

# Morfoestratigrafía y cronología de registros fluviales del Pleistoceno superior en Bardenas Reales de Navarra: implicaciones paleoambientales

*Morphostratigraphy and chronology of fluvial records during Late Pleistocene in Bardenas Reales of Navarra: palaeoenvironmental implications*

Carlos Sancho <sup>(1)</sup>, Arsenio Muñoz <sup>(1)</sup>, Edward Rhodes <sup>(2)</sup>, Eric McDonald <sup>(3)</sup>, José Luis Peña <sup>(4)</sup>, Gerardo Benito <sup>(5)</sup>  
y Luis Alberto Longares <sup>(4)</sup>

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

<sup>(2)</sup> Department of Environmental and Geographical Sciences, Manchester Metropolitan University, Chester Street, Manchester, M1 5GD, UK.

<sup>(3)</sup> Desert Research Institute, 2215 Raggio Parkway, Reno NV 89512, USA.

<sup>(4)</sup> Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza, Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza.

<sup>(5)</sup> Centro de Ciencias Medioambientales, CSIC, Serrano15 duplicado, 28006 Madrid.

## ABSTRACT

Quaternary gravel deposits covering the bottom of the Bardena Blanca depression (Central Ebro Basin, Navarra) have been studied. Three Late Pleistocene units (Qt1, Qt2 and Qt3) of gravel accumulation have been differentiated using geomorphologic mapping, sedimentological analysis and optically stimulated luminescence techniques. Chronological data show ages of 92, 52 and 15-21 ka respectively, which are closely related to cold climate signals at regional scale. Aggradation in braided channel systems was mainly controlled by increases in runoff and sediment supply.

**Key words:** fluvial aggradation, Late Pleistocene, climate change, Central Ebro Basin.

Geogaceta, 45 (2008), 47-50

ISSN: 0213683X

## Introducción

La Bardena Blanca, incluida en el Parque Natural de las Bardenas Reales de Navarra (Cuenca del Ebro) (Fig. 1), constituye una amplia depresión (Fig. 2A), excavada en materiales predominantemente lutíticos de las formaciones Tudela y Ujué de edad Mioceno (Faci *et al.*, 1997; Larrasoña *et al.*, 2006). El fondo de esta depresión se encuentra a unos 300 m de altitud y está rodeada por relieves estructurales asociados con materiales terciarios calcáreos y areniscosos y por restos de niveles aluviales culminantes del Pleistoceno inferior, que llegan a superar los 600 m de altitud (Leranz, 1993). En la actualidad está drenada por un sistema de barrancos (Grande-Saliner-Limas) que desemboca en el Ebro cerca de Tudela. Los diferentes procesos erosivos presentan una elevada tasa de funcionalidad actual, en un contexto climático semiárido con 13 °C de temperatura media y 350 mm de precipitación anual.

Esta depresión erosiva se encuentra tapizada por un interesante conjunto de unidades morfopedosedimentarias

aluviales que registran el Holoceno casi completo (Sancho *et al.*, 2008). Además, afloran también restos de secuencias de gravas más antiguas de las que no existe información previa y que constituyen el objeto de este trabajo.

El análisis cartográfico y el reconocimiento de campo permitió la selección de puntos en los que levantar perfiles estratigráficos, describir suelos y extraer muestras de arena destinadas al análisis cronológico mediante Luminiscencia Ópticamente Estimulada (OSL) en el Laboratorio de Luminiscencia de la Universidad Nacional de Australia. La preparación de cuarzo de las muestras de arena se realizó mediante tamizado, ataque con ácido fluorhídrico y separación de pesados con polítungstato de sodio (Rhodes, 1988). La dosis fue medida mediante un lector automático Risø TL-DA-15 a partir de la regeneración de la señal sobre una alícuota simple (Murray y Wintle, 2008). La tasa de dosis fue determinada en campo mediante un espectrómetro de rayos gamma.

A partir del análisis geomorfológico, sedimentológico y cronológico de las secuencias de gravas se pretende abor-

dar su significado paleoclimático y paleoambiental y avanzar en la mejora de un marco cronoestratigráfico regional para el Pleistoceno superior. Hasta el momento, en la cuenca del Ebro existen escasas secuencias fluviales de referencia, controladas cronológicamente. Básicamente, corresponden a las terrazas del río Guadalupe (Fuller *et al.*, 1998) y a los registros glaciares y fluviales de las cuencas de los ríos Cinca y Gállego (Sancho *et al.*, 2004; Lewis *et al.*, 2008).

## Caracterización de los registros morfosedimentarios

Los registros fluviales del Pleistoceno superior reconocidos afloran en diferentes sectores de la depresión de la Bardena Blanca. Mediante criterios geomorfológicos, sedimentológicos y cronológicos es posible agruparlos en tres pulsaciones sedimentarias que vamos a denominar Qt1, Qt2 y Qt3, de más antigua a más moderna, respectivamente.

### Etapa fluvial Qt1

Esta fase está representada por sedimentos fluviales modelados en glaciares. Se

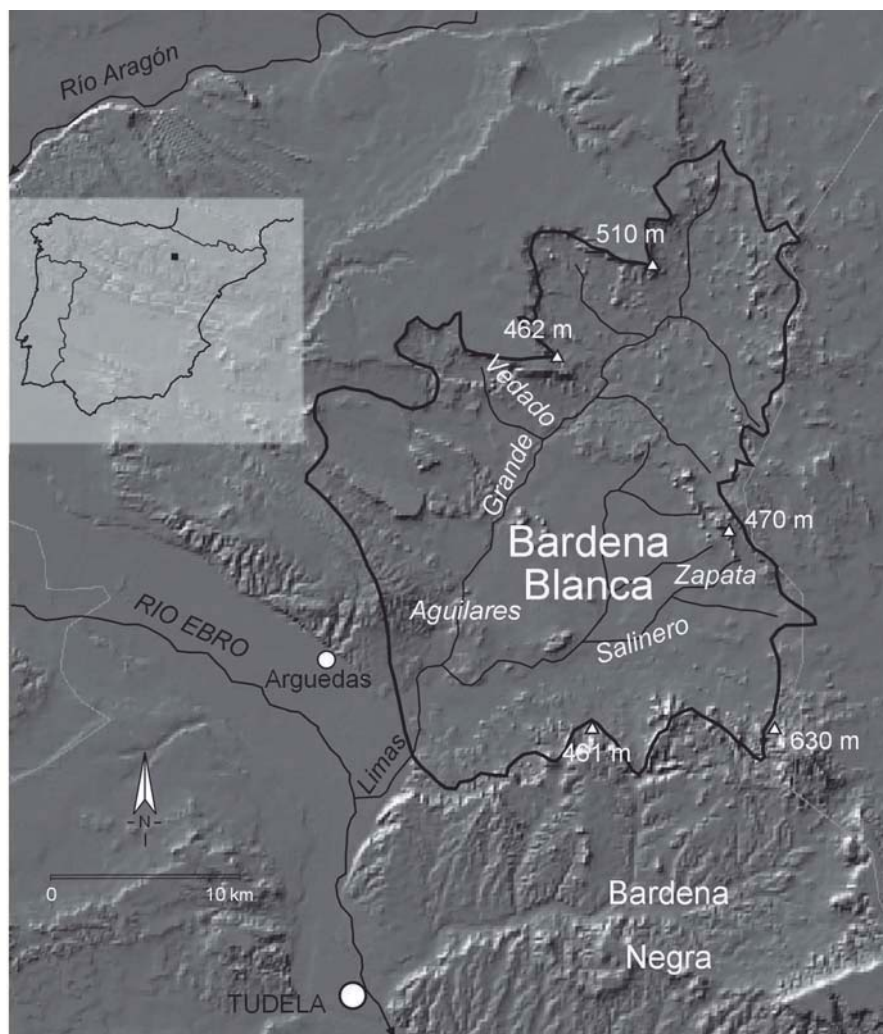


Fig. 1.- Área de estudio y localización de los afloramientos analizados en Bardenas Reales de Navarra.

Fig. 1.- Study area and location of the analyzed outcrops in Bardenas Reales of Navarra.

conservan segmentos proximales cercanos a los relieves circundantes en varios sectores de la Depresión de la Blanca y dirigidos hacia el centro de la misma.

En la gravera de Zapata (Figs. 1, 2B y 3), sobre lutitas del Mioceno aparece un cuerpo detrítico de 1,3 m de espesor formado por conglomerados anaranjados con intercalaciones de areniscas anaranjadas y grises. Los conglomerados presentan textura granosostenida, matriz arenosa gruesa y escasa cementación. Los clastos, fundamentalmente silíceos, corresponden a cuarcitas paleozoicas, areniscas del Permo-Trías y calizas del Mesozoico, además de rocas ígneas (basaltos y andesitas). Tienen un centilo de 10 cm y son redondeados-subredondeados y subesféricos. Se disponen en niveles tabulares con base erosiva, de espesor decimétrico. Aparecen abundantes clastos imbricados que muestran un sentido de corriente hacia el noroeste. Las

areniscas son de grano grueso, con clastos dispersos y se disponen en niveles tabulares centimétricos, localmente con base erosiva. Sobre estos sedimentos, y en relación con la superficie estabilizada del glacis, aparece un suelo complejo con desarrollo de horizontes de diagnóstico Bt, Btk, Bkm y Bk.

Los conglomerados y areniscas forman secuencias granodecrecientes que pueden interpretarse como un sistema de canales y barras longitudinales depositadas por un sistema fluvial de tipo braided que, en base a la naturaleza de los clastos (en parte procedentes de la zona axial pirenaica), ha removilizado y sedimentado antiguos depósitos de terrazas próximas del río Aragón.

La edad suministrada por la luminiscencia es  $91,7 \pm 7,3$  ka, (Tabla I) y parece soportada por el desarrollo del suelo.

#### *Etapa fluvial Qt2*

Este período sedimentario está representado por una unidad fluvial encajada

en el nivel de glacis anterior. Aparece fosilizada por sedimentos holocenos y, por tanto, no se conservan superficies morfogenéticas y suelos asociados.

En el lugar denominado Aguilares (Figs. 1, 2C y 3) y aprovechando el encajamiento del Barranco Grande, aflora un depósito detrítico constituido por conglomerados ocre-rojizos con intercalaciones de arenisca que se dispone, mediante una discordancia angular, sobre la unidad terciaria Yesos de Los Arcos. Los conglomerados tienen textura granosostenida, matriz arenosa de grano medio-grueso muy limpia y una ligera cementación por yeso. Los clastos son mayoritariamente de naturaleza silícea, subangulosos y subesféricos, heterométricos, con un centilo de 18 cm. Se disponen en niveles tabulares de espesor decimétrico, a veces con evoluciones granodecrecientes y decoloraciones causadas por bioturbación de raíces. Se reconocen cantos imbricados. Las areniscas son de grano medio y grueso, a veces con clastos dispersos. Se disponen en niveles tabulares de hasta 20 cm de potencia. En su interior se reconoce laminación paralela y estratificación cruzada planar. A techo presentan costras ferruginosas.

El depósito puede interpretarse como un sistema de canales y barras conglomeráticas generadas por un curso fluvial de tipo braided que se dirige hacia el norte. Este sentido de corriente indica un nivel de base relacionado con el río Aragón y es contrario al drenaje actual de la depresión dirigido hacia el río Ebro. Las costras ferruginosas y las bioturbaciones señalan la existencia de una incipiente edafización.

Las edades obtenidas mediante luminiscencia son  $50,3 \pm 2,5$  y  $54,0 \pm 2,5$  ka en muestras extraídas en un mismo nivel de areniscas (Tabla I).

#### *Etapa fluvial Qt3*

Esta pulsación sedimentaria se encuentra ampliamente representada en la Depresión de la Blanca y aflora como consecuencia del encajamiento de diferentes barrancos (Grande, El Vedado y Salinero, entre otros). Los sedimentos correspondientes se apoyan mediante una discordancia angular sobre lutitas y areniscas del sustrato mioceno y aparecen también fosilizados por unidades posteriores holocenas.

En el Barranco de El Vedado (Figs. 1, 2D y 3) esta unidad está formada por conglomerados, areniscas y margas de tonos ocre y grises. Los conglomerados tienen textura granosostenida, matriz arenosa o microconglomerática y ligera

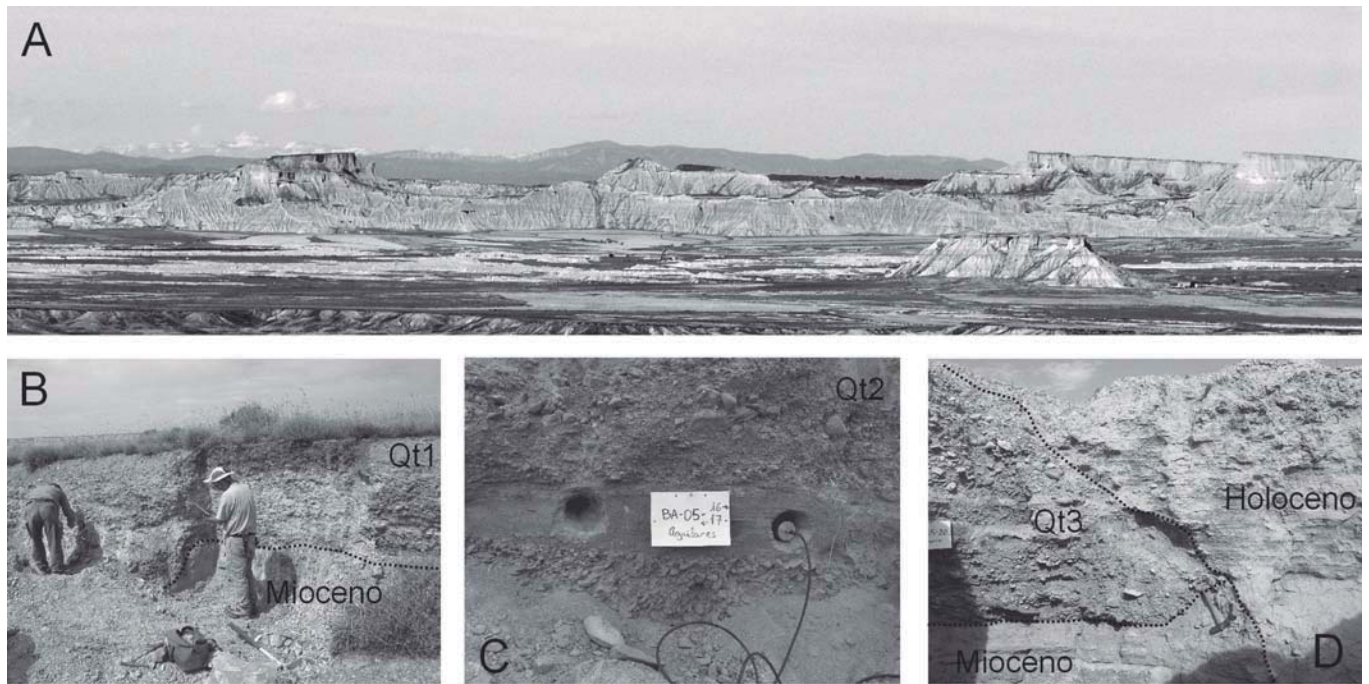


Fig. 2.- Aspectos de campo de la depresión de la Bardena Blanca (A), de la unidad Qt1 en la gravera de Zapata (B), de la unidad Qt2 en Aguilares (C) y de la unidad Qt3 en el Barranco Salinero (D).

Fig. 2.- Field features of the Bardena Blanca depression (A), the Qt1 unit in Zapata gravel pit (B), the unit Qt2 in Aguilares (C) and the unit Qt3 in the Arroyo Salinero (D).

cementación. Los clastos son mayoritariamente de naturaleza silíceo, redondeados y de geometría discoidal con centilo de 16 cm. Se disponen en niveles tabulares y lenticulares con geometría canaliforme de potencia decimétrica. Abundan los clastos imbricados que señalan paleocorrientes que se dirigen hacia el sur-suroeste. Las areniscas son de grano fino-medio y se disponen en niveles lenticulares de espesor centimétrico entre los conglomerados o en niveles tabulares decimétricos que intercalan niveles margosos, abundante bioturbación de raíces y concreciones carbonatadas de hasta 1 cm de diámetro. También aparecen numerosos cantos dispersos, laminación paralela, restos vegetales y carbonosos y gasterópodos.

La parte inferior del depósito (primeros 1,25 m) puede interpretarse como un sistema de canales y barras conglomeráticas depositadas por un sistema fluvial de tipo braided dirigido hacia el sur-suroeste. Este sentido de la corriente coincide con el drenaje actual de la Depresión de la Blanca hacia el río Ebro guiado por el Barranco Grande, marcando un cambio paleogeográfico importante con respecto a la unidad anterior Qt2. La parte superior puede interpretarse como un paleosuelo desarrollado sobre depósitos correspondientes a zonas temporalmente encharcadas donde se acumula una gran cantidad de restos vegetales y de gasterópodos y en la que tiene lugar una intensa bioturbación generada por la vegetación enraizada en la zona.

La edad obtenida en el Barranco de El Vedado es  $20,6 \pm 0,9$  ka, mientras que en los barrancos Salinero y Grande es de  $15,5 \pm 1,0$  y  $15,9 \pm 1,0$  ka, respectivamente (Tabla I).

**Consideraciones paleoambientales y conclusiones**

En la Depresión de la Bardena Blanca son frecuentes las cubiertas de gravas cuaternarias apoyadas sobre el sustrato terciario asociadas con sistemas fluviales de tipo braided. En ocasiones, estos niveles de gravas aparecen modelados en forma de glacis. Las observaciones morfosedimentarias y los datos cronológicos obtenidos mediante Luminescencia Ópticamente Estimada (OSL)

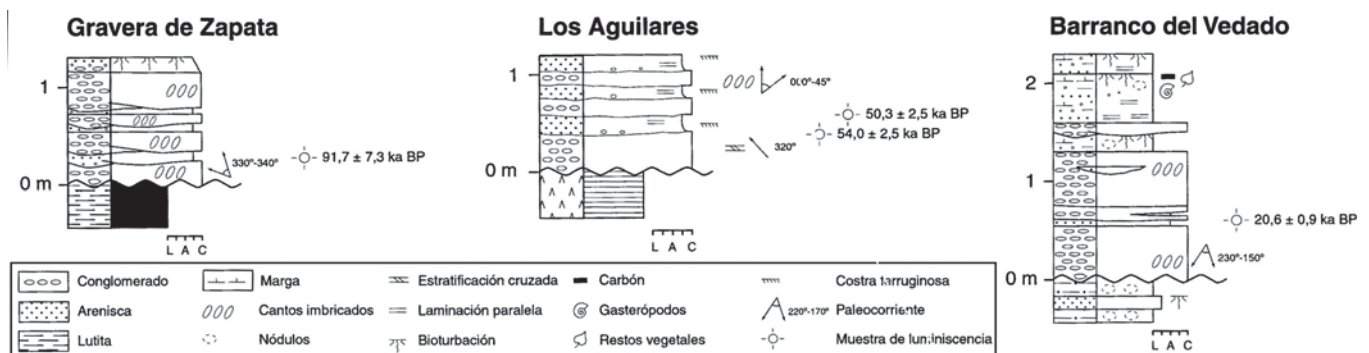


Fig. 3.- Columnas estratigráficas de las unidades Qt1 (Gravera de Zapata), Qt2 (Los Aguilares) y Qt3 (Barranco del Vedado).

Fig. 3.- Stratigraphic logs of the Qt1 (Zapata gravel pit), Qt2 (Los Aguilares) and Qt3 (Arroyo El Vedado) units.

Muestra	Unidad	Localización	Coordenadas UTM	Dosis (Gy)	Tasa dosis (mGy/a)	Edad (ka BP) 1 $\sigma$
BA04-16	Qt1	Zapata	30T0630258/4671118	104,30 $\pm$ 5,10	1,14 $\pm$ 0,07	91,70 $\pm$ 7,30
BA05-16	Qt2	Aguilares	30T0620855/4671997	66,70 $\pm$ 1,60	1,24 $\pm$ 0,05	54,00 $\pm$ 2,50
BA05-17	Qt2	Aguilares	30T0620855/4671997	59,80 $\pm$ 1,90	1,19 $\pm$ 0,05	50,30 $\pm$ 2,50
BA04-08	Qt3	Vedado	30T0623001/4675808	24,70 $\pm$ 0,78	1,20 $\pm$ 0,04	20,60 $\pm$ 0,90
BR05-20	Qt3	Salinero	30T0625580/4669635	17,20 $\pm$ 1,0	1,11 $\pm$ 0,04	15,50 $\pm$ 1,00
BA04-15	Qt3	Grande	30T0624618/4675774	19,60 $\pm$ 1,10	1,23 $\pm$ 0,04	15,90 $\pm$ 1,00

Tabla I.- Resultados de dataciones mediante luminiscencia.

Table I.- Luminiscence data.

indican la existencia de tres pulsaciones sedimentarias durante el Pleistoceno superior (92, 52 y 15-21 ka, respectivamente). Además, el análisis cartográfico evidencia la presencia de otros niveles de glaciares de piedemonte más antiguos.

A pesar de la escasez de dataciones cronológicas numéricas de registros fluviales cuaternarios en la Depresión del Ebro, los datos aportados en este trabajo permiten avanzar en la propuesta de una secuencia morfoestratigráfica regional para el Pleistoceno superior. Fuller *et al.* (1998), en la cuenca del río Guadalope (sector centromeridional de la cuenca del Ebro), registran diferentes episodios de sedimentación en los últimos 200 ka que asocian con episodios climáticos fríos. Entre ellos aparecen estadios de agradación fluvial a 88, 49 y 19-16 ka, siendo el último un episodio generalizado para toda la cuenca del Guadalope, que se correlacionan perfectamente con las edades obtenidas en Bardenas. Estas pulsaciones no se ajustan totalmente a la secuencia cronológica de terrazas establecida en las cuencas de los ríos Cinca y Gállego (sector centroseptentrional de la cuenca del Ebro) por Lewis *et al.* (2008). La terraza Qt6 (97  $\pm$  16 ka) del río Cinca está próxima a la pulsación antigua de Bardenas. La pulsación intermedia queda comprendida entre la terraza Qt7 del Cinca (61  $\pm$  4 ka) y el nivel QtMid del Gállego (68  $\pm$  7 ka), por un lado, y la terraza Qt8 del Cinca (47  $\pm$  4 ka) y el nivel QtLow del Gállego (45  $\pm$  3 ka), por otro. Estos registros fluviales se asocian con un incremento de la descarga de agua y sedimento en los glaciares pirenaicos durante etapas frías. Curiosamente, en estos dos

afuentes pirenaicos importantes del río Ebro no se detecta un nivel de terraza a 18-20 ka que debiera estar asociada con el Último Máximo Global, que tampoco aparece representado mediante registros glaciares (García-Ruiz *et al.*, 2003). El mejor ajuste entre las secuencias de agradación fluvial de Bardenas y la cuenca del Guadalope puede deberse a un contexto similar en el que la red de drenaje no tiene cabeceras glaciadas durante el Pleistoceno superior.

En cualquier caso, las tres pulsaciones sedimentarias detectadas en Bardenas se producen durante los estadios isotópicos globales (Martinson *et al.*, 1987) 5b, 3 y 2 de características climáticas frías, particularmente el último. Bajo estas condiciones ambientales, y de acuerdo con el modelo propuesto por Fuller *et al.* (1998) para la cuenca del río Guadalope, la cubierta vegetal esteparia y el comportamiento estacional de las precipitaciones aumentaría 1) la producción de sedimentos (por incremento de los procesos de meteorización mecánica y los movimientos de masas) y 2) la escorrentía en las laderas. Como consecuencia, el aumento de la descarga de agua en invierno y de la disponibilidad de sedimentos conducirían a la agradación fluvial en el fondo de los valles.

#### Agradecimientos

Este trabajo constituye una contribución de los Proyectos BTE2003-01296 y CGL2006-08973 financiados por el Ministerio de Ciencia y Tecnología y fondos FEDER y del Grupo de Investigación PaleoQ del Gobierno de Aragón. Agradece-

mos la colaboración de Alejandro Urmeneta (Comunidad de Bardenas Reales).

#### Referencias

- Faci, E., Castiella, J., del Valle, J., García, A., Días, A., Salvany, J.M., Cabra, P., Ramírez del Pozo, J. y Meléndez, A. (1997). *Mapa Geológico de Navarra 1:200.000*. Gobierno de Navarra, 142 p.
- Fuller, I., Macklin, M., Lewin, J., Passmore, D. y Wintle, A. (1998). *Geology*, 26, 275-278.
- García-Ruiz, J.M., Valero-Garcés, B.L., Martí-Bono, C. y González-Sempériz, P. (2003). *Journal of Quaternary Science*, 18, 61-72.
- Larrasoña, J.C., Murealga, X. y Garcés, M. (2006). *Earth and Planetary Science Letters*, 243, 409-423.
- Leranzó, B. (1993). *Geomorfología y Geología Ambiental de la Ribera de Navarra*. Tesis Doctoral, Univ. Zaragoza, 521 p.
- Lewis, C., McDonald, E., Sancho, C., Peña, J.L. y Rhodes (2008). *Global and Planetary Change* (en prensa).
- Martinson, D.G., Pisias, N., Hays, J.D., Imbrie, J., Moore, T.C. y Shackleton, N.J. (1987). *Quaternary Research*, 27, 1-29.
- Murray, A.S. y Wintle, A.G. (2000). *Radiation Measurements*, 32, 57-73.
- Rhodes, E. (1988). *Quaternary Science Reviews*, 7, 395-400.
- Sancho, C., Peña, J.L., Lewis, C., McDonald, E. y Rhodes, E. (2004). *Geo-Guías. Itinerarios Geológicos por Aragón*, 1, 181-205.
- Sancho, C., Peña, J.L., Muñoz, A., McDonald, E., Rhodes, E.J. y Longares, L.A. (2008). *Catena*, 73, 225-238.