

# Cronoestratigrafía de los registros aluviales del tránsito Pleistoceno superior-Holoceno en la depresión de la Bardena Blanca (Navarra)

*Chronostratigraphy of Late Pleistocene-Early Holocene alluvial records in the Bardena Blanca depression (Navarra, Spain)*

A. Muñoz <sup>(1)</sup>, C. Sancho <sup>(1)</sup>, J.L. Peña <sup>(2)</sup>, G. Benito <sup>(3)</sup>, E. Rhodes <sup>(4)</sup>, E. McDonald <sup>(5)</sup> y L.A. Longares <sup>(2)</sup>

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

<sup>(2)</sup> Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza, Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza

<sup>(3)</sup> Centro de Ciencias Medioambientales, CSIC, Serrano15 duplicado, 28006 Madrid

<sup>(4)</sup> Research School of Earth Sciences, Australian National University, Canberra ACT 0200, Australia

<sup>(5)</sup> Desert Research Institute, 2215 Raggio Parkway, Reno NV 89512, USA

## ABSTRACT

*In this work, preliminary chronostratigraphic features of the Upper Pleistocene-Holocene morphosedimentary alluvial unit covering the bottom of the Bardena Blanca depression are described. This unit is made up by 1) gravels and sands related to a braided channel system, 2) laminated sands and clays accumulated in distal flats of alluvial fans and 3) clays and gypsums corresponding to a playa-lake environment. According to the first chronological data supplied by OSL and <sup>14</sup>C the age of this sequence ranges between 18 and 5 ka. The prevailed paleoclimatic conditions were cold and humid during Last Glacial Maximum-Oldest Dryas and arid during Lower Holocene.*

**Key words:** *Morphosedimentary alluvial unit, Upper Pleistocene-Holocene, Bardenas Reales, Ebro basin.*

*Geogaceta, 40 (2006), 263-266*

*ISSN: 0213683X*

## Introducción

La depresión de la Bardena Blanca, incluida en el Parque Natural de las Bardenas Reales de Navarra, alberga un interesante conjunto de unidades morfosedimentarias aluviales que registra la etapa final del Pleistoceno superior y todo el Holoceno (Sancho *et al.*, 2005). En este conjunto morfosedimentario destaca, por su singularidad, la unidad más antigua (Unidad Inferior). Desde el punto de vista morfosedimentario, los rellenos aluviales recientes en Bardenas ocupan una amplia depresión, mientras que en la cuenca del Ebro estos depósitos aparecen asociados con valles de fondo plano. Por otro lado, cronológicamente, la Unidad Inferior queda comprendida entre el Último Máximo Glaciar (LGM, 18 ka) y el Holoceno inferior, hecho remarcable porque los registros aluviales recientes, generalizados en la depresión del Ebro, pertenecen mayoritariamente al Holoceno superior (Macklin *et al.*, 1994; Gutiérrez y Peña, 1998; Peña *et al.*, 2004).

En base al interés de esta Unidad, el objetivo planteado consiste en analizar la

posición geomorfológica y los rasgos sedimentológicos que la caracterizan. Adicionalmente se presentan algunos datos cronológicos y se valora el significado paleoambiental de este registro aluvial.

## Marco geológico y geomorfológico

La Bardena Blanca constituye una amplia depresión erosiva, drenada por los barrancos Grande y Andarraguía, tributarios del Ebro cerca de Tudela, que se localiza en el sector centroccidental de la margen izquierda de la cuenca del Ebro (Fig. 1A). La depresión de la Blanca queda enmarcada y rodeada por relieves tabulares asociados al sustrato terciario, constituido básicamente por lutitas con niveles de yesos y capas de areniscas y calizas pertenecientes a diversas formaciones del Oligoceno superior y Mioceno (Larrasoña *et al.*, 2006), y a niveles aluviales cuaternarios culminantes (Leranz, 1993). Este contexto geomorfológico configurado, junto con la erosividad del sustrato geológico, ha favorecido la acumulación de registros aluviales recientes en el fondo de la depresión de la Blanca.

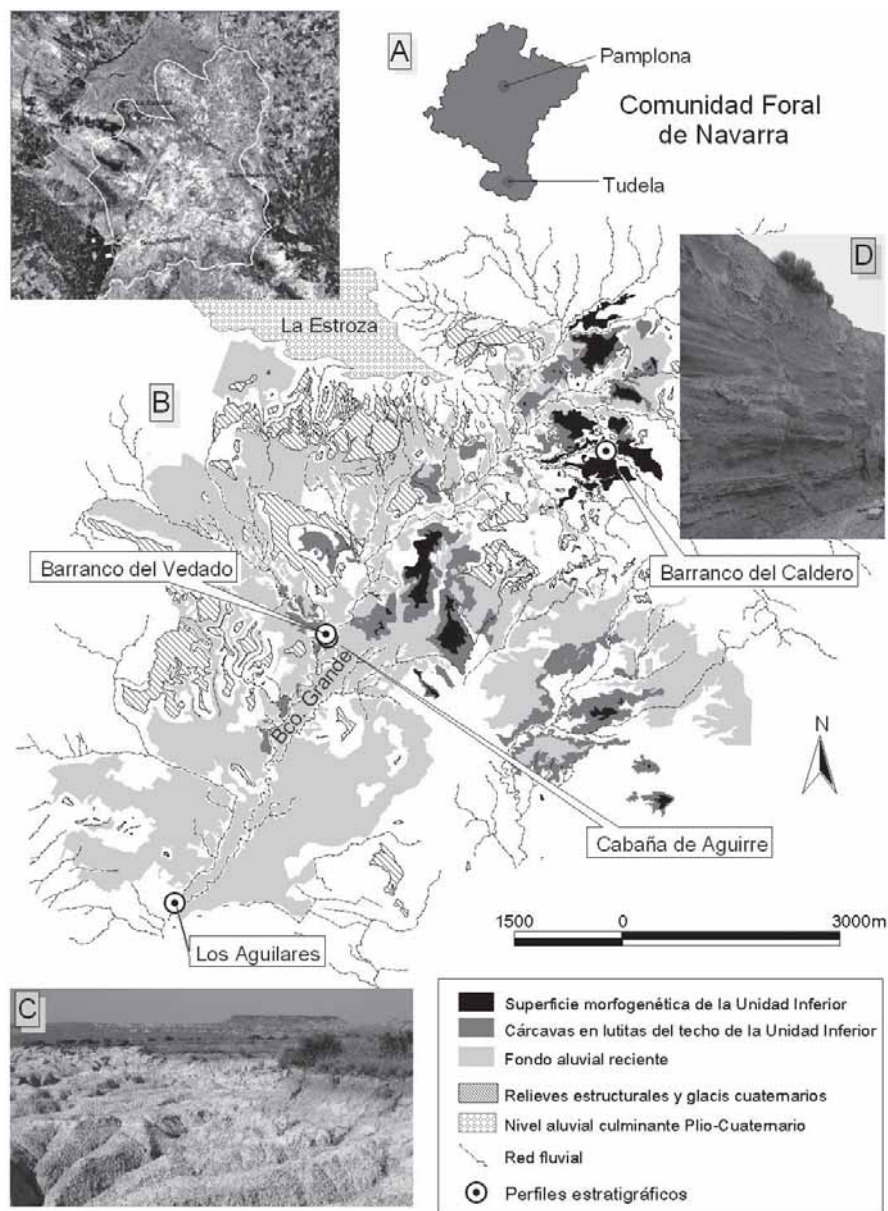
## Plan de trabajo

Inicialmente se ha realizado un análisis fotogeológico de la unidad morfosedimentaria y un reconocimiento geomorfológico posterior en campo. Paralelamente se han seleccionado una serie de puntos para levantar perfiles sedimentológicos y extraer muestras dedicadas a establecer cronologías absolutas mediante Luminiscencia Ópticamente Estimulada (OSL) y <sup>14</sup>C. Los análisis de luminiscencia se están llevando a cabo en la Universidad Nacional de Australia, de acuerdo con el método propuesto por Rhodes (1988) y las dataciones de radiocarbono en la Universidad de Zurich.

## Caracterización de la Unidad Inferior aluvial

### Posición geomorfológica

La Unidad Inferior aluvial aflora en buena parte de la depresión de la Bardena Blanca (Fig. 1B). Presenta dos posiciones geomorfológicas según aparezca en posición culminante o fosilizada por otras unidades más modernas (Fig. 2). Ambos dispositivos se ob-



**Fig. 1.-** A) Localización de la depresión de la Bardena Blanca. B) Cartografía geomorfológica y localización de los perfiles estratigráficos estudiados. C) Superficie morfogenética, suelo y cárcavas asociados con la Unidad morfosedimentaria Inferior (Cabaña de Aguirre). D) Aspecto de la base de la Unidad Inferior recubierta por unidades morfosedimentarias posteriores (Barranco del Caldero).

*Fig. 1.- A) Location of the Bardena Blanca area. B) Geomorphologic mapping and location of the stratigraphic logs studied. C) Morphogenetic surface, soil and badlands associated with the Lower morphosedimentary Unit (Cabaña de Aguirre site). D) Bottom of the Lower Unit overlaid with younger morphosedimentary units (Barranco del Caldero).*

servan en el sector correspondiente al Barranco Grande. En el primer caso, aparecen restos aislados de dimensiones variables con morfología de pequeñas mesas (Fig. 1C). Se identifican y correlacionan perfectamente por el suelo culminante y por las cárcavas circundantes. En la segunda situación (Fig. 1D), la parte superior de esta Unidad ha sido erosionada y aparecen superpuestas otras unidades aluviales más recientes, constituidas por recubrimientos de escasa potencia. La altimetría del techo de la Unidad Inferior se sitúa entre 290 y 305 m lo que indica la existencia de una paleosuperficie bastante generalizada casi horizontal.

*Descripción e interpretación de facies*

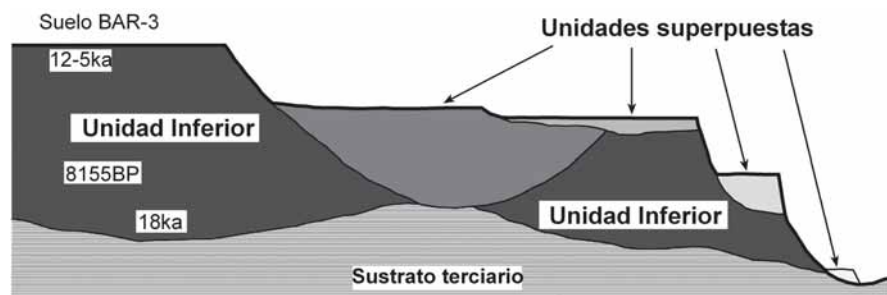
La Unidad Inferior ha sido estudiada con mayor detalle en Los Aguilares, Cabaña de Aguirre, El Vedado y El Caldero (Figs. 1 y 3A). Presenta espesores entre 12 y 16 metros y cuando aparece completa consta de tres tramos (Fig. 3A):

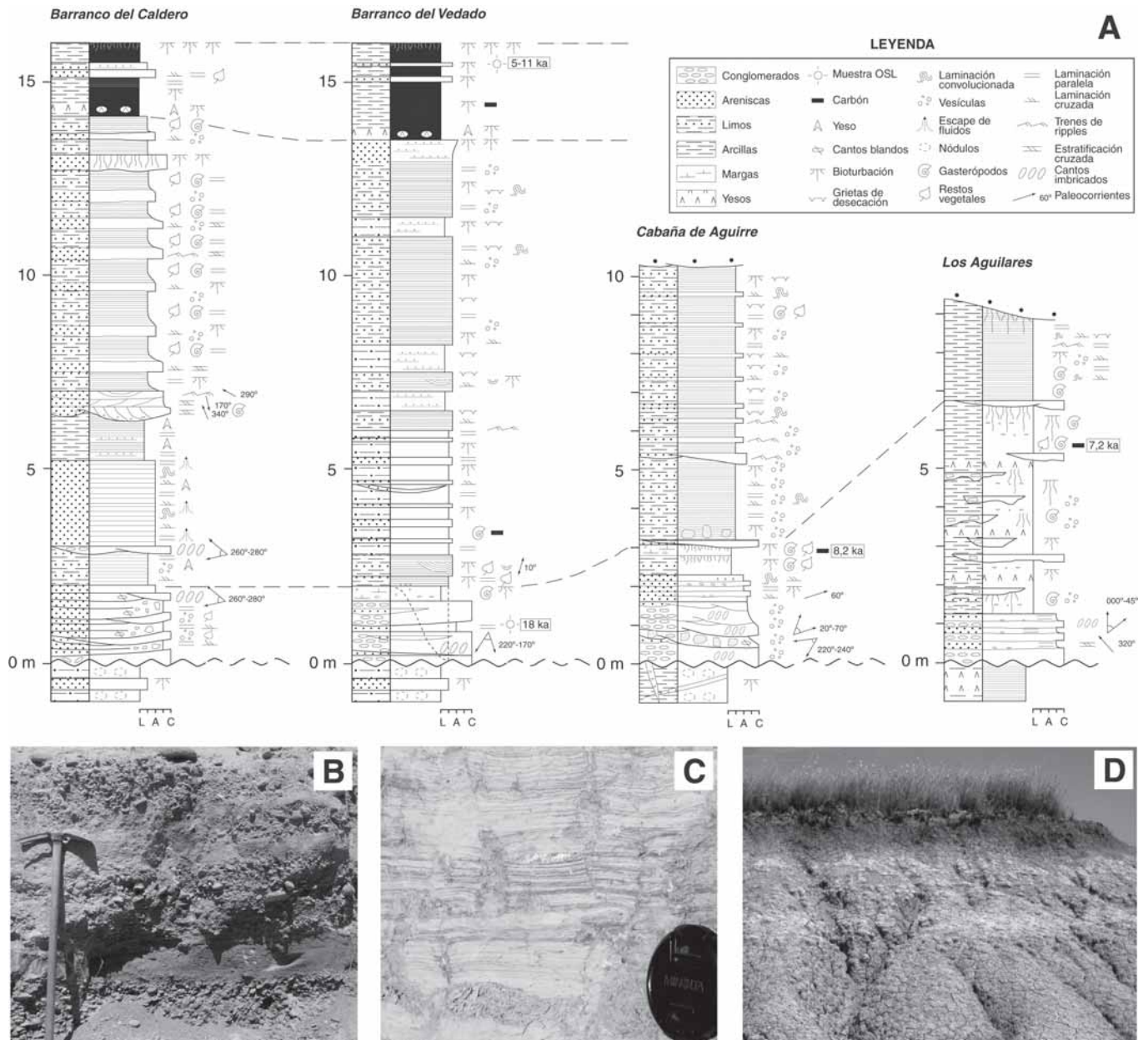
- El tramo inferior, de hasta 6 m de espesor, está constituido por conglomerados con textura granosostenida (Fig. 3B). En su interior se observan secuencias grava-gravilla, granoselección positiva y cantos imbricados. Se disponen en estratos tabulares con base erosiva. Localmente intercalan areniscas dispuestas en estratos tabulares o lenticulares de hasta 20 cm de potencia en cuyo interior se reconoce laminación paralela y estratificación cruzada planar. Estos depósitos pueden interpretarse como un conjunto de canales y barras conglomeráticas depositadas por un sistema braided de orientación NE-SO. En los perfiles de las áreas de Los Aguilares, Cabaña de Aguirre y Barranco del Vedado, aparecen cubiertos por paleosuelos que presentan abundante bioturbación vertical, frecuentemente rellena de yeso, así como gasterópodos y restos carbonosos. En ocasiones se observan rasgos de hidromorfismo bien desarrollados.

- El tramo intermedio, con espesores que oscilan entre 8 y 12 m, aparece

**Fig. 2.-** Sección esquemática de los registros aluviales del Pleistoceno superior-Holoceno de la Bardena Blanca que muestra la posición morfoestratigráfica de la Unidad Inferior (culminante o fosilizada por otras unidades) en un sistema de terrazas complejas.

*Fig. 2.- Schematic cross section of the Upper Pleistocene-Holocene alluvial records at the Bardena Blanca depression showing the morphostratigraphic occurrence of the Lower morphosedimentary Unit (topmost or underlying location) within a nested fill terrace system.*





**Fig. 3.- A) Columnas estratigráficas sintéticas de la Unidad morfosedimentaria Inferior en las que se han señalado los tres tramos diferenciados. B) Conglomerados y arenas correspondientes al tramo inferior de la unidad. C) Limos laminados del tramo intermedio. D) Arcillas masivas correspondientes al tramo superior de la unidad y suelo desarrollado sobre su superficie morfogenética.**

*Fig. 3.- A) Stratigraphic logs from the Lower morphosedimentary Unit showing the three intervals differentiated. B) Conglomerates and sandstones from the lower interval of the unit. C) Laminated siltstones from the intermediate interval of the unit. D) Massive claystones from the upper interval of the unit and soil developed on the morphogenetic surface.*

localmente encajado sobre el anterior. Está constituido por facies detríticas finas donde predomina la laminación paralela (Fig. 3C) siendo abundante también la laminación cruzada y convolucionada, trenes de ripples, grietas de desecación, bioturbación de raíces y vacuolas. Son frecuentes también los niveles con fragmentos vegetales y de carbón así como la presencia de pequeños gasterópodos. Estos depósitos pueden interpretarse como sand flat-mud flat (llanuras arenosas-lutíticas)

generados por flujos laminares procedentes de los abanicos aluviales que rodean la depresión morfológica de la Bardena Blanca.  
 - El tramo superior, de 2 a 4 m de espesor, está formado por lutitas ocreas o rojizas (Fig. 3D) dispuestas en niveles tabulares de hasta 2 m de potencia en cuyo interior se observa una laminación paralela muy deteriorada por la intensa bioturbación de raíces y donde se observan nódulos de yeso, restos carbonosos y gasterópodos. Estos

depósitos pueden interpretarse como un sistema de playa-lake formado en la parte más distal de los abanicos aluviales que rodean la depresión. El depósito finaliza con la implantación de un suelo (BAR-3, Fig. 2) moderadamente desarrollado (Fig. 3D), reconocible en toda la depresión, en el que destaca un horizonte B (Bt y Btky) de 65 cm de espesor con cutanes discontinuos de arcillas y materia orgánica en poros y agregados y concreciones de yeso y carbonato en la parte inferior.

### Datos cronológicos

Se han obtenido varias muestras para determinar la edad de la Unidad Inferior mediante técnicas de luminiscencia y radiocarbono, muchas de ellas todavía en proceso. En el perfil del Barranco del Vedado se tomaron dos muestras en la base de la Unidad (Tramo inferior) y otras dos en el techo (Tramo superior) para su análisis cronológico mediante luminiscencia. Con las medidas preliminares obtenidas hasta el momento es posible indicar, en una primera aproximación, que la base y techo de la Unidad Inferior se sitúan en torno a los 18 y 5 ka respectivamente. Adicionalmente, el tramo intermedio en el perfil de la Cabaña de Aguirre tiene una edad de  $8155 \pm 70$  años BP ( $7185 \pm 105$  años BC calibrada) y en el correspondiente a Los Aguilares presenta una edad de  $7230 \pm 60$  años BP ( $6098 \pm 62$  años BC calibrada), obtenidas ambas mediante radiocarbono. El grado de desarrollo del suelo BAR-3 es consistente con la edad de esta unidad.

### Consideraciones: los procesos sedimentarios en el marco paleoambiental

La depresión de la Bardena Blanca registra una interesante actividad sedimentaria en el tránsito Pleistoceno superior-Holoceno inferior durante un lapso temporal comprendido, aproximadamente, entre 18 y 5 ka. La base del relleno (Tramo inferior) está constituida por conglomerados, procedentes del desmantelamiento de glaciares pleistocenos circundantes, depositados por un sistema fluvial braided que drenaba sus aguas hacia el suroeste, enlazando posiblemente con el río Ebro. El desarrollo de paleosuelos y de zonas encharcadas sobre los conglomerados apuntaría hacia un posible cierre parcial del sistema de drenaje. Toda esta actividad sedimentaria y edáfica parece indicar unas condiciones de cierta humedad y temperaturas bajas durante el Postglaciar (Último Máximo Glaciar-Oldest Dryas, 18-14.5 ka). Una situación paleoambiental similar, si bien con una evolución compleja, ha sido señalada por Valero *et al.* (2004) para el Último Máximo Glaciar en el centro de la depresión de Ebro. Hasta el momento no se ha registrado, en la Bardena Blanca,

actividad aluvial asociada con el período frío del Younger Dryas (11-12 ka), circunstancia bastante generalizable tanto a escala regional, en las cuencas de los ríos Guadalupe (Fuller *et al.*, 1998) y Cinca (Sancho *et al.*, 2004), como a nivel peninsular (Thorndycraft y Benito, 2006).

Las condiciones de sedimentación parecen reestablecerse hace 8-9 ka, con la implantación de un clima semiárido responsable de la sedimentación de los depósitos laminados en un sistema de llanura arenosa-llanura lutítica (Tramo intermedio) asociada con abanicos procedentes de los relieves terciarios acaravados que circundan la depresión de la Bardena Blanca. En el sector central de esta depresión, y favorecido por las condiciones climáticas semiáridas, se desarrolló un playa-lake (Tramo superior) en el que llegaron a generarse esporádicos depósitos de yeso. La activación de los procesos sedimentarios bajo estas condiciones áridas debería relacionarse con el descenso de los niveles freáticos, la reducción de la cobertura vegetal y un incremento en la tasa de erosión en las laderas (Bull, 1991; Waters y Haynes, 2001). Estas condiciones de sedimentación, con cierta continuidad, parecen perdurar hasta los 5 ka registrando, probablemente, condiciones frías (evento 8.2 ka, período Boreal), junto con otras más favorables (Óptimo Climático Atlántico, 7-4 ka) (Peña *et al.*, 2004). Esta dualidad climática durante el Holoceno inferior es confirmada por Thorndycraft y Benito (2006) a nivel peninsular mediante datos paleohidrológicos. A partir de este momento se produce la apertura de la depresión de la Bardena Blanca y se inician los procesos de incisión y encajamiento de la red de drenaje asociada con el Barranco Grande.

En cualquier caso, debido al interés de las conclusiones preliminares, la realización de un análisis de alta resolución de estos registros permitiría mejorar el patrón regional de variabilidad climática desde el Último Máximo Glaciar hasta la mitad del Holoceno en el NE peninsular.

### Agradecimientos

Este trabajo constituye una contribución del Proyecto BTE2003-01296 del Ministerio de Ciencia y Tecnología. Agradecemos la colaboración de Alejan-

dro Urmeneta, responsable científico de la Comunidad de Bardenas Reales.

### Referencias

- Bull, W. (1991). *Geomorphic responses to climatic change*. Oxford University Press, 326 p.
- Fuller, I., Macklin, M., Lewin, J., Passmore, D. y Wintle, A. (1998). *Geology*, 26, 275-278.
- Gutiérrez, M. y Peña, J.L. (1998). *Geomorphology*, 23, 205-217.
- Larrasoana, 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. de Zaragoza, 521 p.
- Macklin, M.G., Passmore, D.G., Stevenson, A.C., Davis, B.A. y Benavente, J.A. (1994). En: *Environmental change in drylands: biogeographical and geomorphological perspectives* (A.C. Millington y K. Pye, Eds.). John Wiley and Sons, 113-130.
- Peña, J.L., Julián, A., Chueca, J., Echeverría, M.T. y Angeles, G.R. (2004). En: *Geografía Física de Aragón. Aspectos generales y temáticos* (J.L. Peña, L.A. Longares y M. Sánchez, Eds.). Univ. de Zaragoza-Institución Fernando el Católico, 289-302.
- Rhodes, E. (1988). *Quaternary Science Reviews*, 7, 395-400.
- Sancho, C., Peña, J.L., Lewis, C., McDonald, E. y Rhodes, E. (2004). *GeoGuías. Itinerarios Geológicos por Aragón*, 1, 181-205.
- Sancho, C., Peña, J.L., Muñoz, A., Benito, G., Longares, A., McDonald, E. y Rhodes, E. (2005). En: *Cuaternario mediterráneo y poblamiento de homínidos* (J. Rodríguez, C. Finlayson, y F. Giles, Eds.). VI Reunión del Cuaternario Ibérico, 40-41. Gibraltar.
- Thorndycraft, V.R. y Benito, G. (2006). *Quaternary Science Reviews*, 25, 223-234.
- Valero, B., González, P., Navas, A., Machín, J., Delgado, A., Peña, J.L., Sancho, C., Stevenson, T. y Davis, B. (2004). *Quaternary International*, 122, 43-55.
- Waters, M.R. y Haynes, C.V. (2001). *Geology*, 29, 399-402.