

Actividad aluvial durante la Pequeña Edad del Hielo en Bardenas Reales de Navarra

Alluvial activity during Little Ice Age in Bardenas Reales of Navarra

C. Sancho ⁽¹⁾, G. Benito ⁽²⁾, A. Muñoz ⁽¹⁾, J.L. Peña ⁽³⁾, L.A. Longares ⁽³⁾, E. McDonald ⁽⁴⁾, E. Rhodes ⁽⁵⁾ y Saz, M.A. ⁽³⁾

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

⁽²⁾ Centro de Ciencias Medioambientales, CSIC, Serrano15 duplicado, 28006 Madrid

⁽³⁾ Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza, Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza

⁽⁴⁾ Desert Research Institute, 2215 Raggio Parkway, Reno NV 89512, USA

⁽⁵⁾ Research School of Earth Sciences, Australian National University, Canberra ACT 0200, Australia

ABSTRACT

The geomorphology, sedimentology and pedology of the most recent alluvial unit (360 ± 101 to 216 ± 89 ^{14}C cal BP) were studied in the Bardenas Reales Natural Park (Navarra province). This unit is either infilling former narrow channel sections, currently showing a terrace morphology (e.g. El Vedado), or insert on older morphopedosedimentary units with wide channel morphology (e.g. Salinero). It is composed of a sequence of slacked flood depositional units, centimetric in scale, with weak degree of soil development. The palaeoclimatic context is interpreted within a period of arid trend, characterised by a high hydroclimatic variability, and increase in the frequency of floods during Little Ice Age. Alluvial dynamics shows a high degree of geomorphic effectiveness as well as a very quick response to centennial scale climatic variability.

Key words: *alluvial activity, Little Ice Age, climate change, Central Ebro basin.*

Geogaceta, 42 (2007), 111-114

ISSN: 0213683X

Introducción

La depresión de la Bardena Blanca, incluida en el Parque Natural de las Bardenas Reales de Navarra (Cuenca del Ebro) (Fig. 1), alberga un excelente registro aluvial holoceno conformado por varias secuencias morfopedosedimentarias (Muñoz *et al.*, 2006; Peña *et al.*, 2006). Existen evidencias geomorfológicas, sedimentológicas y edafológicas que apuntan hacia la ocurrencia de una unidad aluvial muy reciente, que vamos a denominar UMR y que constituye el objeto de este trabajo. A escala regional son escasas las referencias de registros aluviales similares, si bien Peña *et al.* (2004) indican un período de agradación aluvial en el fondo de valles de Época Moderna (Post siglo XVII) que correlacionan climáticamente con la Pequeña Edad del Hielo.

A partir del control cronológico y del análisis sedimentológico de la unidad UMR se pretende interpretar el significado paleoambiental de estos registros aluviales y obtener información relativa a la respuesta morfosedimentaria de los sistemas aluviales a estímulos climáticos

de alta frecuencia (escala de decenas-cientos de años) en el noreste peninsular. En general, los registros aluviales holocenos en regiones semiáridas constituyen excelentes indicadores de cambios ambientales (Cooke y Reeves, 1976; Chorley *et al.*, 1984; Knox, 1984; Bull, 1991; Waters y Haynes, 2001). Además, en ocasiones, permiten realizar análisis de alta resolución que detectan cambios climáticos a escala de cientos de años (Faust *et al.*, 2004). No obstante, la respuesta compleja de los sistemas aluviales, la alta variabilidad climática durante el Holoceno y la posible influencia de la presión antrópica sobre el medio pueden dificultar el manejo y procesado toda esta información.

Marco geológico y geomorfológico

La Bardena Blanca (Fig. 2A) constituye una depresión excavada en materiales predominantemente lutíticos de las formaciones Tudela y Ujué de edad Mioceno (Faci *et al.*, 1997) (Fig. 1). El fondo de esta depresión se encuentra a unos 300 m de altitud y está rodeada por relieves estructurales asociados con ma-

teriales terciarios calcáreos y areniscosos y por restos de niveles culminantes del Pleistoceno inferior, que llegan a superar los 600 m de altitud. Esta depresión erosiva se encuentra tapizada por secuencias aluviales del Pleistoceno superior y Holoceno. En la actualidad está drenada por un sistema de barrancos (Grande-Andarraguía) que desemboca en el Ebro cerca de Tudela. Los diferentes procesos erosivos presentan un elevado grado de actividad actual en un contexto climático semiárido con 13 °C de temperatura media y 350 mm de precipitación anual.

Metodología y plan de trabajo

El estudio de los registros aluviales más recientes (UMR) se inició con la elaboración de una cartografía geomorfológica a partir del análisis fotogeológico y del reconocimiento posterior de campo, que a su vez permitió seleccionar puntos de estudio en los que levantar perfiles estratigráficos, describir suelos, localizar restos de materia orgánica, enviados al Laboratorio de Radiocarbono de la Universidad de Zurich, y extraer

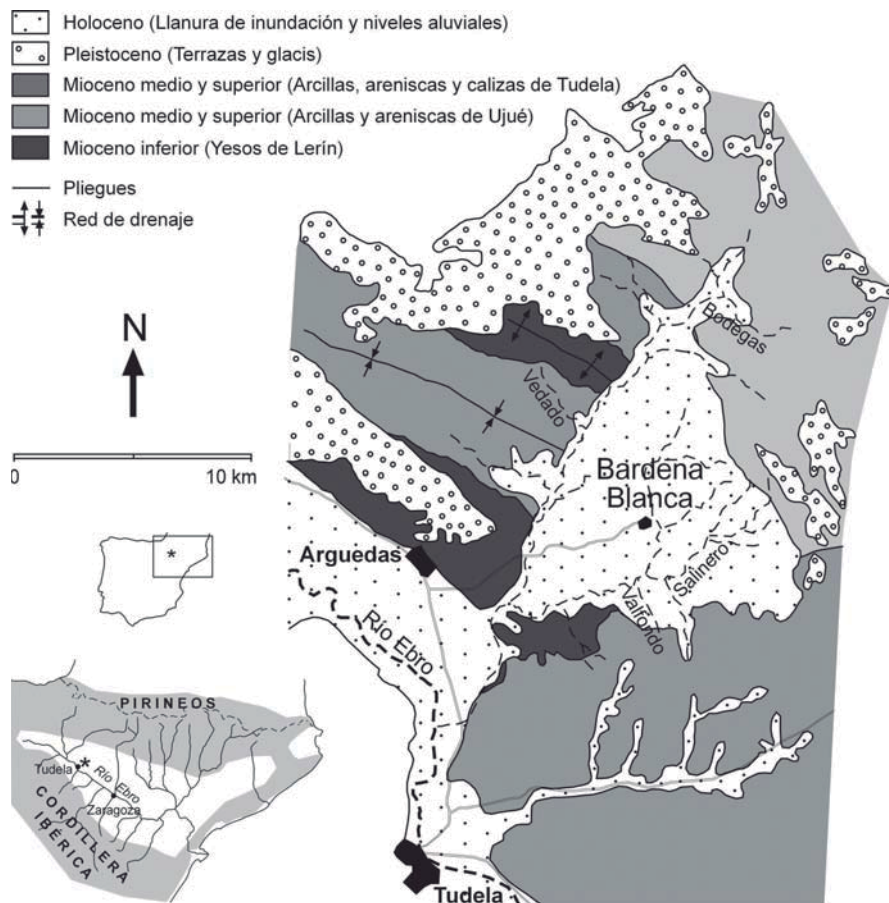


Fig. 1. Localización y situación geológica de Bardenas Reales.

Fig. 1.- Location and geological context of Bardenas Reales area.

muestras de arena destinadas al análisis de luminiscencia ópticamente estimulada en el Laboratorio de Luminiscencia de la Universidad Nacional de Australia.

Caracterización de los registros morfosedimentarios

Los registros morfosedimentarios más recientes aparecen en diferentes sectores de los principales barrancos (Vedado, Valfondo, Salinero y Las Bodegas) que drenan la depresión de la Bardenas Blanca (Fig. 1).

Posición geomorfológica

La unidad aluvial más reciente (UMR) conforma un nivel encajado muy próximo a los cauces actuales de los barrancos y superpuesto a depósitos de unidades aluviales más antiguas. Es posible diferenciar dos situaciones geomorfológicas en función del grado de encajamiento. Por un lado, en los barrancos de El Vedado (Fig. 2B) y Las Bodegas, aparece conformando un nivel aterrazado, fuertemente encajado con respecto a las superficies de unidades aluviales anteriores, que constituye el relleno parcial de una sección de canal de

reducidas dimensiones. Por otro, en el sector de los barrancos de Valfondo (Fig. 2C) y Salinero, constituye rellenos sedimentarios que colmatan geometrías de canales más amplias, con un menor grado de encajamiento respecto a las superficies morfogenéticas previas. En las dos situaciones geomorfológicas, sobre la superficie de esta unidad morfosedimentaria se encaja la red de drenaje actual, dando lugar a «tollos» y escarpes, si bien el grado de incisión es mayor en el primer caso (8-10 m) que en el segundo (3-4 m).

Características estratigráficas

La unidad morfosedimentaria más reciente (UMR) tiene espesores comprendidos entre 2 y 4 m. En relación con

su posición geomorfológica presenta características estratigráficas y sedimentológicas diferenciales. Por un lado, en los barrancos de El Vedado y Las Bodegas (Fig. 3) presenta geometría lenticular con base canaliforme y está formada por secuencias decimétricas integradas por dos términos. El inferior constituido por arenas de grano fino y medio, más raramente de grano grueso o con intercalaciones conglomeráticas, dispuestas en estratos con geometría tabular de hasta 20 cm de potencia, en cuyo interior se reconocen ripples de corriente, frecuentemente climbing ripples, laminación cruzada y convolucionada, caparzones de gasterópodos y restos carbonosos. El término superior de la secuencia corresponde a lutitas por lo general masivas, dispuestas en niveles tabulares de espesor centimétrico. Al igual que ocurre con el término arenoso, presenta una gran cantidad de vacuolas reflejando una alta tasa de sedimentación. Estas secuencias se asocian con eventos de carácter episódico interpretados como paleoavenidas. Por otro, en los barrancos de Valfondo y Salinero (Fig. 3) la unidad presenta, en su parte basal, características sedimentológicas semejantes a las descritas anteriormente, mientras que la parte superior está formada por una alternancia de arenas y limos finamente laminados y con abundantes restos orgánicos.

Las diferentes características sedimentológicas de esta unidad apuntan hacia la existencia de una polaridad sedimentaria en la horizontal, de forma que las geometrías lenticulares se asocian con ambientes proximales, cercanos a los paleorrelieves terciarios, mientras que los rellenos sedimentarios amplios ocuparían los sectores más distales dentro de la depresión morfológica de la Bardenas Blanca.

Desarrollo de suelos

El suelo formado sobre la superficie de la unidad reciente (UMR) presenta un débil desarrollo. Se han descrito perfiles en los barrancos de Las Bodegas, El Vedado, Salinero y Valfondo. El sue-

Muestra	Localización	Coordenadas UTM	Edad radiocarbono	Edad calibrada
BD-C-02	Barranco Vedado	30T0623001/4675808	255 ± 45 BP	1654 ± 105 AD
BD-C-03	Barranco Vedado	30T0623001/4675808	260 ± 45 BP	1640 ± 101 AD
BD-C-14	Barranco Salinero	30T0625568/4669677	185 ± 45 BP	1784 ± 89 AD

Tabla I.- Resultados de las dataciones con radiocarbono

Table I.- Radiocarbon data.

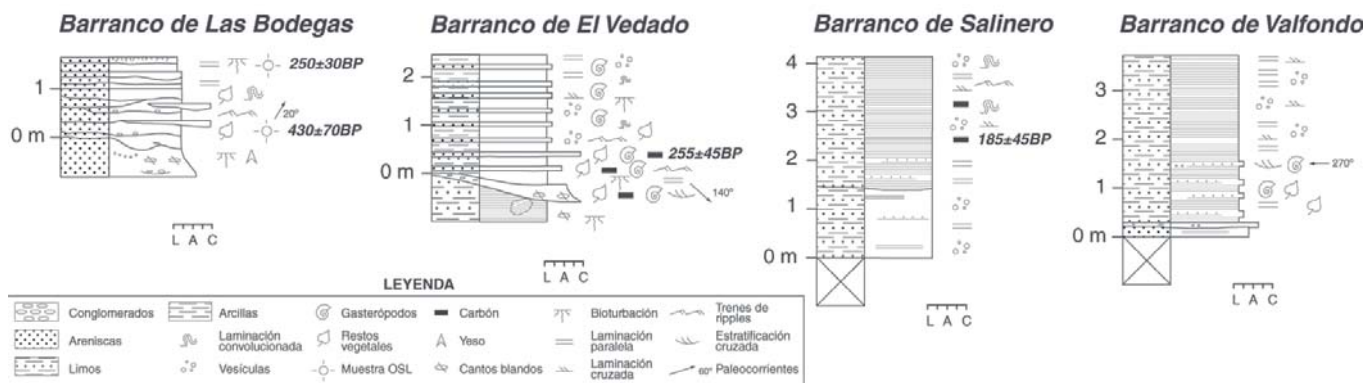


Fig. 3.- Columnas estratigráficas de la unidad morfopedosedimentaria aluvial reciente (UMR).

Fig. 3.- Stratigraphic logs of the recent alluvial morphopedosedimentary unit (UMR).

lo se ha formado sobre depósitos finos y presenta morfologías similares en todos los casos. El perfil general (Fig. 2D) presenta un horizonte A de poco espesor (3-8 cm) con una estructura en bloques y laminar poco desarrollada. Contiene perforaciones dispersas de insectos. Por debajo aparecen horizontes transicionales AC y CA, sin rasgos correspondientes a un horizonte B. En algunos horizontes C se observan huecos

de pequeño tamaño (<2 mm) de raíces rellenos de yeso.

Datos cronológicos

Se han datado mediante radiocarbono tres muestras procedentes de la unidad aluvial más reciente en los barrancos de El Vedado y Salinero. Las edades calibradas obtenidas son respectivamente 360±101, 346±105 y 216±89 BP (Tabla I). Esta edad está soportada

por las dataciones de luminiscencia ópticamente estimulada (OSL) en depósitos de los barrancos de Valfondo y Las Bodegas, que oscilan entre 250 y 430 BP, y por la escasa evolución de los suelos desarrollados sobre la superficie morfogenética asociada con esta etapa aluvial. En definitiva, los registros aluviales más recientes se acumularon durante los siglos XVII y XVIII, en plena Pequeña Edad del Hielo.

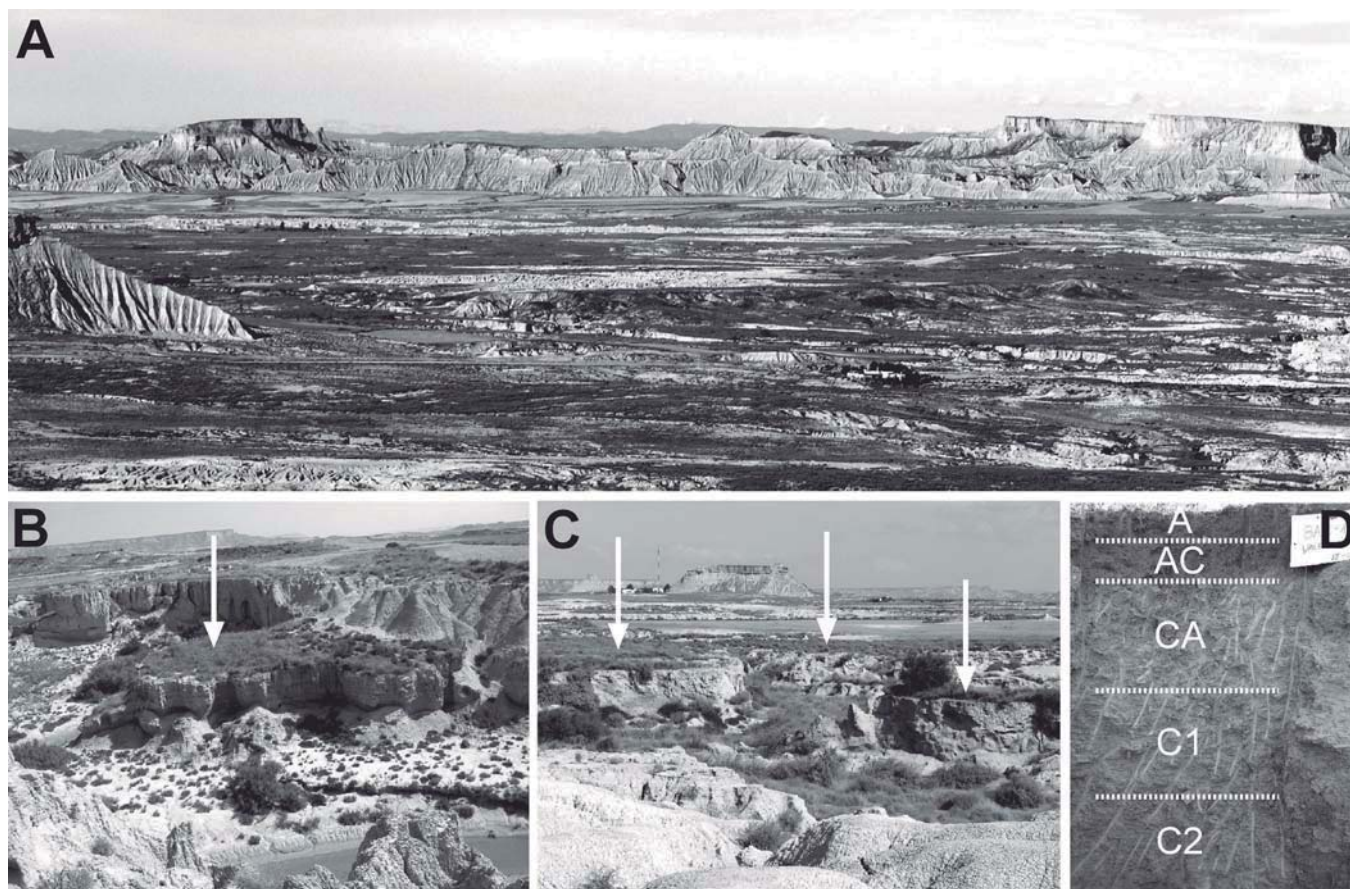


Fig. 2.- Aspectos de campo de la depresión de la Bardena Blanca (A) y de la unidad morfosedimentaria reciente UMR: posición geomorfológica en el barranco de El Vedado (B) y Valfondo (C) y perfil de suelo (Valfondo arroyo) (D).

Fig. 2.- Field features of the Bardena Blanca depression (A) and the recent morfopedosedimentary unit (UMR): geomorphological location in the El Vedado (B) and Valfondo (C) arroyos and soil profile (Valfondo arroyo) (D).

Discusión: consideraciones paleoambientales

La unidad morfosedimentaria holocena más reciente (UMR), reconocida en Bardenas Reales y asociada con la Pequeña Edad del Hielo, presenta diferencias geomorfológicas y sedimentológicas espaciales en función de la proximidad de áreas fuente y del gradiente de la red de drenaje, si bien la cronología absoluta y la evolución de los suelos relacionados confirman su desarrollo simultáneo en toda la depresión de la Bardena Blanca. Además, como rasgo común destaca la presencia de secuencias de depósitos asociadas con paleoavenidas y tasas de sedimentación elevadas que pueden superar 1 m cada 100 años. Todos estos rasgos confirman que los sistemas aluviales semiáridos holocenos de Bardenas Reales presentan alta sensibilidad, respuesta rápida y gran eficacia (Chorley et al., 1984) y que su dinámica está controlada por la ocurrencia de eventos extremos (Graf, 1988).

Desde el punto de vista ambiental, en medios semiáridos, los procesos de aluvionamiento se producen coincidiendo con momentos de incremento de la aridez (Langbein y Schumm, 1958; Knox, 1984; Bull, 1991; Waters y Haynes, 2001). En otras ocasiones, la actividad aluvial en regiones áridas se asocia con incremento en los episodios hidrológicos extremos de alta magnitud (Peña et al., 2004; Thorndycraft y Benito, 2006).

Las condiciones de aridez generalizada en las que debe contextualizarse la actividad aluvial reciente en Bardenas han sido reseñadas a escala peninsular mediante registros polínicos, de manera que se ha detectado un episodio seco entre 1580 y 1760 en la zona prepirenaica (Riera et al., 2004) y una etapa de desecación lacustre en torno a 1700 en el área del sureste mediterráneo (Carrión, 2002). Este descenso en los volúmenes pluviométricos, para el NE de la Península, ha sido también registrado mediante estudios dendroclimáticos (Saz, 2003), en relación con la crisis fría que tiene lugar durante el Mínimo Maunder (AD 1640-1710) en plena Pequeña Edad del Hielo. Sin embargo, esta tendencia a la aridez va acompañada por un aumento en la variabilidad interanual de las precipitaciones y en la frecuencia de los eventos pluviométricos catastróficos. Esta situación climatológica de alta variabilidad en la que alternan momentos de aumento en la frecuencia de las inundaciones catastróficas con periodos de sequías ha

sido señalada por Álvarez Vázquez (1986) y Benito et al. (1996). La activación de eventos hidrológicos extremos a escala nacional, entre 520 y 250 cal BP, ha sido indicada por Thorndycraft y Benito (2006). A nivel regional, el registro de inundaciones históricas del Rfo Queiles en Tudela (afluente del Ebro en la margen derecha) (Comisión Técnica de Inundaciones, 1985) muestra un momento de elevada frecuencia de avenidas (1640-1709) que encaja con las dataciones obtenidas en el arroyo de El Vedado.

Como conclusión, es posible plantear, de manera preliminar, que durante la Pequeña Edad del Hielo, en el NE peninsular, la actividad aluvial parece controlada por un incremento de la inestabilidad climática, que se traduce en un mayor número de eventos hidrológicos extremos, bajo un contexto de condiciones áridas generalizadas. Se deduce una alta sensibilidad de los sistemas aluviales y una respuesta rápida y eficaz a variaciones climáticas de alta frecuencia (décadas-siglos). De manera adicional, esta aproximación a la respuesta de los sistemas aluviales a estímulos climáticos recientes de alta frecuencia podría contribuir a un mejor conocimiento de su comportamiento futuro, en un escenario de cambios ambientales y de uso del territorio.

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. Agradecemos la colaboración de Alejandro Urmeneta (Comunidad de Bardenas Reales) y las sugerencias de un revisor anónimo.

Referencias

- Álvarez Vázquez, J.A. (1986). En: *Quaternary Climate in Western Mediterranean* (F. López Vera, Ed.). Universidad Autónoma de Madrid, 221-233.
- Benito, G., Machado, M.J. y Pérez-González, A. (1996). En: *Global continental changes: The context of palaeohydrology* (J. Branson, A.G. Brown y K.J. Gregory, Eds.). Geological Society Special Publication, 115, 95-98.
- Bull, W.B. (1991). *Geomorphic responses to climatic change*. Oxford Uni-

- versity Press, 326 p.
- Carrión, J.S. (2002). *Quaternary Science Reviews*, 21, 2047-2066.
- Chorley, R.J., Schumm, S.A. y Sudgen, D.E. (1984). *Geomorphology*. Methuen, 605 p.
- Comisión Técnica de Inundaciones (1985). *Estudio de Inundaciones Históricas. Mapa de Riesgos Potenciales. Cuenca del Ebro*. Comisión Nacional de Protección Civil, Tomo II. Madrid.
- Cooke, R.U. y Reeves, W.R. (1976). *Arroyos and environmental change in the American South-West*. Clarendon Press, 213 p.
- 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.
- Faust, D., Zielhofer, Ch., Baena, R. y Díaz del Olmo, F. (2004). *Quaternary Science Reviews*, 23, 1757-1775.
- Graf, W.L. (1988). *Fluvial processes in dryland rivers*. Springer Verlag, 346 p.
- Knox, J.C. (1984). En: *Developments and applications of Geomorphology* (J.E. Costa y P.J. Fleischer, Eds.). Springer Verlag, 318-342.
- Langbein, W.B. y Schumm, S.A. (1958). *Transactions of the American Geophysical Union*, 39, 1076-1084.
- Muñoz, A., Sancho, C., Peña, J.L., Benito, G., Rhodes, E., McDonald, E. y Longares, L.A. (2006). *Geogaceta*, 40, 263-266.
- Peña, J.L., Julián, A., Chueca, J., Echeverría, M.T. y Ángeles, G. (2004). En: Peña, J.L., Longares, L.A. y Sánchez, M. (Eds.). *Geografía Física de Aragón: aspectos generales y temáticos*, 289-302. Universidad de Zaragoza-Institución Fernando el Católico.
- Peña, J.L., Sancho, C., Muñoz, A., Benito, G., Longares, L.A., McDonald, E. y Rhodes, E. (2006). En: *Geomorfología y Territorio* (A. Pérez-Alberti, A. y J. López-Bedoya, Eds.). IX Reunión Nacional de Geomorfología, 655-668.
- Riera, S., Wansard, G. y Julià, R. (2004). *Catena*, 55, 293-324.
- Saz, M.A. (2003). *Temperaturas y precipitaciones en la mitad norte de España desde el siglo XV: Estudio dendroclimático*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, 44, 293 p.
- Thorndycraft, V.R. y Benito, G. (2006). *Catena*, 66, 34-41.
- Waters, M.R. y Haynes, C.V. (2001). *Geology*, 29, 399-402.