

# Análisis preliminar de las tobas cuaternarias del río Ebrón (Castielfabib, Valencia, Cordillera Ibérica)

*Preliminary analysis of the Quaternary tufas of the River Ebrón (Castielfabib, Valencia, Iberian Range)*

M<sup>a</sup> Victoria Lozano <sup>(1)</sup>, Carlos Sancho <sup>(2)</sup>, Concha Arenas <sup>(2)</sup>, Marta Vázquez-Urbez <sup>(2)</sup>, José Eugenio Ortiz <sup>(3)</sup>, Trinidad de Torres <sup>(3)</sup>, Gonzalo Pardo <sup>(2)</sup>, M<sup>a</sup> Cinta Osácar <sup>(2)</sup> y Luis Auqué <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza, Ciudad Escolar s/n, 44003 Teruel, España.

<sup>(2)</sup> Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza, Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza, España. csancho@unizar.es

<sup>(3)</sup> Laboratorio de Estratigrafía Biomolecular, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, Ríos Rosas 21, 28003 Madrid, España.

## ABSTRACT

*In this paper the Alpine cleavage affecting the Permo-Triassic series of the Espadan Range (Castellón) is studied. Cleavage affects to argillites and sandstones in Saxonian and Buntsandstein facies. At cartographic scale it is linked with the Espadan box anticline with constant ONO-ESE trend. At microscopical scale it constitutes a "spaced cleavage" with a predominance of pressure solution and passive rotation mechanisms. At outcrop scale the cleavage characterizes by a sigmoidal geometry linked both the post-cleavage flexural slip as a cleavage-related flexural flow mechanism. The proposed kinematic model to explain its origin includes three main stages: 1) incipient development of cleavage linked to layer-parallel shortening, 2) buckling and increasing of cleavage penetrativity and 3) folging amplification and layer-parallel shear.*

**Key-words:** Cleavage, folding, Permo-Triassic, kinematic model, Iberian Chain.

## RESUMEN

*Se estudia la esquistosidad alpina que afecta a la serie Permo-Triásica de la Sierra de Espadán, (Castellón). La esquistosidad afecta a los tramos argilíticos y areniscosos en facies Saxonense y Buntsandstein, con distinto grado de penetratividad. A escala cartográfica se asocia al anticlinal de Espadán con geometría en cofre y orientación ONO-ESE. A escala microestructural se clasifica como esquistosidad espaciada con predominio de los mecanismos de disolución por presión y rotación mecánica de filosilicatos. A escala de afloramiento destaca la geometría sigmoidal de las superficies de esquistosidad atribuida tanto a un mecanismo post-esquistoso de flexo-deslizamiento en las capas competentes como a flexofluencia sin-esquistosa en capas incompetentes. El modelo cinemático para su génesis contempla tres estadios: 1) desarrollo incipiente de esquistosidad en relación a acortamiento paralelo a las capas, 2) buckling e incremento del grado de penetratividad y 3) amplificación de los pliegues y cizalla simple paralela a las capas.*

**Palabras clave:** Esquistosidad, plegamiento, Permo-Trías, modelo cinemático, Cordillera Ibérica.

*Geogaceta*, 51 (2012), 51-54.  
ISSN:2173-6545

Fecha de recepción: 15 de junio de 2011  
Fecha de revisión: 3 de noviembre de 2011  
Fecha de aceptación: 25 de noviembre de 2011

## Introducción

Las formaciones tobáceas cuaternarias, asociadas con el drenaje de la Cordillera Ibérica, adquieren especial relevancia durante los estadios isotópicos 7, 5 y 1 (Vázquez-Urbez *et al.*, 2011a) de características interglaciares (Shackleton y Opdyke, 1973; Durán, 1989). Además de su interés como indicadores paleoambientales, los sistemas tobáceos fluviales destacan por la elevada tasa de acumulación (Arenas *et al.*, 2010a; Vázquez-Urbez *et al.*, 2010; 2011a).

Alrededor de Castielfabib (provincia de Valencia) afloran depósitos tobáceos cuaternarios de extraordinario desarrollo asociados al río Ebrón, un afluente del río Turia (Fig. 1). El estudio cartográfico, estratigráfico y cronológico de estos registros permite

avanzar en la propuesta de un modelo de evolución paleoclimática regional y caracterizar su contexto sedimentario incluyendo la estimación de la tasa de sedimentación tobácea.

## Área de estudio

La cuenca del río Ebrón (Fig. 1) se localiza en el sector central de la Cordillera Ibérica y forma parte de las Sierras de Albaracín y de la fosa de Alfambra-Teruel-Landete. Ocupa el flanco occidental de un gran pliegue anticlinal de orientación N-S constituido, fundamentalmente, por materiales carbonatados jurásicos y cretácicos; también afloran rocas del Triásico (Facies Muschelkalk y Keuper) y detríticas del Cretácico inferior. Sobre esta sucesión meso-

zoica se superponen conglomerados, areniscas y arcillas del Neógeno. Entre las localidades de El Cuervo y Castielfabib existen pliegues y cabalgamientos, de orientación NE-SO, que afectan fundamentalmente al Triásico medio y superior (Fig. 2) (Abril y Rubio, 1978).

En el relieve de la cuenca del río Ebrón destacan los restos de superficies de erosión, entre 1000 y 1400 m, que enrasan con el relleno terciario de la Depresión de Teruel. En el valle del río Ebrón afloran depósitos de tobas cuaternarias que son el objeto de estudio del presente trabajo. El perfil longitudinal de este río presenta importantes cambios en su gradiente derivados de la incisión diferencial controlada por la distinta resistencia de los materiales del sustrato. En la actualidad, la descarga del río Ebrón (1,2 m<sup>3</sup>/s)

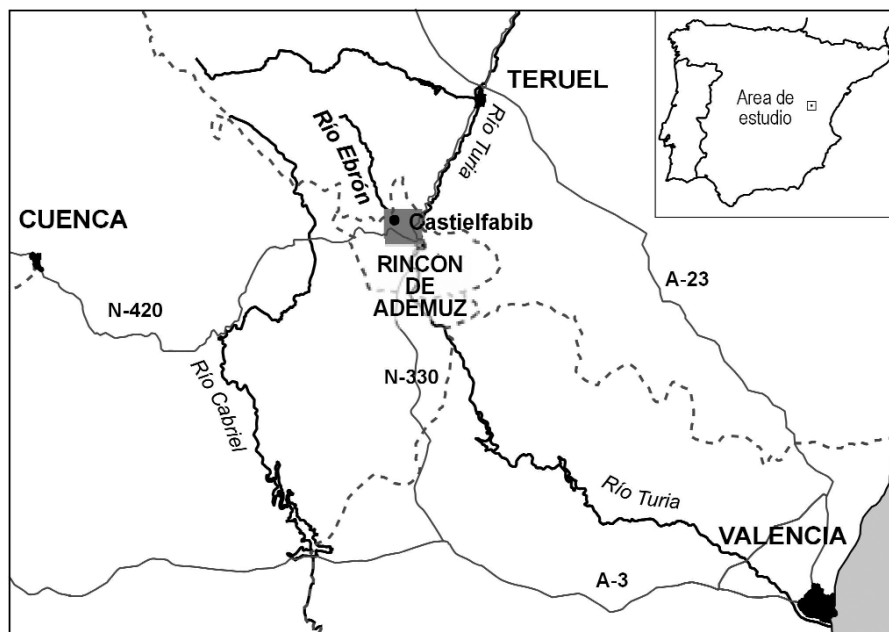


Fig. 1.- Situación del área de estudio.

Fig. 1.- Location of the study area.

está influenciada por aportes subterráneos, con surgencias aguas arriba de El Cuervo.

### Materiales y metodología

En las inmediaciones de Castielfabib, el estudio cartográfico ha permitido diferenciar depósitos tobáceos encajados correspondientes a dos unidades diferentes (Figs. 3 y 4). Se levantaron dos perfiles estratigráficos en la inferior (Mirador y Cascada) y otros dos en la superior (Convento y Central) (Figs. 2 y 5), que se muestrearon para posicionarlos cronológicamente mediante Racemización de Aminoácidos (RA) y <sup>14</sup>C. La RA se efectuó en el Laboratorio de Estratigrafía Biomolecular de la ETSIM (Madrid) a partir de los valores D/L del ácido aspártico y glutámico en ostrácodos (Ortiz *et al.*, 2009). Las muestras se analizaron en un cromatógrafo de líquidos HPLC-1000 con detector de fluorescencia. El análisis de <sup>14</sup>C mediante técnica AMS se llevó a cabo en la University of Zurich-Federal Institute of Technology. La posición de las muestras datadas aparece en la figura 5.

### Resultados

#### Unidad tobácea superior

Presenta un extenso afloramiento en la margen derecha del río Ebrón (Fig. 2). Tiene una geometría de cuña con un notable incremento de la potencia aguas debajo de Castielfabib (Fig. 4).

Perfil Mirador (Fig. 5). Su potencia es de ≈ 77 m. En la parte inferior del perfil pre-

dominan arenas carbonatadas y calizas bioclásticas y fitoclásticas, depositadas en represamientos extensos. Incluyen intercalaciones detríticas con intra y extraclastos. Hacia el techo las facies de represamiento alternan con las de briofitas y de tallos colgantes, típicas de barrera-cascada.

Se han datado 7 muestras mediante RA (Tabla I). En la muestra MIR-5 se ha corregido la relación D/L ya que los ostrácodos del género *Candona* racemizan más lentamente que los del género *Herpetocypris*, de manera que la edad indicada entre paréntesis sería la correcta. La muestra MIR-8 presenta cantidades de L-serina significativas, lo que indica una posible contaminación por aminoácidos actuales y, por tanto, la edad sería algo más antigua de la indicada. Las muestras MIR-2A y MIR-7 presentan una edad similar, ≈ 490 ka, más antigua que el resto. En estas muestras aparecen ostrácodos de la especie *Cyprideis torosa*, que habita en aguas

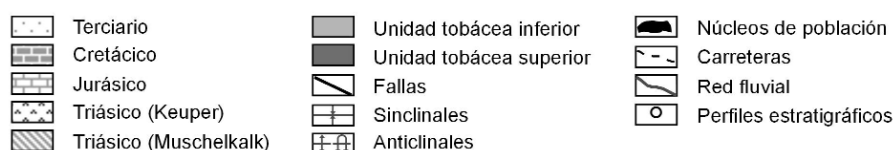
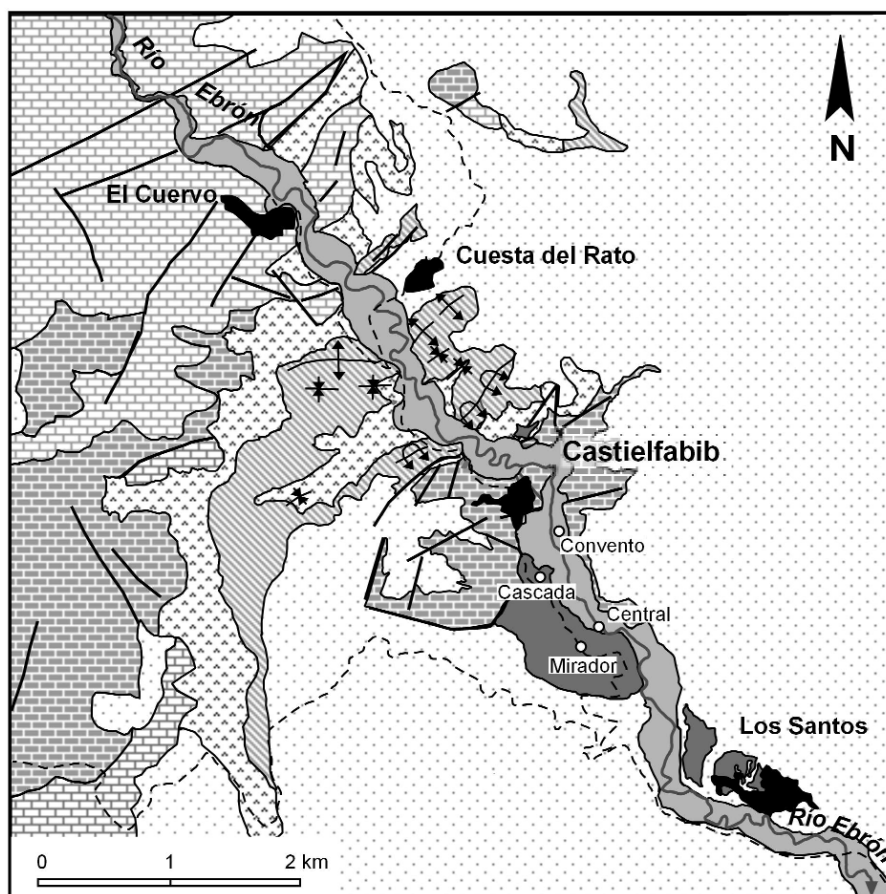


Fig. 2.- Mapa geológico y posición de los perfiles estratigráficos.

Fig. 2.- Geologic map and location of studied stratigraphic sections.

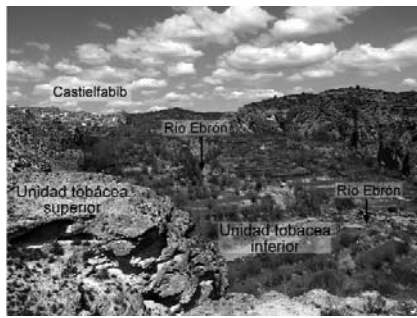


Fig. 3.- Relaciones de campo entre unidades tobáceas en Castielfabib.

Fig. 3.- Field relationships between tufa units near Castielfabib.

de un amplio rango de salinidad y típicamente sulfatadas o cloruradas. Esto sugiere que parte de los depósitos muestreados tendría su origen en la destrucción de tobas anteriores, localizadas aguas arriba, y alimentadas por aportes asociados a la Facies Keuper. En definitiva, la edad más razonable parece situarse entre los 186 ka en la base del perfil y 152 ka en el tramo intermedio.

Perfil Cascada (Fig. 5). Su espesor es de ≈ 20 m, si bien no se ha observado el contacto sobre el sustrato. Dominan las facies de briofitas y estromatolitos en intervalos con fuerte inclinación, originados en dispositivos de barrera-cascada.

Se han datado mediante RA dos muestras del perfil y otras dos del techo de un depósito equivalente a este perfil (LC-A y LC-B) (Tabla I). Las muestras LC-4.4 y LC-B han sido corregidas por los mismos motivos que la muestra MIR-5. Por tanto, la edad hay que situarla entre 150 y 98 ka.

**Unidad tobácea inferior**

Aparece encajada en la anterior y presenta mayor continuidad cartográfica (Fig. 2). Cerca de Castielfabib presenta una superficie topográfica poco inclinada que se resuelve aguas abajo con una rampa de mayor pendiente (Fig. 4). El grado de encajamiento res-

Perfil	Muestra	Especie	Análisis	D/L Asp	D/L Glu	Edad (ka)
Convento	CON-8	<i>H. reptans</i>	5	0,189 ± 0,005	0,064 ± 0,001	16,8 ± 1,8
	CON-2	<i>H. reptans</i> <i>C. neglecta</i> <i>I. gibba</i>	5	0,173 ± 0,011	0,049 ± 0,001	10,3 ± 3,1
Central	CN-5	<i>H. reptans</i>	2	0,181 ± 0,005	0,061 ± 0,002	14,6 ± 1,3
	CN-1	<i>H. reptans</i>	7	0,199 ± 0,008	0,063 ± 0,002	19,1 ± 2,5
Cascada	LC-A	<i>H. reptans</i>	7	0,376 ± 0,029	0,164 ± 0,016	150,5 ± 25,7
	LC-B	<i>C. neglecta</i>	7	0,344 ± 0,005 (0,394 ± 0,020)	0,112 ± 0,003 (0,122 ± 0,003)	108,2 ± 7,8 (149,9 ± 18,3)
	LC-4.4	<i>C. neglecta</i>	7	0,315 ± 0,010 (0,365 ± 0,010)	0,011 ± 0,024 (0,012 ± 0,024)	92,1 ± 12,0 (127,9 ± 11,7)
	LC-4.3	<i>H. reptans</i> <i>C. neglecta</i>	7	0,338 ± 0,013	0,107 ± 0,001	98,5 ± 12,2
	MIR-11	<i>H. reptans</i>	7	0,384 ± 0,001	0,152 ± 0,006	152,0 ± 4,3
Mirador	MIR-8	<i>C. neglecta</i>	7	0,359 ± 0,003	0,112 ± 0,003	>114,2 ± 12,5
	MIR-7	<i>C. neglecta</i> <i>C. torosa</i>	7	0,608 ± 0,033	0,350 ± 0,022	488,8 ± 82,5
	MIR-5	<i>H. reptans</i> <i>C. neglecta</i>	7	0,350 ± 0,016 (0,380 ± 0,027)	0,137 ± 0,014 (0,142 ± 0,014)	132,7 ± 18,0 (152,9 ± 21,3)
	MIR-3	<i>H. reptans</i>	7	0,413 ± 0,009	0,174 ± 0,018	183,5 ± 18,0
	MIR-2A	<i>C. torosa</i>	7	0,614 ± 0,022	0,353 ± 0,041	493,7 ± 62,6
	MIR-1	<i>H. reptans</i>	7	0,407 ± 0,038	0,168 ± 0,033	186,5 ± 34,0

Tabla I.- Edades de racemización de aminoácidos.

Table I. Chronological data from Aminoacid Racemization.

Perfil	Muestra	Código Laboratorio	Edad radiocarbono (años BP)	Edad calibrada (2σ años BP)
Convento	CON-9	UZ-5948/ETH-42057	2030 ± 35	2067
	CON-7	UZ-5947/ETH-42056	2370 ± 35	2336
	CON-1	UZ-5946/ETH-42055	5275 ± 35	5983
Central	CN-4	UZ-5950/ETH-42059	2785 ± 35	2788
	CN-2	UZ-5949/ETH-42058	3195 ± 35	3360

Tabla II.- Edades de <sup>14</sup>C.

Table II. Chronological data from <sup>14</sup>C.

pecto a la unidad superior aumenta progresivamente aguas abajo de Castielfabib (Fig. 4).

Perfil Convento (Fig. 5). Corresponde a los 25 m superiores del afloramiento, si bien por debajo quedan otros 25 m de difícil acceso. Las facies dominantes (arenas y limos carbonatados y calizas de briofitas) responden a represamientos entre barrera. También se encuentran facies palustres.

Dos muestras datadas mediante RA (Tabla I) indican edades de 10,3 y 16,8 ka, invertidas respecto a su posición estratigráfica. Sin embargo, las edades calibradas de <sup>14</sup>C de otras tres muestras son 5983, 2336 y 2067 años BP (Tabla II). A partir de éstas,

se han estimado tasas de sedimentación tobácea entre 0,5 y 2,5 cm/año.

Perfil Central (Fig. 5). Su potencia es de ≈ 25 m. La estructura de los depósitos presenta una suave inclinación hacia el SO. Dominan las facies de represamiento y palustres en relación con barrera-cascadas y pequeños saltos. Se reconocen facies de estromatolitos formados en tramos con velocidad alta.

Se han obtenido dos edades de RA (19,1 y 14,6 ka) (Tabla I) y otras dos calibradas de <sup>14</sup>C (3360 y 2788 años BP) (Tabla II).

**Interpretación y discusión**

La nucleación y posterior desarrollo de las dos unidades tobáceas coincide con un cambio en el gradiente del perfil longitudinal del río, controlado por el contacto entre rocas carbonatadas cretácicas resistentes y detríticas terciarias más lábiles. Este aumento en el gradiente facilitaría la desgasificación mecánica e induciría la precipitación de la calcita. Esta circunstancia estaría favorecida, además, por la elevada concentración de Ca<sup>2+</sup> proveniente de las facies margoso-evaporíticas del Keuper en la cuenca de drenaje (Fig. 2).

La unidad tobácea superior responde, bá-

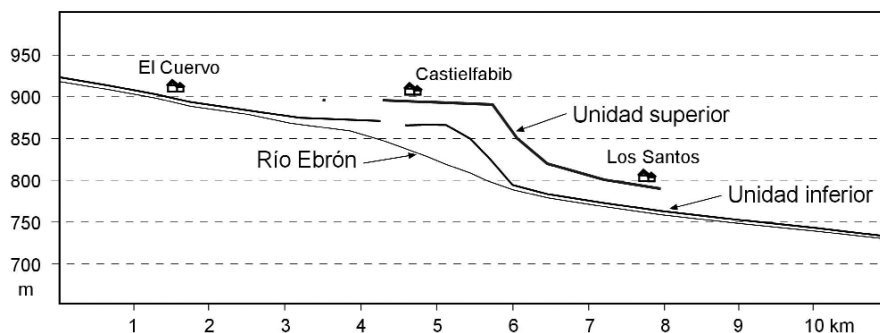


Fig. 4.- Perfiles longitudinales del río, unidad tobácea superior y unidad tobácea inferior.

Fig. 4.- Longitudinal profiles of the River Ebrón and the upper and lower tufa units.

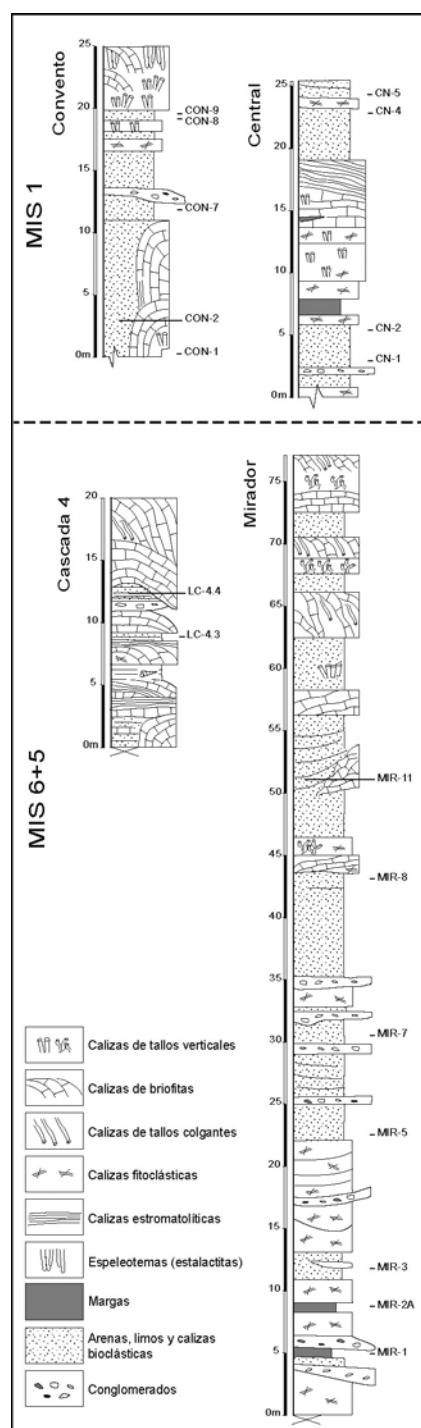


Fig. 5.- Perfiles estratigráficos sintéticos.

Fig. 5.- Summarized stratigraphic sections.

sicamente, a un modelo fluvial de barrera-represamiento o "stepped systems" (Pedley *et al.*, 1990; Arenas *et al.*, 2010a), que incrementaría las irregularidades en el perfil longitudinal inicial. Esta unidad se desarrolló entre los 180 y 100 ka, de manera que coincide con los estadios isotópicos marinos (MIS) 6 y 5 (Shackleton y Opdyke, 1973). La asociación entre el MIS-5, de características interglaciares, y el desarrollo de tobas en la Cordillera Ibérica es bastante frecuente (Martí-

nez-Tudela *et al.*, 1986; Sancho *et al.*, 2010; Arenas *et al.*, 2010b; Vázquez-Urbez *et al.*, 2011a, b). La existencia de tobas durante el MIS 6, de rasgos glaciares a escala global, indica que las condiciones ambientales en áreas de latitudes bajas no debieron de ser muy desfavorables (Sancho *et al.*, 2010; Arenas *et al.*, 2010b). Esta unidad incluye sedimentos retrabajados de otros edificios, que en la actualidad no se reconocen, cuya edad de 490 ka los situaría en el MIS 13 (Shackleton y Opdyke, 1973).

La unidad inferior aparece encajada respecto a la superior. Es posible diferenciar un ambiente fluvial con represamientos, aguas arriba de la ruptura en el gradiente del perfil longitudinal, y un dispositivo de rampas fluviales con pequeños saltos aguas abajo. Su desarrollo se inicia antes de 6 ka y se mantiene hasta hace menos de 2 ka. Las tasas de sedimentación estimadas oscilan entre ca 0,5 y 2,5 cm/año. Son similares a las observadas en sistemas funcionales (Vázquez-Urbez *et al.*, 2010, 2011a).

La falta de precisión y los desajustes cronológicos observados en las edades de RA se deben a que se analizan 7 alícuotas de cada muestra, de manera que se admite un coeficiente de variación en el resultado final del 20% (Murray-Vallace, 2000). Por otro lado, las diferencias entre la edad de <sup>14</sup>C y de RA en las tobas holocenas se deben a que el algoritmo de cálculo para las relaciones D/L de ostrácodos se ha calibrado con muestras de mayor edad.

## Conclusiones

El estudio de las tobas cuaternarias del río Ebrón en el entorno de Castielfabib conduce a las siguientes conclusiones preliminares:

Existen dos unidades fluviales tobáceas que conforman un sistema de terrazas tipo *nested fill*. Su desarrollo se asocia con un incremento en el gradiente del perfil longitudinal del río.

La unidad tobácea superior se formó durante los MIS 6 y 5 (entre 180 y 100 ka), de características glaciares e interglaciares respectivamente, confirmando que las condiciones ambientales no fueron tan desfavorables durante el MIS 6. La unidad tobácea inferior se desarrolló, al menos, entre 6 y 2 ka (MIS 1).

El dispositivo sedimentario corresponde a sistemas fluviales de barrera-cascada y represamiento y de rampas con pequeños sal-

tos. Para la unidad holocena, la tasa de sedimentación tobácea alcanza los 2,5 cm/año. Estos datos confirman la elevada eficacia sedimentaria de estos sistemas fluviales.

## Agradecimientos

Este trabajo es una contribución de los Proyectos CGL2006-05063/BTE, CGL2009-09216/CLI y CGL2009-10455/BTE, financiados por el MICINN (y anteriores designaciones) y FEDER, y de los Grupos *Análisis de Cuenclas Sedimentarias Continentales* y *PaleoQ* de la Unizar-Gobierno de Aragón. Los autores agradecen los comentarios del Dr. Ildefonso Armenteros y de un revisor anónimo.

## Referencias

- Abril, J. y Rubio, J. (1978). *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja 612 (Ademuz)*. IGME.
- Arenas, C., Vázquez, M., Pardo, G. y Sancho, C. (2010a). En: *Carbonates in Continental Settings* (A.M. Alonso y L.H. Tanner, Eds.). *Developments in Sedimentology*, Elsevier, 61, 133-175.
- Arenas, C., Sancho, C., Vázquez-Urbez, M., Pardo, G., Hellstrom, J., Ortiz, J.E., Torres, T., Osácar, C. y Auqué, L. (2010b). *Geogaceta*, 49, 51-54.
- Durán, J.J. (1989). En: *El karst en España* (J.J. Durán y J. Martínez, Eds.). Monografía Sociedad Española de Geomorfología, 4, 243-256.
- Martínez-Tudela, A., Robles, F., Santiesteban, C., Grün, R. y Hentzsch, B. (1986). En: *Quaternary Climate in Western Mediterranean* (F. López Vera, Ed.), U.A.M., 307-324.
- Murray-Vallace, C. (2000). En: *Perspectives in Amino Acid and Protein Geochemistry* (G.A. Goodfriend, M.J. Collins, M.L. Fogel, S.A. Macko y J.F. Wehmiller, Eds.). Oxford University Press, 279-300.
- Ortiz, J.A., Torres, T., Delgado, A., Reyes, E. y Díaz-Bautista, A. (2009). *Quaternary Science Reviews*, 28, 947-963.
- Pedley, H.M. (1990). *Sedimentary Geology*, 68, 143-154.
- Sancho, C., Arenas, C., Pardo, G., Vázquez, M., Hellstrom, J., Ortiz, J.E., Torres, T., Rhodes, E., Osácar, C. y Auqué, L. (2010). *Geogaceta*, 48, 31-34.
- Shackleton, N.J. y Opdyke, N.D. (1973). *Quaternary Research*, 3, 39-55.
- Vázquez-Urbez, M., Arenas, C., Sancho, C., Osácar, M.C., Auqué, L. y Pardo, G. (2010). *International Journal of Earth Sciences*, 99, 1027-1049.
- Vázquez-Urbez, M., Arenas, C., Sancho, C., Auqué, L., Osácar, C. y Pardo, G. (2011a). En: C. Arenas, L. Pomar y F. Colombo (Eds.). *Post-Meeting Field trips 28th IAS Meeting, Zaragoza. Geo-Guías*, 8, 241-274.
- Vázquez-Urbez, M., Pardo, G., Arenas, C. y Sancho, C. (2011b). *Geomorphology*, 125, 1-10.