: avena en orientación sur; AVE: avena en orientación este.

Durante el mes de marzo y hasta el mes de junio, la avena en la orientación sur experimenta un crecimiento superior a lo que lo hace en la orientación este, hallándose diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre las dos durante este periodo; por contra, la cebada crece de forma pareja e indistintamente de la orientación, no encontrándose diferencias significativas entre ésta y la avena en orientación sur.

La única novedad que se produce con respecto a meses anteriores es que durante el mes de mayo hay un ligero dominio de la cebada en la orientación este sobre el resto de las especies, no encontrándose diferencias entre ellas al igual que sucedía en meses precedentes.

### COMPARACIÓN DE LA COBERTURA ENTRE GRAMÍNEAS Y LEGUMINOSAS

Haciendo el análisis de varianza en cada periodo de muestreo (tabla 10), se observa que en el grupo de las leguminosas no se encuentran diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre las dos orientaciones a lo largo de todo el estudio; asimismo, dentro de las gramíneas tan sólo se aprecian estas diferencias durante los dos primeros meses.

TABLA 10

#### Comparación entre orientaciones en leguminosas y gramíneas

LEGUMINOSAS	10-1-97	15-2-97	15-3-97	12-4-97	03-5-97	15-6-97
SUR	8,338 a	17,782 a	27,833 a	30,842 a	32,002 a	33,008 a
ESTE	5,468 a	10,935 a	30,742 a	25,345 a	35,697 a	37,837 a
GRAMÍNEAS	10-1-97	15-2-97	15-3-97	12-4-97	03-5-97	15-6-97
SUR	5,712 a	5,786 a	46,819 a	58,211 a	59,902 a	61,927 a
ESTE	1,552 b	2,142 b	46,194 a	57,943 a	44,787 a	53,88 a

Las letras diferentes en cada columna (periodo de muestreo) indican que las medias de las distintas parcelas son significativamente diferentes, según el análisis de la varianza ( $p \leq 0,05$ ).

Haciendo el análisis de varianza en cada uno de los periodos de muestreo para las dos familias de especies utilizadas (tablas 11 y 12), se observa cómo evolucionan de forma distinta e independiente cada una de ellas, no guardando entre sí ningún tipo de similitud a lo largo del año.

TABLA 11

**Comparación entre gramíneas y leguminosas en la orientación sur**

COBERTURA	10-1-97	15-2-97	15-3-97	12-4-97	03-5-97	15-6-97
GRAMÍNEAS	5,712 a	5,786 a	46,819 a	58,211 a	52,902 a	61,927 a
LEGUMINOSAS	8,338 a	17,772 b	27,833 b	30,845 b	32,002 b	33,008 b

Las letras diferentes en cada columna (período de muestreo) indican que las medias de las distintas parcelas son significativamente diferentes, según el análisis de la varianza ( $p \leq 0,05$ ).

TABLA 12

**Comparación entre gramíneas y leguminosas en la orientación este**

COBERTURA	10-1-97	15-2-97	15-3-97	12-4-97	03-5-97	15-6-97
GRAMÍNEAS	1,552 a	2,142 a	46,194 a	57,943 a	44,787 a	53,88 a
LEGUMINOSAS	5,468 b	10,935 b	30,742 b	25,345 b	35,697 b	37,837 b

Las letras diferentes en cada columna (período de muestreo) indican que las medias de las distintas parcelas son significativamente diferentes, según el análisis de la varianza ( $p \leq 0,05$ ).

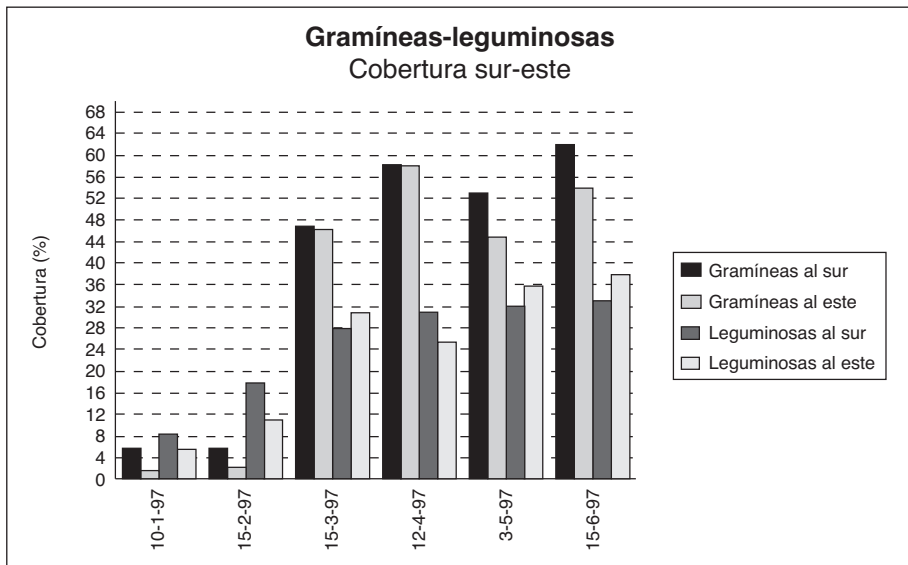


Fig. 15. Representación de los datos correspondientes a las tablas 10, 11 y 12, considerando las desviaciones estándar de las muestras.

### COBERTURA DEBIDA A PLANTA AUTÓCTONA

Haciendo el análisis de varianza en cada período de muestreo (tabla 13), se observa que no se encuentran diferencias significativas para una  $p \leq 0,05$  entre ninguno de los meses de estudio.

Haciendo el análisis de varianza en cada período de muestreo (tabla 14), se observa que no se encuentran diferencias significativas entre ninguno de los meses de estudio.

TABLA 13

#### Cobertura de planta autóctona en orientación sur y orientación este

COBERTURA SUR	10-1-97	15-2-97	15-3-97	12-4-97	03-5-97	15-6-97
PLANTA AUTÓCTONA	0,216 a	0,438 a	0,292 a	0,44 a	0,728 a	0,44 a
COBERTURA ESTE	10-1-97	15-2-97	15-3-97	12-4-97	03-5-97	15-6-97
PLANTA AUTÓCTONA	0,296 a	0,296 a	0,295 a	0,512 a	1,035 a	0,369 a

Las letras diferentes en cada columna (período de muestreo) indican que las medias de las distintas parcelas son significativamente diferentes, según el análisis de la varianza ( $p \leq 0,05$ ).

TABLA 14

#### Comparación de la cobertura entre orientación sur y este

PLANTA AUTÓCTONA	10-1-97	15-2-97	15-3-97	12-4-97	03-5-97	15-6-97
SUR	0,515 a	1,035 a	0,369 a	0,296 a	0,296 a	0,295 a
ESTE	0,44 a	0,728 a	0,44 a	0,216 a	0,438 a	0,292 a

Las letras diferentes en cada columna (período de muestreo) indican que las medias de las distintas parcelas son significativamente diferentes, según el análisis de la varianza ( $p \leq 0,05$ ).

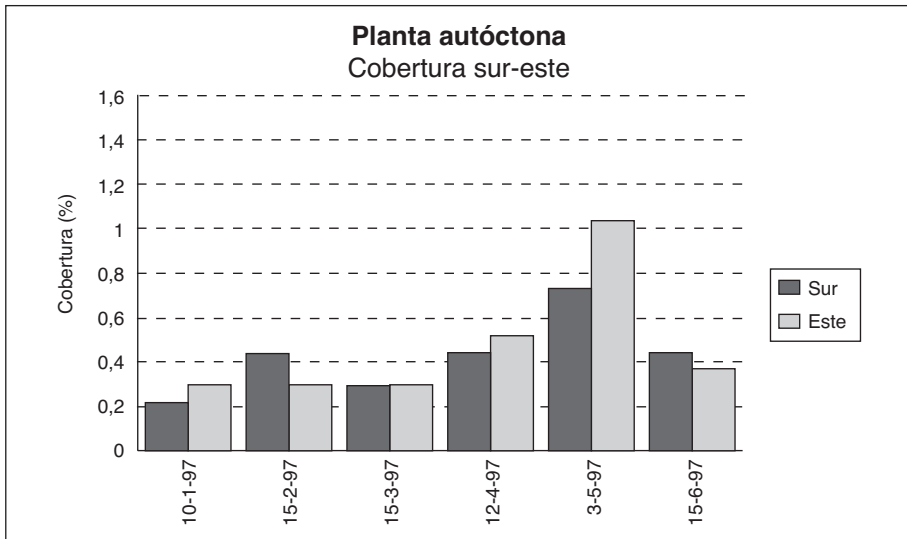


Fig. 16. Representación de los datos correspondientes a las tablas 13 y 14, considerando las desviaciones estándar de las muestras.

### COBERTURA DEBIDA A ESPECIES SECAS

Haciendo el análisis de varianza en los períodos de muestreo (tabla 15), se observa que sólo se hallan diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) en el mes de junio para cada una de las especies que aparecen en el recuadro.

TABLA 15

#### Cobertura de especies secas en la orientación sur

COBERTURA	12-4-97	03-5-97	15-6-97
CEBADA SECA	8,656 a	13,715 a	38,053 b
AVENA SECA	1,312 a	0,955 a	23,874 b
VEZA SECA	1,022 a	2,852 a	19,983 b

Las letras diferentes en cada columna (período de muestreo) indican que las medias de las distintas parcelas son significativamente diferentes, según el análisis de la varianza ( $p \leq 0,05$ ).

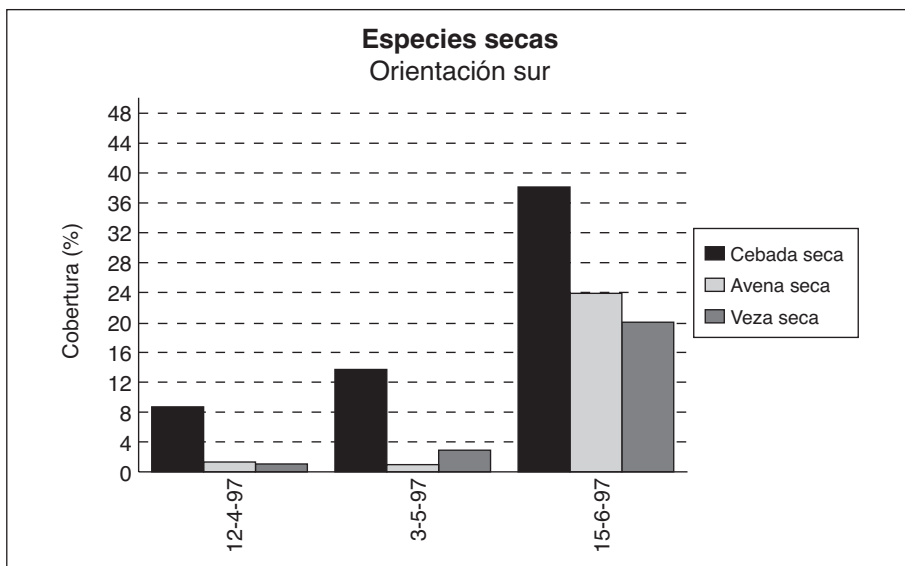


Fig. 17. Representación de los datos correspondientes a la tabla 15, considerando las desviaciones estándar de las muestras.

Haciendo el análisis de varianza en cada período de muestreo (tabla 16), se observa cómo a excepción de la cebada, en la cual se hallan diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) en cada uno de los meses muestreados, en el resto de las especies se tiene un comportamiento idéntico al que se tiene en la orientación sur.

TABLA 16

**Cobertura de especies secas en la orientación este**

COBERTURA	12-4-97	03-5-97	15-6-97
CEBADA SECA	6,723 a	13,301 b	30,299 c
AVENA SECA	1,773 a	1,626 a	23,648 b
VEZA SECA	1,254 a	2,438 a	13,376 b

Las letras diferentes en cada columna (período de muestreo) indican que las medias de las distintas parcelas son significativamente diferentes, según el análisis de la varianza ( $p \leq 0,05$ ).



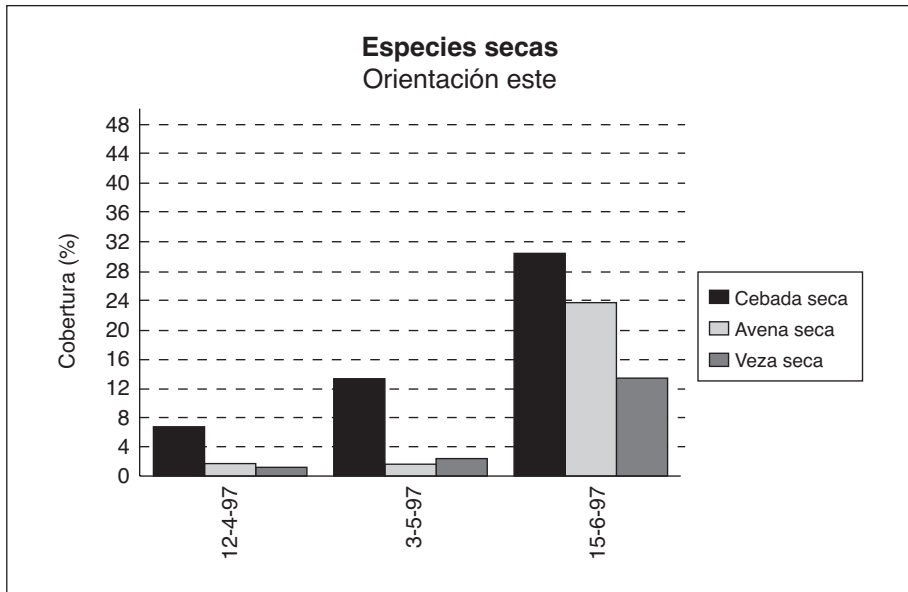


Fig. 18. Representación de los datos correspondientes a la tabla 16, considerando las desviaciones estándar de las muestras.

### Cobertura de gramíneas secas

Haciendo el análisis de varianza en cada período de muestreo (tabla 17), se observa que sólo se hallan diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) para el mes de junio.

TABLA 17

#### Cobertura de gramíneas secas en la orientación sur y en la orientación este

COBERTURA SUR	12-4-97	03-5-97	15-6-97
GRAMÍNEAS SECAS	9,968 a	14,671 a	61,927 b

COBERTURA ESTE	12-4-97	03-5-97	15-6-97
GRAMÍNEAS SECAS	8,571 a	26,31 a	53,88 b

Las letras diferentes en cada columna (período de muestreo) indican que las medias de las distintas parcelas son significativamente diferentes, según el análisis de la varianza ( $p \leq 0,05$ ).

Haciendo el análisis de varianza en cada período de muestreo (tabla 18), se observa que no se encuentran diferencias significativas entre ninguno de los meses de estudio.

TABLA 18  
Comparación de la cobertura entre orientación sur y este

GRAMÍNEAS SECAS	12-4-97	03-5-97	15-6-97
SUR	9,968 a	14,671 a	61,927 a
ESTE	8,571 a	26,31 a	53,88 a

Las letras diferentes en cada columna (período de muestreo) indican que las medias de las distintas parcelas son significativamente diferentes, según el análisis de la varianza ( $p \leq 0,05$ ).

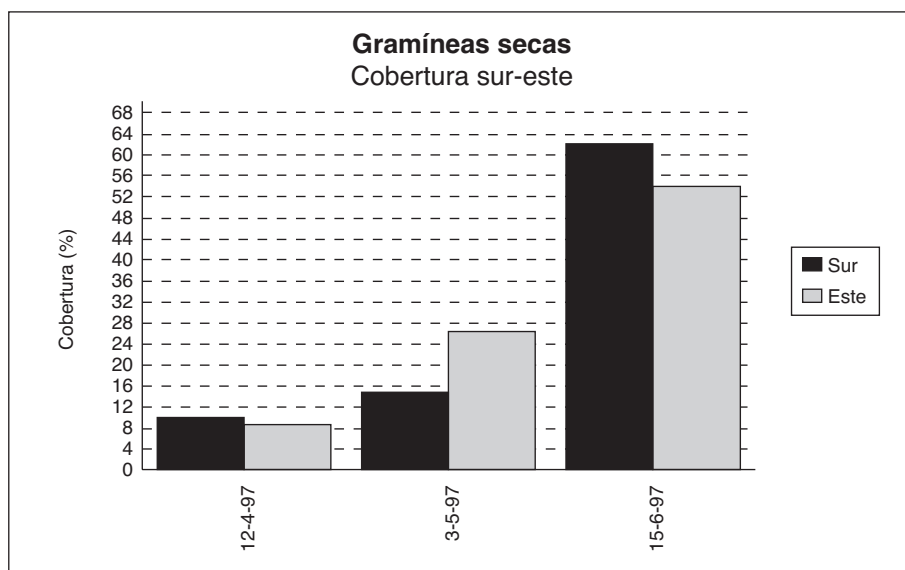


Fig. 19. Representación de los datos correspondientes a las tablas 17 y 18, considerando las desviaciones estándar de las muestras.

### Comparación de la cobertura entre las especies de gramíneas

Haciendo el análisis de varianza en cada período de muestreo (tabla 19), se observan diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre las dos especies en los dos primeros meses muestreados (abril y

mayo), para luego no encontrar diferencias en el mes de junio, esto sucede en las dos orientaciones, a excepción del mes de abril en orientación este, donde entre ambas especies estadísticamente no se encuentran diferencias.

TABLA 19  
**Cobertura de las especies de gramíneas en las orientaciones sur y este**

COBERTURA SUR	12-4-97	03-5-97	15-6-97
CEBADA SECA	8,656 a	13,715 a	38,053 a
AVENA SECA	1,312 b	0,955 b	23,874 a

COBERTURA ESTE	12-4-97	03-5-97	15-6-97
CEBADA SECA	6,723 a	13,301 a	30,299 a
AVENA SECA	1,773 a	1,626 b	23,648 a

Las letras diferentes en cada columna (período de muestreo) indican que las medias de las distintas parcelas son significativamente diferentes, según el análisis de la varianza ( $p \leq 0,05$ ).

a) Cebada seca

Haciendo el análisis de varianza en cada período de muestreo (tabla 20), se observa que no se encuentran diferencias significativas para una  $p \leq 0,05$  entre ninguno de los meses de estudio.

TABLA 20  
**Comparación de la cobertura entre orientación sur y este**

CEBADA SECA	12-4-97	03-5-97	15-6-97
SUR	8,656 a	13,715 a	38,053 a
ESTE	6,723 a	13,301 a	30,299 a

Las letras diferentes en cada columna (período de muestreo) indican que las medias de las distintas parcelas son significativamente diferentes, según el análisis de la varianza ( $p \leq 0,05$ ).

b) Avena seca

Haciendo el análisis de varianza en cada período de muestreo (tabla 21), se observa que no se encuentran diferencias significativas entre ninguno de los meses de estudio.

TABLA 21  
**Comparación de la cobertura entre orientación sur y este**

AVENA SECA	12-4-97	03-5-97	15-6-97
SUR	1,312 a	0,955 a	23,874 a
ESTE	1,773 a	1,626 a	23,648 a

Las letras diferentes en cada columna (período de muestreo) indican que las medias de las distintas parcelas son significativamente diferentes, según el análisis de la varianza ( $p \leq 0,05$ ).

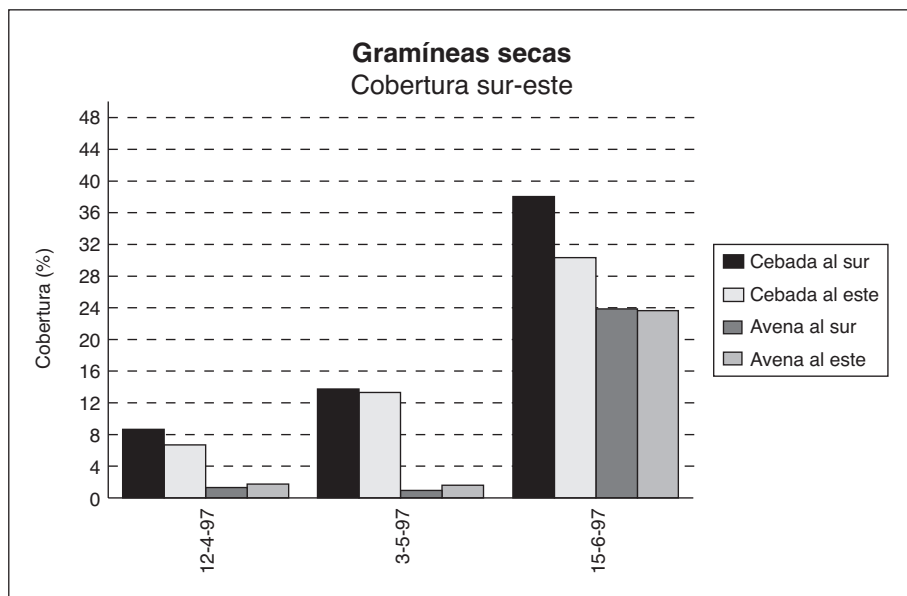


Fig. 20. Representación de los datos correspondientes a las tablas 19, 20 y 21, considerando las desviaciones estándar de las muestras.

## Cobertura debida a veza seca

Haciendo el análisis de varianza en cada período de muestreo (tabla 22), se observa que no se encuentran diferencias significativas para una  $p \leq 0,05$  entre ninguno de los meses de estudio.

TABLA 22

### Comparación de la cobertura entre las orientaciones sur y este

VEZA SECA	12-4-97	03-5-97	15-6-97
SUR	1,022 a	2,852 a	19,983 a
ESTE	1,254 a	2,438 a	13,376 a

Las letras diferentes en cada columna (período de muestreo) indican que las medias de las distintas parcelas son significativamente diferentes, según el análisis de la varianza ( $p \leq 0,05$ ).

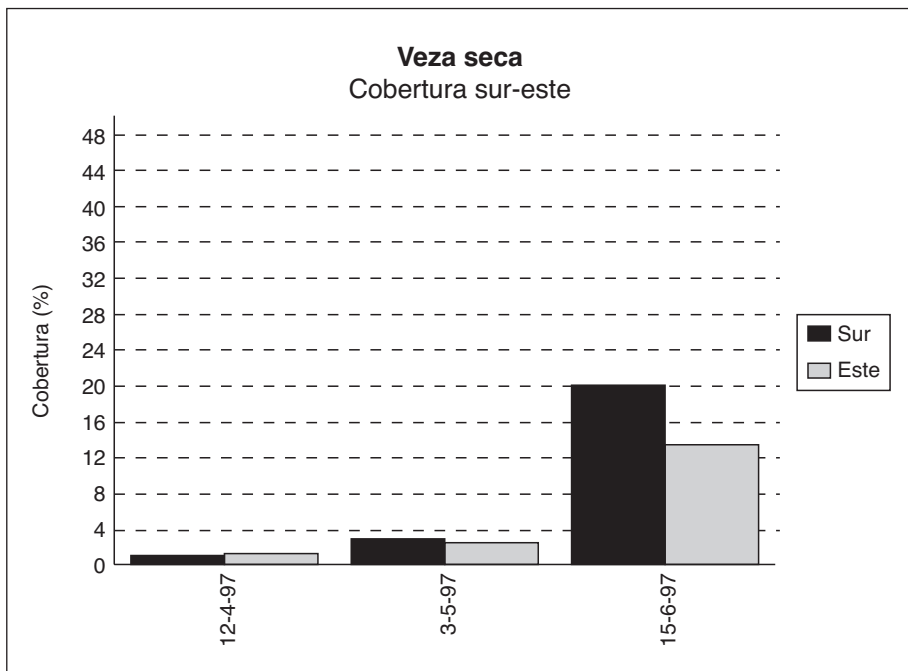


Fig. 21. Representación de los datos correspondientes a la tabla 22, considerando las desviaciones estándar de las muestras.

## DISCUSIÓN

### CONDICIONES MEDIOAMBIENTALES

#### Clima

La irregularidad en las precipitaciones es el agente condicionante del crecimiento de la vegetación, ya que si bien el agua es el principal factor limitante del desarrollo vegetal, su exceso, tal como se produjo el año de estudio durante los primeros meses posteriores a la siembra, perjudica notablemente a los primeros estadios del desarrollo vegetativo, razón por la que el crecimiento de las raíces de las gramíneas cesara y presentara hasta el final de su ciclo un sistema radicular prácticamente nulo, lo que repercutirá en una menor resistencia a la sequía en la primavera.

Por otra parte, un exceso de agua dificulta el intercambio gaseoso en el suelo, ya que el coeficiente de difusión del  $O_2$  y  $CO_2$  es aproximadamente  $10^5$  veces menor en el agua que en el aire. Como consecuencia de ello, en el momento que la radícula de la semilla perfora la testa, la poca disponibilidad de oxígeno provoca que los procesos de respiración sean débiles, lo que a su vez va a provocar que las movilizaciones de reserva del embrión necesarias para su crecimiento sean muy pequeñas, pudiendo ser ésta una de las muchas causas por lo que la vegetación no punteó hasta principios de enero.



Fot. 11. Sistema radicular en la cebada.

## Suelo

Durante los meses comprendidos entre la siembra y el despunte de la vegetación, me fue imposible acceder al talud donde se encontraban las parcelas debido a la gran humedad que presentaba el suelo por efecto de las lluvias de los últimos meses, que sumado a su alto grado de esponjamiento como consecuencia de su alta porosidad, me hacía inútil cualquier intento.

Como se puede observar en la figura 6, solamente durante los meses de diciembre a marzo se alcanza una humedad superior a marchitez, por lo que parece contradecirse todo lo expuesto hasta ahora, pero tiene una fácil explicación debido a la reciente configuración del talud (apenas unos meses antes), y a su escasa compactación achacable sólo al efecto de la gravedad, que si además le añadimos la baja conductividad hidráulica que presenta por ser un suelo arcilloso, no nos ha de extrañar su comportamiento. Coincidiendo con la finalización de los procesos de "asentamiento" debidos a la compactación sufrida tras las precipitaciones, las semillas comenzaron a desarrollarse en el terreno, por lo que considero muy importante este hecho en el desarrollo de cualquier cubierta vegetal instaurada sobre "nuevos" suelos.

Siguiendo con el comentario de la figura 6, se observa que durante los meses de enero hasta marzo la vegetación no debería tener problemas en su desarrollo al disponer de agua fácilmente utilizable (niveles de humedad por encima del punto de marchitez), la gran incógnita es saber cómo se las "arregló" para poder seguir desarrollándose a partir de marzo, cuando los niveles de humedad descendieron. Bien es verdad, como ya hemos visto en el apartado de resultados, que las especies gramíneas junto con la veza comienzan a secarse de forma gradual y constante hasta finales del mes de junio, al final del cual todas las especies introducidas se encuentran secas. Un hecho constatable era ver cómo se iba secando de forma progresiva de arriba a abajo en el talud, encontrándose los mayores porcentajes de especies verdes en la base del mismo, asumible si tenemos en cuenta que el agua tiende a quedar retenida con menos fuerza en las partes altas del talud por efecto de la gravedad.

En los meses de abril, mayo y junio, a pesar de encontrarse el suelo por debajo del punto de marchitez, las copiosas lluvias caídas en esos meses y las numerosas grietas superficiales del terreno por las que se estimulaba la infiltración del agua en estas tormentas de corta duración (JOHNSON, 1962) provocaron que la vegetación se mantuviese de una forma más o menos normal. A finales de junio, las reservas de humedad descienden hasta cero, momento en el cual las distintas especies del talud se secan por completo.

## Siembra

Las dosis de siembra empleadas en la restauración creo considerarlas óptimas para la consecución de los objetivos marcados en la empresa. Si bien a priori parece discutible la cantidad utilizada en la mezcla con esparceta a la vista de los resultados obtenidos con esta especie durante el primer año, la experiencia demuestra que hay que mantener dicha cantidad de 40 kg/Ha ya que, al segun-



Fot. 12. Germinación de esparceta al segundo año.

do año, se produce una disminución en la densidad de la cubierta al cambiar las condiciones iniciales (desaparición de los nutrientes que se añadieron al sembrar), sobreviviendo las plantas más resistentes y adecuadas, por lo que se produce un resurgimiento importante de esta leguminosa, junto con las gramíneas.

Sería interesante que los abonos fueran de asimilación lenta y difícilmente solubles; así cuando las plantas empiezan a desarrollar sus raíces están en condiciones de aprovechar los abonos añadidos, e irán teniendo a su disposición, poco a poco, pequeñas dosis de elementos asimilables que favorecerán su crecimiento.

Finalmente destacaré la importancia de aumentar en un 10 % la dosis de siembra en las partes altas del talud, disminuyendo en las zonas bajas, ya que los diferentes agentes erosivos se encargarán de redistribuir de nuevo las semillas a lo largo del mismo, y la necesidad de utilizar semilla de buena calidad con un alto grado de pureza, con el fin de no influir negativamente en el establecimiento de la vegetación.

## Recubrimiento

Los mayores índices de cobertura media se dan en la orientación sur, favorecidos por un mayor número de horas de sol de gran intensidad, aunque es destacable que en la orientación este se pro-



duzcan las mayores desviaciones respecto de la media, posiblemente debido a que entre la parcela 3 y 1 (parcela de transición con la orientación sur) se hallan grandes diferencias (ver tabla 5), al contrario que sucede con las parcelas instaladas en la orientación sur, a las cuales les afecta de una forma más homogénea la incidencia de los rayos solares.

Analizando más detalladamente este fenómeno al observar la tabla 1, se comprueba que en la orientación sur existe una mayor cobertura a lo largo del año en la parcela 1, la cual recibe un mayor número de horas de sol que el resto, para descender gradualmente a medida que nos desplazamos hacia la parcela 3. Por contra, esta tendencia sólo se muestra hasta principios de marzo en la orientación este, ya que en posteriores meses es la parcela 3 la que presenta los mayores índices de cobertura.

Con el fin de intentar cuantificar la intensidad de los rayos solares y su incidencia sobre la vegetación, recogí muestras de suelo en cada parcela a 25 cm de profundidad y las analicé mediante el procedimiento de desecación en estufa (105 °C durante 24 horas), recogiendo los siguientes datos:

Parcela	% H.R. en orientación sur		% H.R. en orientación este	
	13-4-1997	3-5-1997	13-4-1997	3-5-1997
1	4,99	2,13	3,62	3,17
2	3,33	1,85	5,82	5,11
3	2,23	1,32	7,41	2,66

Viendo estos datos se puede afirmar que los niveles de humedad registrados en cada una de las parcelas son muy bajos, por lo que resulta difícil explicarse cómo la vegetación ha podido desarrollarse con relativa normalidad; por otra parte, queda de manifiesto lo que hasta ahora se presuponía, es decir, que el talud en la orientación este mantiene unos niveles más altos de humedad que su homólogo en la orientación sur. Ahora es fácil entender por qué a partir de marzo en la orientación este se invierte la tendencia del dominio de la parcela 1 ante un mayor contenido de humedad de las restantes parcelas.

Para finalizar sólo me resta comentar un par de detalles que seguramente no habrán pasado inadvertidos. Uno es el crecimiento tan espectacular que sufre la cobertura del suelo entre el mes de febrero y marzo, y otro, que me llama más la atención, es ver cómo se produce un descenso de la misma, indistintamente de la orientación, en el mes de mayo. Será precisamente durante este mes, y aprovechando el descenso de cobertura en las especies introducidas, cuando se aprecie un incremento relativamente importante de la vegetación autóctona espontánea de la zona, como resultado de la disminución de "presión" ejercida por ésta.

## Leguminosas

A la vista de los resultados obtenidos hasta el momento podemos deducir, no sin antes mantener un cierto margen de prudencia, las primeras conclusiones del comportamiento de las especies utilizadas en la restauración.

Durante los dos primeros meses de enero y febrero, cuando el suelo presenta un estado óptimo para el desarrollo de cualquier tipo de vegetación, se pone de manifiesto el mayor grado de desarrollo que alcanza la alfalfa, la cual es una especie más exigente que su principal competidora, la veza, por lo que en condiciones favorables experimenta un mayor desarrollo que ésta. También es destacable el hecho de que en condiciones favorables de humedad edáfica, las especies experimentan mayor crecimiento en aquel talud en donde las condiciones térmicas son superiores, es decir, en la orientación sur.

A partir de marzo (cuando las reservas de humedad descienden por debajo del punto de marchitez, y la vegetación subsiste con las pocas reservas de humedad acumulables de las precipitaciones locales, y favorecida en gran parte por la elevada humedad ambiental existente, que frenaba las grandes evapotranspiraciones que se recogen en esas épocas del año), se nota un cambio de tendencia con respecto a los meses anteriores, ya que ahora es la veza la especie dominante en la cobertura del suelo, disminuyendo la alfalfa, la cual no es capaz de adaptarse igual de bien que la veza a las nuevas condiciones. También es destacable cómo la alfalfa encuentra un mayor desarrollo en la orientación este, ya que en esta orientación se dan unos niveles mayores de humedad que en la orientación sur. Por su parte la veza, más resistente a la aridez que la alfalfa, sigue desarrollándose de una forma más óptima en la orientación sur.

Dada la poca relevancia que adquiere la tercera leguminosa (esparceta) en la cobertura, razón por lo que aún no había hablado todavía de esta especie, sólo reseñaré de ella su mayor desarrollo en la orientación este respecto de la orientación sur en el primer año. De todas formas, voy a emitir mi propio juicio aun a expensas de poderme equivocar; ya he nombrado en un apartado anterior, cómo esta especie es la gran dominante durante el segundo año, por lo que creo que, o bien presenta unos estados de latencia en la germinación muy largos, o bien la "presión" de germinación que ejercen las restantes especies es tan fuerte que impiden que se desarrolle con normalidad durante el primer año, y sólo es capaz de desarrollar su potencial al siguiente año, cuando las especies crecen de forma espontánea. Si se piensa seguir utilizando esta especie en los procesos de restauración en años venideros, sería muy interesante hacer una línea de investigación enfocada en estos dos objetivos que he señalado, ya que aparte de ser una especie "desconocida" para los agrónomos, hay una gran dificultad en encontrar textos especializados donde se hable de la esparceta con una suficiente rigurosidad.

## Gramíneas

Observando los taludes una vez que la vegetación se ha desarrollado, se puede apreciar con mucha facilidad cómo las gramíneas son la principal familia de especies responsables de dar el mayor grado de cobertura al suelo.

Durante los dos primeros meses de enero y febrero, la germinación de ambas especies es prácticamente similar, apreciándose una ligera diferencia en favor de la cebada; por orientaciones, se aprecia una mayor influencia de la orientación sur. A partir del mes de marzo, la cebada se desarrolla con mucha más fuerza que la avena, puesto que esta primera especie es mucho más resistente a las condiciones desfavorables que lo es la segunda. Dos razones desaconsejan la utilización de la avena en los procesos de restauración: la primera, su poca resistencia a la sequía, ya que es una especie muy exigente en agua, y la segunda, su deficiente desarrollo en suelos calizos, de ahí la explicación de su bajo rendimiento en las parcelas.

Observando la figura 14, se advierte que contrariamente a lo que sucede con el parámetro de cobertura, la altura evoluciona de una forma similar entre ambas especies, por lo que solamente se diferenciaban en el menor ahijamiento de la avena, lo que le proporciona un aspecto languidecido. Por contra, la cebada presentaba un aspecto robusto, con numerosos "hijos", fruto de unas condiciones excelentes de humedad en el momento del ahijamiento.

## Planta autóctona

Como ya se ha dicho anteriormente, durante el mes de mayo, justo cuando se produce una disminución en la cobertura, es el momento en que se origina un aumento relativo con respecto a meses anteriores en la vegetación espontánea. Pero no será hasta el segundo año de la restauración cuando se inicie verdaderamente la estabilización definitiva del talud con entrada de especies espontáneas.

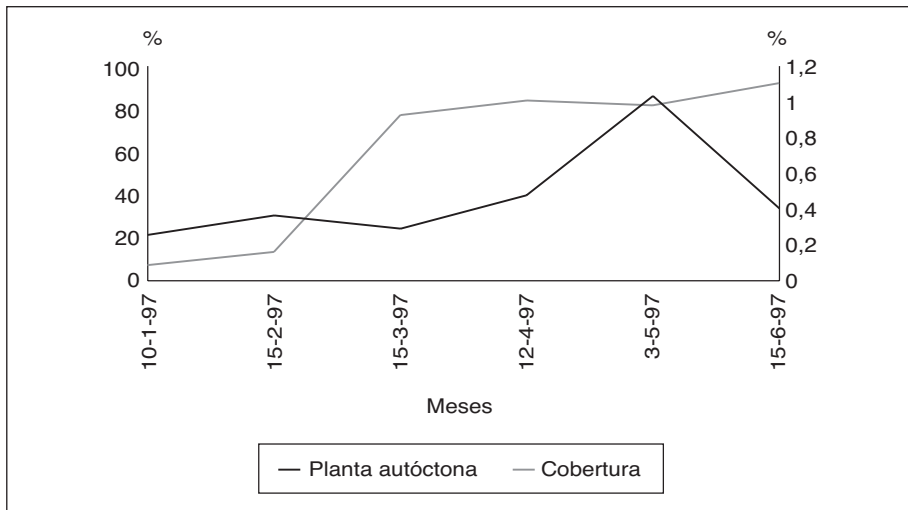


Fig. 22. Cobertura de la planta autóctona.

Estudiando el índice de cicatrización, el cual es un dato ecológico que indica cómo de una manera más o menos rápida la vegetación natural del lugar se reconstituye por sí sola, motivada por las características ecológicas propias del lugar, y después de sacar mis propias conclusiones tras un estudio detallado del medio, puedo afirmar que Corta Barrabasa tiene un índice de cicatrización bajo o nulo, lo que implica unos trabajos lentos y costosos, pero aminorados por el tiempo de explotación de la mina durante los años restantes.

## CONCLUSIONES

La evaluación del comportamiento de las especies vegetales en el recubrimiento del suelo y su acción protectora con respecto a la erosión del mismo exigen un estudio continuado durante varios años. En el presente trabajo se presentan los resultados obtenidos durante 1996-1997, por lo que las siguientes conclusiones son relativas a este período de tiempo.

1. La vegetación no comienza a desarrollarse de forma homogénea hasta que los procesos de compactación debidos a las precipitaciones terminan por estabilizar el talud de una forma definitiva.

2. La incorporación del abono, coincidente con la operación de siembra, además de ser poco eficaz se ha demostrado que puede actuar como inhibidor de la germinación de las semillas, por lo que es conveniente efectuar la aplicación principal de 4 a 8 semanas después de realizar la siembra.

3. La necesidad de aumentar en un 10 % la dosis de siembra en las partes altas del talud a cambio de las zonas bajas, la necesidad de utilizar semilla de buena calidad libre de enfermedades.

4. Al contrario de lo cabría esperar al principio de este estudio (favorecido por unas condiciones ambientales mucho mejores que las de años anteriores), nos encontramos con que la mayor cobertura media vegetal se da en la orientación sur, por lo que la vegetación respondió con un mayor desarrollo ante unas condiciones térmicas mayores.

5. Los niveles de humedad que presentaban las parcelas en la orientación sur apenas difieren en magnitud, por lo que se mantiene el dominio de la parcela 1 durante todo el año a pesar de recibir un mayor número de horas de sol. Por contra, el talud de orientación este presenta unas condiciones térmicas mucho más favorables que su homólogo de orientación sur, lo que se comprueba en que presenta unos niveles de humedad sensiblemente algo mayores, factor que pasa a ser dominante cuando el otro factor de suma importancia, la temperatura, se vuelve extrema y pasa a ser un factor limitante, hecho que queda recogido en el cambio de tendencia de las parcelas a partir del mes de marzo.

6. Entre las especies de leguminosas se pone de manifiesto el mayor grado de desarrollo que alcanza la alfalfa sobre la veza cuando el suelo presenta un estado óptimo de igualdad de condiciones para las dos especies.

7. Cuando las condiciones ambientales se vuelven más agresivas para la vegetación, la veza cobra un mayor dominio sobre la alfalfa, al adaptarse mejor a las nuevas condiciones.

8. Las gramíneas son la familia de especies responsables de dar el mayor grado de cobertura al suelo, siendo la cebada la principal especie responsable, por contra, la avena no presenta unos rendimientos tan óptimos como los de la cebada. Es importante la necesidad de utilizar especies de semillas dehiscentes, ya que asegurarán la germinación de la especie después del pase del subsolador al segundo año, con lo que el talud permanecerá con una cubierta herbácea hasta que los procesos de colonización vegetal vuelvan a restablecerse por sí solos.

9. De todas las especies introducidas, solamente dos parecen sobrevivir de manera más óptima que el resto durante los dos últimos meses, momento en el cual comienzan a secarse las plantas por falta de humedad; la alfalfa, debido a su potente raíz pivotante que le permite explorar a profundidades mayores que el resto de las especies, y la esparceta, la cual presenta un porte mucho menor que el resto, lo que le evita recibir las radiaciones directas del sol al encontrarse resguardada por el resto de especies de porte mayor que ella.

## Agradecimientos

El presente trabajo, además de basarse en el estudio y experiencias personales, ha podido llevarse a cabo gracias a la colaboración de una serie de organismos y personas que me han ayudado desinteresadamente. Estas líneas tienen como objetivo agradecer su interés a estas personas y entidades que, directa o indirectamente, han prestado su ayuda en la elaboración y puesta a punto de este trabajo.

En primer lugar, deseo mostrar mi agradecimiento al Dr. David Badía Villas, profesor del Área de Producción Vegetal de la Escuela Universitaria Politécnica de Huesca (Universidad de Zaragoza) y tutor del proyecto que, tanto a lo largo de la investigación como tras la elaboración del texto original, ha aportado sus sugerencias y acertadas observaciones, las cuales, con seguridad, han permitido mejorar la calidad del trabajo que ha constituido mi Tesina de Diplomatura.

La investigación ha sido posible gracias a la ayuda concedida por el Instituto de Estudios Turoleses (Excma. Diputación Provincial de Teruel) en su XV Concurso de Ayudas a la Investigación celebrado en 1997, así como también al Laboratorio de Medio Ambiente de Andorra (Excma. Diputación Provincial) y a FORMACIÓN de Endesa, cuyas instalaciones puso a mi disposición su responsable Pilar Suñer.

También quiero remarcar el apoyo de Francisco Molina, del Servicio de Restauración de Terrenos de la Dirección de Minas de Andorra, co-tutor de este proyecto, por darme a conocer la metodología de trabajo llevada a cabo en la Zona de Andorra, así como poder disponer de abundante material bibliográfico y fotográfico.

En las referencias personales quiero resaltar, sincera y públicamente, la ayuda de mi hermana Elena Martínez Pantaleón, sin cuya ayuda seguramente habría llegado al borde de la desesperación en el recuento de plantas en el campo, a Julio Martínez Beltrán, responsable en gran parte del formato final de esta memoria, a mi padre, Manuel Martínez Beltrán (por su ayuda en la instalación de las mallas sobre los taludes), que junto con el resto de mi familia me han apoyado a lo largo de

todo este tiempo, a César Garralaga, por su estimable ayuda puntual en algunos apartados del proyecto, y a Domingo y Nicasio García. Asimismo, no puedo olvidar el esfuerzo de Manuel Luna, profesor de la Universidad de Baja California (México), cuya ayuda me fue de gran utilidad para poder llevar a fin lo que en un principio sólo era un conjunto de ideas.

A todos las más efusivas gracias, y especialmente a los que aportaron su esfuerzo en la culminación de este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- BADÍA VILLAS, D. (1989), *Los suelos en Fraga. Cartografía y Evaluación*, Colección de Estudios Altoaragoneses, 30.
- BOON, P.J. (1992), «Essential Elements in the Case for River Conservation», en *River Conservation and Management*, BOON et al. (eds.), 11-34, John Wiley & Sons.
- BROMN, D.; HALMANN, R.G.; LEE, C.H.; SKOGERBOE, J.G.; PRICE, R.A.; PAGE, N.R.; CLAR, M.; KORT, R. y HOPKINS, H. (1986), *Reclamation and vegetative restoration of problem soils and disturbed lands*, New Jersey, Noyes Data Corporation.
- CEBALLOS, A. y ORTUÑO, F. (1977), *Los bosques españoles*, Madrid, INCAFO.
- II CONGRESO DE AGRICULTURA BIOLÓGICA (1986), *La Fertilidad del suelo*, Madrid, Asociación Vida Sana.
- CUBERO, J.I. y MORENO, M.T. (1983), *Leguminosas de grano*, Ed. Mundi-prensa.
- DOMÍNGUEZ VIVANCOS, A. (1978), *Abonos minerales*, Madrid, Ministerio de Agricultura.
- EMPRESA NACIONAL DE ELECTRICIDAD, S.A. (1983), *Estudio de impacto ambiental de la corta «Alloza» (Teruel)*.
- *Centro productor de Andorra Teruel*, Ed. Dirección de Relaciones Externas.
- ENCICLOPEDIA TEMÁTICA DE ARAGÓN (1986), *Fauna*, tomo II, Ediciones Moncayo.
- FANNING, D.S. y FANNING, M.C.B. (1989), *Proposed Special Diagnostic Characteristics for Highly Maninfluenced Soils*, en FANNING, D.S. y FANNING, M.C.B. (eds.), *Soil*, New York, John Wiley & Sons, pp. 192-199.
- FAO / UNESCO (1989), *Soil Map of the World. Revised Legend*, World Resources Report 60, Rome, FAO (Reprinted as Technical Paper 20, Wageningen, ISRIC).
- GEOGRAFÍA DE ARAGÓN (1981), tomo I, Guara editorial, pp. 144-159 y 193-203.
- GEOGRAFÍA DE ESPAÑA (1990), *Aragón y Castilla y León*, Ed. Planeta.
- GOBIERNO DE ARAGÓN (1994), *La Minería de Aragón*, pp. 57-58.
- GONZÁLEZ del TÁNAJO, M. y GARCÍA de JALÓN, D. (1995), *Restauración de ríos y riberas*, Ed. Fundación Conde del Valle de Salazar.
- GRAN CONSULTOR SPES. DICCIONARIO ENCICLOPÉDICO (1988), *Sinónimos y Antónimos*, 1.ª ed., Barcelona.
- HODGES, T. et al. (1991), *Predicting Crop Phenology*, Boca Ratón, Florida, CRC Press, Inc.
- HOSSNER, L.L. R. (ed.) (1988), *Reclamation of surface-mined lands*, I y II, Florida, C.R.C. Press., pp. 189-245.
- INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA (1986), *Síntesis geológico-minera de las cuencas ligníferas de Oliete-Ariño, Utrillas-Aliaga y Castellote*.
- (1989), *Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería*.

- JOHNSON, W.C. (1962), «Controlled soil cracking as a possible mean of moisture conservation on wheatlands of the southwestern Great Plains», *Agron. J.*, 54, pp. 323-325.
- LACOSTE, A. (1978), *Biogeografía, Elementos de geografía*, Barcelona, Ed. Oikos-Tau.
- METCALFE, D.S. y ELKINS, D.M. (1987), *Producción de cosechas «Fundamentos y prácticas»*, Mexico, Ed. Limusa.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN (1994), *Manual de Forestación en Tierras Agrícolas*, Publicaciones del IRYDA, Ed. Mundi-Prensa.
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTES Y MEDIO AMBIENTE (1995), *Guías metodológicas para la elaboración de estudios de impacto ambiental, 3. Repoblaciones forestales*.
- PORTA, J.; LÓPEZ-ACEVEDO, M. y ROQUERO, C. (1994), *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*, Ed. Mundi-Prensa.
- RUZA TARRÍO, F.; BELLOCH MARQUÉS, V.; FUENTES BODELÓN, F.; GARCÍA ÁLVAREZ, A.; GARRANDÉS TORRALBA, C.; JARAMILLO GÓMEZ, A.; LÓPEZ SARDÁ, F.; MARTÍNEZ SALCEDO, F.; NOVO VILLAVARDE, M.; RODRÍGUEZ MARTÍN, F.; SA MONTERO, M.C.; SANZ SA, J. y VÁZQUEZ GUILLÉN, L. (1984), *Tratado del medio ambiente*.
- SHELDON, J.C. y BRADSHAW, A.D. (1977), «The development of hydraulic seeding technique for unstable sand slope», *Journal of Applied Ecology*, 14,3, pp. 905-918. Citado en: WILLIAMSON, N.A.; JOHNSON, M.S. y BRADSHAW, A.D. (1982), *Mine waste reclamation*, Mining Journal Books, England.
- URBANO TERRÓN, P. (1995), *Aplicaciones fitotécnicas*, Ed. Mundi-Prensa.
- (1995), *Tratado de Fitotecnia general*, Ed. Mundi-Prensa.
- VÁZQUEZ LACASA, G. (1926), *Datos históricos sobre la Muy Noble Villa de Andorra*, Zaragoza (reimpresión del Ayuntamiento en 1982).

Recibido el 29 de septiembre de 1998

Aceptado el 23 de octubre de 1998







# TERUEL

REVISTA DEL INSTITUTO DE ESTUDIOS TUROLENSES

NÚMERO 87 ■ TERUEL, 1999 ■ ISSN 0210-3524

## VOLUMEN I

- Estratigrafía y sedimentología de las Facies Weald de la subcuenca de Las Parras (Teruel). *A. Meléndez y A.R. Soria* ..... 7-37
- Geomorfología kárstica de las cuencas de Gallocanta y Jiloca (provincia de Teruel). *Francisco Javier Gracia Prieto y Francisco Gutiérrez Santolalla* ..... 39-68
- Las formaciones travertínicas de la cuenca alta del río Mijares (provincia de Teruel). *M.<sup>a</sup> Victoria Lozano Tena, Carlos Sancho Marcén y José Luis Peña Monné* ..... 69-91
- Líquenes epifíticos de la Sierra del Tremedal (Guadalajara-Teruel). *Gregorio Aragón, Isabel Martínez y Ana Rosa Burgaz* ..... 93-110
- Nuevos datos sobre la invernada de la lechuza campestre en un medio estepario de la depresión del Ebro: las Saladas de Alcañiz (NE de Teruel). *Adrián Ponz Miranda* ..... 111-119
- Crecimiento y desarrollo en una plantación de encinas micorrizadas. Aspectos fisiológicos de un patrón para la reforestación de tierras agrícolas marginales en Aragón. *M. Pardos Mínguez* ..... 121-146
- Descripción y comportamiento de los procesos de restauración vegetal de escombreras en las explotaciones a cielo abierto de Endesa en la cuenca minera de Teruel. *Manuel Martínez Pantaleón* ..... 147-205

## VOLUMEN II

- Datos históricos de Alcaine y Obón. *María Jesús Berraondo Urdampilleta* ..... 7-77
- Fiestas y procesiones en Alcañiz en 1589, según el Dr. Cristóbal Colón, Prior de su Colegiata. *Juan Ramón Royo García* ..... 79-93
- "La carta de dote del hidalgo turolense Don Jaime Marqués" (1713). *José Luis Barrio Moya* ..... 95-104

Fondo Víctor Pruneda. Constitución, inventario y referencias archivísticas. <i>Antonio Losantos Salvador</i> _____	105-140
El desapego de Dios en Miguel de Molinos. <i>Jesús Ezquerro Gómez</i> _____	141-171
La inmodestia del coñac: alcohol, sociedad y cultura. <i>Antonio Lasala Meseguer</i> _____	173-190
Motivadores y desmotivadores de participación social, en una comunidad rural (cuencas mineras turolenses). <i>Ángel Ramón Sancho Abella</i> _____	191-207

---



**ESTRATIGRAFÍA Y SEDIMENTOLOGÍA DE LAS FACIES WEALD DE LA SUBCUENCA DE LAS PARRAS (TERUEL) ■ A. MELÉNDEZ Y A.R. SORIA T GEOMORFOLOGÍA KÁRSTICA DE LAS CUENCAS DE GALLOCANTA Y JILOCA (PROVINCIA DE TERUEL) ■ FRANCISCO JAVIER GRACIA PRIETO Y FRANCISCO GUTIÉRREZ SANTOLALLA T LAS FORMACIONES TRAVERTÍNICAS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO MIJARES (PROVINCIA DE TERUEL) ■ M.ª VICTORIA LOZANO TENA, CARLOS SANCHO MARCÉN Y JOSÉ LUIS PEÑA MONNÉ T LÍQUENES EPIFÍTICOS DE LA SIERRA DEL TREMEDAL (GUADALAJARA-TERUEL) ■ GREGORIO ARAGÓN, ISABEL MARTÍNEZ Y ANA ROSA BURGAZ T NUEVOS DATOS SOBRE LA INVERNADA DE LA LECHUZA CAMPESTRE**

**EN UN MEDIO ESTEPARIO DE LA DEPRESIÓN DEL EBRO: LAS SALADAS DE ALCAÑIZ (NE DE TERUEL) ■ ADRIÁN PONZ MIRANDA T CRECIMIENTO Y DESARROLLO EN UNA PLANTACIÓN DE ENCINAS MICORRIZADAS. ASPECTOS FISIOLÓGICOS DE UN PATRÓN PARA LA REFORESTACIÓN DE TIERRAS AGRÍCOLAS MARGINALES EN ARAGÓN ■ M. PARDOS MINGUEZ T DESCRIPCIÓN Y COMPORTAMIENTO DE LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN VEGETAL DE ESCOMBRERAS EN LAS EXPLOTACIONES A CIELO ABIERTO DE ENDESA EN LA CUENCA MINERA DE TERUEL ■ MANUEL MARTÍNEZ PANTALEÓN**

