

# Las tobas cuaternarias del río Añamaza (provincia de Soria, Cordillera Ibérica): aproximación cronológica

*Quaternary tufas of the River Añamaza (NW Iberian Ranges, Spain): a chronological approach*

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

<sup>(1)</sup> Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza, Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza. carenas@unizar.es; csancho@unizar.es

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

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

## ABSTRACT

High-gradient, stepped fluvial tufa systems with dammed areas existed in the River Añamaza valley (NW Iberian Ranges, Spain) during Quaternary times. Single deposits range from a few meters to about 70 m thick, in which prograding-aggrading wedges separated by erosional surfaces exist. Several episodes of tufa formation have been distinguished by means of U-series, Amino-acid racemization and radiocarbon techniques. These correlate to MIS 8, 7, 5 and 1. The presence of MIS 9 is uncertain, as chronological data may also correspond to older stages. Most tufas in this area formed in MIS 5. Distinct tufa episodes can also be distinguished in the Holocene. These are the first chronological data presented for one of the northernmost Quaternary tufa systems in the Iberian Ranges.

**Key words:** Quaternary tufas, Añamaza River, chronology, Northern Iberian Ranges.

Geogaceta, 49 (2010), 51-54  
ISSN: 2173-6545

Fecha de recepción: 15 de julio de 2010  
Fecha de revisión: 3 de noviembre de 2010  
Fecha de aceptación: 26 de noviembre de 2010

## Introducción

Las tobas calizas constituyen registros sedimentarios con potencial paleoclimático. En general, son indicadores de condiciones interglaciares cálidas durante el Cuaternario, tanto a escala peninsular (Durán, 1989), como a nivel global (Henning *et al.*, 1983). Su utilización como archivos paleambientales se basa en diversos indicadores (sedimentológicos, geoquímicos, paleontológicos, etc.) y requiere, necesariamente, de una cronología satisfactoria. A las series de desequilibrio U/Th y el radiocarbono, como métodos tradicionales de datación absoluta (Viles y Goudie, 1990), se ha incorporado la racemización de aminoácidos (Ortiz *et al.*, 2009).

En la Cordillera Ibérica son frecuentes las formaciones de tobas cuaternarias asociadas con la red fluvial. Se dispone de información cronológica de tobas localizadas en el sector castellano-manchego (Ortiz *et al.*, 2009) y en los sectores suroriental y central del Sistema Ibérico (Peña *et al.*, en prensa). Sin embargo, hasta el momento, no existe información cronológica publicada sobre tobas del sector noroccidental (Fig. 1A).

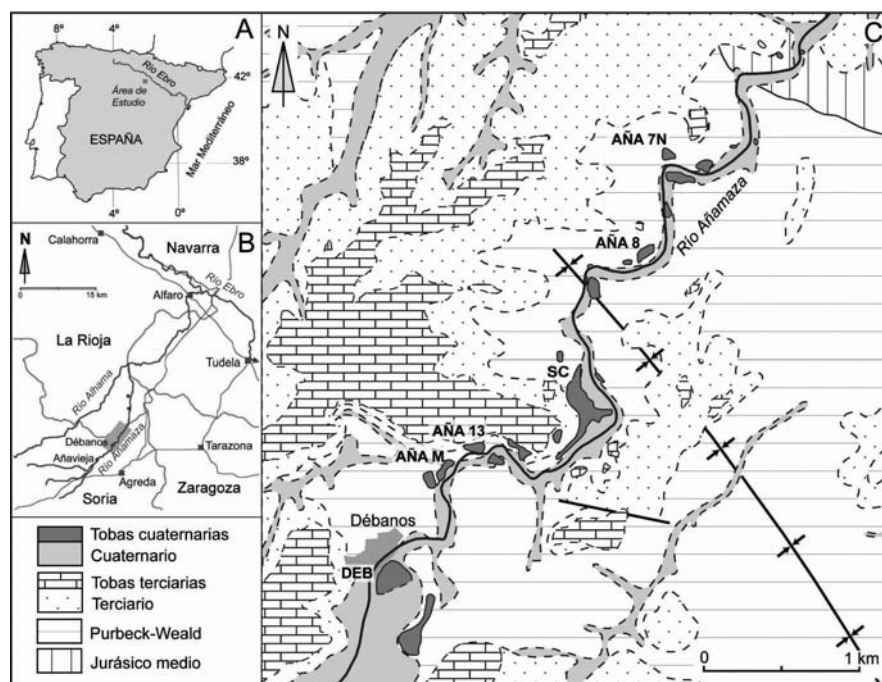


Fig. 1.- Área de estudio (A y B) y localización de los depósitos tobáceos (C). Esquema geológico (C) modificado de Rey y Rivera (1981). Se indican las siglas de los afloramientos datados.

Fig. 1.- Study area (A and B) and mapping of tufaceous deposits (C). Geological sketch (C) modified from Rey and Rivera (1981). The names of dated outcrops are indicated.

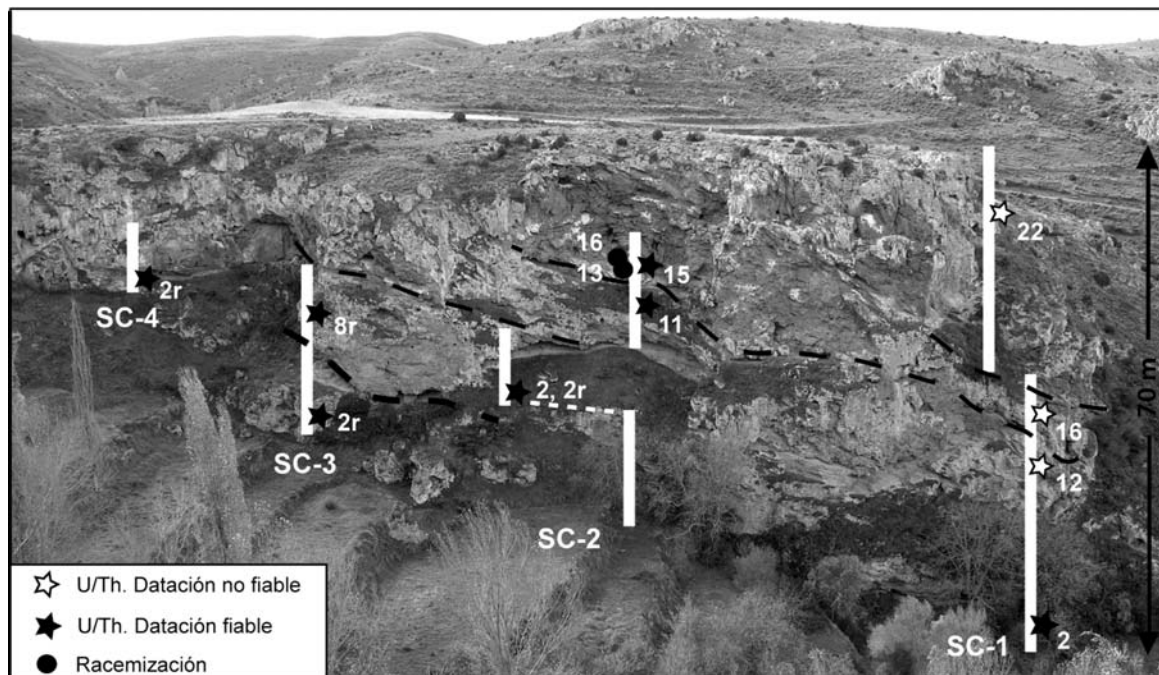


Fig. 2.- Depósito del Salto del Cajó. Perfiles estratigráficos y posición de las muestras datadas. Nótese las cuñas progradantes-agradantes hacia el norte-noroeste separadas por superficies erosivas.

Fig. 2.- Salto del Cajó deposit. Stratigraphic sections and location of the dated samples. Note northwestward prograding-aggrading wedges separated by erosional surfaces.

En la cuenca del río Añamaza, hasta unos 5,5 km aguas abajo de la localidad de Débanos (Fig. 1B) se han identificado depósitos tobáceos escalonados longitudinal y transversalmente respecto al cauce actual encajado (Coloma et al., 1996, Arenas et al., 2009). El objetivo de esta contribución incluye 1) elaborar un marco cronológico preliminar de dichas tobas a partir de diferentes métodos de datación y 2) valorar el significado paleoclimático de los resultados obtenidos.

**Contexto geográfico y geológico**

El río Añamaza es un afluente indirecto del Ebro (Fig. 1B) en una región de clima continental mediterráneo. Fluye de sur a norte atravesando calizas marinas del Dogger, facies continentales del Purbeck-Weald y facies detríticas, margas y calizas fluviales y fluvio-lacustres del Terciario y Cuaternario. Estas últimas corresponden en su mayoría a depósitos tobáceos y facies asociadas (Fig. 1C).

Las tobas cuaternarias se distribuyen en afloramientos aislados de espesor muy variable, desde unos pocos metros hasta 70 m. Entre las facies más abundantes se encuentran los *boundstones* y *rudstones* de macrofitas, *boundstones* de musgos, estromatolitos, arenas y limos carbonatados, y *mudstones*,

*wackestones*, *packstones* y *floatstones* de bioclastos. Algunos afloramientos están separados por áreas llanas ocupadas mayormente por detríticos finos carbonatados y margas grises ricas en fragmentos tobáceos y materia orgánica, que corresponden a facies de represamiento (Arenas et al., 2009). Luzón et al. (2008) indican un espesor mínimo de 16,6 m para esos depósitos oscuros. En conjunto, las tobas cuaternarias se formaron en un sistema

fluvial de alto gradiente escalonado (*sensu* Arenas et al., 2010), con dispositivos de barrera-cascada y áreas represadas de variable amplitud.

**Material y metodología**

El estudio cartográfico ha permitido diferenciar un conjunto de afloramientos tobáceos a lo largo del valle del río Añamaza, de los que se han muestreado AÑA-7N, AÑA-8, SC-1 a 5, AÑA-13,

Muestra	Descripción	238U ng/g	230Th/238U	234U/238U	232Th/238U	Edad cr ka
AÑA 7N-15	Envuelta estromatolítica		1,4870	2,2823	0,028398	99,6 ± 1,8
<b>AÑA 8-1</b>	<b>Envuelta estromatolítica</b>		<b>2,0001</b>	<b>1,8295</b>	<b>0,006023</b>	<b>337,0 ± 110,1</b>
AÑA 8-5	Oncolito		1,6681	2,2846	0,033148	119,1 ± 2,5
AÑA13-2	<i>Estromatolito</i>		<i>1,5295</i>	<i>2,2598</i>	<i>0,028487</i>	<i>105,8 ± 3,9</i>
<b>SC 1-2</b>	<b>Fitoclasto</b>		<b>1,9906</b>	<b>1,8809</b>	<b>0,027467</b>	<b>282,5 ± 7,0</b>
SC 1-12	Estromatolito		1,6308	1,9061	0,012784	163,9 ± 3,0
SC 1-16	<i>Estromatolito</i>		<i>1,5901</i>	<i>2,2884</i>	<i>0,007794</i>	<i>111,3 ± 1,7</i>
SC1-22	<i>Estromatolito</i>		<i>1,5149</i>	<i>2,2790</i>	<i>0,014844</i>	<i>103,6 ± 2,8</i>
SC 2-2	Caliza bioclástica		1,6265	2,2088	0,079274	118,2 ± 5,6
SC 2-2r	Caliza bioclástica	327	1,6383	2,3074	0,093332	110,2 ± 5,9
SC 2-11	Caliza bioclástica		1,5959	2,1758	0,028109	120,8 ± 3,8
SC 2-15	Caliza bioclástica		1,6140	2,2508	0,107888	111,0 ± 7,1
<b>SC 3-2r</b>	<b>Caliza bioclástica</b>	<b>330</b>	<b>1,6715</b>	<b>2,2297</b>	<b>0,318286</b>	<b>104,8 ± 24,7</b>
<b>SC 3-8r</b>	<b>Estromatolito</b>	<b>608</b>	<b>1,6287</b>	<b>2,2855</b>	<b>0,007315</b>	<b>116,2 ± 1,0</b>
SC 4-2r	Caliza bioclástico	535	1,9759	2,0696	0,033297	204,3 ± 6,7
SC 5-1r	Caliza de musgos	375	0,0405	2,7342	0,002865	1,5 ± 0,2

Tabla I.- Datos cronológicos a partir de series U/Th. En negrita: sistema geoquímicamente cerrado, datación fiable. En letra normal: posiblemente sistema cerrado y datación fiable. En cursiva: sistema permeable y datación posiblemente no fiable.

Table I.- Chronological data from U/Th series. In bold: very likely closed system, reliable dating. Regular: it might be closed system, dating may be reliable. Italics: highly permeable system, dating likely unreliable.

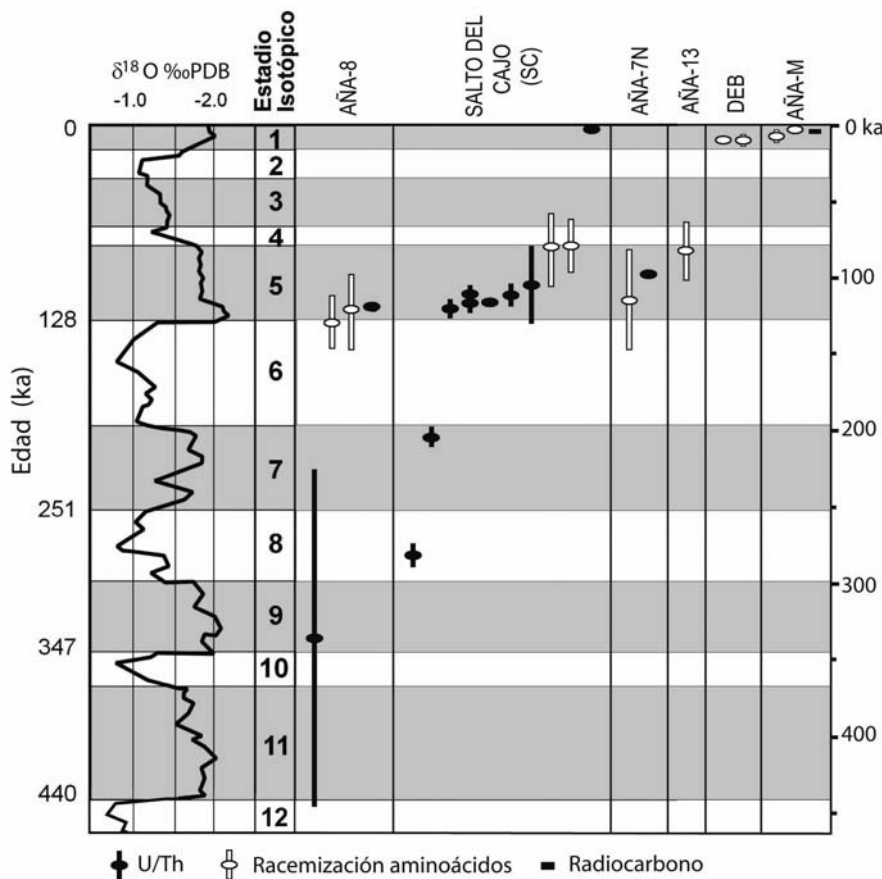


Fig. 3.- Distribución cronológica de las muestras datadas y relación con los estadios isotópicos marinos. Cronología de los estadios y curva isotópica según Shackleton y Opdyke (1973).

Fig. 3.- Chronological range of dated samples and relation to the marine isotope stages. MIS ages and  $\delta^{18}O$  curve from Shackleton and Opdyke (1973).

AÑA-M y DEB (Fig. 1C) para determinar su edad mediante series de desequilibrio de U/Th, racemización de aminoácidos y radiocarbono. Las edades basadas en U/Th se han realizado en la Universidad of Melbourne mediante ICP-MS (Hellstrom, 2003). La racemización de aminoácidos se ha analizado 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  $^{14}C$  mediante técnica AMS se ha llevado a cabo en la University of Zurich-Federal Institute of Technology. La posición estratigráfica en las muestras de los perfiles SC 1 a 4 del afloramiento del Salto del Cajo aparece representada en la figura 2.

**Resultados**

Las muestras datadas con U/Th ofrecen un grado de fiabilidad variable (Tabla I). Algunas de ellas corresponden

claramente a un sistema abierto que ha sufrido pérdida de U, por lo que las edades deberían ser más antiguas. Por otro

lado, las correcciones debidas a la presencia de Th detrítico apenas introducen variaciones importantes en las edades finales propuestas. Excluyendo los casos más problemáticos (cursiva en la Tabla I), la edad más antigua es de  $337,0 \pm 110,1$  (base del perfil AÑA-8), si bien presenta poca precisión. Algo más modernos son los de la parte inferior de SC-1 ( $282,5 \pm 7,0$  ka) y SC-4 ( $204,3 \pm 6,7$  ka). El resto de las muestras se sitúa entre  $120,8 \pm 3,8$  y  $99,6 \pm 1,8$  ka. La más moderna es SC-5 ( $1,5 \pm 0,2$  ka) que pertenece a un recubrimiento reciente de depósitos previos de tobas. Todas las edades se presentan con un error de 2-sigma.

Para las dataciones obtenidas por racemización se han utilizado las configuraciones que presentan ostrácodos de las especies indicadas en la tabla II. Algunas muestras tienen contaminación actual (cursiva en la Tabla II). Las edades fiables más antiguas (Fig. 3) son las de AÑA-8 ( $129,4 \pm 16,8$  y  $121,7 \pm 27,0$  ka), seguidas por un conjunto que varía desde  $115,4 \pm 3,3$  a  $80,5 \pm 16,6$  ka (AÑA-13, AÑA-7N, SC-2). Las más modernas son las de DEB ( $10,6 \pm 3,3$  y  $10,5 \pm 4,4$  ka) y AÑA-M ( $7,7 \pm 3,8$  y  $3,3 \pm 0,9$  ka).

En el afloramiento AÑA-M se han datado con  $^{14}C$  cáscaras de huevos conservadas entre facies de *rudstones* bioclásticos y arenas carbonatadas. Arrojan una edad de  $1710 \pm 30$  años BP (edad calibrada de  $332 \pm 46$  AD).

**Discusión**

Aunque de carácter preliminar, las edades obtenidas por los diferentes

Muestra	Especie	Análisis	D/L Asp	D/L Glu	Edad (ka)
AÑA-M-2	<i>Herpetocypris reptans</i>	6	0,174 ± 0,008	0,043 ± 0,003	7,7 ± 3,8
AÑA-M-5	<i>H. reptans</i>	7	0,140 ± 0,005	0,041 ± 0,001	3,3 ± 0,9
DEB-1	<i>H. reptans</i>	7	0,180 ± 0,008	0,050 ± 0,001	10,6 ± 3,3
DEB-2	<i>H. reptans</i>	7	0,186 ± 0,005	0,048 ± 0,004	10,5 ± 4,4
AÑA13-1	<i>H. reptans</i>	7	0,301 ± 0,006	0,106 ± 0,016	83,5 ± 18,9
AÑA7N-3	<i>Candona neglecta</i>	7	0,353 ± 0,011	0,131 ± 0,006	129,9 ± 11,1
AÑA7N-8	<i>H. reptans</i>	7	0,348 ± 0,030	0,122 ± 0,025	115,4 ± 33,0
AÑA7N-10	<i>H. reptans</i> <i>C. neglecta</i>	2	0,222 ± 0,011	0,063 ± 0,002	23,2 ± 5,3
AÑA8-2	<i>Candona marchica</i>	1	0,074	0,036	0,8 ± 0,3
AÑA8-3	<i>H. reptans</i>	7	0,338 ± 0,025	0,128 ± 0,017	121,7 ± 27,0
AÑA8-4	<i>C. marchica</i>	1	0,345	0,129	129,4 ± 16,8
SC2-13	<i>H. reptans</i>	7	0,314 ± 0,021	0,100 ± 0,014	81,9 ± 24,1
SC2-16	<i>H. reptans</i>	7	0,308 ± 0,016	0,101 ± 0,010	80,5 ± 16,6

Tabla II.- Datos cronológicos a partir de racemización de aminoácidos. Análisis realizados en limos y arenas de composición carbonatada. En cursiva: datos con probable contaminación actual.

Table II.- Chronological data from aminoacid racemization. Analyzed samples correspond to carbonate silts and sands. Italics: likely data contaminated by present-day organic matter.

métodos son congruentes entre sí y, en su mayoría, acordes con la disposición cartográfica y estratigráfica de los afloramientos estudiados. Es posible diferenciar un episodio pleistoceno, detectado en casi todos los afloramientos estudiados y centrado en el MIS 5, y otro holoceno (MIS 1), de menor desarrollo. Estas dos etapas coinciden con los máximos de sedimentación tobácea detectados tanto a escala peninsular (Durán, 1989) como de Cordillera Ibérica (Peña *et al.*, en prensa). Dentro del Pleistoceno hay que indicar la presencia de depósitos más antiguos (MIS 9) en el afloramiento de AÑA-8 (si bien el amplio rango de variación cronológica recomienda precaución) y de fases correspondientes a los MIS 8 y 7 en el Salto del Cajó (perfiles SC, Fig. 3). En este depósito, debe destacarse que la datación de las distintas fases pleistocenas -separadas por etapas de erosión- es coherente, a excepción de SC-3-2, cuya posición estratigráfica señala una edad mayor que la obtenida radiométricamente. Por el contrario, algunas dataciones consideradas no fiables presentan una posición estratigráfica coherente; es el caso de SC-1-16 y 22 (Fig. 2).

La etapa de desarrollo tobáceo más reciente parece repartirse a lo largo de todo el Holoceno, como se deduce de las cronologías obtenidas en los afloramientos DEB, AÑA-M y SC-5 (Fig. 3). Aunque podrían separarse varias etapas holocenas, resulta arriesgado realizar una propuesta de alta resolución sólo con los datos disponibles.

Desde el punto de vista paleoclimático, los períodos de formación de tobas se relacionan, en líneas generales, con fases templadas y húmedas del Pleistoceno medio y superior y Holoceno, asociadas básicamente con la disponibilidad hídrica durante períodos interglaciares (estadios isotópicos impares de Shackleton y Opdyke, 1973). En este sentido, en el valle del río Añamaza aparecen representados los estadios 9 y 7, si bien las etapas de desarrollo tobáceo importante tienen lugar durante los MIS 5 y 1.

Además, está representado el estadio MIS 8, de características más frescas. A escala regional, la presencia de tobas correlacionables con períodos fríos globales no es un hecho aislado (p. ej., MIS 8 en el río Matarraña, Martínez-Tudela *et al.*, 1986; MIS 6-7 en el Piedra, Sancho *et al.*, 2010), por lo que la acumulación de estos depósitos también parece factible en condiciones relativamente frescas.

### Conclusiones

Los primeros resultados cronológicos para las tobas cuaternarias del río Añamaza llevan a establecer las siguientes conclusiones:

a) Las edades obtenidas permiten correlacionar las etapas de desarrollo tobáceo con estadios isotópicos interglaciares a escala global (MIS 9, 7, 5 y 1). Las etapas con mayor registro se corresponden con los estadios 5 y 1, de temperaturas y disponibilidad hídrica más favorables para la formación de estos depósitos.

b) Aparecen indicios fiables de formación de tobas durante el MIS 8, de características frías globales, por lo que en el NE peninsular las condiciones climáticas no fueron tan desfavorables durante este período.

c) Hasta el momento, las tobas cuaternarias del río Añamaza constituyen el sistema tobáceo multiepisódico cronoreferenciado más septentrional a escala peninsular, si bien su respuesta a los estímulos paleoclimáticos es similar a otros sistemas tobáceos peninsulares de latitudes más bajas.

### Agradecimientos

Este trabajo es una contribución de los Proyectos REN2002-03575/CLI, CGL2006-05063/BTE, CGL2009-09216/CLI y CGL2009-10455/BTE, financiados por el Ministerio de Ciencia e Innovación (y anteriores designaciones) y FEDER, y de los Grupos de Investigación Análisis de Cuencas Sedimentarias Continentales y PaleoQ de la Unizar-Gobierno de Aragón. Los autores agradecen los comentarios de la

Dra. María José González Amuchastegui y de un revisor anónimo.

### Referencias

- Arenas, C., Sancho, C., Pardo, G., Vázquez-Urbez, M., Osácar, C. y Auqué, L. (2009). *Abstract Meeting of IAS*, Alghero (Italy), 430.
- 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*, Elsevier, 61, 133-175.
- Coloma, P., Martínez, F.J. y Sánchez, J.A. (1996). *Geogaceta*, 20, 1258-1260.
- 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 Brunacker, K. (1983). *Quaternary Research*, 20, 1-29.
- Luzón, A., Pérez, A., González, A., Sánchez, J.A., Coloma, P. y Soria, A.R. (2008). *Geotemas*, 10, 207-210.
- Martínez-Tudela, A., Robles, F., Santisteban, C., Grün, R. y Hentzsch, B. (1986). En: *Quaternary Climate in Western Mediterranean* (F. López Vera, Ed.). *Universidad Autónoma de Madrid*, 307-324.
- Ortiz, J.A., Torres, T., Delgado, A., Reyes, E. y Díaz-Bautista, A. (2009). *Quaternary Science Reviews*, 28, 947-963.
- Peña, J.L., Sancho, C., Arenas, C., Auqué, L., Longares, L.A., Lozano, M.V., Meléndez, A., Osácar, C., Pardo, G. y Vázquez, M. (en prensa). *Monografía Sociedad Española de Geomorfología*.
- Rey, J. y Rivera, S. (1981). *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº319 (Ágreda)*. IGME
- Sancho, C., Arenas, C., Pardo, G., Vázquez, M., Hellstrom, J., Ortiz, J.E., Torres, T., Rhodes, E., Osácar, M.C. y Auqué, L. (2010). *Geogaceta*, 48, 31-34.
- Shackleton, N.J. y Opdyke, N.D. (1973). *Quaternary Research*, 3, 39-55.
- Viles, H.A. y Goudie, A.S. (1990). *Progress in Physical Geography*, 14, 19-41.