

## Feldespatos autigénicos en el Paleozoico inferior de la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica

J. Mandado, L. F. Auqué, M<sup>a</sup> J. Gimeno, M<sup>a</sup> P. Lapuente,  
P.L. López Julián y J. M. Sanz

Área de Petrología y Geoquímica. Departamento de Ciencias de la Tierra  
Universidad de Zaragoza. 50009 Zaragoza

### Abstract

Preliminary data on Cambrian and Ordovician detritic formations in the Eastern Iberian Chains (Spain) are reported. Different feldspathic facies and authigenesis processes of feldspars have been identified by microscopy, CL, SEM with EDAX and X-Ray diffractometry.

The areal distribution of processes shows a fairly good correlation with tectonic events. Higher amount of authigenic feldspars are found in the Vicort and Moncayo Sierras, which are the areas most affected by veining and faulting.

### 1 Introducción

La bibliografía científica recoge una amplia documentación sobre los procesos de transformación diagenética de los feldespatos detríticos, especialmente sobre la albitización (Kastner, 1971; Kastner y Siever, 1979; Land y Milliken, 1981; Saigal *et al.*, 1988; Milliken, 1989; Morad *et al.*, 1989; Aagaard *et al.*, 1990). Aspecto que tiene una importante incidencia sobre la interpretación de los depósitos detríticos en los que se produce, al modificar la composición, textura y permeabilidad de los sedimentos, dificultando así la interpretación del análisis de *proveniencia* de los mismos.

En este trabajo se aborda específicamente las transformaciones diagenéticas que sufren estos minerales en los sedimentos areníticos del Paleozoico inferior de la Cordillera Ibérica, interpretándolas desde un doble punto de vista, por un lado, como indicadoras del gradiente diagenético alcanzado por la roca y, en segundo lugar, atendiendo a la evaluación viable de la *proveniencia* de las formaciones en las que se producen.

## 2 Situación geológica

Las secuencias detríticas del Cámbrico y Ordovícico de las Cadenas Ibéricas Orientales fueron descritas por primera vez por Lotze (1929) y su litoestratigrafía actualizada se recoge en los trabajos de Gozalo (1995) y Liñán *et al.* (1996). En ellas se identifican varias formaciones areníticas que en el Cámbrico se concretan en las de: Bámbola, Embid, Jalón, Daroca, Borobia, Encomienda y Valconchán, las cuales alternan con otras lutíticas o carbonatadas, que no han sido objeto de estudio en este trabajo. Por su parte, de edad ordovícica, en la Cadena Ibérica afloran las formaciones areníticas de Borrachón, Dere, Santed, Cuarcita Armoricana, Castillejo, Fombuena, Orea, Cuarcita Blanca y Bádenas, con tramos lutíticos muy variables en una u otra formación y la intercalación carbonatada de la Fm. Caliza de Cistoideos. La potencia total acumulada de la columna Cambro-ordovícica supera los 8000 m, si bien mediante reconstrucción a partir de numerosos perfiles parciales, presentando los diferentes tramos amplias variaciones de potencia de unas a otras localidades.

Los depósitos corresponden a medios marinos someros a sublitorales, generalmente transgresivos, con varios eventos menores regresivos intercalados.

La complejidad tectónica de la zona estudiada, que abarca desde Alpartir (provincia de Zaragoza) en la Unidad de Herrera (Gozalo y Liñán, 1988) a Borobia, en el límite occidental de las Cadenas Ibéricas, correspondiente a la Unidad de Badules (Gozalo y Liñán, *op.cit.*), dificulta, en ocasiones, la correlación litoestratigráfica, al tiempo que modifica sensiblemente el gradiente diagenético de las mismas, presentando los máximos gradientes en el margen septentrional de la Unidad de Herrera, en los afloramientos correspondientes a la Sierra de Vicort, especialmente en las proximidades de la falla de Datos.

## 3 Metodología

El estudio se ha efectuado a partir de las muestras colectadas en 16 perfiles diferentes, levantados en: Alpartir (3 perfiles, correspondientes a Ordovícico), Sierra de Vicort (6 perfiles del Cámbrico y 2 del Ordovícico), Brea de Aragón (1 perfil del Cámbrico inferior), Borobia (2 perfiles del Cámbrico medio al superior) y Moncayo (2 perfiles inidentificables, atribuidos al Cámbrico superior-Ordovícico inferior).

Se han recogido más de 400 muestras de todas las columnas, que han sido estudiadas por petrografía óptica convencional en nuestro Laboratorio, realizando tinción de algunas de ellas con cobaltinitrito sódico, para identificar los feldespatos potásicos; análisis mediante catodoluminiscencia de algunas de ellas, mediante el equipo de catodoluminiscencia de luz fría TECHNOSIM del Laboratorio de Fotografía Microscópica de la Universidad de Zaragoza; difracción de rayos X en 45 muestras seleccionadas por su composición más

feldespática, efectuado en el Laboratorio de Fluorescencia y Difracción de Rayos X del Museo Nacional de Geología (C.S.I.C.); y análisis de 8 muestras mediante microscopía electrónica con EDAX en el Servicio de Microscopía Electrónica de la Universidad de Zaragoza.

#### 4 Petrografía de los niveles areníticos

El análisis petrográfico muestra una moderada diversidad de términos que, según la clasificación de Pettijohn *et al.* (1987), se circunscribe a los términos de cuarzenita, subarcosa, arcosa, grauwaca cuarzosa y grauwaca feldespática. El componente dominante en todas las muestras analizadas es el cuarzo, con rangos de variación del porcentaje del armazón de granos, desde el 98 al 67 %, estando constituido fundamentalmente por cuarzos monocristalinos ondulantes; el segundo componente detrítico es el feldespato, que se encuentra en rangos de abundancia que oscilan desde prácticamente inexistente, especialmente en algunos tramos de las Fm. Cuarcita de Bámbole, Cuarcita Armoricana y Cuarcita Blanca, hasta valores próximos al 30 %, con un incremento progresivamente creciente en las formaciones del Cámbrico inferior al medio y en los tramos intermedios del Ordovícico. El resto de componentes detríticos incluye escasos contenidos de clastos líticos, opacos, micas blancas en estados variables de alteración o recristalización, todos ellos raramente superiores al 5 %, y cantidades variables de minerales pesados, entre los que destacan: circón, turmalina y monacita, como los más frecuentes y constantes, aunque siempre en contenidos inferiores al 2 %.

Granulométricamente predominan los términos de grano fino, con rangos de variación de 80 a 300  $\mu$ m en promedio, constituidos por un armazón de granos de redondez moderada a alta, elevada esfericidad y, generalmente, muy homométricos.

La matriz, que puede llegar a ser muy abundante, está constituida por minerales arcillosomicáceos de tipo illítico fundamentalmente, aunque no son infrecuentes los parches de caolinita diagenética.

El principal agente cementante es el cuarzo sintaxial, alcanzando valores de hasta un 15 % en algunas muestras, cementos ferruginosos de sinsedimentarios a tardíos y, muy raramente, cementos carbonatados, asociados siempre a procesos tardíos con precipitación del cemento en poros secundarios, o cementos caoliníticos de precipitación en poros de disolución o reemplazamiento de clastos inestables. Los cementos sintaxiales de feldespato, aunque presentes, son poco abundantes.

Otros procesos diagenéticos, más tardíos, observados en estos materiales son los de silificación, descritos por Navas y Tena (1988), autigénesis y recristalización de micas y feldespatos, albitización y autigénesis de turmalina. De todos ellos centramos nuestra

atención en los que afectan a los feldespatos, objetivo específico de este trabajo, que se trata en el apartado siguiente.

## 5 Autigénesis de feldespatos

Los feldespatos, omnipresentes en estos materiales, presentan rasgos petrográficos que permiten sospechar para ellos un origen no exclusivamente detrítico, sino diagenético. De hecho, la mayoría de las muestras estudiadas, aún de las formaciones consideradas tradicionalmente como más cuarzareńíticas, muestran contenidos importantes de feldespatos, si bien su identificación petrográfica no es sencilla, por carecer de maclas ni las características alteraciones que presentan estos materiales; por el contrario, en muchos casos, se aprecian feldespatos tabulares, con abundantes vacuolas orientadas, extinciones tabulares, efectos transicionales entre plagioclasas parcialmente alteradas y feldespato sin maclas y no alterado, rasgos todos ellos que, según Kastner y Siever (1979), Milliken, (1989) y Morad *et al.* (1989) entre otros, es un claro indicio de su origen autigénico.

En las muestras estudiadas hemos podido identificar la presencia de:

— Cementos sintaxiales de feldespato, que muestran evidencias no sólo de precipitación en poros, sino también de reemplazamiento (Figura 1) y marcan una fase relativamente temprana de la autigénesis feldespática.

— Feldespatos y plagioclasas albitizados, con las características texturas, ya descritas, de ausencia de maclas, o desaparición transicional del maclado (Figura 2 (izda.)), aspecto anubarrado y extinción tabular o en bloques.

— Feldespatos autigénicos (Figura 2 (dcha.)), idiomorfos, sin maclas ni traza de alteración y claramente superpuestos al armazón de granos. Una característica óptica general de muchos de ellos es la presencia de una luminosidad mayor que la de los cuarzos contiguos, que les confiere un aspecto de mayor relieve en la observación en nícoles paralelos y que interpretamos como consecuencia de la expulsión y acumulación en la periferia de las impurezas existente en clastos detríticos de feldespatos que, al alcanzar gradientes diagenéticos elevados, invierten su proceso de alteración pasando a recristalizar llegando, incluso a reemplazar a parte del armazón de granos.

La identificación de estos feldespatos autigénicos mediante catodoluminiscencia de luz fría no resultó concluyente. La bibliografía científica (Kastner y Siever, 1979; Saigal *et al.*, 1988) argumenta una diferenciación entre los feldespatos autigénicos, no luminiscentes, y los detríticos, con luminiscencias variables en tonos azulados en catodoluminiscencia caliente; sin embargo, la respuesta a la catodoluminiscencia de luz fría de nuestras muestras no ha proporcionado resultados apreciables, ya que la luminiscencia general era tan tenue que no permitía diferenciaciones entre unos u otros tipos de feldespatos.

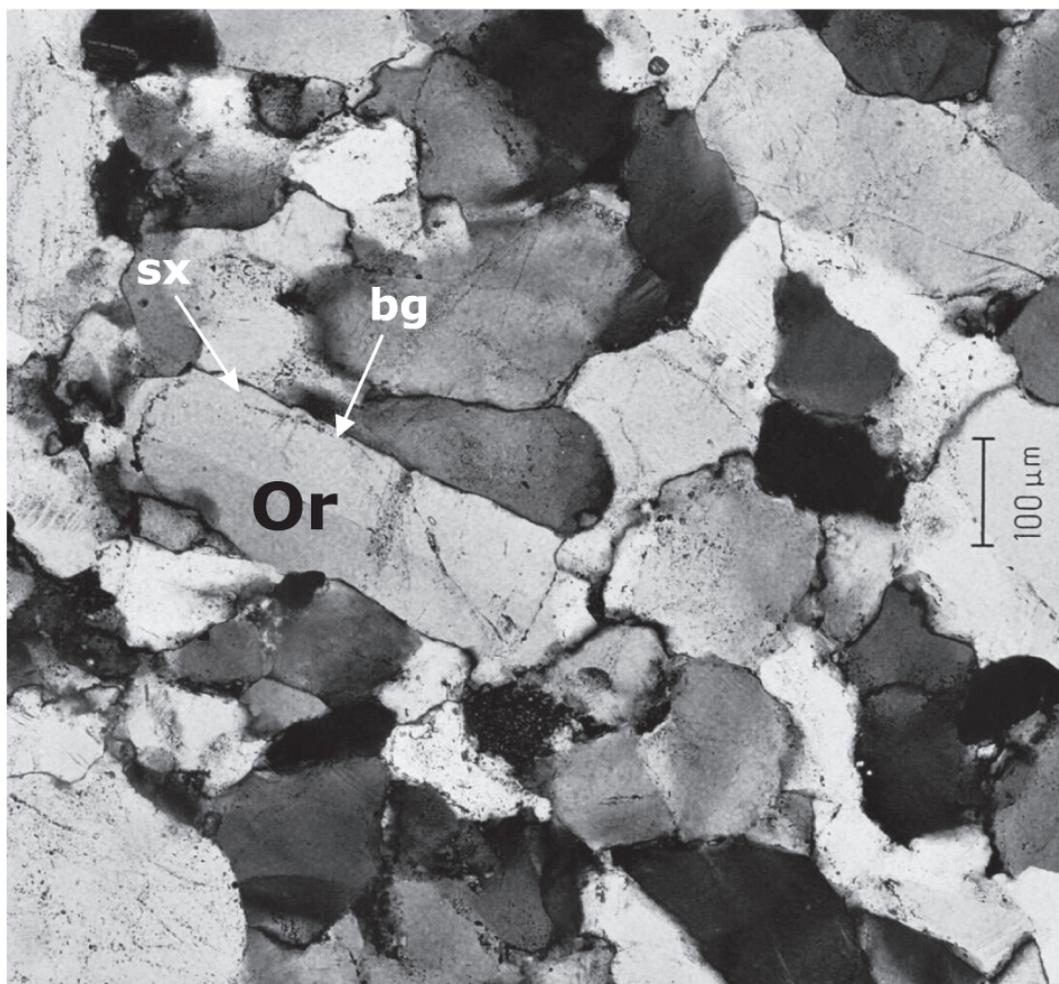


Figura 1.— Microfotografía, con nícoles cruzados de una muestra de roca con un feldespato detrítico (Or, ortosa) con clara evidencia de recrecimiento sintaxial. Simbología en la imagen: bg, borde de grano; sx, cemento sintaxial de feldespato. La escala gráfica está situada en el margen derecho de la imagen.

La aplicación de análisis mediante microscopía electrónica con EDAX permitió identificar un elevado número de feldespatos muy puros en las muestras, tanto albiticos como feldespatos potásicos, así como visualizar alguno de los procesos de albitización parcial, como el recogido en la Figura 3, en la que se visualiza perfectamente, mediante el mapeado de la variación en el contenido en Na y K, el proceso de transformación de un clasto detrítico de feldespato en albita.

El análisis por difracción de rayos X ha permitido cuantificar contenidos importantes de albita y feldespato potásico en las muestras, con máximos en las columnas procedentes del Cambro-ordovícico de la Sierra de Vicort y del probable Cámbrico superior (Gámez, 1995) aflorante en el Macizo del Moncayo. Estas dos regiones, son las que presentan el mayor gradiente diagenético de la zona estudiada, como consecuencia, probablemente, de los efectos sobreimpuestos por la tectónica soportada. De hecho hay una clara correlación entre la presencia y frecuencia de filones de cuarzo y los procesos autigénicos más notables,

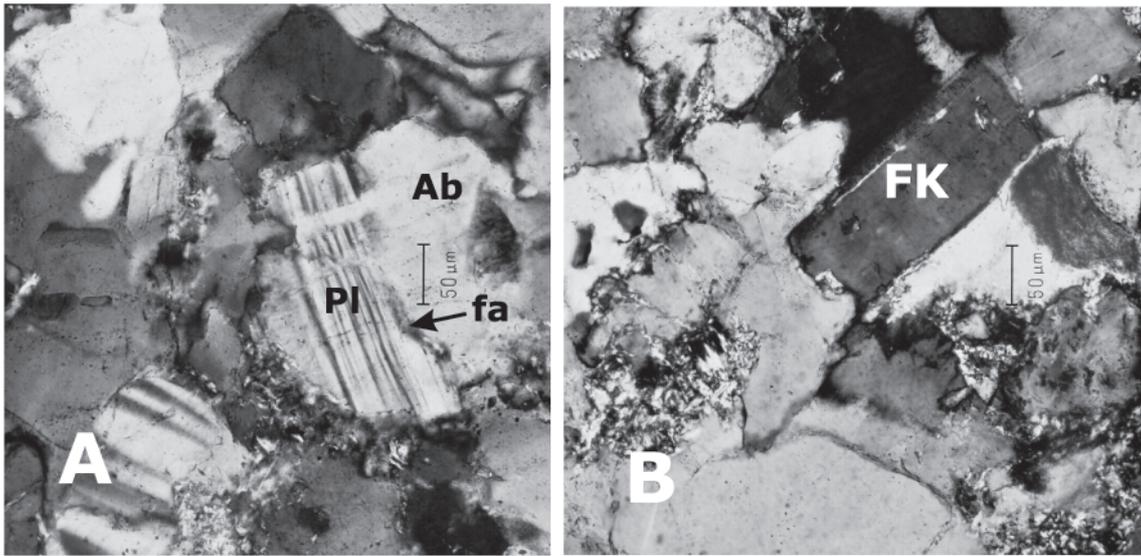


Figura 2.— Dos microfotografías de detalle de roca areníticas, en nícoles cruzados. Izquierda) Plagioclasa detrítica parcialmente albitizada. **Pl**, plagioclasa; **Ab**, albita; **fa**, frente de albitización. Derecha) Feldespato autigénico idiomorfo, reemplazante, **FK**.

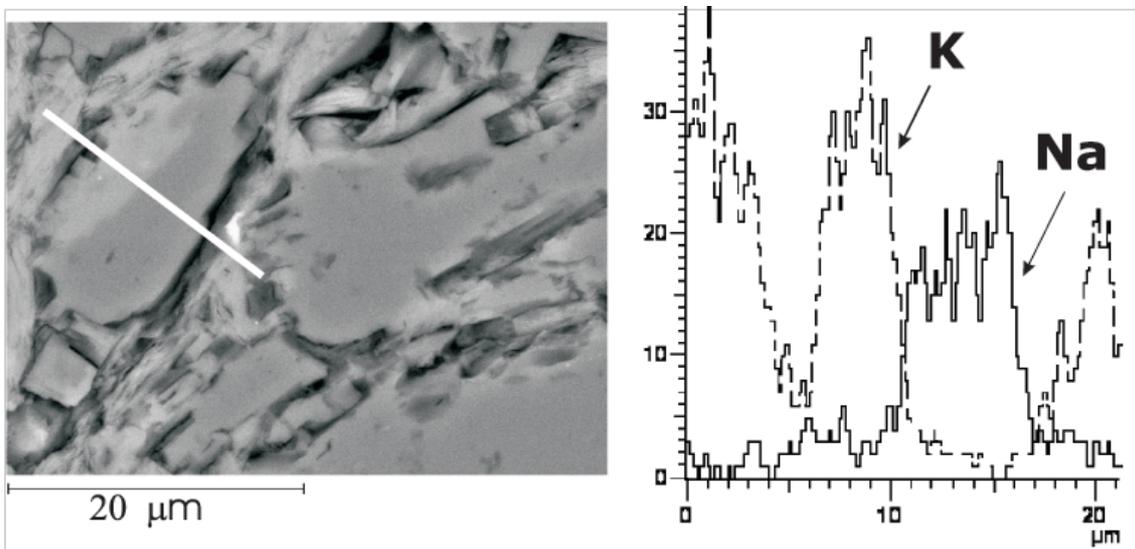


Figura 3.— Imagen en SEM de un grano de feldespato en el que se ha realizado un barrido longitudinal (línea de la figura de la izquierda) con determinación del contenido de Na y K. El gráfico de la derecha muestra la variación en el contenido de estos dos elementos en la muestra (línea discontinua, la del K y línea continua la del Na), evidenciando claramente un proceso de albitización que cursa de derecha a izquierda del grano.

como son la autigénesis silíceas, autigénesis de turmalinas y de feldespatos. Los trabajos previos realizados en la Cadena Ibérica proponen para las facies lutíticas presentes en estos materiales (Navas y Tena, 1987; Aparicio *et al.*, 1991; Bauluz *et al.*, 1998) un rango diagenético situado entre la epizona y la anquizona; sin embargo, el análisis petrográfico de las series areníticas muestran un gradiente diagenético menor al determinado mediante la cristalinidad de la illita, con la única excepción de la zona central, en la que los procesos de recristalización son mucho más intensos; todo ello hace suponer que el gradiente diagenético alcanzado por estos materiales está condicionado no sólo por su edad, sino que el potencial diagenético de formaciones muy cuarzosas y homogéneas restringe la posibilidad de transformaciones posteriores, especialmente si la compactación y la cementación han sellado rápidamente la permeabilidad del sistema; mientras que en las áreas en las que la porosidad secundaria de fractura y el gradiente puntual provocado por la tectónica próxima lo han favorecido, se muestran efectos claros de diagénesis profunda.

## 6 Conclusiones

En las series detríticas del Cámbrico y del Ordovícico de las Cadenas Ibéricas Orientales se han detectado importantes cantidades de feldespatos diagenéticos generados por albitización, recristalización y autigénesis. Estos procesos, si bien nos marcan el gradiente diagenético de los materiales, dificultan notablemente la interpretación de las facies en las que se presentan, ya que su diferenciación de los feldespatos detríticos no es sencilla a simple vista, requiriendo para ello métodos analíticos costosos. De hecho, formaciones detríticas, consideradas habitualmente cuarzosas, como la Fm. Cuarcita de Bámbola o la Fm. Cuarcita Armoricana, muestran en algunas zonas, especialmente en el Sector Central de la Cadena, tramos en los que los procesos diagenéticos son más intensos, con cantidades apreciables de feldespatos, prácticamente inalterados e indistinguibles en un análisis petrográfico rutinario de los detríticos, pudiéndose clasificar como subarcosas a arcosas en muchos de los casos; si bien tales feldespatos, al ser diagenéticos, no deben tenerse en cuenta desde el punto de vista interpretativo del análisis de proveniencia según los modelos de Dickinson (1985), con los posibles errores interpretativos que ello puede ocasionar.

## Agradecimientos

Este trabajo es una contribución al Proyecto BTE 2000-1011 financiado por la C.I.C.Y.T. y cofinanciado por la Universidad de Zaragoza, con cargo a las VI Acciones Especiales, Proyecto UZ-AE2001-03. Los autores quieren agradecer a Rafael González Martín, del Laboratorio de Fluorescencia y Difracción de Rayos X, del Museo de Ciencias Naturales (C.S.I.C.) la ayuda prestada para la realización de los análisis por difracción de rayos X.

## Referencias

- [1] AAGAARD P., EGEBERG P.K., SAIGAL G.C., MORAD S. AND BJORLYKKE, K. (1990). Diagenetic albitization of detrital K-feldspars in Jurassic, Lower Cretaceous and Tertiary clastic reservoirs from offshore Norway, II. Formation water chemistry and kinetic considerations. *Jour. Sedim. Petrol.*, 60, 575–581.
- [2] APARICIO, A., BRELL, J.M., GARCÍA, R., TENA, J.M. Y GÓMEZ, J. (1991): El metamorfismo de bajo grado en el Paleozoico del Sector Central de la Cordillera Ibérica. *Bol. Geol. Min.*, 102, 735–747.
- [3] BAULUZ, B., FERNÁNDEZ-NIETO, C. Y GONZÁLEZ LÓPEZ, J.M. (1998): Diagenesis-very low grade metamorphism of clastic Cambrian and Ordovician sedimentary rocks in the Iberian Range (Spain). *Clay Miner.*, 33, 373–393.
- [4] DICKINSON, W.R. (1985): Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. In: G.G. Zuffa (Ed.): *Provenance of Arenites*. NATO ASI Series, Serie C, Vol. 148, 333–361
- [5] GÁMEZ, J. A. (1995): Los materiales prehercánicos de la Sierra del Moncayo (Cadena Ibérica Oriental, España) y su contenido paleoicnológico. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Sec. Geol.)*, 90 (1–4), 21–50
- [6] GOZALO, R. (1995): El Cámbrico de las Cadenas Ibéricas. En: Gámez, J. A. y Liñán, E. (Eds.): *Memorias de las IV Jornadas Aragonesas de Paleontología: “La expansión de vida en el Cámbrico”*. Libro Homenaje al Prof. Klaus Sdzuy. Institución Fernando el Católico, Zaragoza, pp. 137–167.
- [7] GOZALO, R. Y LIÑÁN, E. (1988): Los materiales hercánicos de la Cordillera Ibérica en el contexto del Macizo Ibérico. *Estudios geológicos*, 44, 399–404.
- [8] KASTNER, M. (1971): Authigenic feldspars in carbonate rocks. *Amer. Mineralogist.*, 56, 1403–1442
- [9] KASTNER, M. AND SIEVER, R. (1979): Low temperature feldspars in sedimentary rocks. *Am. J. Sci.*, 279, 435–479.
- [10] LAND, L. S. AND MILLIKEN, K. L. (1981): Feldspars diagenesis in Frio Formation, Brazoria County, Texas Gulf Coast. *Geology*, 9, 314–318.
- [11] LIÑÁN, E., VILLAS, E., GÁMEZ, J.A., ÁLVARO, J., GOZALO, R., PALACIOS, T. Y SDZUY, K. (1996): Síntesis paleontológica del Cámbrico y Ordovícico del Sistema Ibérico (Cadenas Ibéricas y Cadenas Hespéricas). *Rev. Paleontología*, Número Extraordinario, 21–32.

- [12] LOTZE, F. (1929): *Stratigraphie und Tektonik des Keltiberischen Grundgebirges (Spanien)*. Abhandlungen der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, mathematisch–physikalische Klasse, n. F., 14(2), 1–320. [Traducción española por M. San Miguel de la Cámara, 1955. *Estratigrafía y Tectónica de las Cadenas paleozoicas celtibéricas*. Publicaciones Extranjeras sobre la Geología de España, 8, 1–313.
- [13] MILLIKEN K. L. (1989): Petrography and composition of authigenic feldspars, Oligocene Frio Formation, South Texas. *Jour. Sedim. Petrol.*, 59, 361–374.
- [14] MORAD, S., MARFIL, R. AND DE LA PEÑA, J.A. (1989): Diagenetic K–feldspar pseudomorphs in the Triassic Buntsandstein sandstones of the Iberian Range (Spain). *Sedimentology*, 36, 635–650.
- [15] NAVAS, A. Y TENA, J.M. (1987): Grado de diagénesis de las rocas pelíticas del Paleozoico en las Sierras de Vicort y Algairén (Cordillera Ibérica). *Rev. Acad. Ciencias Zaragoza*, 42, 175–181.
- [16] NAVAS, A. Y TENA, J.M. (1988): Caracteres petrológicos y estructurales del Paleozoico de las Sierras de Vicort y Algairén (provincia de Zaragoza). *Bol. Geol. Min.*, XCIX–V, 647–659.
- [17] PETTIJOHN, F.J., POTTER, P.E. AND SIEVER, R. (1987): *Sand and Sandstone*. (2nd Ed.), Springer–Verlag, 553 pp
- [18] SAIGAL G., MORAD, S., BJORLIKKE K., EGEBERG, P.K. Y AAGAARD, P. (1988): Diagenetic albitization of detrital K–feldspars in Jurassic, Lower Cretaceous and Tertiary clastic reservoir rocks from offshore Norway, I. Textures and origin. *Jour. Sedim. Petrol.*, 58, 1003–1013.