

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******

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 14C 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, 14C, 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 CO₂. Esta concentración, que inicialmente está controlada por las condiciones climaticoambientales, 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-

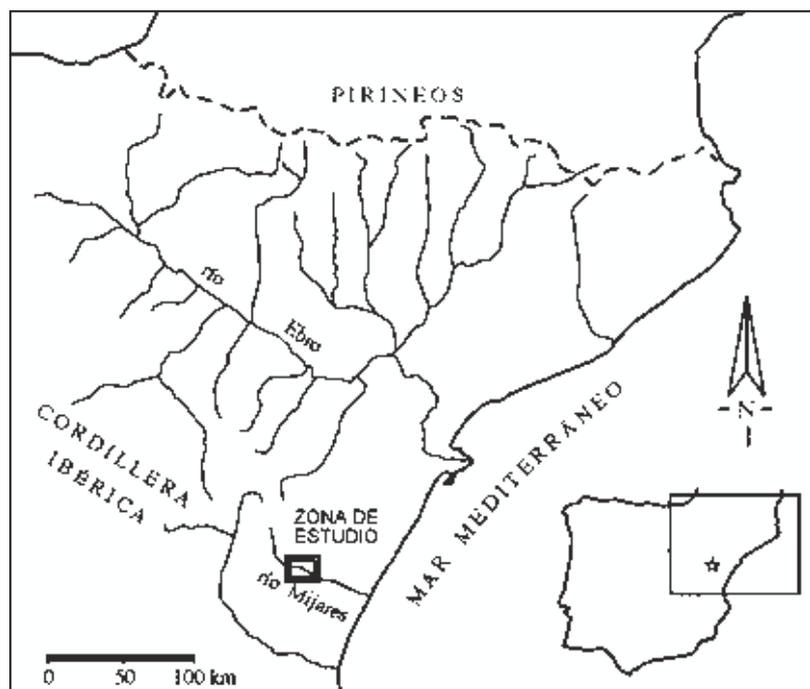


Fig. 1. Situación geográfica del área de estudio.

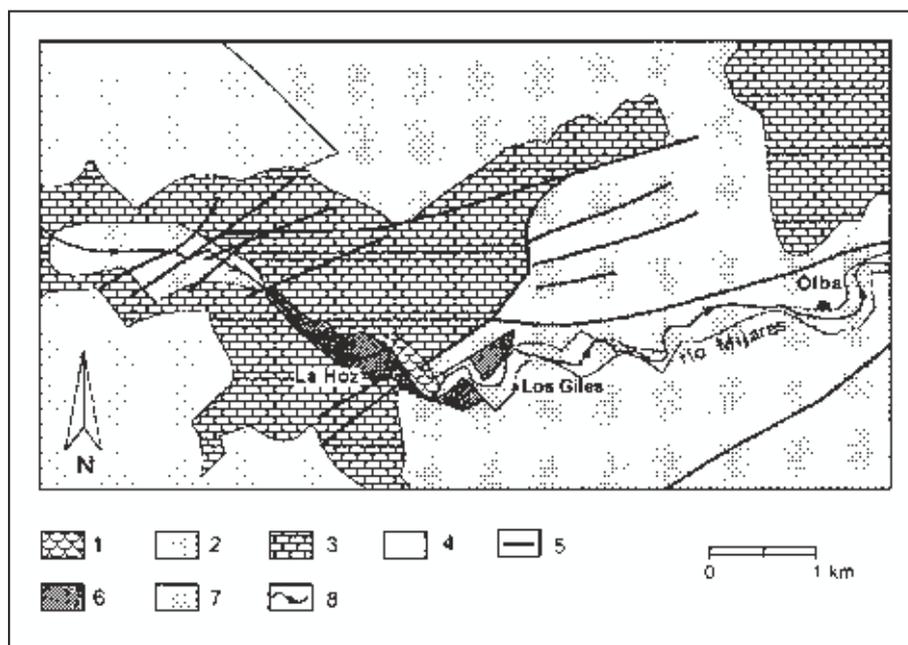


Fig. 2. Esquema geológico del entorno del Molino de la Hoz en el río Mijares elaborado a partir de datos de GAUTIER (1974) y PARICIO (1985). 1. Jurásico; 2. Cretácico; 3. Mioceno inferior (conglomerados y calizas travertínicas); 4. Mioceno superior-Pliocuatrnario (conglomerados y arcillas); 5. Fallas;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

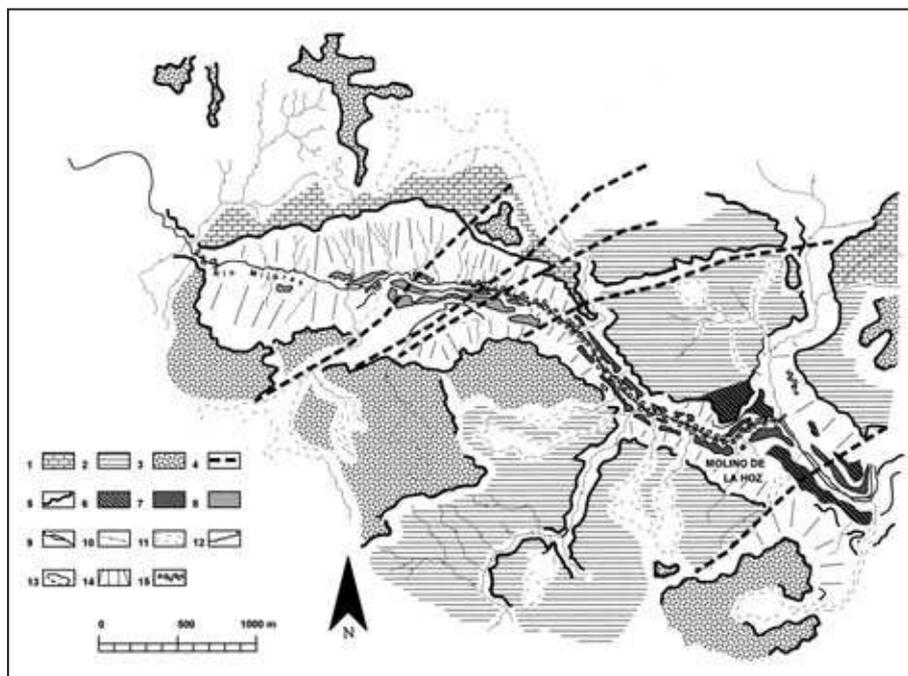


Fig. 3. Cartografía geomorfológica del valle del río Mijares en el sector del Molino de la Hoz. 1. Calizas mesozoicas; 2. Conglomerados y calizas travertínicas del Mioceno inferior; 3. Conglomerados y arcillas del Mioceno superior-Pliocuatnario; 4. Principales fracturas; 5. Escarpes estructurales; 6. 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).

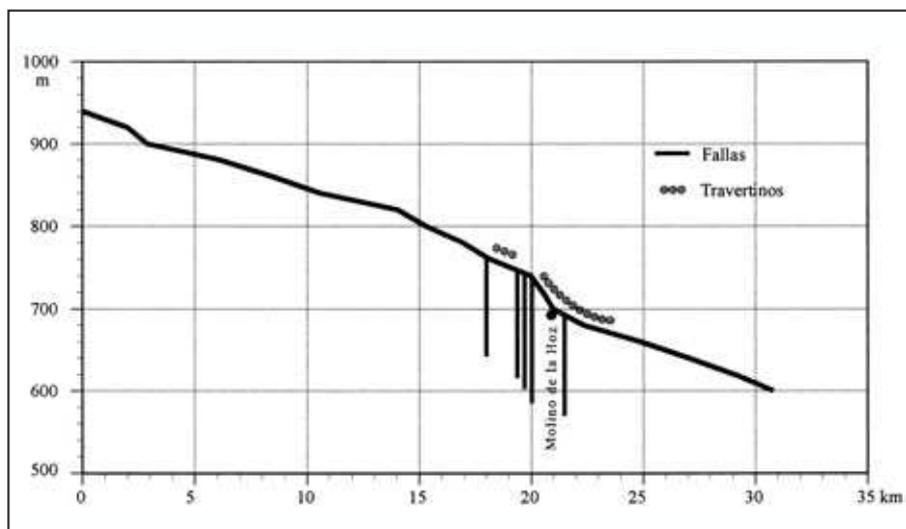


Fig. 4. Perfil longitudinal del río Mijares, fallas principales y localización de los afloramientos travertínicos.

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).

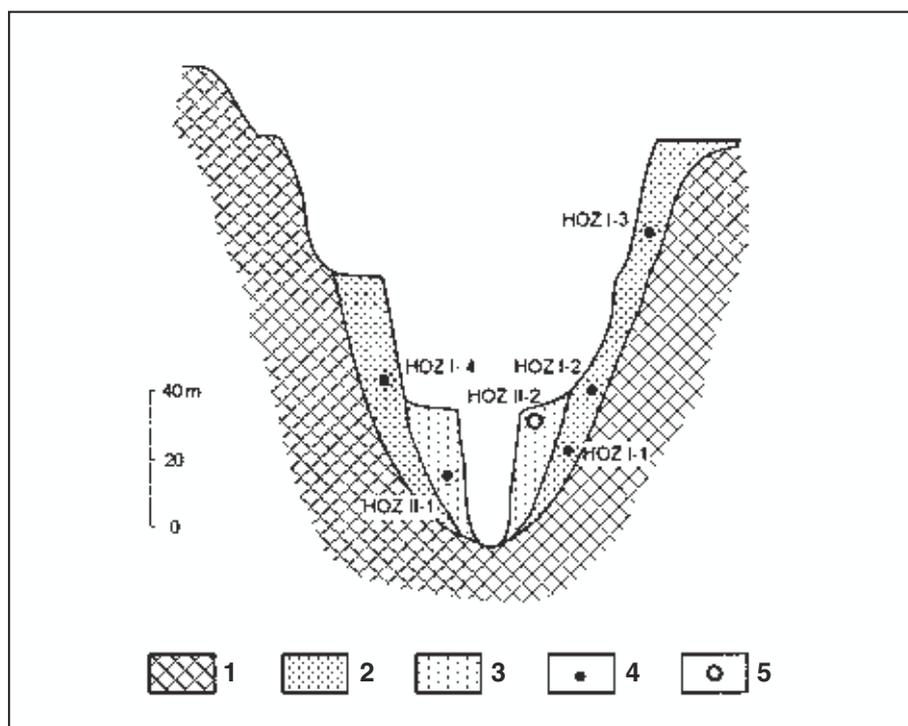


Fig. 5. Sección transversal del cañón del Mijares, etapas de construcción travertínica y posición estratigráfica de las muestras utilizadas para dataciones. 1. Substrato; 2. Etapa constructiva HOZ I; 3. Etapa constructiva HOZ II; 4. Puntos de datación U/Th; 5. Puntos de datación C-14.

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.

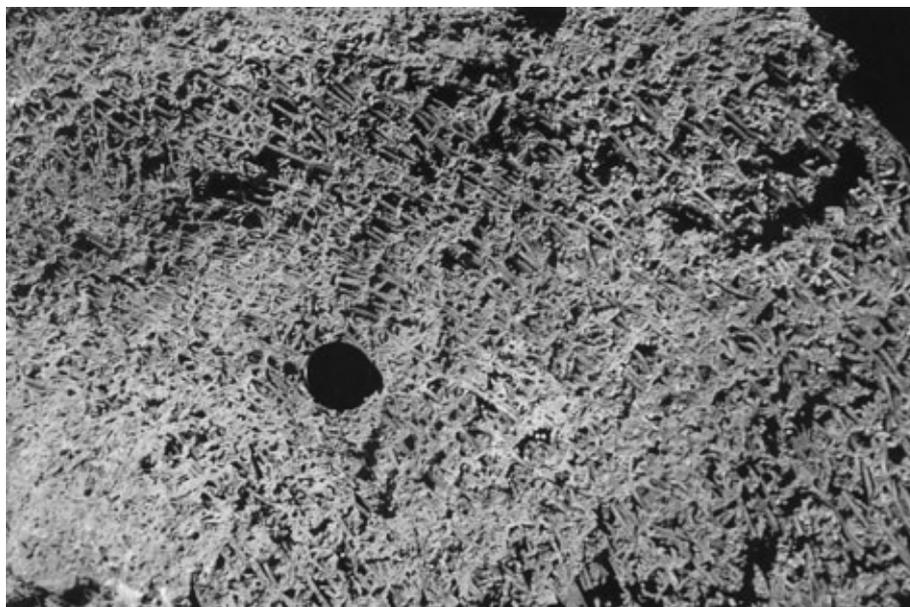


Fot. 3. Facies de musgos en el edificio HOZ I.

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 biomiocríticas. 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 microfítocástico 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.

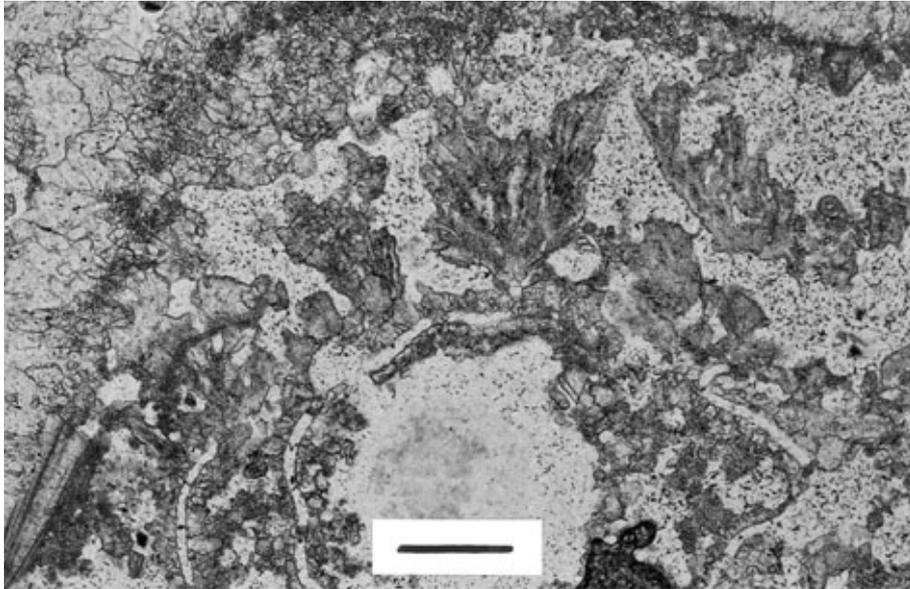
En esta etapa constructiva, un dato puntual interesante está relacionado con la observación, en algunos sectores, de basculamientos contrapendiente en depósitos de represamiento, que inicialmente deberían de permanecer horizontales.

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 substrato. 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.

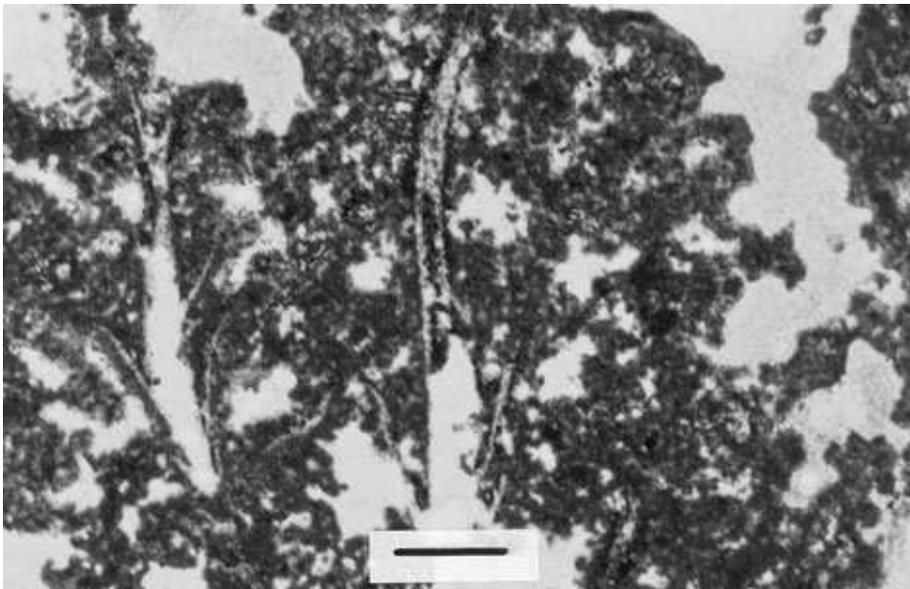
RASGOS MICROMORFOLÓGICOS

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 μm 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 μm , 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*.

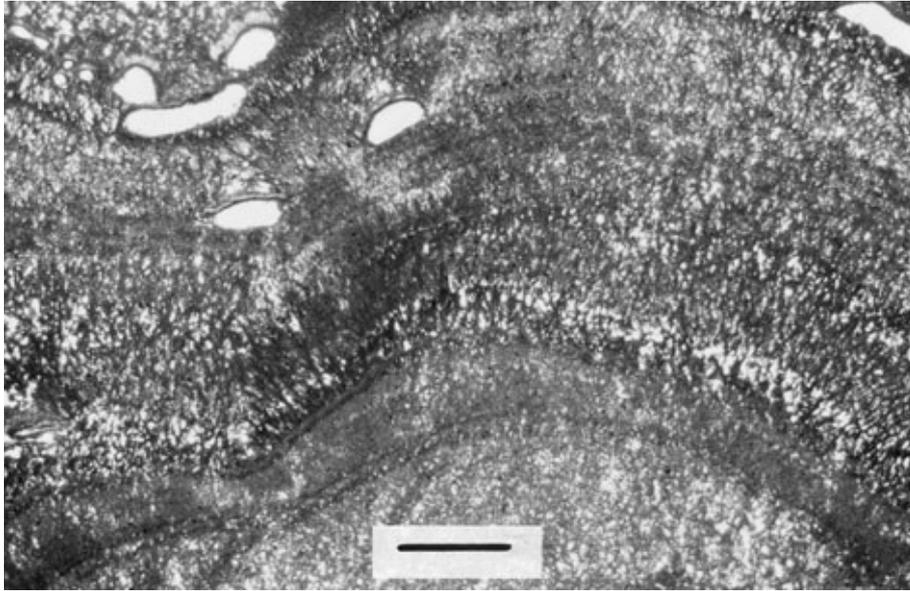
En general, para todas las facies y texturas es frecuente la existencia de procesos de agradación a microesparita como resultado de la recristalización de micrita. Además se trata de texturas muy abiertas en las que los poros y huecos existentes están tapizados por cemento macrocristalino heterométrico 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

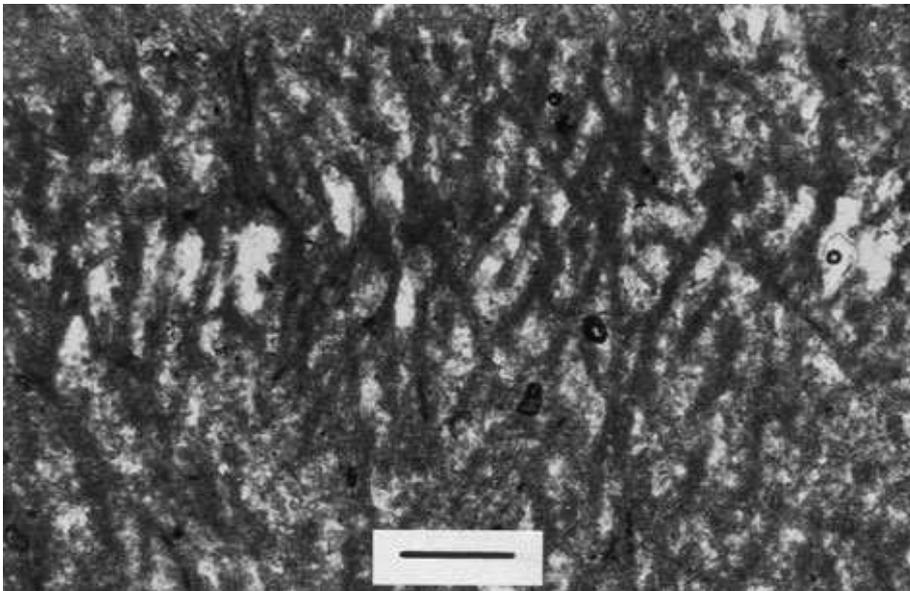
Se han analizado diferentes muestras correspondientes al edificio travertínico denominado HOZ I. Desde el punto de vista mineralógico, los diagramas de difracción de rayos-X obtenidos sobre muestra total en polvo desorientado indican que estos travertinos están compuestos exclusivamente por calcita en 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

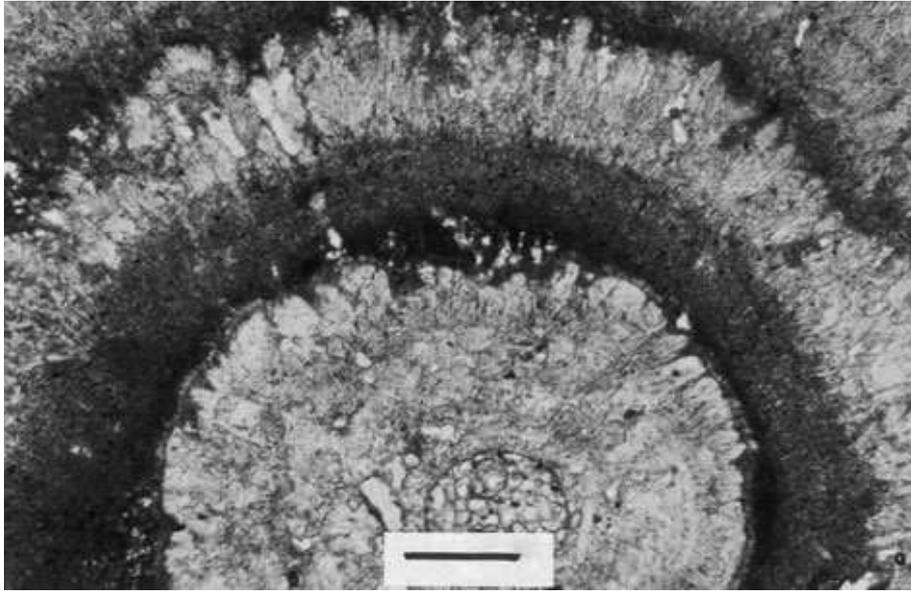
La posición estratigráfica relativa de todas las muestras utilizadas para realizar determinaciones cronológicas mediante los métodos de U/Th y C-14 puede observarse en la figura 5. Los datos y resultados correspondientes a los análisis efectuados de los edificios HOZ I y HOZ II aparecen en la tabla 1.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



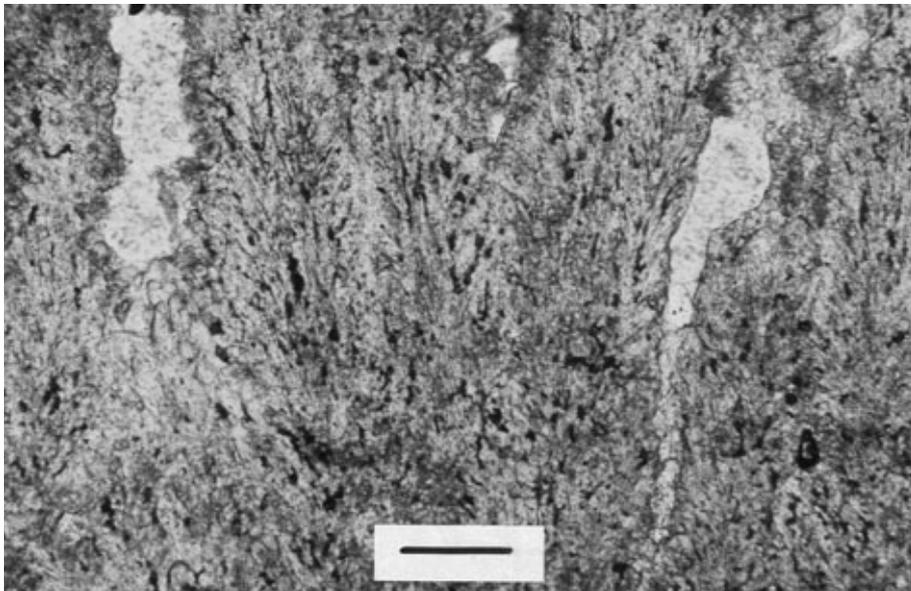
Fot. 7. Envueltas alrededor de un tallo formadas por filamentos de algas cianofíceas. Escala gráfica 1 mm.



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



Fot. 9. Envoltas 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 (ORDÓÑEZ *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 *Theoduxus 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. ORDÓÑEZ *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-quatenaire du Saïss de Fès (Maroc)», *Méditerranée*, 2,3, 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.
- FREYTTET, 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.
- FREYTTET, 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, Beceite (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 Albaracín, 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 tuffeux 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

