

# Características mineralógicas de los sedimentos aluviales holocenos del Barranco Grande (Bardenas Reales de Navarra)

## *Mineralogical characteristics of Holocene alluvial sediments from the Barranco Grande (Bardenas Reales of Navarra)*

Joaquín Bastida <sup>(1)</sup>, M<sup>a</sup> Cinta Osácar <sup>(2)</sup>, Arsenio Muñoz <sup>(2)</sup> y Carlos Sancho <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Departamento de Geología, Universidad de Valencia, Doctor Moliner 50, 46100 Burjassot, Valencia. joaquin.bastida@uv.es

<sup>(2)</sup> Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza, Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza. cinta@unizar.es, armunoz@unizar.es, csancho@unizar.es

### ABSTRACT

*Mineralogical composition of Holocene alluvial deposits from Bardenas Reales of Navarra is studied and compared with the Miocene mudrock substratum. An Early Holocene muddy-silty unit and another Middle-Upper Holocene sandy unit can be differentiated. Mineralogy semiquantitative results are compatible with weak weathering processes affecting the parent materials under humid conditions prior to Holocene. Besides, differences between alluvial units can be explained in terms of bedrock weathering, sedimentary features, recycling of sediments and pedogenetic processes.*

**Key words:** Alluvial sediments, clay minerals, Holocene, Bardenas Reales.

*Geogaceta*, 48 (2010), 167-170  
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

Aunque los registros aluviales holocenos se reconocen de manera generalizada en toda la Depresión del Ebro, en Bardenas Reales de Navarra presentan un amplio desarrollo espacial y temporal (Sancho *et al.*, 2008a). Estos depósitos holocenos han sido objeto de análisis geomorfológicos, estratigráficos y cronológicos (Muñoz *et al.*, 2006, Sancho *et al.*, 2007, 2008a). Para valorar su significado paleoambiental, los estudios anteriores se están complementando con la caracterización de diferentes indicadores. En este trabajo se ofrecen los primeros resultados relativos a la composición mineralógica de estos registros aluviales holocenos y se discuten los diversos controles que influyen en dicha composición.

### Área de estudio

El Barranco Grande drena el sector noroccidental de la depresión de la Bardena Blanca, un área semiárida en la parte centroccidental de la depresión del Ebro (Fig. 1). La altura en la cabecera de la cuenca de drenaje supera los 500 m y desciende hasta los 260 m cerca de la confluencia con el río Ebro. El fondo de la Depresión presenta un suave gradiente hacia el suroeste con pendientes que no alcanzan el 1%. Queda enmarcada por

lieves estructurales calcáreos al sur y areniscos al noreste, y por niveles fluviales y aluviales cuaternarios al noroeste y al este. El sustrato geológico (Fig. 2) está constituido básicamente por lutitas y areniscas de las formaciones miocenas de Ujué y Tudela, siendo frecuentes los afloramientos de yesos al suroeste y de calizas al sur (Faci *et al.*, 1997). La depresión de la Bardena Blanca alberga una completa secuencia de unidades morfosedimentarias holocenas, de naturaleza lutítica y arenosa, que corresponden a dos estadios paleogeográficos diferentes (Sancho *et al.*, 2008a). La primera etapa sedimentaria tiene lugar a principios del Holoceno (10-7 ka) y está representada por una unidad lutítica acumulada en una cuenca semiendorreica, que ocupaba todo

el fondo de la Bardena Blanca. El segundo estadio está compuesto por tres unidades morfosedimentarias asociadas con la red de drenaje desarrollada una vez capturada la depresión anterior. Son unidades básicamente arenosas del Holoceno medio y reciente (6-0 ka) que se estructuran en niveles aterrazados encajados y superpuestos.

### Materiales y metodología

En el entorno de la Cabaña de Aguirre, y aprovechando los escarpes desarrollados por el encajamiento de los barrancos Grande y Vedado, afloran las unidades aluviales anteriores (Fig. 3). Se han seleccionado dos afloramientos para levantar sendos perfiles estratigráficos co-

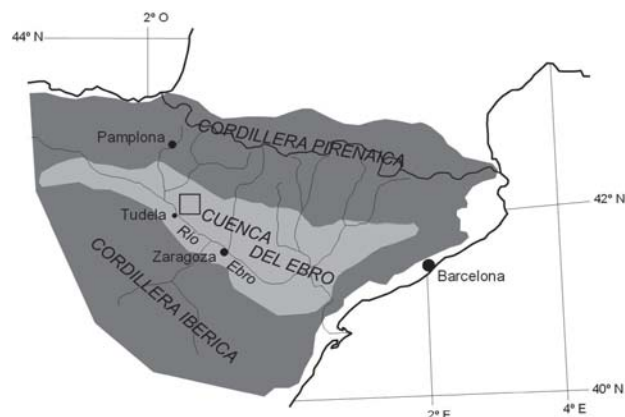
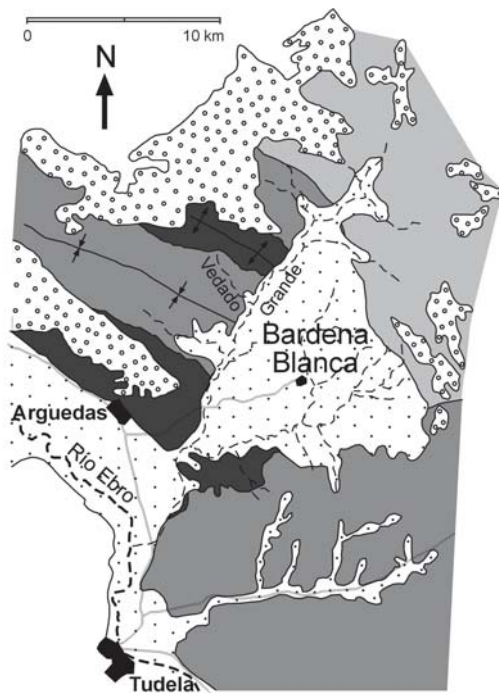


Fig. 1.- Situación de Bardenas Reales.

Fig. 1. - Location of Bardenas Reales.



Holoceno (Llanura de inundación y niveles aluviales)  
 Pleistoceno (Terrazas y glaciares)  
 Mioceno medio y superior (Arcillas y areniscas de Ujué)  
 Mioceno medio y superior (Arcillas de Tudela)  
 Mioceno inferior (Yesos de Lerín)

	Mineralogía total (100%)					Mineralogía de filosilicatos				
	Filosilicatos	Cuarzo	Feldespatos	Calcita	Yeso	Caolinita	Illita/moscovita	Clorita/vermiculita	Esmectita	I/S
Arenas	16,8	26,3	0,6	56,0	0,4	4,4	5,1	4,3	0,0	3,0
Lutitas laminadas	20,1	21,9	0,5	56,6	0,8	5,4	6,1	5,1	0,0	3,5
Lutitas bioturbadas	28,4	17,3	0,6	53,0	0,7	7,0	8,9	7,4	0,0	5,1
Paleosuelo	23,6	18,2	0,8	56,7	0,8	8,9	6,0	5,0	0,0	3,6
<b>UNIDAD LUTÍTICA</b>	<b>21,9</b>	<b>21,4</b>	<b>0,6</b>	<b>55,5</b>	<b>0,7</b>	<b>5,8</b>	<b>6,7</b>	<b>5,6</b>	<b>0,0</b>	<b>3,8</b>
Arenas laminación cruzada	11,8	25,1	0,3	60,3	2,5	1,6	8,2	2,0	0,0	0,0
Paleosuelos	25,0	16,8	0,5	53,7	4,1	1,6	19,0	4,4	0,0	0,0
Arenas finas	16,0	24,6	1,7	56,4	1,3	1,5	12,0	2,4	0,0	0,0
<b>U. arenosa basal</b>	<b>16,4</b>	<b>23,4</b>	<b>1,1</b>	<b>56,9</b>	<b>2,1</b>	<b>1,6</b>	<b>12,2</b>	<b>2,7</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
Limos	20,5	21,6	1,0	55,7	1,2	1,8	16,0	2,8	0,0	0,0
Arenas finas	10,5	30,3	0,5	58,5	0,2	1,5	7,1	1,9	0,0	0,0
<b>U. arenosa intermedia</b>	<b>15,8</b>	<b>25,4</b>	<b>0,8</b>	<b>57,2</b>	<b>0,8</b>	<b>1,6</b>	<b>11,9</b>	<b>2,3</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
Arenas medias y gruesas	9,6	33,0	0,4	56,8	0,3	0,8	7,4	1,4	0,0	0,0
<b>U. arenosa superior</b>	<b>13,7</b>	<b>27,5</b>	<b>0,8</b>	<b>57,0</b>	<b>1,1</b>	<b>1,3</b>	<b>10,3</b>	<b>2,1</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
<b>UNIDAD ARENOSA</b>	<b>13,7</b>	<b>27,5</b>	<b>0,8</b>	<b>57,0</b>	<b>1,1</b>	<b>1,3</b>	<b>10,3</b>	<b>2,1</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
<b>TERCIARIO</b>	<b>20,5</b>	<b>17,7</b>	<b>0,7</b>	<b>60,7</b>	<b>0,4</b>	<b>1,1</b>	<b>16,3</b>	<b>2,1</b>	<b>1,0</b>	<b>0,0</b>

Tabla I.- Promedios de la composición mineralógica (análisis semicuantitativo) de las unidades diferenciadas en los sedimentos aluviales holocenos de Bardenas (illita/moscovita=illita o moscovita, clorita/vermiculita = clorita o vermiculita, I/S =interstratificado irregular illita-esmectita).

Table I.- Averages of mineralogical composition (semiquantitative analysis) of differentiated units in the Holocene alluvial records of Bardenas (illite/muscovite=illite or muscovite, chlorite/vermiculite = chlorite or vermiculite, I/S = random mixed layer illite-smectite).

Fig. 2.- Marco geológico de la Bardenas Blancas.

Fig. 2.- Geological setting of the Bardenas Blancas.

identificación se ha realizado con el programa Search, y la base de datos ICDD-PDF2. Para la identificación de filosilicatos se han seguido los criterios de Warshaw y Roy (1961), utilizando registros de polvo de muestra total y de agregados orientados de fracción arcilla (en una primera fase con agregados sin tratamiento, calentados a 550°C durante 2h y tratados con

respondientes a la unidad lutítica antigua y al conjunto arenoso más reciente (Fig. 4). Paralelamente, los perfiles fueron muestreados para realizar los análisis mineralógicos. En el muestreo, además de la posición estratigráfica, se consideró el tipo de facies. La unidad lutítica antigua alcanza los 18 m de potencia en el Barranco del Vedado. Las facies diferenciadas son arenas de grano fino, en la base, alternancia de lutitas laminadas y lutitas bioturbadas, en el tramo intermedio, y paleosuelo, desarrollado en la superficie morfogenética de esta unidad (Fig. 3B). En el conjunto arenoso, se ha diferenciado una unidad basal, constituida por arenas de grano medio con estratificación cruzada, arenas de grano fino y paleosuelos, una unidad intermedia, en la que aparecen facies de arenas de grano fino y lutitas y, finalmente, una unidad superior (Fig. 3C), formada por arenas de grano medio y grueso con estratificación cruzada. La potencia de este conjunto arenoso en el Barranco Grande supera los 12 m.

Se han practicado análisis mineralógicos de 72 muestras holocenas, así como de 7 muestras pertenecientes al sustrato mioceno del área fuente, de cara a comparar las respectivas composiciones.

Los análisis mineralógicos por difracción de rayos X se realizaron en un equipo Bruker D5000 en condiciones de ru-

tina, operando bajo el sistema Diffrac Plus, que incluye los programas Eva, Search y Maint, descritos en Bruker AXS (2003). La

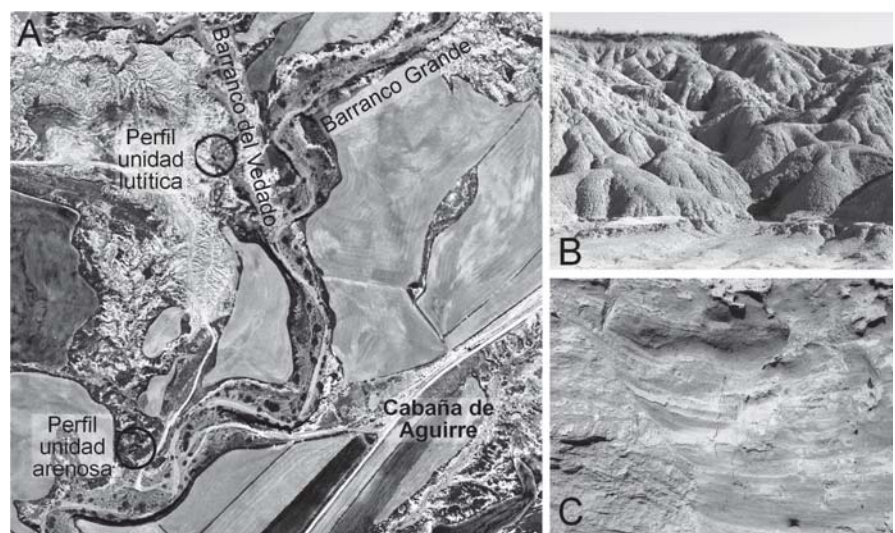


Fig. 3.- Aspectos de campo de la depresión de la Bardenas Blancas. A: Confluencia de los barrancos Grande y Vedado y localización de los perfiles muestreados. Las áreas acarcavadas de color blanco coinciden con la unidad lutítica (Holoceno inferior). El resto de la superficie corresponde a la unidad arenosa (Holoceno medio y superior). B: unidad lutítica bioturbada, incluyendo el paleosuelo a techo. C: relleno de canal en la unidad arenosa superior.

Fig. 3.- Field features of the Bardenas Blancas Depression. A: Junction between arroyos Grande and Vedado, and situation of sampled stratigraphic profiles. White badlands areas represent outcrops of the muddy-silty unit (Early Holocene). The remaining area corresponds to the sandy unit (Middle and Upper Holocene). B: Bioturbated muddy-silty unit, including the paleosol. C: An infilling channel morphology in the upper sandy unit.



etilenglicol 12h). Para las estimaciones semicuantitativas se ha utilizado la adaptación del método de las intensidades de referencia (Davis y Smith, 1989a y b), incorporada a la opción Semicuan del programa Eva.

**Resultados**

Las diferencias más relevantes en composición de muestra total pueden apreciarse

en la tabla I y la figura 5. Destaca el menor contenido en cuarzo de las lutitas del sustrato, respecto las unidades holocenas. El mayor contenido en filosilicatos aparece, por unidades, en el conjunto lutítico antiguo, y por facies, en lutitas bioturbadas y palesuelos. El mayor contenido en yeso aparece en la unidad arenosa reciente y particularmente en las arenas con estratificación cruzada y palesuelos.

Las diferencias más significativas en cuanto a filosilicatos pueden apreciarse en la tabla I y en la figura 6. Por unidades y facies, destaca el mayor contenido en caolinita, en la unidad lutítica (con los mayores valores en lutitas bioturbadas y palesouelo). Esta unidad tiene también las menores cuantías de illita/moscovita (valor mínimo en las arenas basales), mientras que la unidad arenosa presenta valores mayores, que superan incluso (palesuelos y limos) a los del sustrato.

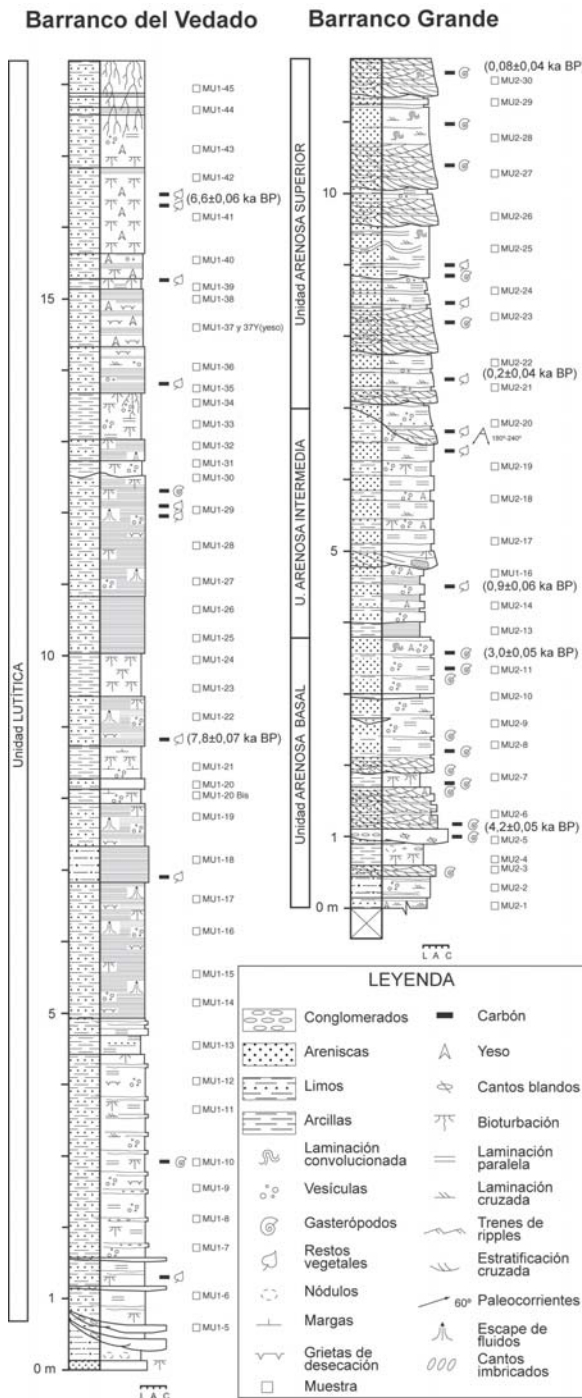
Los contenidos en clorita/vermiculita de la unidad lutítica son claramente superiores tanto respecto a la unidad arenosa como al sustrato. Por otra parte, los interestratificados illita-esmectita se registran sólo en la unidad lutítica, y en todas sus facies, mientras que la esmectita presente en el sustrato no aparece en las unidades holocenas.

El paso de la unidad lutítica a la arenosa se traduce, en cuanto a composición, en disminuciones de caolinita, clorita/vermiculita, e illita-esmectita, que equilibran aproximadamente el aumento en illita/moscovita.

**Discusión**

Las características sedimentológicas de la unidad lutítica del Holoceno inferior indican la presencia de ambientes de llanuras de arena y barro en una depresión semicerrada. En estas condiciones la depresión de la Bardena Blanca funcionaba como una cubeta que retenía todo el material mioceno erosionado en el área fuente circundante, básicamente arcilloso. La desaparición de esmectita, el descenso de la illita/moscovita y la aparición de interestratificados I/S parecen indicar procesos de transformación (Righi *et al.*, 1993). Estas transformaciones de los minerales de la arcilla se producirían por meteorización del sustrato mioceno en etapas climáticas de mayor humedad previas al Holoceno (Sancho *et al.*, 2008b). Por otro lado, el aumento de caolinita en el paleosuelo que corona la unidad lutítica podría asociarse a condiciones de mayor acidez y elevado drenaje (Grim, 1968).

Esta unidad lutítica del Holoceno inferior ha sido sometida a una erosión importante por el encajamiento de la red de drenaje, de manera que en los surcos erosivos resultantes queda alojada la unidad arenosa del Holoceno medio y superior. El área fuente de esta unidad arenosa hay que buscarla en la unidad holocena lutítica antes que en el sustrato mioceno, debido a la mayor labilidad de la primera. Los rasgos sedimentológicos de esta unidad apuntan



**Fig. 4.-** Perfiles estratigráficos de los sedimentos aluviales holocenos de Bardenas.

*Fig. 4.- Stratigraphic profiles of Holocene alluvial records of Bardenas.*

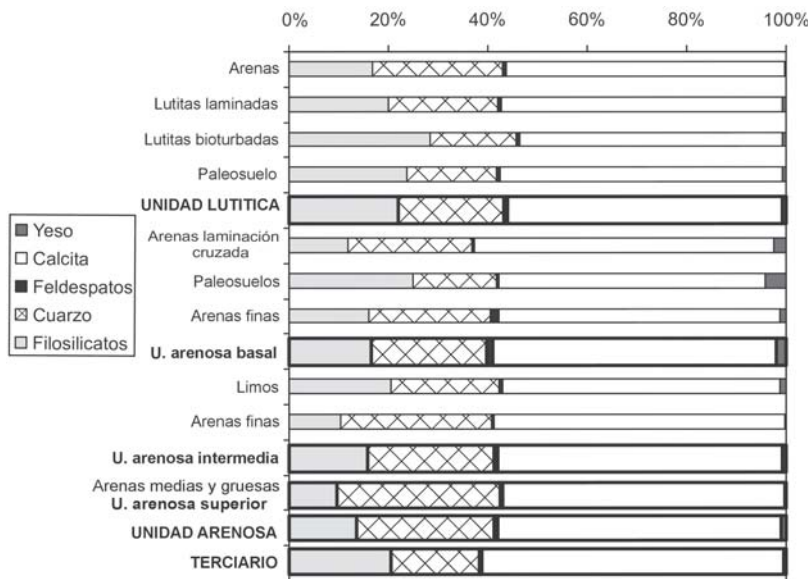


Fig. 5.- Composición mineralógica total de las muestras estudiadas, agrupadas por facies y unidades.

Fig. 5.- Mineralogical composition of bulk samples grouped in facies and units.

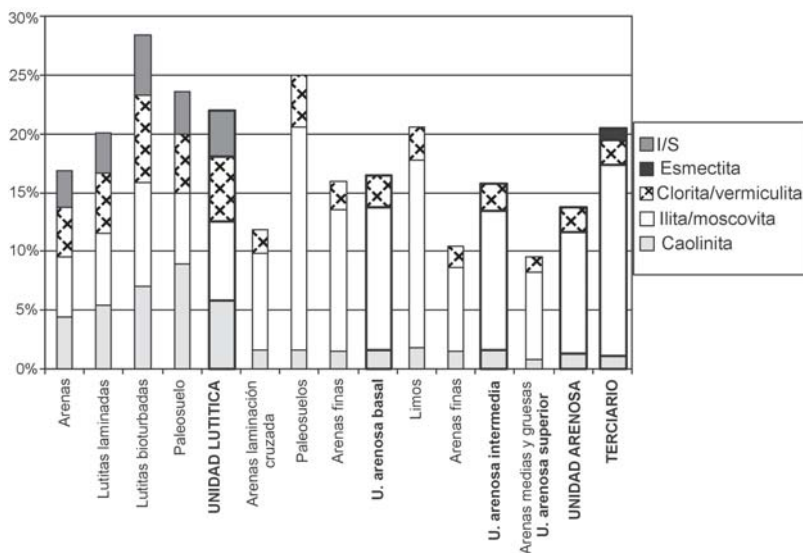


Fig. 6.- Contenido en filosilicatos de las muestras estudiadas agrupadas por facies y unidades.

Fig. 6.- Phyllosilicates content of samples grouped in facies and units.

hacia ambientes fluviales, de manera que la exportación de la población en suspensión permitiría explicar la disminución de filosilicatos en la matriz de las arenas. Este hecho también vendría favorecido por el reciclado de los sedimentos de las propias subunidades arenosas. Por otro lado, en la unidad arenosa basal destaca el desarrollo de paleosuelos a techo de secuencias fluviales con aumento de la illita/moscovita y la clorita/vermiculita y menor proporción de caolinita (menor acidez y drenaje) (Grim, 1968).

Se hace necesaria una investigación más detallada, de los constituyentes de las asociaciones minerales reconocidas, con

diferenciación precisa de especies próximas a nivel de identificación (clorita y vermiculita, esmeclita y vermiculita hinchable), además de establecer las fracciones granulométricas en las que se concentra cada constituyente, con el fin de reconocer sus relaciones mutuas que, por el momento, no resultan evidentes.

**Conclusiones**

La composición mineralógica de las unidades morfosedimentarias holocenas de la Bardena Blanca está controlada por diferentes factores entre los que destacan la meteorización del sustrato mioceno, el

medio sedimentario, el reciclado de sedimentos y los procesos pedogenéticos. En esta valoración hay que considerar el escaso tiempo transcurrido y la influencia limitada de un clima caracterizado por condiciones de aridez generalizada y variabilidad hidrológica durante todo el Holoceno (Sancho et al., 2008a). Conclusiones similares han sido establecidas por Zielhofer et al. (2009) en secuencias aluviales del Holoceno en el norte de Túnez.

**Agradecimientos**

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos CGL2006-08973/BTE y CGL2009-10455/BTE (Ministerio de Ciencia e Innovación-FEDER). Constituye una aportación de los grupos Geotransfer, Cuencas Sedimentarias Continentales y PaleoQ del Gobierno de Aragón. Los autores agradecen los comentarios de dos revisores anónimos que han ayudado a mejorar el manuscrito.

**Referencias**

Bruker AXS (2003). Diffrac Plus EVA. Evaluation Package.  
 Davis, B.L. y Smith, D.K. (1989a). *Powder Diffraction*, 3, 201-206.  
 Davis, B.L. y Smith, D.K. (1989b). *Powder Diffraction*, 4, 205-209.  
 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.  
 Grim, R.E. (1968). *Clay Mineralogy*. Mc Graw Hill, 596 p.  
 ICDD-PDF2 on CD-ROM, RIs (2002). International Centre for Diffraction Data. Pennsylvania.  
 Muñoz, A., Sancho, C., Peña, J.L., Benito, G., Rhodes, E., McDonald, E. y Longares, L.A. (2006). *Geogaceta*, 40, 263-266.  
 Righi, D., Petit, S. y Bouchet, A. (1993). *Clays and Clay Minerals*, 41, 484-495.  
 Sancho, C., Benito, G., Muñoz, A., Peña, J.L., Longares, L.A., McDonald, E., Rhodes, E. y Saz, M.A. (2007). *Geogaceta*, 42, 111-114.  
 Sancho, C., Peña, J.L., Muñoz, A., McDonald, E., Rhodes, E.J. y Longares, L.A. (2008a). *Catena*, 73, 225-238.  
 Sancho, C., Muñoz, A., Rhodes, E., McDonald, E., Peña, J.L., Benito, G. y Longares, L.A. (2008b). *Geogaceta*, 45, 47-50.  
 Warshaw, C. y Roy, R. (1961). *Geological Society of America Bulletin*, 72, 1455-1492.  
 Zielhofer, Ch., Recio, J.M., Núñez, M.A. y Faust, D. (2009). *Quaternary International*, 209, 44-65.