

# Ensayo cronológico de las tobas cuaternarias del río Piedra (Cordillera Ibérica)

## *Preliminary chronology of the Quaternary tufas from the Piedra River (Iberian Range)*

Carlos Sancho <sup>(1)</sup>, Concha Arenas <sup>(1)</sup>, Gonzalo Pardo <sup>(1)</sup>, Marta Vázquez <sup>(1)</sup>, John Hellstrom <sup>(2)</sup>, José Eugenio Ortiz <sup>(3)</sup>, Trinidad Torres <sup>(3)</sup>, Edward Rhodes <sup>(4)</sup>, María Cinta Osácar <sup>(1)</sup> y Luis Auqué <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza, Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza. csancho@unizar.es, carenas@unizar.es; gpardo@unizar.es; m.vazquez.urbez@gmail.com; cinta@unizar.es; lauque@unizar.es

<sup>(2)</sup> School of Earth Sciences. The University of Melbourne. Victoria 3010, Melbourne, Australia. john@ionium.net

<sup>(3)</sup> Laboratorio de Estratigrafía Biomolecular, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, Ríos Rosas 21, 28003 Madrid. joseeugenio.ortiz@upm.es; trinidad.torres@upm.es

<sup>(4)</sup> Department of Earth and Space Science. University of California. 595 Charles Young Drive East. Los Angeles, CA 90095-1567, USA. ed64773@ucla.edu

### ABSTRACT

*A preliminary absolute chronology for the Quaternary calcareous tufa deposits from the Piedra River valley (Iberian Range, NE Spain) has been carried out based on U series dating, Amino Acid Racemization, Optically Stimulated Luminescence and Radiocarbon dating techniques. Although the age uncertainties of the obtained dates are substantial, four stages of tufa accumulation correlated to MIS 9, 7-6, 5 and 1 can be distinguished. The most favourable period for tufa accumulation is located around the isotopic stage 7.*

**Key words:** Quaternary tufas, dating techniques, Piedra River, MIS 7, Iberian Range.

*Geogaceta*, 48 (2010), 31-34  
ISSN: 0213-683X

Fecha de recepción: 15 de febrero de 2010  
Fecha de revisión: 21 de abril de 2010  
Fecha de aceptación: 28 de mayo de 2010

### Introducción

La formación de tobas (sedimentos carbonatados formados a partir de agua meteórica) está asociada con la dinámica de los sistemas kársticos controlada, a su vez, por las condiciones paleoambientales (Magnin *et al.*, 1991). Como consecuencia, las tobas constituyen excelentes paleoindicadores cuaternarios (Henning *et al.*, 1983), si bien la utilidad paleoclimática de estos depósitos requiere un control cronológico preciso. La edad de las tobas puede obtenerse mediante diferentes métodos de datación absoluta, siendo las series de U/Th y el radiocarbono los más utilizados (Viles y Goudie, 1990), aunque también se ha empleado racemización de aminoácidos (Torres *et al.*, 2005).

En toda la red fluvial que drena la Cordillera Ibérica son frecuentes las formaciones tobáceas cuaternarias. Concretamente, uno de los sistemas fluviales tobáceos más espectaculares corresponde al río Piedra. En el entorno del Monasterio de Piedra (provincia de Zaragoza) (Fig. 1) los afloramientos de tobas presentan un amplio reparto espacial y un espesor importante (Arenas *et al.*, 2004; Vázquez-Urbez, 2008). El desarrollo corresponde, en general, a un sistema flu-

vial escalonado (sensu Arenas *et al.*, 2010) con desarrollo de dispositivos de barrera-represamiento, de manera que la posición de las barreras coincide con discontinuidades importantes en el perfil longitudinal del río.

Este trabajo constituye un intento de situar cronológicamente las tobas calizas cuaternarias del río Piedra, en el entorno del Monasterio, mediante la utilización combinada de diferentes métodos de datación. De manera adicional, se realiza una valoración del significado paleoclimático de los resultados obtenidos.

### Marco geológico

Geológicamente, el área del Monasterio de Piedra se sitúa en la Rama Castellana de la Cordillera Ibérica. En el entorno de este Parque Natural afloran calizas y dolomías del Jurásico, arenas del Cretácico inferior y, principalmente, calizas y dolomías del Cretácico superior. Estas unidades mesozoicas están afectadas por pliegues y fracturas de orientación ibérica. Sobre ellas se apoyan discordantemente conglomerados, areniscas y lutitas miocenas rellenando cubetas tectónicas limitadas por fracturas de orientación NO-SE y NE-SO. Este arma-

zón litoestructural se encuentra afectado por intensos procesos de aplanamiento que culminan en el Plioceno superior. Durante el Cuaternario, el encajamiento del río Piedra configuró hoces y gargantas donde afloran los principales edificios tobáceos (Fig. 1).

### Material y metodología

Tras un análisis cartográfico y estratigráfico previo (Vázquez-Urbez, 2008), se seleccionaron varios afloramientos (Arco de la Yedra, La Requiñada, Los Bancales, Los Arcos 1, Ermita de La Blanca, Monasterio de Piedra, Cascada de la Cola de Caballo y Piscifactoría) (Fig. 1) para determinar la edad absoluta. Las dataciones basadas en las series de desequilibrio de U/Th se han realizado mediante análisis por espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS) (Hellstrom, 2003) en la University of Melbourne. Con análisis de racemización de aminoácidos se han calculado las edades a partir de los valores de la relación entre configuraciones D y L del ácido aspártico y glutámico en ostrácodos y aplicando los algoritmos establecidos por el Laboratorio de Estratigrafía Biomolecular de la ETSIM (Madrid) (Ortiz *et al.*, 2004). Las mues-

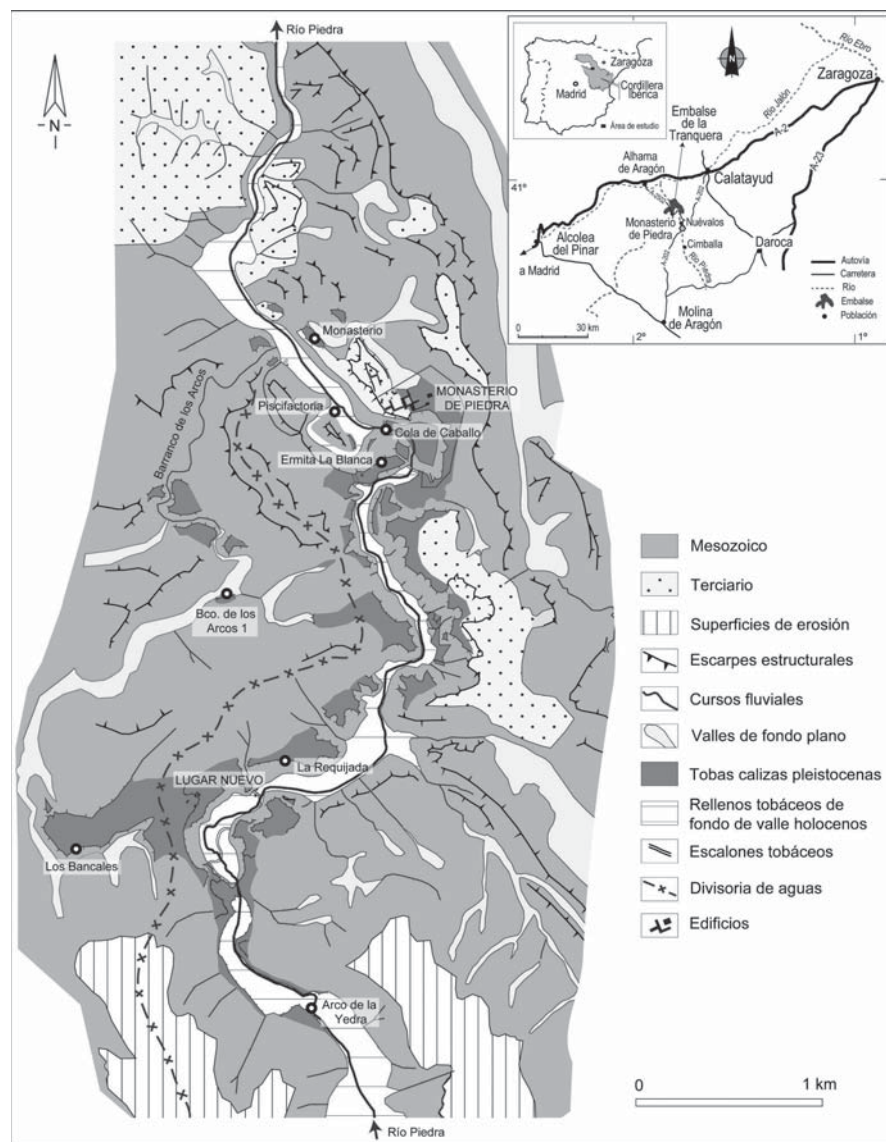


Fig. 1.- Área de estudio y cartografía de los depósitos tobáceos.

Fig. 1.- Study area and mapping of the tuffaceous deposits.

tras se analizaron en un cromatógrafo de líquidos de altas prestaciones HPLC-1100 con detector de fluorescencia. También se han datado sedimentos arenosos mediante Luminiscencia Ópticamente Estimulada (OSL). La tasa de dosis se obtuvo en campo y la dosis fue determinada a partir de la regeneración de la señal sobre una alícuota simple (Murray y Wintle, 2000) en la Australian National University. El análisis de  $^{14}\text{C}$  mediante técnica AMS se ha realizado en el Laboratorio de Radiocarbono de la University of Zurich y en el Swiss Federal Institute of Technology.

## Resultados

El estudio de los afloramientos de tobas calizas localizados en el valle del río Piedra permite diferenciar varias eta-

pas de desarrollo durante el Pleistoceno (Vázquez-Urbez, 2008). Concretamente, en La Requiñada se conserva un edificio tobáceo de casi 75 m de espesor en el que se reconocen dos etapas de crecimiento superpuestas, separadas por una profunda incisión. Los depósitos de La Requiñada conectan físicamente con los de Los Bancales a través de la plataforma tobácea de Lugar Nuevo (Fig. 1), mientras que los de Los Arcos 1, Ermita de La Blanca y Monasterio de Piedra están cartográficamente desconectados. Por otro lado, se ha detectado también otra pulsación tobácea más reciente en el fondo del valle. De cara a establecer una diferenciación cronológica de estas etapas de formación de tobas se utilizaron, en un primer momento, las series de desequilibrio de U/Th como método de datación. Debido a las imprecisiones derivadas de

la geoquímica del sistema, se utilizaron posteriormente racemización de aminoácidos y OSL. Para los edificios más recientes se usó radiocarbono.

Las muestras analizadas mediante U/Th (Tabla I) presentaron contaminación inicial de Th detrítico. Sin embargo, es posible realizar una corrección de las edades iniciales a partir de un valor estandarizado de  $3,5 \pm 3,0$  de la relación  $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$  para estos depósitos tobáceos. La edad del afloramiento del Monasterio de Piedra (muestra MON-Top) es  $341 \pm 16$  ka. En los depósitos de La Requiñada la edad de la muestra RS-2.2, correspondiente a la segunda etapa de crecimiento, es  $175 \pm 23$  ka. Desafortunadamente, algunas muestras correspondientes a la primera etapa presentan signos de pérdida de U por alteración. El techo del afloramiento de la Ermita de la Blanca (muestra ER-15) ofrece una edad de  $80 \pm 1$  ka. Por último, en una muestra del Barranco de los Arcos (BLA-1.1) se han datado dos alícuotas (a y b) obteniendo edades de  $255 \pm 48$  y  $229 \pm 35$  ka. Todas las edades se presentan con un error de 2-sigma. Debido a la contaminación inicial de Th es necesario considerar las edades propuestas como máximas.

Por otro lado, tres muestras que contienen ejemplares de dos especies de ostrácodos (*Herpetocypris reptans* e *Ilyocypris bradyi*), han sido datadas mediante racemización de aminoácidos. Las edades obtenidas para dos muestras del afloramiento de Los Bancales son  $233 \pm 49$  (muestra MP-A-02) y  $167 \pm 37$  (muestra MP-A-01) ka. Además, la edad calculada de la muestra MP-A-05, correspondiente al afloramiento de La Requiñada, es  $148 \pm 17$  ka (Tabla I).

La OSL se ha aplicado a dos muestras extraídas de un canal arenoso del edificio de La Requiñada. Las edades obtenidas son  $231 \pm 50$  (muestra MP05-04) y  $199 \pm 34$  (muestra MP05-06) ka (Tabla I). El valor de la dosis equivalente corresponde a la media de seis alícuotas. Aunque los granos de cuarzo de estas muestras presentan una alta sensibilidad a la luminiscencia, se encuentran próximos a la saturación, por lo que es necesario considerar las edades propuestas como mínimas. Las edades se presentan con un error de 1-sigma.

Finalmente, en el fondo del valle y en saltos de agua del río Piedra aparecen con frecuencia acumulaciones tobáceas recientes. En el Arco de la Yedra, la muestra MP-3 arroja una edad de  $2680 \pm 50$  años BP mediante radiocarbono (muestra MP-3). Las tobas del fondo del valle en la Piscifactoría del Monasterio tienen una

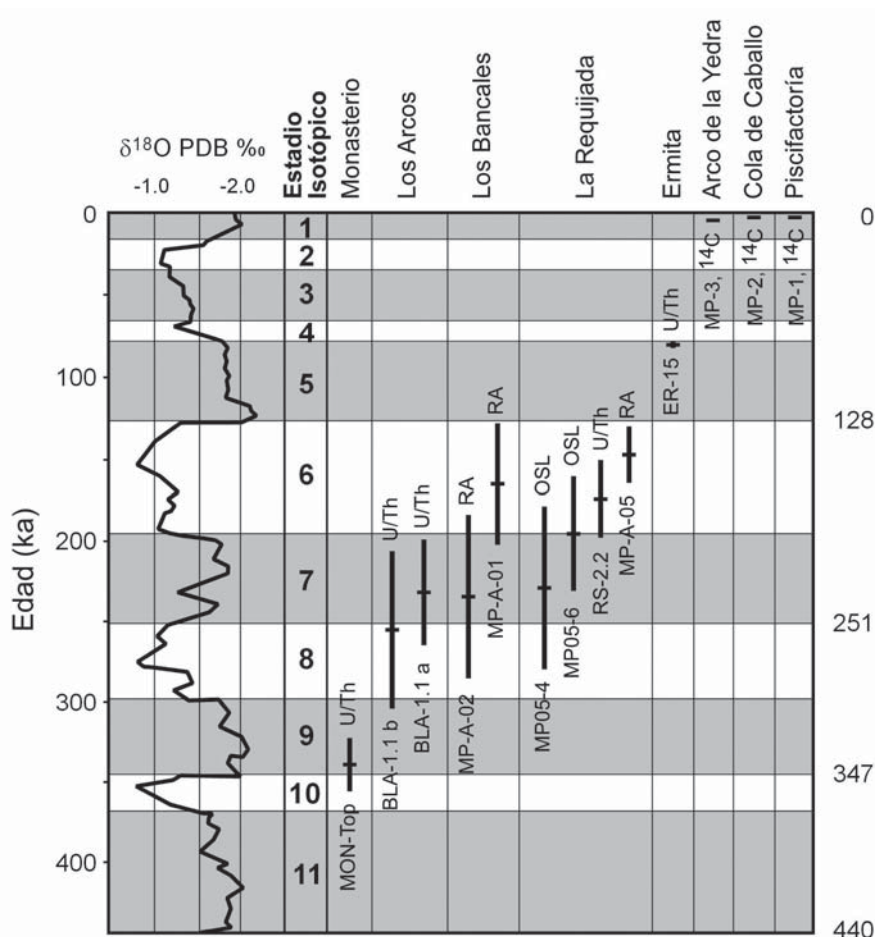


Fig. 2.- Distribución cronológica de las muestras datadas y relación con los estadios isotópicos marinos correspondientes al sondeo V28-238 (Shackleton y Opydyke, 1973). Se indican las siglas de las muestras recogidas en la tabla I y el método de datación utilizado.

Fig. 2.- Chronological distribution of dated samples and relation to the marine isotope stages from core V28-238 (Shackleton y Opydyke, 1973). Samples from table I with the used dating method are shown.

edad de 760±45 BP (muestra MP-1). Además, las tobas de la Cascada de la Cola de Caballo tienen una edad de 945±45 BP (muestra MP-2) (Tabla I).

**Discusión**

Los resultados de los diferentes métodos de datación absoluta utilizados en las tobas calizas asociadas con el río Piedra plantean un grado de incertidumbre importante. En este sentido, el abanico de edades obtenido apunta más bien hacia un modelo cronológico aproximado. No obstante, los resultados permiten algunas asignaciones cronológicas con referencia a los estadios isotópicos marinos (MIS) (Fig. 2):

a) Aunque sólo se dispone de una muestra datada (341±16 ka), el desarrollo del afloramiento localizado al norte del propio Monasterio de Piedra parece que tuvo lugar durante el MIS 9.

b) La fase principal de actividad tobácea está representada por los edificios de La Requijada, Los Bancales y el Barranco de los Arcos. Las edades oscilan entre 255±48 y 148±17 ka. Esta etapa incluye todo el MIS 7 y podría prolongarse hasta el MIS 6.

c) El techo del afloramiento de la Ermita de La Blanca tiene una edad de 80±1 ka, que representa el final del MIS 5.

d) Las formaciones tobáceas localizadas en el fondo del valle y en cascadas del río Piedra son claramente holocenas (2680±50, 945±45 y 760±45) (MIS 1).

A la vista de estos resultados es posible proponer la correlación entre los depósitos estudiados que se plasma en la figura 3. Se recoge, en ella, la hipótesis de una equivalencia temporal entre el edificio de Los Arcos 1 y la primera etapa de sedimentación tobácea en La Requijada, con lo que se evidencia la necesidad de efectuar nuevos muestreos en ambos edificios.

En general, durante el Cuaternario, los periodos de acumulación de tobas se relacionan con fases templadas y húmedas del Pleistoceno superior y Holoceno que se corresponden con periodos interglaciares (estadios isotópicos impares). No obstante, también es posible destacar la formación de tobas calizas durante el MIS 6, de condiciones glaciares a escala global. Algunas de estas fases de sedimentación tobácea se han detectado a escala regional en la Cordillera Ibérica.

**Conclusiones**

A pesar de las imprecisiones cronológicas existentes, parece evidente que las etapas diferenciadas en el sector analizado del Sistema Ibérico coinciden, a grandes rasgos, con picos de frecuencia de acumulación de tobas a escala peninsular (Durán, 1989) y en áreas de ambiente mediterráneo (Henning *et al.*, 1983). Estas pulsaciones favorables para el desarrollo tobáceo se correlacionan con los MIS 9, 7, 5 y 1, a nivel global (Shackleton y Opydyke, 1973), de características interglaciares cálidas. La etapa

Muestra	U/Th				Edad ka	Edad corregida ka
	U238 ng/g	230Th/238U	234U/238U	232Th/238U		
ER-15	414	1,1894	2,1505	0,0053	64,99	79,67±0,95
RS-2.2	269	1,6544	1,7869	0,1264	199,04	174,71±22,57
BLA-1.1 a	295	1,6395	1,6201	0,1624	283,11	229,32±35
BLA-1.1 b	358	1,7314	1,6456	0,2206	268,87	254,73±48,46
MON-Top	343	1,4929	1,4150	0,0345	424,79	340,72±15,64

Luminiscencia Ópticamente Estimulada			
Muestra	Dosis Gy	Tasa de dosis mGy/a	Edad ka
MP05-06	263±43	1,32±0,06	199±34
MP05-04	369±77	1,60±0,08	231±50

Racemización de aminoácidos	
Muestra	Edad ka
MP-A-05	148±17
MP-A-01	167±37
MP-A-02	233±49

Radiocarbono		
Muestra	Edad años BP	Edad calibrada
MP-3 (carbón)	2680±50	851±39 BC
MP-2 (gasterópodos)	945±45	1099±51 AD
MP-1 (carbón)	760±45	1257±32 AD

Tabla I.- Datos cronológicos.

Table I.- Chronological data.

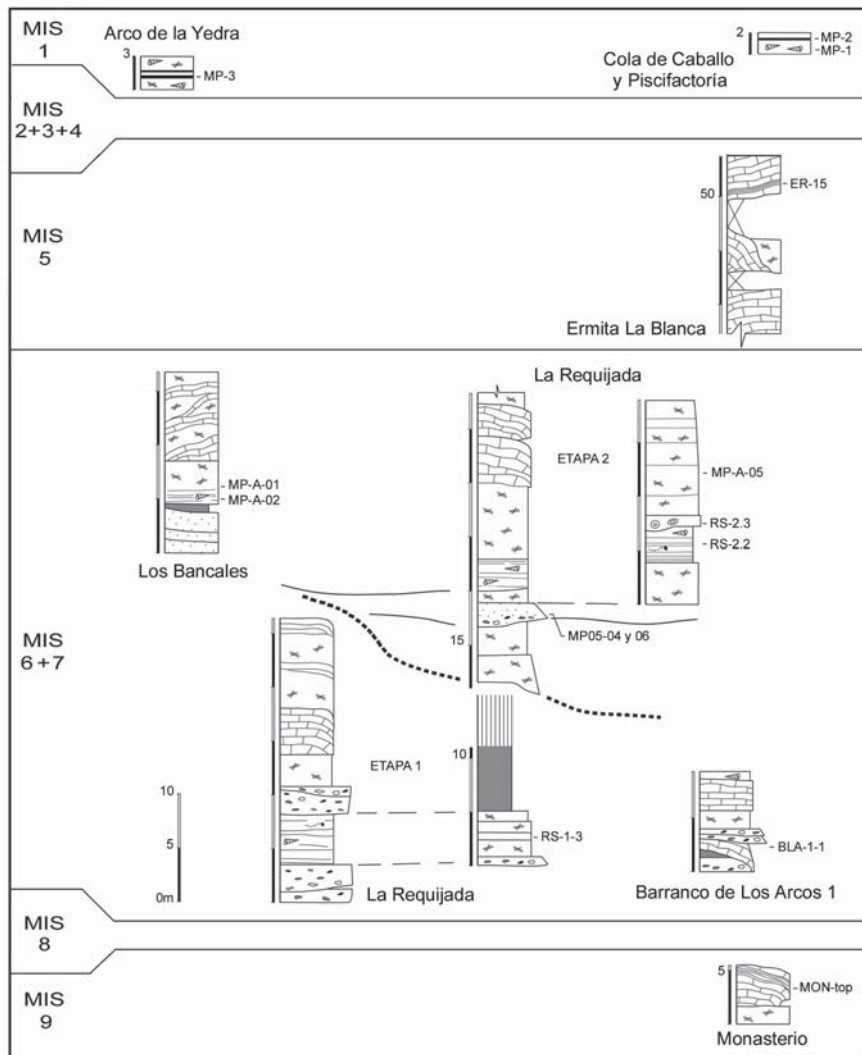


Fig. 3.- Correlación de perfiles estratigráficos y posición de las muestras datadas. El rayado vertical en RS-1 señala una laguna (vacío erosional) en la sucesión.

Fig. 3.- Correlated stratigraphic profiles and location of the dated samples. Vertical lines in RS-1 indicate an erosive hiatus.

cen los comentarios aportados por J.J. Durán y B. Valero.

**Referencias**

Arenas, C., Auqué, L.F., Elías, M.J., Longares, L.A., Osácar, M.C., Pardo, G., Peña, J.L., Sancho, C. y Vázquez, M. (2004). En: *Itinerarios Geológicos por Aragón* (F. Colombo, C.L. Liesa, G. Meléndez, A. Pocoví, C. Sancho y A.R. Soria, Eds.). Geo-Guías, 1, 11-32. Sociedad Geológica de España.

Arenas, C., Vázquez, M., Pardo, G. y Sancho, C. (2010). En: *Carbonates in Continental Settings* (A.M. Alonso y L.H. Tanner, Eds.). *Developments in Sedimentology*, 61, 133-175. Elsevier.

Durán, J.J. (1989). En: *El karst en España* (J.J. Durán y J. Martínez, Eds.). *Monografía Sociedad Española de Geomorfología*, 4, 243-256.

Hellstrom, J. (2003). *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 18, 1346-1351.

Henning, G.J., Grun, R. y Brunnacker, K. (1983). *Quaternary Research*, 20, 1-29.

Magnin, F., Guendon, J.L., Vaudour, J. y Martin, Ph. (1991). *Bulletin de la Société Géologique de France*, 162, 585-594.

Murray, A.S. y Wintle, A.G. (2000). *Radiation Measurements*, 32, 57-73.

Ortiz, J.E., Torres, T., Julià, R., Delgado, A., Llamas, F.J., Soler, V. y Delgado, J. (2004). *Quaternary Science Reviews*, 23, 717-730.

Shackleton, N.J. y Opdyke, N.D. (1973). *Quaternary Research*, 3, 39-55.

Torres, T., Ortiz, J.E., García de la Morena, M.A., Llamas, F.J. y Goodfriend, G. (2005). *Quaternary International* 135, 21-33.

Vázquez-Urbez, M. (2008). *Caracterización y significado ambiental de depósitos tobáceos neógenos en la Cuenca del Ebro. Comparación con ambientes cuaternarios*. Tesis Doctoral, Univ. de Zaragoza, 476 p. <http://zaguan.unizar.es/record/2057>.

Viles, H.A. y Goudie, A.S. (1990). *Progress in Physical Geography*, 14, 19-41.

principal correspondiente al MIS 7 se adentraría hasta el MIS 6, de manera que se plantea la hipótesis de que las condiciones ambientales a escala regional durante este estadio isotópico fueran más favorables que a nivel global. En cualquier caso, resulta necesario seguir insistiendo en la propuesta de un modelo cronológico preciso para las formaciones tobáceas del valle del río Piedra.

**Agradecimientos**

Este trabajo constituye una contribución de los Proyectos REN2002-03575/CLI y CGL2006-05063/BTE financiados por el Ministerio de Ciencia y Tecnología y fondos FEDER y de los Grupos de Investigación Análisis de Cuenas Sedimentarias Continentales y PaleoQ del Gobierno de Aragón-Universidad de Zaragoza. Los autores agrade-