

## COMPOSICIÓN Y DIAGÉNESIS DEL REGISTRO DETRÍTICO EN EL BORDE SUROCCIDENTAL DE LA CUENCA DE CAMEROS

**JOSÉ ARRIBAS<sup>1</sup>, RAMÓN MAS<sup>2</sup>,  
MARÍA OCHOA<sup>1</sup> Y ÁNGELA ALONSO<sup>3</sup>**

### RESUMEN

Mediante el estudio petrográfico de los depósitos arenosos pertenecientes a las secuencias deposicionales del relleno de la Cuenca de Cameros, en su margen suroccidental, se han podido definir cuatro petrofacies, que coinciden con las siete secuencias deposicionales establecidas, respetando su jerarquía y los límites de las dos megasecuencias mayores de edad Titónico-Berriasiense y Valanginiense-Albiense inferior, respectivamente. Cada megasecuencia se inicia con una petrofacies sedimentoclástica (petrofacies A y C), generada por la erosión de materiales pertenecientes a la cobertera mesozoica pre-rift. Ambas megasecuencias evolucionan a petrofacies cuarzofeldespáticas (petrofacies B y D), que se generan a partir de la erosión de rocas metamórficas de bajo y medio grado de la Zona Asturoccidental Leonesa del Macizo Hespérico para la primera megasecuencia, y de rocas granítico-gneissicas de la Zona Centro Ibérica para la segunda megasecuencia. La variación en las áreas de procedencia se explica con la propagación de la fracturación hacia el SW durante la génesis de los surcos subsidentes. La diagénesis se encuentra, a su vez, controlada por la composición de las areniscas, observándose importantes cementos carbonáticos tempranos en las petrofacies A y C, que ocuyen la porosidad e inhiben la compactación, y valores importantes tanto de porosidad primaria como secundaria en la petrofacies D, debido a la rigidez del esqueleto cuarzofeldespático, la escasa cementación y a la disolución de feldespatos potásicos.

Palabras clave: Petrografía, areniscas, procedencia, diagénesis, Cuenca de Cameros, Titónico-Cretácico Inferior.

---

1. Departamento de Petrología y Geoquímica. Universidad Complutense de Madrid - Instituto de Geología Económica - C.S.I.C. 28040-Madrid. e-mail: arribas@geo.ucm.es; mochoa@geo.ucm.es

2. Departamento de Estratigrafía. Universidad Complutense de Madrid - Instituto de Geología Económica - C.S.I.C. 28040-Madrid. e-mail: ramonmas@geo.ucm.es

3. Laboratorio de Geología, Universidad de A Coruña. e-mail: angelami@udc.es

*Sandstone petrography is used to define four petrofacies along the seven depositional sequences that constitute the sedimentary record of the southwestern sector of Cameros Basin. These petrofacies coincide with depositional sequences and its hierarchy, including the two major megasequences: Tithonian-Berriasian and Valanginian-Early Albian in age. Each megasequence starts with a sedimentoclastic petrofacies (Petrofacies A and C) generated by the erosion of mesozoic sedimentary pre-rift cover. Both megasequences evolve to quartzofeldspathic petrofacies (petrofacies B and D) originated by supplies from low and medium grade metamorphic terranes of the West Asturian-Leonese Zone of the Hesperian Massif in the case of the petrofacies B; and supplies from coarse crystalline plutonic terranes from the Central Iberian Zone in the case of the petrofacies D. Changes in sand composition are due to the propagation of fractures limiting troughs to the SW. Sandstone composition exert an important control on diagenesis. Early carbonate cements are developed on sandstones from petrofacies A and C, occluding primary pores and inhibiting compaction. Primary and secondary porosity are important in petrofacies D, caused by the rigidity of the quartzofeldspathic framework, the scarce cementation and the dissolution of feldspar grains.*

*Keywords: Petrography, sandstones, provenance, diagenesis, Cameros Basin, Titónico-Cretácico Inferior.*

## 0. INTRODUCCIÓN

La Cuenca de Cameros es una de las cuencas del Sistema de Rift Ibérico Mesozoico cuya inversión ocurrió en el Paleógeno (Mas et al., 1993; Guimerà et al., 1995; Salas et al., 2001). La formación y relleno de dicha cuenca tuvo lugar durante la etapa de rift finijurásica - eocretácica, coincidiendo con la apertura del Golfo de Vizcaya. Datos generales sobre la Cuenca de Cameros, como el sustrato mesozoico, el propio relleno de la cuenca, metamorfismo, tectónica y potencialidad como sistema petrolífero, pueden consultarse en este mismo volumen (Mas et al, 2005).

El relleno de la Cuenca de Cameros consiste en una potente serie (cerca de 9000 m en las zonas depocentrales) fundamentalmente clástica, generada por la acumulación de sedimentos procedentes de la erosión del basamento varisco (metamórfico y cristalino) y de su cobertera mesozoica (Triásico y Jurásico marino). El relleno sedimentario se organiza en ocho secuencias deposicionales, principalmente consistentes en sucesiones de depósitos fluviales (conglomerados, areniscas y lutitas) que evolucionan a margas y carbonatos lacustres al techo de cada una de ellas. La recurrencia de facies entre secuencias deposicionales es muy marcada, dificultando su identificación, máxime cuando los datos bioestratigráficos son escasos (Martín-Closas et al., 1998).

En el margen suroccidental de la cuenca, siguiendo el corredor Sala de los Infantes - Soria (Fig.1), las secuencias deposicionales son menos potentes y se encuentran condicionadas a la presencia de importantes accidentes tectónicos (fallas lítricas antitéticas al accidente principal) de dirección NW-SE (Mas et al., 2005). En este sector quedan registradas exclusivamente las siete primeras secuencias deposicionales. El análisis de las secuencias deposicionales en este área de la cuenca sin evidencias de metamorfismo, proporciona datos cruciales para la inter-

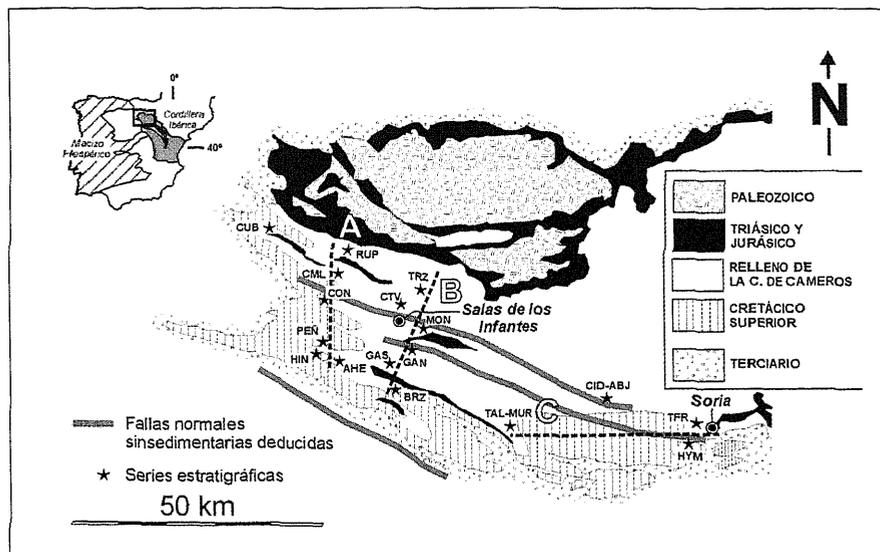
pretación y comprensión de la génesis del registro sedimentario en las áreas más depocentrales.

Clásicamente, la petrografía de areniscas ha sido considerada como una poderosa herramienta en el análisis de la procedencia y en las implicaciones geotectónicas de los depósitos terrígenos (e.g., Dickinson, 1970; Ingersoll, 1978; Dickinson et al., 1979; Dickinson, 1985). Además, el análisis de los procesos postsedimentarios acaecidos en los depósitos detríticos controlan las características del medio poroso, y por lo tanto, su potencialidad como rocas almacén (e.g., Scholle et al., 1979; Wilson, 1994).

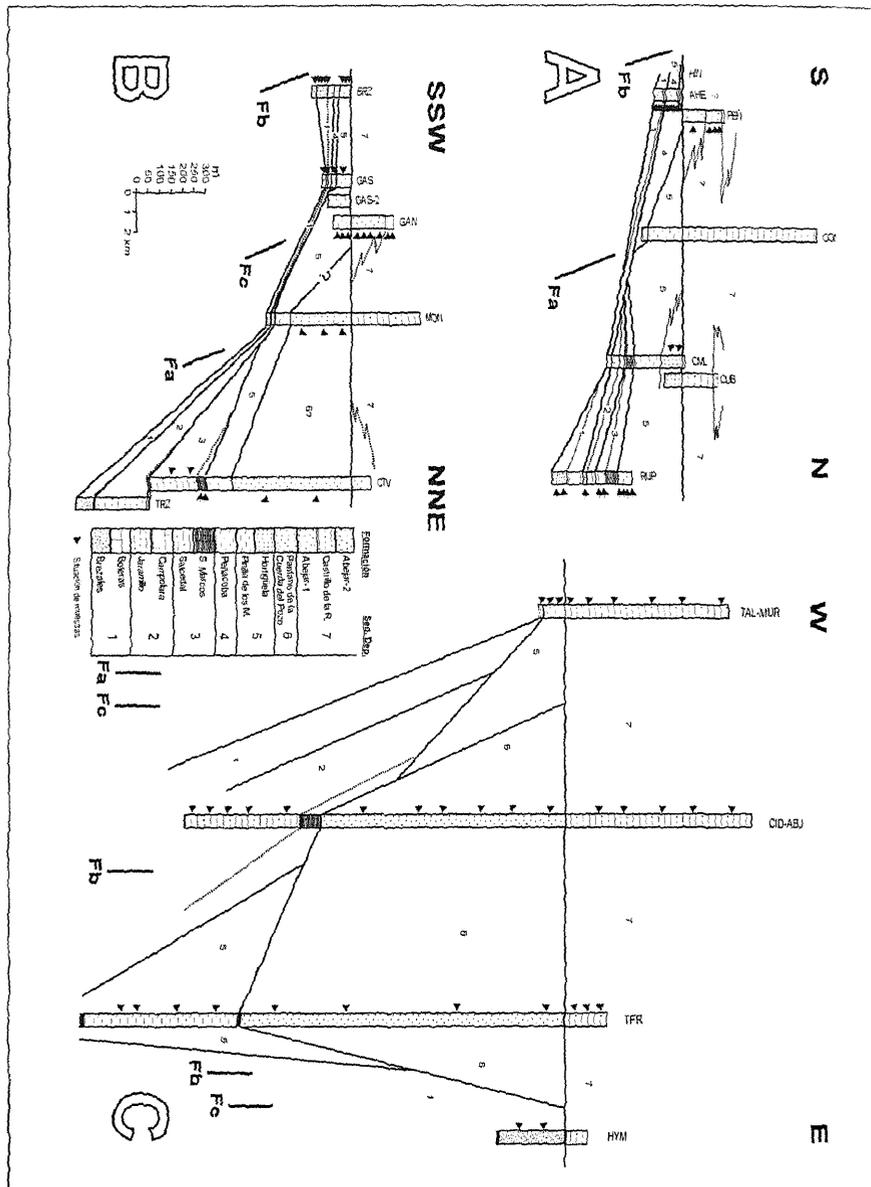
El objetivo principal de este trabajo es (1) el análisis de la composición del esqueleto de las areniscas de las distintas secuencias deposicionales del borde suroccidental de la Cuenca de Cameros para deducir aspectos relacionados con su procedencia; y (2) el análisis de la evolución diagenética de la porosidad con el fin de valorar su potencialidad como rocas almacén.

## 1. ESTRATIGRAFÍA Y SECUENCIAS DEPOSICIONALES

El sector occidental de la Cuenca de Cameros está caracterizado por la ausencia de metamorfismo y la existencia de depocentros secundarios relacionados con



**Figura 1.-** Mapa geológico simplificado del área estudiada con la situación de las secciones estratigráficas, así como de los transectos elaborados en la Fig.2 (A, B y C). CUB: Cubillejas; RUP: Rupelo; CML: Campolara; CON: Contreras; PEÑ: Peñacoba; HIN: Hinojosa; AHE: Arroyo del Helechal; TRZ: Terrazas; CTV: Castrovido; MON: Moncalvillo; GAN: La Gallega Norte; GAS: La Gallega Sur; BRZ: Brezales; TAL-MUR: Talveila-Muriel; CID-ABJ: Cidones - Abejar; TFR: Trincheras del ferrocarril; HYM: Hoya del Moro.



**Figura 2.-** Transectos de dirección N-S (A), SSW-NNE (B) y W-E (C) elaborados a partir de la correlación de las secciones estratigráficas y donde se representan las formaciones y secuencias deposicionales del relleno Titónico - Cretácico Inferior del borde suroccidental de la cuenca de Cameros, la localización de las areniscas analizadas y la situación de las fallas del basamento principales deducidas. Ver Figura 1 para la localización de las series estratigráficas, transectos y trazas de las fallas deducidas.

el movimiento y rotación de bloques aislados del basamento (Guimerà et al., 1995). En este sector la sedimentación tiene lugar a lo largo de surcos de dirección NW-SE con diferente subsidencia y distintos episodios de reactivación, generando un registro estratigráfico con importantes variaciones de espesor (Fig.2). Martín-Closas et al., (1998) describen siete secuencias deposicionales (SD) de edad Titónico a Aptiense (Fig.2). Basados en datos estratigráficos y composicionales estas secuencias han podido reagruparse en dos megasecuencias mayores (Arribas et al., 2003). La primera megasecuencia (MS-1) de edad Titónico-Berriasiense comprende las tres primeras secuencias deposicionales (SD-1, SD-2 y SD-3). La segunda megasecuencia (MS-2) comprende las cuatro últimas secuencias deposicionales (SD-4, SD-5, SD-6 y SD-7). La manifestación de estas megasecuencias supera los límites de la cuenca de Cameros, reconociéndose en otros ámbitos de la Cordillera Ibérica suroriental (Salas et al., 2001).

La secuencia deposicional 1 (SD-1) no suele superar los 100 m de potencia y aparece en todo el área de estudio sobre una discordancia que se manifiesta como una superficie fuertemente karstificada fracturada y alterada que se desarrolla sobre niveles carbonáticos y arenosos de edad Calloviense-Kimerigiense. La secuencia está constituida por una unidad detrítica basal (Fm. Nuestra Señora de Brezales) generada por abanicos aluviales que evolucionan hacia el techo y lateralmente a facies lacustres carbonáticas (Fm. Boleras).

La secuencia deposicional 2 (SD-2) consiste en una sucesión detrítica fluvial de 400 m de potencia (Fm Jaramillo) que evoluciona a facies lacustres carbonatadas con ostracodos, charofitas y gasterópodos (Fm Campolara) de 100 m de potencia y con desarrollo de paleosuelos.

La secuencia deposicional 3 (SD-3) se inicia con una unidad basal (400 m) generada en un sistema fluvial meandriforme (Fm Río del Salcedal), pasando a techo a calizas y margas lacustres (Fm San Marcos) con abundantes niveles estromatolíticos, y donde son frecuentes las huellas de dinosaurios. La presencia de la SD-2 y SD-3 queda restringida a la zona norte del área de estudio (Fig.2).

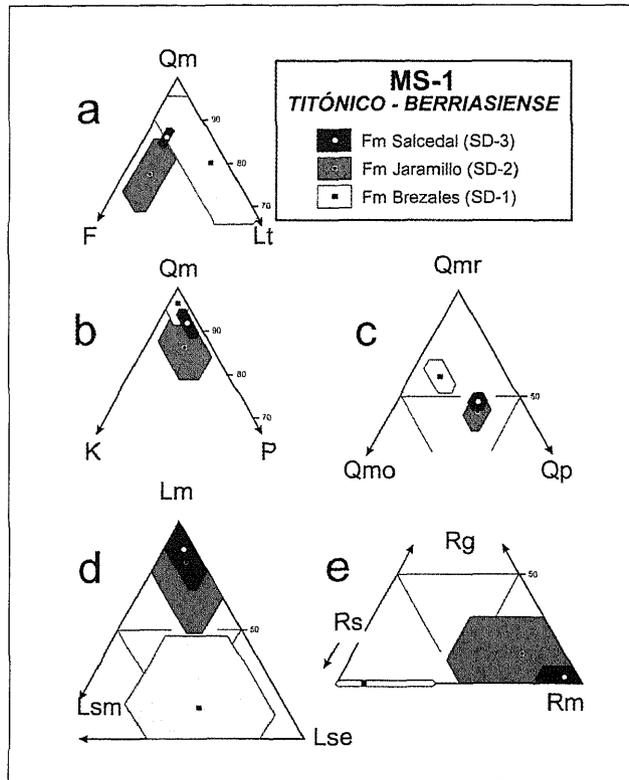
La secuencia deposicional 4 (SD-4), de edad Valanginiense-Hauteriviense, es una secuencia heterolítica (Fm Peñacoba) formada por una sucesión de calizas, margas y areniscas con ostrácodos, charofitas y fragmentos de dinosaurios. Su presencia se encuentra limitada al suroeste del área analizada (Fig.2A y B). La potencia de esta sucesión no suele superar los 50 m.

La secuencia deposicional 5 (SD-5), de edad Hauteriviense superior - Barremiense inferior (Martín-Closas et al., 1998), está constituida por una unidad basal consistente en una sucesión de areniscas fluviales canalizadas y lutitas rojas (Fm Pinilla de los Moros) y una unidad superior, de desarrollo local en el norte del área de estudio (Fig.2), de calizas oncolíticas, margas, lutitas y escasos niveles arenosos (Fm Hortigüela). La Fm Hortigüela presenta abundante contenido faunístico (ostrácodos y huesos de dinosaurios). La potencia máxima de la secuencia no supera los 700 m.

La secuencia deposicional 6 (SD-6) está formada por la Fm Pantano de la Cuerda del Pozo, consistente en una sucesión de cuerpos arenosos canalizados, conglomerados y lutitas generados en un sistema fluvial axial (Clemente et al., 1993) desarrollado en la zona oriental del área de estudio (Fig.2).

La secuencia deposicional 7 (SD-7) se desarrolla en toda la cuenca representando el relleno de los depocentros más importantes con potencias que llegan a superar los 2000 m. Esta secuencia está constituida por los depósitos fluviales, fundamentalmente «braided», de la Fm Abejar. Localmente y hacia el NW, se desarrolla la Fm Castrillo de la Reina, una unidad clástica formada por depósitos fluviales más distales de características meandriformes. La edad de esta secuencia deposicional es Barremiense superior - Aptiense.

A partir del análisis de la correlación de 18 series estratigráficas se ha podido elaborar tres secciones estratigráficas (Fig.2) de direcciones N-S, NNE-SSW y W-E. Estas secciones ponen de manifiesto un importante incremento de la potencia de las secuencias deposicionales hacia el N, y el desarrollo local de muchas de ellas. Este hecho sugiere la presencia de fracturas normales que controlaron la configuración de los depocentros secundarios y condicionaron la arquitectura de las uni-



**Figura 3.-** Diagramas triangulares representando la composición del esqueleto de las areniscas correspondientes a las formaciones detríticas de las secuencias deposicionales 1, 2 y 3, pertenecientes a la megasecuencia 1. La proyección de puntos representan los valores medios de cada población, y los polígonos su desviación estándar. Ver la Tabla 1 para el significado de los parámetros petrográficos. Los valores empleados para las representaciones gráficas figuran en la Tabla 2.

dades estratigráficas y de las secuencias deposicionales (Mas et al., 1993; Guimerà et al., 1995).

## 2. METODOLOGÍA

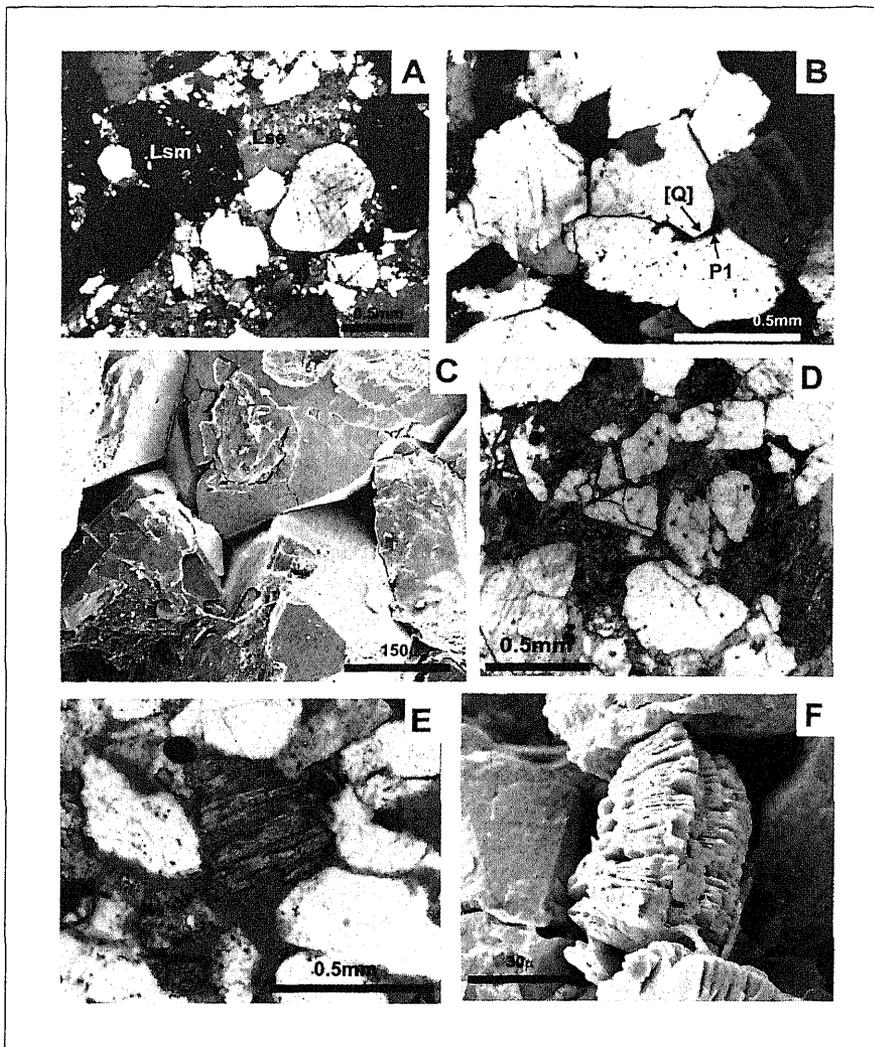
El análisis petrográfico se ha realizado sobre un total de 126 muestras correspondientes a areniscas de grano medio de las series estratigráficas comentadas anteriormente (ver Fig.1 y 2 para la situación y localización de series y muestras). Previamente a la elaboración de las láminas delgadas, las muestras fueron impregnadas con resina epoxídica coloreada. Las láminas delgadas fueron atacadas y teñidas con HF y con una solución de Na-cobaltonitrito para facilitar el reconocimiento de feldespatos, así como alizarin roja y ferricianuro potásico para la identificación de los carbonatos (Chayes, 1952; Lindholm et al., 1972, respectivamente). El análisis petrográfico cuantitativo se llevó a cabo mediante un conteo de 400 a 500 puntos por lámina delgada siguiendo el método de Gazzi-Dickinson (Ingersoll et al., 1984), utilizando los grupos petrográficos definidos por Zuffa (1980) e incluyendo los tipos referentes a las fases diagenéticas (cementos) y a la porosidad. En la Tabla 1 figuran las clases petrográficas y los parámetros empleados. Los parámetros petrográficos utilizados para las representaciones gráficas, se han obtenido a partir de los criterios de Pettijohn et al. (1973) (QFR), Dickinson (1985) (QmFLt; QmKP), Basu et al. (1975) (QmrQmoQp), Arribas et al. (1990) y Critelli et al. (1994) (RgRsRm). La base de datos así elaborada ha sido utilizada para la realización de este trabajo. La extensión de dicha base de datos impide su reproducción, aportándose exclusivamente los valores medios de los parámetros petrográficos del esqueleto en la Tabla 2. No obstante, la base de datos completa puede suministrarse mediante solicitud del lector a uno de los coautores.

## 3. LA COMPOSICIÓN DETRÍTICA DE LOS DEPÓSITOS ARENOSOS

### 3.1.FM. BREZALES

Las areniscas de esta formación son sedarenitas y cuarzoarenitas con un contenido variable en fragmentos de roca carbonáticas (CE). La población siliciclástica está constituida principalmente por cuarzo monocristalino bien redondeado y con golfos de corrosión que podrían relacionarse a procesos de ataque químico durante períodos de permanencia en ambientes edáficos (Johnsson, 1990). Los fragmentos de roca sedimentarios carbonáticos (Lsm y Lse) dominan la población lítica (Lm<sub>15</sub>Lsm<sub>35</sub>Lse<sub>50</sub>, Fig.3d y 4a), indicando un origen sedimentoclastico para esta formación. Además, es frecuente la presencia de fragmentos de areniscas. En la zona norte (RUP y TRZ) y hacia el techo de la unidad aparecen micas, feldespatos y fragmentos de roca metamórfica en baja proporción.

El origen de esta unidad se asocia a la erosión de los depósitos del Jurásico marino infrayacente. El carácter reciclado queda evidenciado por el dominio de las tipologías monocristalinas de cuarzo más estables (Qmr<sub>61</sub>Qmo<sub>27</sub>Qp<sub>12</sub>, Fig. 3c). En los surcos de mayor subsidencia (zona norte) y hacia el techo de la unidad se observa un cambio en la procedencia con las introducción de depósitos feldespatolíticos procedentes de áreas metamórficas de bajo grado.

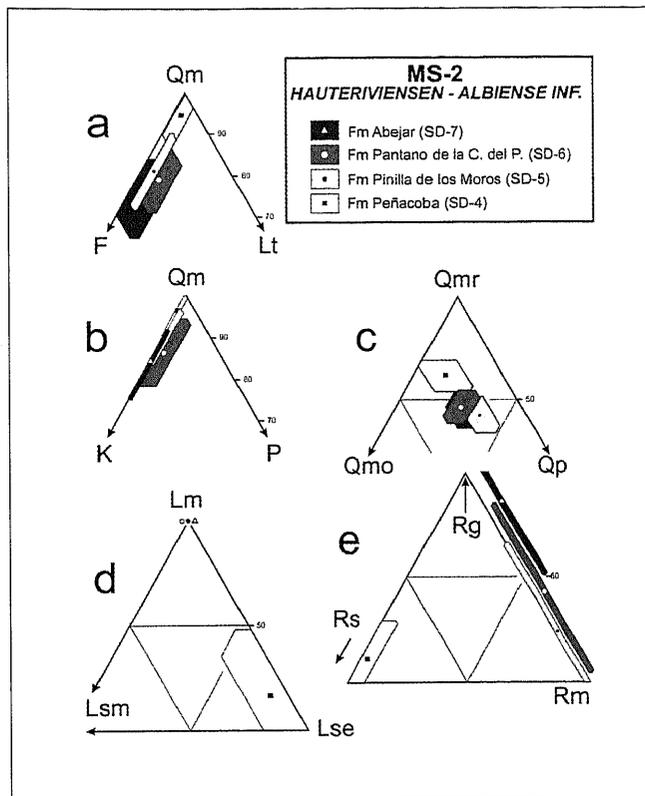


**Figura 4.-** Fotografías de los aspectos petrográficos más relevantes de las areniscas analizadas. A: Aspecto general de la petrofacies sedimentoclástica A (Fm Brezales), donde pueden observarse fragmentos de roca sedimentaria carbonática micríticas (Lsm) y esparíticas (Lse). Nícoles cruzados B: Cemento sintaxial de cuarzo y porosidad primaria remanente en una areniscas de la Fm Jaramillo (petrofacies B). Nícoles cruzados. C: Imagen del MEB de una muestra de la Fm Pantano (petrofacies cuarzofeldespática D), donde se aprecia el desarrollo de cemento sintaxial de cuarzo y la porosidad primaria remanente. D: Esqueleto fuertemente compactado mecánicamente. Las zonas oscuras corresponden a feldespatos potásicos fracturados y disgregados. Obsérvese el escaso desarrollo de fases cementantes. Fm Abejar (petrofacies D). Nícoles paralelos. E: Porosidad primaria remanente y secundaria originada por la disolución parcial de feldespatos potásicos. Las zonas oscuras corresponden a poros impregnados con resina coloreada. Obsérvese la ausencia de cementos sintaxiales y la importante compactación sufrida por la roca. Fm Abejar (petrofacies D). Nícoles paralelos. F: Imagen del MEB de un vermiculo de caolinita cementante en una arenisca de la Fm Abejar (petrofacies D).

### 3.2. FM. JARAMILLO Y FM. SALCEDAL

La composición de las areniscas en estas dos unidades es muy similar, por lo que pueden ser tratadas conjuntamente. Son subarcosas, siendo las areniscas de la Fm Salcedal las que presentan términos más maduros ( $Q_{88}F_{8}R_4$ , frente a  $Q_{80}F_{15}R_5$  en Fm Jaramillo, Fig.4b). La plagioclasa es el feldespato más frecuente, apareciendo como granos maclados y sin maclar de albita. La población lítica está constituida principalmente por fragmentos de roca metamórfica de bajo grado (pizarras y micaesquistos) con escasa representación de fragmentos de roca sedimentarios (dolomías y calizas) ( $Lm_{84}Lsm_5Lse_{11}$  y  $Lm_{90}Lsm_4Lse_6$  en Fm Jaramillo y Salcedal, respectivamente, Fig.3d). Otros constituyentes detríticos son las micas y los minerales densos (circón, turmalina, anatasa).

Las características petrográficas sugieren un origen para estas formaciones relacionado con la erosión de rocas metamórficas de bajo y medio grado con escasa



**Figura 5.-** Diagramas triangulares representando la composición del esqueleto de las areniscas correspondientes a las formaciones detríticas de las secuencias deposicionales 4, 5, 6 y 7, pertenecientes a la megasecuencia 2. La proyección de puntos representan los valores medios de cada población, y los polígonos su desviación estándar. Ver la Tabla 1 para el significado de los parámetros petrográficos. Los valores empleados para las representaciones gráficas figuran en la Tabla 2.

participación de rocas sedimentarias. La importante población de tipologías policristalinas de cuarzo ( $Q_{m74}Q_{m021}Q_{p35}$  y  $Q_{m79}Q_{m018}Q_{p33}$ , en Fm Jaramillo y Salcedal, respectivamente, Fig.3c), la presencia de micas y la alta relación P/F, confirman esta hipótesis.

### 3.3. FM. PEÑACOBA

Las areniscas de esta unidad son cuarzoarenitas y en menor proporción subarcosas ( $Q_{95}F_3R_2$ ). La población de granos de cuarzo está caracterizada por el predominio de granos redondeados de tipologías monocristalinas ( $Q_{m63}Q_{m025}Q_{p12}$ , Fig.5c). Estos granos presentan frecuentemente cementos sintaxiales heredados que señalan su origen reciclado. Los escasos feldespatos son potásicos ( $Q_{m97}K_3P_0$ , Fig.5b) y los fragmentos de roca se reducen a escasos fragmentos sedimentarios carbonáticos recristalizados.

La presencia de abundantes evidencias que relacionan el origen de estas areniscas con procesos de reciclado, sugiere una génesis asociada a la erosión del Jurásico marino y probablemente las unidades siliciclásticas (arcosas) y carbonáticas del Triásico.

### 3.4. FM. PINILLA DE LOS MOROS Y FM. PANTANO DE LA CUERDA DEL POZO

Las características petrográficas del esqueleto de las areniscas de estas dos unidades son muy semejantes. Las areniscas son cuarzoarenitas y subarcosas en la Fm Pinilla de los Moros, y subarcosas en la Fm Pantano de la Cuerda del Pozo, con una baja concentración en fragmentos de roca ( $Q_{82}F_{15}R_3$  y  $Q_{83}F_{15}R_2$ , respectivamente). La población de granos de cuarzo se encuentra enriquecida por las tipologías policristalinas ( $Q_{m746}Q_{m020}Q_{p34}$  y  $Q_{m749}Q_{m025}Q_{p26}$ , respectivamente, Fig. 5c). El feldespato potásico domina sobre las plagioclasas, especialmente en la Fm Pantano ( $Q_{m86}K_{12}P_2$  y  $Q_{m91}K_9P_0$ , respectivamente, Fig.5b) y los granos líticos son de chert y pizarras de grano fino. Ocasionalmente se observan fragmentos de roca cuarzofeldespáticos con texturas granudas.

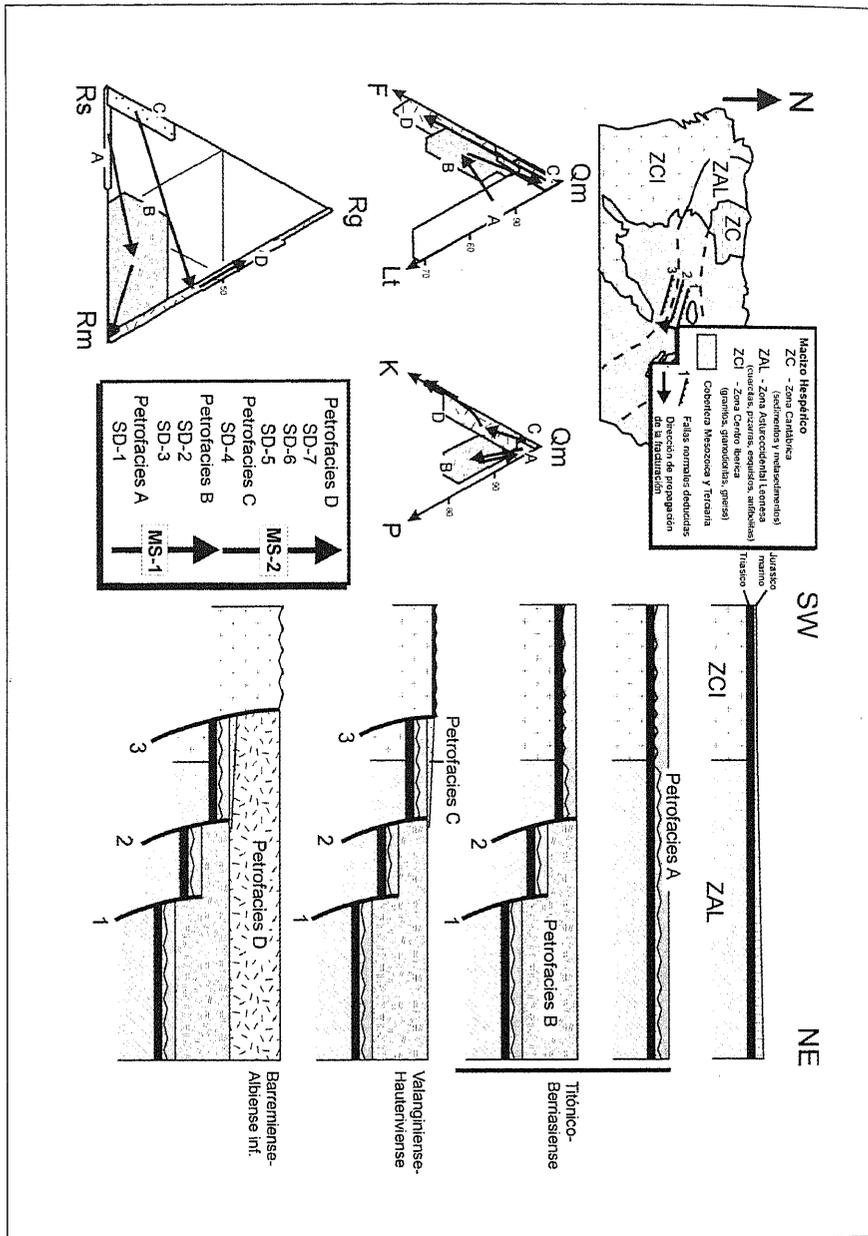
El carácter cuarzofeldespático de las areniscas sugiere un origen preferentemente de primer ciclo, a partir de áreas fuentes granítico-gneissicas con aportes adicionales de rocas metamórficas de bajo grado. En la Fm Pantano, la influencia de aportes metamórficos de bajo grado se atenúa sustancialmente.

### 3.5. FM. ABEJAR

Las areniscas son subarcosas de grano medio y grueso ( $Q_{78}F_{20}R_2$ , Fig.4d) con una presencia casi exclusiva de feldespato potásico sobre las plagioclasas. Los fragmentos de roca son escasos, siendo fragmentos de roca cuarzo-feldespáticos con texturas granudas. Los fragmentos líticos de rocas metamórficas son muy escasos ( $Q_{m75}F_{21}L_{t4}$ , Fig.5a). En la Fm Castrillo de la Reina, desarrollada en la zona norte, se encuentran depósitos con contenidos mayores en feldespato potásico.

O L T M F C D S E		ESP. INTERGR.	
NCE (Extracuales No Carbonáticos)	<p>Qm1 Cuarzo monocristalino con extinción recta (&lt;5°)</p> <p>Qm2 Cuarzo monocristalino con extinción ocular (5-5°)</p> <p>Qp2-3 Cuarzo policristalino de 2 a 3 individuos cristalinos</p> <p>Qp3-3a Cuarzo policristalino de &gt;3 individuos cristalinos con tamaños &gt; 0.062mm</p> <p>Qp3-3f Cuarzo policristalino de &gt;3 individuos cristalinos con tamaños entre 0.030 y 0.062mm</p> <p>Qlrm Cuarzo en fragmento de roca metamórfica de bajo y medio grado</p> <p>Qlrg Cuarzo en fragmento de roca granítico-gneissica</p> <p>Qlrs Cuarzo en fragmento de roca sedimentaria</p> <p>Cq Cuarzo reemplazado/obscuro por carbonato</p>	<p>Qm1 Cuarzo monocristalino con extinción recta (&lt;5°)</p> <p>Qm2 Cuarzo monocristalino con extinción ocular (5-5°)</p> <p>Qp2-3 Cuarzo policristalino de 2 a 3 individuos cristalinos</p> <p>Qp3-3a Cuarzo policristalino de &gt;3 individuos cristalinos con tamaños &gt; 0.062mm</p> <p>Qp3-3f Cuarzo policristalino de &gt;3 individuos cristalinos con tamaños entre 0.030 y 0.062mm</p> <p>Qlrm Cuarzo en fragmento de roca metamórfica de bajo y medio grado</p> <p>Qlrg Cuarzo en fragmento de roca granítico-gneissica</p> <p>Qlrs Cuarzo en fragmento de roca sedimentaria</p> <p>Cq Cuarzo reemplazado/obscuro por carbonato</p>	<p>Qm1 Cuarzo monocristalino con extinción recta (&lt;5°)</p> <p>Qm2 Cuarzo monocristalino con extinción ocular (5-5°)</p> <p>Qp2-3 Cuarzo policristalino de 2 a 3 individuos cristalinos</p> <p>Qp3-3a Cuarzo policristalino de &gt;3 individuos cristalinos con tamaños &gt; 0.062mm</p> <p>Qp3-3f Cuarzo policristalino de &gt;3 individuos cristalinos con tamaños entre 0.030 y 0.062mm</p> <p>Qlrm Cuarzo en fragmento de roca metamórfica de bajo y medio grado</p> <p>Qlrg Cuarzo en fragmento de roca granítico-gneissica</p> <p>Qlrs Cuarzo en fragmento de roca sedimentaria</p> <p>Cq Cuarzo reemplazado/obscuro por carbonato</p>
K	<p>Ks Feldespatos potásico monocristalino</p> <p>Klg Feldespato potásico en fragmento de roca granítico-gneissica</p> <p>Kil Feldespato potásico reemplazado por minerales de arcilla</p> <p>Ck Feldespato potásico reemplazado por carbonatos</p>	<p>Ks Feldespatos potásico monocristalino</p> <p>Klg Feldespato potásico en fragmento de roca granítico-gneissica</p> <p>Kil Feldespato potásico reemplazado por minerales de arcilla</p> <p>Ck Feldespato potásico reemplazado por carbonatos</p>	<p>Ks Feldespatos potásico monocristalino</p> <p>Klg Feldespato potásico en fragmento de roca granítico-gneissica</p> <p>Kil Feldespato potásico reemplazado por minerales de arcilla</p> <p>Ck Feldespato potásico reemplazado por carbonatos</p>
P	<p>Ps Plagioclasa, cristal simple o machado</p> <p>Prlg Plagioclasa en fragmento de roca granítico-gneissica</p> <p>Prl Plagioclasa reemplazada por minerales de arcilla</p> <p>Cp Plagioclasa reemplazada por carbonatos</p>	<p>Ps Plagioclasa, cristal simple o machado</p> <p>Prlg Plagioclasa en fragmento de roca granítico-gneissica</p> <p>Prl Plagioclasa reemplazada por minerales de arcilla</p> <p>Cp Plagioclasa reemplazada por carbonatos</p>	<p>Ps Plagioclasa, cristal simple o machado</p> <p>Prlg Plagioclasa en fragmento de roca granítico-gneissica</p> <p>Prl Plagioclasa reemplazada por minerales de arcilla</p> <p>Cp Plagioclasa reemplazada por carbonatos</p>
L	<p>Ch Chert (&gt;3 subgrains &lt;0.030 mm)</p> <p>Lm Pizarra o esquisto</p>	<p>Ch Chert (&gt;3 subgrains &lt;0.030 mm)</p> <p>Lm Pizarra o esquisto</p>	<p>Ch Chert (&gt;3 subgrains &lt;0.030 mm)</p> <p>Lm Pizarra o esquisto</p>
M	<p>Ms Muscovita</p> <p>Bl Biotita</p> <p>Mlrm Mica en fragmento de roca metamórfica</p>	<p>Ms Muscovita</p> <p>Bl Biotita</p> <p>Mlrm Mica en fragmento de roca metamórfica</p>	<p>Ms Muscovita</p> <p>Bl Biotita</p> <p>Mlrm Mica en fragmento de roca metamórfica</p>
CE (Carbonatos Extracuales)	<p>HM Minerales densos</p> <p>Mi Caliza micrítica</p> <p>Sc Caliza esparfítica</p> <p>Md Dolomita</p> <p>Sd Dolosapata</p> <p>Fo Fósil</p> <p>Cs Cemento carbonático en fragmento de arenisca</p>	<p>HM Minerales densos</p> <p>Mi Caliza micrítica</p> <p>Sc Caliza esparfítica</p> <p>Md Dolomita</p> <p>Sd Dolosapata</p> <p>Fo Fósil</p> <p>Cs Cemento carbonático en fragmento de arenisca</p>	<p>HM Minerales densos</p> <p>Mi Caliza micrítica</p> <p>Sc Caliza esparfítica</p> <p>Md Dolomita</p> <p>Sd Dolosapata</p> <p>Fo Fósil</p> <p>Cs Cemento carbonático en fragmento de arenisca</p>
NCEI (Intracuales No- Carbonáticos)	<p>In Fragmento micrítico</p> <p>Bl Bloqueado</p>	<p>In Fragmento micrítico</p> <p>Bl Bloqueado</p>	<p>In Fragmento micrítico</p> <p>Bl Bloqueado</p>
Cm (Cementos)	<p>Cm1 Cemento carbonático</p> <p>Cm2 Cemento silíceo de cuarzo y feldespato potásico</p> <p>Cm4 Cemento arcillosos de kaolinita e illita</p> <p>Cm3 Cemento terrigeno</p>	<p>Cm1 Cemento carbonático</p> <p>Cm2 Cemento silíceo de cuarzo y feldespato potásico</p> <p>Cm4 Cemento arcillosos de kaolinita e illita</p> <p>Cm3 Cemento terrigeno</p>	<p>Cm1 Cemento carbonático</p> <p>Cm2 Cemento silíceo de cuarzo y feldespato potásico</p> <p>Cm4 Cemento arcillosos de kaolinita e illita</p> <p>Cm3 Cemento terrigeno</p>
Ps (Porosidad)	<p>Po1 Porosidad primaria</p> <p>Po2 Porosidad secundaria intragranular</p> <p>Po3 Porosidad secundaria de disolución de feldespatos</p>	<p>Po1 Porosidad primaria</p> <p>Po2 Porosidad secundaria intragranular</p> <p>Po3 Porosidad secundaria de disolución de feldespatos</p>	<p>Po1 Porosidad primaria</p> <p>Po2 Porosidad secundaria intragranular</p> <p>Po3 Porosidad secundaria de disolución de feldespatos</p>
<p>Parámetros utilizados</p> <p>Q Qm1 + Qm2 + Qp2-3 + Qp3-3a + Qp3-3f + Cq + Ch</p> <p>F Ks + Kil + Ck + Ps + Pll + Cp + P03</p> <p>R Qlrm + Qlrg + Qlrs + Kfgr + Pflg + Lm + Mlrm + CE</p> <p>Qm Qm1 + Qm2 + Qp2-3 + Qp3-3a + Qlrm + Qlrg + Qlrs + Cq</p> <p>F Ks + Kfgr + Kil + Ck + Ps + Pflg + Pll + Cp + P03</p> <p>Lt Qp3-3f + Ch + Lm + Ml + Sc + Md + Sd + Fo + Cs</p> <p>Qm Qm1 + Qm2 + Qp2-3 + Qp3-3a + Qlrm + Qlrg + Qlrs + Cq</p> <p>K Ks + Kfgr + Kil + Ck</p> <p>P Ps + Pflg + Pll + Cp</p> <p>Qm1 Qm1</p> <p>Qm2 Qm2</p> <p>Qp Qp2-3 + Qp3-3a + Qp3-3f</p> <p>Lm Lm</p> <p>Ls Sc + Sd + Fo + Cs</p> <p>Lm Ml + Md</p> <p>Ls Sc + Sd + Fo + Cs</p> <p>Rg Qlrg + Kfgr + Pflg</p> <p>Rl Qlrs + CE</p> <p>Rm Qlrm + Lm + Mlrm</p> <p>PIF (Ps + Pflg + Pll + Cp)/(Ks + Kfgr + Kil + Ck + Ps + Pflg + Pll + Cp)</p> <p>V.I. Volumen intergranular: (Cm + Ps) - P03</p>		<p>Parámetros utilizados</p> <p>Q Qm1 + Qm2 + Qp2-3 + Qp3-3a + Qlrm + Qlrg + Qlrs + Cq + Ch</p> <p>F Ks + Kil + Ck + Ps + Pll + Cp + P03</p> <p>R Qlrm + Qlrg + Qlrs + Kfgr + Pflg + Lm + Mlrm + CE</p> <p>Qm Qm1 + Qm2 + Qp2-3 + Qp3-3a + Qlrm + Qlrg + Qlrs + Cq</p> <p>F Ks + Kfgr + Kil + Ck + Ps + Pflg + Pll + Cp + P03</p> <p>Lt Qp3-3f + Ch + Lm + Ml + Sc + Md + Sd + Fo + Cs</p> <p>Qm Qm1 + Qm2 + Qp2-3 + Qp3-3a + Qlrm + Qlrg + Qlrs + Cq</p> <p>K Ks + Kfgr + Kil + Ck</p> <p>P Ps + Pflg + Pll + Cp</p> <p>Qm1 Qm1</p> <p>Qm2 Qm2</p> <p>Qp Qp2-3 + Qp3-3a + Qp3-3f</p> <p>Lm Lm</p> <p>Ls Sc + Sd + Fo + Cs</p> <p>Lm Ml + Md</p> <p>Ls Sc + Sd + Fo + Cs</p> <p>Rg Qlrg + Kfgr + Pflg</p> <p>Rl Qlrs + CE</p> <p>Rm Qlrm + Lm + Mlrm</p> <p>PIF (Ps + Pflg + Pll + Cp)/(Ks + Kfgr + Kil + Ck + Ps + Pflg + Pll + Cp)</p> <p>V.I. Volumen intergranular: (Cm + Ps) - P03</p>	

Tabla 1.- Clases petrográficas consideradas en el conteo de puntos y parámetros utilizados.



**Figura 6.-** Evolución de las petrofacies durante la sedimentación clástica finijurásica - eocretácica en el borde suroccidental de la cuenca de Cameros y sus relaciones genéticas con la fracturación del basamento y las zonas del Macizo Hespérico. Las flechas indican la evolución de la composición a lo largo del tiempo. Ver la Tabla 1 para el significado de los parámetros petrográficos.

	BREZALES (n= 19)		JARAMILLO (n= 14)		SALCEDAL (n= 7)		PENACOBIA (n= 8)		PINILLA (n=15)		PANTANO (n= 30)		ABEJAR (n= 33)	
	media	d1*	media	d1	media	d1	media	d1	media	d1	media	d1	media	d1
Q	82,6	13,9	80,6	6,7	87,8	2,1	95,3	6,9	81,7	8,8	83,1	7,0	77,6	8,0
F	2,9	5,8	14,8	5,4	8,4	1,9	3,1	5,9	15,4	8,5	15,2	6,3	20,5	7,4
R	14,5	14,8	4,6	3,2	3,8	1,2	1,6	1,5	2,9	1,0	1,6	2,8	1,9	1,5
NCE	82,7	19,4	97,3	6,6	99,6	0,9	94,2	12,2	98,0	7,5	100,0	0,2	100,0	0,0
CE	12,1	13,4	1,1	2,6	0,2	0,5	1,2	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cl	5,2	10,8	1,6	4,2	0,2	0,4	4,5	12,1	2,0	8,7	0,0	0,2	0,0	0,0
Qm	82,8	13,4	80,5	6,4	87,7	2,0	94,7	7,6	81,6	8,9	79,7	7,5	75,4	9,2
F	2,9	5,9	15,1	5,5	8,5	2,0	3,3	6,2	15,6	8,6	15,4	6,3	20,9	7,5
Ll	14,3	14,3	4,4	3,4	3,8	0,7	2,0	1,7	2,7	1,1	5,0	3,1	3,7	3,8
Qm	97,5	5,7	86,4	6,8	92,1	3,4	96,6	6,5	86,3	7,3	90,9	6,4	84,2	7,6
K	1,4	3,4	5,4	4,5	2,0	1,2	3,4	6,4	12,2	8,2	8,7	6,1	15,6	7,7
P	1,1	3,3	8,2	6,3	5,9	3,3	0,0	0,1	1,5	2,8	0,4	1,0	0,2	0,4
Qmr	60,4	7,7	44,1	8,9	48,9	4,1	63,3	7,2	46,0	8,3	49,1	7,6	49,6	8,3
Qmo	27,3	4,6	20,7	6,3	18,1	4,1	25,1	7,7	20,3	5,4	24,5	8,9	22,3	7,2
Qp	12,3	8,2	35,1	5,1	33,1	3,9	11,6	12,3	33,7	10,4	26,4	5,0	28,1	8,6
Lm	14,8	34,5	83,8	33,0	90,5	16,9	16,7	31,9	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0
Lsm	34,8	28,1	5,5	16,3	3,8	6,8	7,1	12,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Lse	50,4	30,7	10,7	22,9	5,7	15,1	76,2	31,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Rg	2,3	3,2	13,3	17,0	2,8	5,2	11,2	20,1	30,3	32,8	43,5	41,3	81,3	31,4
Rs	84,7	34,9	16,5	32,8	5,7	11,7	86,7	22,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Rm	11,5	26,9	70,3	29,8	91,5	11,3	2,0	5,4	69,7	36,9	56,5	41,3	18,7	23,2

\* Desviación estándar

Tabla 2.- Valores de la media y desviación estándar de diversos parámetros petrográficos del esqueleto de las areniscas en las distintas formaciones detríticas analizadas.

	BREZALES (n= 19)		JARAMILLO (n= 14)		SALCEDAL (n= 7)		PEÑACOBIA (n= 8)		PINILLA (n=15)		PANTANO (n= 30)		ABEJAR (n= 33)	
	media	d1*	media	d1	media	d1	media	d1	media	d1	media	d1	media	d1
Carbonatos	18,6	8,8	4,0	6,2	2,9	5,3	16,0	8,9	7,6	9,6	0,0	0,0	0,0	0,1
Cuarzo + Feldespatio potásico	0,4	0,8	11,8	5,0	13,1	4,4	1,1	1,6	4,6	3,2	1,8	2,2	1,9	3,0
Cadonita + illita	0,2	0,4	3,9	2,3	3,0	1,1	0,5	0,8	3,6	3,0	2,9	2,1	4,5	3,3
Ferruginoso	2,8	6,4	0,5	0,9	1,3	1,5	0,2	0,4	0,5	1,0	2,6	4,0	1,9	5,2
Porosidad primaria	0,5	1,5	0,5	1,1	0,7	1,1	0,8	2,2	3,5	3,5	3,5	4,4	4,4	2,0
Porosidad secundaria intergranular	0,8	1,5	0,0	0,1	0,7	1,5	1,0	2,9	0,2	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0
Porosidad secundaria intragranular	0,4	1,0	1,8	3,1	0,6	1,5	0,0	0,0	2,2	2,5	6,5	4,1	5,8	5,6
Volumen intergranular	23,6	5,6	20,7	5,4	21,6	6,2	21,0	3,8	20,0	4,2	10,8	4,2	13,0	6,3
Porosidad secundaria total	1,2	2,2	1,9	3,1	1,3	3,0	1,0	2,9	2,5	2,4	6,5	4,8	5,8	5,3
Porosidad total	1,8	3,0	2,3	4,1	2,0	3,8	1,8	5,0	6,0	5,0	10,0	4,1	10,2	4,5
COPL	21,0	5,7	24,0	5,4	25,1	6,2	23,9	3,8	24,8	4,0	32,7	3,3	31,0	5,5
CEPL	18,3	5,6	15,6	5,5	16,4	6,2	14,5	6,1	12,6	6,0	4,9	2,9	5,8	5,1

\* Desviación estándar

	Brezales		MS1 (Fn J+S)		Peñacoba		MS2 (Fn P+P+A)	
	media	d1*	media	d1	media	d1	media	d1
Carbonatos	18,6	8,8	3,6	5,8	16,0	8,9	1,5	5,1
Cuarzo + Feldespatio potásico	0,4	0,8	12,2	4,8	1,1	1,6	2,4	2,9
Cadonita + illita	0,2	0,4	3,6	2,0	0,5	0,8	3,7	2,9
Ferruginoso	2,8	6,4	0,8	1,1	0,2	0,4	1,9	4,3
Porosidad primaria	0,5	1,5	0,6	1,1	0,8	2,2	4,0	3,2
Porosidad secundaria intergranular	0,8	1,5	0,3	0,9	1,0	2,9	0,0	0,0
Porosidad secundaria intragranular	0,4	1,0	1,4	2,7	0,0	0,0	5,4	4,8
Volumen intergranular	23,6	5,6	21,0	5,5	21,0	3,8	13,5	6,1
Porosidad secundaria total	1,2	2,2	1,7	3,0	1,0	2,9	5,4	5,2
Porosidad total	1,8	3,0	2,2	4,0	1,8	5,0	9,4	4,7
COPL	21,0	5,7	23,7	5,5	23,9	3,8	30,6	5,2
CEPL	18,3	5,6	15,9	5,6	14,5	6,1	6,6	5,0

**Tabla 3.-** Valores de la media y desviación estándar de diversos parámetros petrográficos del espacio intergranular de las areniscas en las distintas formaciones detríticas analizadas, y reagrupadas en megasecuencias.

Tanto la Fm Abejar como la Fm Castrillo de la Reina pueden ser interpretadas como generadas a partir de la erosión de rocas cristalinas granítico-gneissicas, debido al carácter cuarzofeldespático casi puro de los esqueletos de sus areniscas. Los aportes metamórficos de bajo grado aparecen fuertemente diluidos por los aportes granítico-gneissicos principales.

#### **4. PETROFACIES, SECUENCIAS DEPOSICIONALES Y MEGASECUENCIAS**

En función de las similitudes composicionales del esqueleto de las areniscas analizadas, éstas pueden ser reagrupadas en cuatro petrofacies distintas.

##### **4.1. PETROFACIES A**

Está constituida por areniscas cuarzosedimentolíticas. Son sedarenitas, con abundantes fragmentos de roca carbonática, y cuarzoarenitas, generadas por la erosión de rocas siliciclásticas y carbonáticas marinas jurásicas pertenecientes a la cobertera *pre-rift*. Esta petrofacies se desarrolla en todo el área de estudio y se genera durante la sedimentación de la Fm Brezales, coincidiendo con la SD-1.

##### **4.2 PETROFACIES B**

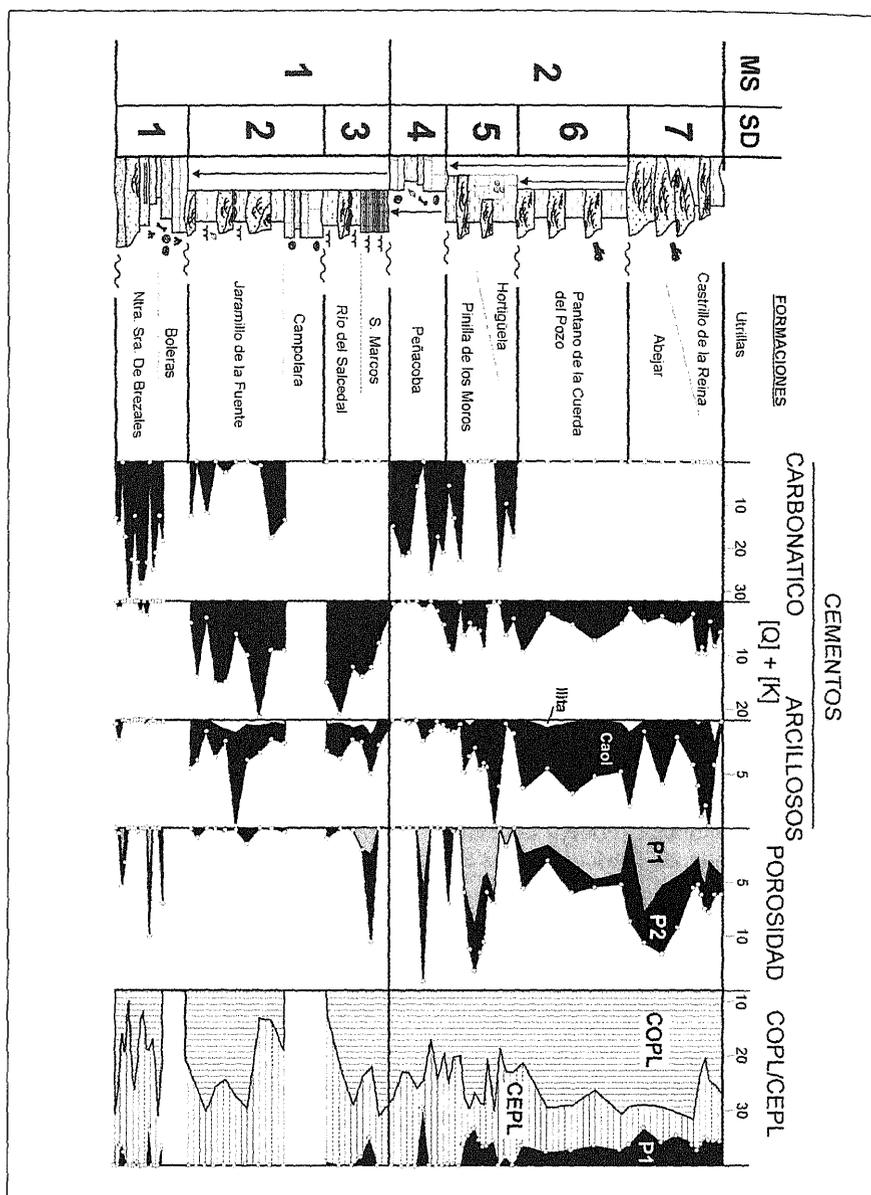
Las areniscas son cuarzofeldespáticas, con plagioclasa como feldespato principal, micas y fragmentos de roca metamórfica (pizarras y esquistos). Pueden presentar fragmentos de roca sedimentarios. Las áreas fuentes principales que pueden deducirse son metamórficas de bajo y medio grado que estarían relacionadas con la Zona Asturoccidental Leonesa del Macizo Hespérico. Esta petrofacies es característica de las unidades detríticas de las SD-2 y 3 (Fm Jaramillo y Fm Salcedal).

##### **4.3. PETROFACIES C**

Las areniscas son cuarzoarenitas con escaso contenido en feldespato potásico. Característico de esta petrofacies es la presencia de fragmentos de roca sedimentaria carbonática, ausencia de plagioclasa y la presencia de abundantes señales de reciclado que presentan los granos de cuarzo (tipologías, redondez, cementos heredados). El origen de esta petrofacies se relaciona con la erosión de unidades triásicas (Buntsandstein, fundamentalmente), desarrollándose durante la sedimentación de la SD-4 (Fm Peñacoba).

##### **4.4. PETROFACIES D**

Son areniscas cuarzofeldespáticas con muy escaso contenido en fragmentos líticos y bajos valores del índice P/F. Las áreas fuentes deducidas son rocas cristalinas granítico-gneissicas, probablemente localizadas en la Zona Centro Ibérica del Macizo Hespérico. Esta petrofacies se desarrolla durante la sedimentación de las SD-5, 6 y 7.



**Figura 7.-** Distribución de los productos (cementos y porosidad) y cuantificación de los procesos diagenéticos (COPL, CEPL) más relevantes en las areniscas pertenecientes al relleno finijurásico - eocretácico del borde suroccidental de la cuenca de Cameros. [Q]: Cemento sintaxial de cuarzo. [K]: Cemento sintaxial de feldespato potásico. P1: Porosidad primaria. P2: Porosidad secundaria. COPL: Pérdida de porosidad por compactación. CEPL: Pérdida de porosidad por cementación. Las muestras utilizadas pertenecen a las series estratigráficas RUP, CUB, CML, CON, PEÑ, HIN, AHE, TRZ, CTV, MON, GAN, GAN, GAS y BRZ.

El análisis de la distribución de las cuatro petrofacies definidas pone de manifiesto la relación que existe entre las petrofacies y las secuencias deposicionales. Dicha relación subraya incluso la jerarquía de las propias secuencias deposicionales. La Petrofacies A se desarrolla durante las etapas iniciales del rift, generándose a partir de la erosión del sustrato sedimentario local. La Petrofacies B registra la entrada de aportes metamórficos provenientes de la Zona Asturoccidental Leonesa en los surcos más subsidentes en el norte del área de estudio (Fig. 2 y 6). Aunque SD-2 y SD-3 se corresponden con la Petrofacies B, existen pequeñas variaciones composicionales entre ellas. Estas variaciones son en relación con la madurez de los depósitos, sin que representen cambios significativos en la naturaleza del área fuente. En consecuencia, SD-1, 2 y 3 representan una megasecuencia generada durante el primer estadio de relleno de los surcos subsidentes del norte (Mas et al., 1993; Arribas et al., 2003), y está caracterizada por la presencia de la Petrofacies A en la base y la Petrofacies B en el techo (Fig. 6).

La Petrofacies C (en SD-4) representa también depósitos reciclados a partir de la cobertera sedimentaria mesozoica del SW del área de estudio, lo que indicaría una propagación en esta dirección de las fracturas normales que limitan los nuevos surcos (Fig. 6). La Petrofacies arcósica D (SD-5, 6 y 7) correspondería a aportes nuevos a partir de rocas plutónicas de la Zona Centro Ibérica. De este modo puede definirse una segunda megasecuencia marcada por la sucesión de la Petrofacies C en la base seguida por la Petrofacies D en el techo.

De todo lo expuesto anteriormente, se deduce que en la Cuenca de Cameros, la estructura y composición del basamento varisco juega un papel decisivo en la distribución de las petrofacies arenosas a lo largo del tiempo.

## 5. PROCESOS Y PRODUCTOS DIAGENÉTICOS

El estudio de la diagénesis se ha basado fundamentalmente en el análisis de la cuantificación de los componentes diagenéticos (cementos), tipos de porosidad y volumen intergranular, así como en aspectos texturales para establecer la cronología de los procesos. En la Tabla 3, figuran los datos referentes a los valores medios de las clases petrográficas analizadas en cada una de las unidades detríticas, y reagrupados en megasecuencias. Asimismo, en la Fig. 7 se ha representado la evolución de los parámetros diagenéticos a lo largo del registro sedimentario.

### 5.1. COMPACTACIÓN

Es fundamentalmente mecánica, manifestándose mediante la deformación de granos dúctiles y la fractura de los granos rígidos (Fig. 4d). La compactación química tiene un menor desarrollo, observándose escasos contactos de presión-disolución entre los componentes del esqueleto. Considerando un valor estimado de la porosidad original del depósito detrítico del 40% y empleando los criterios de Lundegard (1992), la compactación puede valorarse en función de la reducción del volumen intergranular. Así, los valores más bajos de volumen intergranular se registran en las formaciones detríticas del techo del registro estratigráfico, en la Fm

Pantano y Fm Abejar (10.8% y 13%, respectivamente, Tabla 3), que equivale a valores de COPL (pérdida de porosidad original por procesos de compactación, Lundegard, 1992) superiores al 30% (Tabla 3, Fig.7). La ausencia o el escaso desarrollo de cementos oclusivos en estas formaciones hace que la compactación sea más intensa, llegando incluso a colapsar el esqueleto (Fig. 4d y e). Por el contrario, los valores más altos de volumen intergranular, y por lo tanto con menor grado de compactación aparecen en la Fm. Brezales y Peñacoba (23.6% y 21%, respectivamente). Esto es debido a la presencia en estas formaciones detríticas de cementos carbonáticos tempranos que reducen los efectos de la compactación (Fig.7). En las formaciones con mayor contenido en granos dúctiles (Fm Jaramillo y Salcedal) no se aprecia una reducción del volumen intergranular como cabría esperar, debido probablemente al importante desarrollo en estas unidades de los cementos sintaxiales de cuarzo y feldespatos potásico (Fig.4b y 7).

## 5.2. CEMENTACIÓN

Como ya se ha mencionado anteriormente, los cementos oclusivos tempranos de carbonato tienen un gran desarrollo en las Fms Brezales y Peñacoba, generadas por reciclado a partir de rocas sedimentarias (18.6% y 16% respectivamente, Tabla 3). Los cementos de cuarzo, generados en etapas diagenéticas más tardías tiene un desarrollo máximo en las Fms Jaramillo y Salcedal. La cementación por medio de minerales de la arcilla se manifiesta con *pore fillings* de caolinita, tempranos y tardíos (Fig. 4f), así como con *pore lining* iílticos tempranos. Esta cementación se realiza preferentemente en las formaciones cuarzofeldespáticas (i.e., 4.5% en Fm Abejar). En general, la pérdida de porosidad por los procesos de cementación (CEPL, Lundegard, 1992) es más intensa en la base del registro detrítico (18.3% en Fm Brezales), reduciendo el valor de la porosidad primaria a valores inferiores al 1%. Los valores más altos de porosidad primaria se registran precisamente en las formaciones del techo (3.5% en Fm Pinilla y Pantano; 4.4% en Fm Abejar, Fig. 4c y 7), donde los valores de CEPL son muy bajos.

## 5.3. POROSIDAD SECUNDARIA

La porosidad secundaria intergranular es muy baja, manifestándose exclusivamente en las Fms Brezales y Peñacoba con valores próximos al 1%. Su génesis se relaciona con la disolución de cementos carbonáticos. La porosidad secundaria por disolución de componentes del esqueleto, se manifiesta mediante poros agrandados e intraconstituyentes asociados a disoluciones de granos de feldespatos potásico (Fig.4e y 7). Los valores más altos de este tipo de porosidad se registran en el techo de la sucesión, asociados a los depósitos más ricos en feldespatos (2.2% en Fm Pinilla; 6.5% en Fm Pantano; 5.8% en Fm Abejar, Tabla 3, Fig.7).

Los procesos diagenéticos analizados ponen de manifiesto el fuerte control que la composición y naturaleza de los depósitos detríticos ejercen sobre ellos. Así, el inicio de las megasesuencias, caracterizado por la presencia de las petrofacies sedimentoclasticas A y C condiciona el desarrollo de cementos carbonáticos tempranos, ocluyendo la porosidad primaria y amortiguando los efectos de la compactación. Los depósitos con mayor porosidad (primaria y secundaria) corresponden a los tér-

minos arcóscicos de la Petrofacies D procedente de rocas granítico-gneissicas que proporcionan un esqueleto cuarzofeldespático rígido, que preserva la porosidad primaria y genera porosidad secundaria mediante la disolución de feldespatos.

## 6. CONCLUSIONES

El estudio petrográfico cuantitativo del esqueleto y del espacio intergranular de 126 muestras de areniscas pertenecientes a las unidades detríticas de las secuencias deposicionales del borde suroccidental de la Cuenca de Cameros ha permitido obtener las siguientes conclusiones.

La composición de los componentes detríticos ha permitido el establecimiento de cuatro petrofacies características que presentan un claro paralelismo con las secuencias deposicionales, con su propia jerarquía y con el establecimiento de dos megasecuencias mayores.

La megasecuencia 1, de edad Titónico - Berriásiense, y constituida por las secuencias deposicionales SD-1, 2 y 3, se caracteriza por presentar en la base (SD-1) una petrofacies sedimentoclástica (Petrofacies A) reciclada a partir de los depósitos del Jurásico marino. La parte superior de la megasecuencia (SD-2 y 3) la constituyen los depósitos con petrofacies cuarzofeldespática metamorfolástica (Petrofacies B) cuyo origen se relaciona con la erosión del basamento metamórfico del Macizo Hespérico (Zona Asturoccidental Leonesa). La sedimentación de esta primera megasecuencia se realiza en los surcos de dirección NW-SE más axiales de la Cuenca de Cameros, situados en el norte de la zona de estudio.

La megasecuencia 2, de edad Valanginiense - Albiense inferior, se inicia de nuevo con depósitos arenosos sedimentoclásticos (SD-4, Petrofacies C) generados por la erosión de la cobertera mesozoica *pre-rift* (Triásico y Jurásico). Las secuencias deposicionales superiores (SD-5, 6 y 7) presentan petrofacies cuarzofeldespáticas plutoclásticas producidas por la erosión de rocas granítico-gneissicas emplazadas en la Zona Cento Ibérica del Macizo Hespérico. La sedimentación de esta megasecuencia se realiza en surcos más amplios generados por la migración hacia el SW de la fracturación, evidenciándose el control que ejerce la estructuración de la cadena varisca en la composición de las petrofacies.

El análisis de los procesos y productos diagenéticos pone en evidencia el control de la composición de los depósitos detríticos en el curso de la diagénesis y en la calidad como reservorio de sus areniscas.

Las petrofacies sedimentoclásticas A y C de los inicios de las megasecuencias 1 y 2, respectivamente, se caracterizan por desarrollar cementos carbonáticos tempranos que atenúan los efectos de la compactación y ocluyen la porosidad original. Las areniscas del techo de la megasecuencia 2 (Petrofacies D), aún teniendo las tasas mayores de pérdida de porosidad por compactación, presentan porosidad primaria debido a su escasa cementación y a la rigidez de su esqueleto cuarzofeldespático. Además, la disolución de feldespatos en esta petrofacies proporciona un importante volumen de porosidad secundaria, siendo las areniscas con mayor potencial como reservorios.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto BTE2001-026 financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología. No obstante, gran parte de la información recogida se debe a trabajos previos realizados durante el desarrollo de otros proyectos financiados con fondos públicos (i.e., PB97-0298) y con la participación de otros investigadores no firmantes del presente trabajo. Agradecemos su colaboración y los buenos momentos disfrutados con ellos en la Cuenca de Cameros.

## 8. REFERENCIAS

- Arribas, J., Gómez-Gras, D., Rosell, J., Tortosa, A., 1990. Estudio comparativo entre las areniscas Paleozoicas y Triásicas de la isla de Menorca: evidencias de procesos de reciclado. *Rev. Soc. Geol. España* (3), 105-116.
- Arribas, J., Alonso, A., Mas, R., Tortosa, A., Rodas, M., Barrenechea, J.F., Alonso-Azcárate, J., Artigas, R., 2003. Sandstone petrography of continental depositional sequences of an intraplate rift basin: Western Cameros Basin (Northern Spain). *Jour. of sediment. Research* (73), 309-327.
- Basu, A., Young, S.W., Suttner, L.J., James, W.C., Mack, G.H., 1975. Re-evaluation of the use of undulatory extinction and polycrystallinity in detrital quartz for provenance interpretation. *Jour. Sedim. Petrol.* (45), 873-882.
- Chayes, F., 1952. Notes on the staining of potash feldspar with sodium cobaltinitrite in thin section. *Am Miner.* (37), 337-340.
- Clemente, P., Pérez-Arlucea, M., 1993. Depositional architecture of the Cuerda del Pozo Formation, Lower Cretaceous of the extensional Cameros Basin, North-Central Spain. *Jour. Sedim. Petrol.* (63), 437-452.
- Critelli, S., Le Pera, E., 1994. Detrital modes and provenance of Miocene sandstones and modern sands of the Southern Apennines thrust-top basins (Italy). *Jour Sedim. Research* (64), 824-835.
- Dickinson, W.R., 1970. Interpreting detrital modes of graywacke and arkose. *Jour Sedim. Petrol.* (40), 695-707.
- Dickinson, W.R., 1985. Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. En: *Provenance of Arenites* (Ed. by G.G.Zuffa), Dordrecht, D. Reidel 333-362.
- Dickinson, W.R., Suczek, C.A., 1979. Plate tectonics and sandstone compositions. *Am Assoc. Petroleum Geologists Bull.* (63), 2164-2182.
- Guimerà, J.; Alonso, A., Mas, R., 1995. Inversion of an extensional-ramp basin by a newly formed thrust: The Cameros basin (N Spain). En: *Basin Inversion* (J.G. Buchanan and P.G. Buchanan eds.). *Geol. Soc. Spec. Publ.* (88), 433-453.
- Ingersoll, R.V., 1978. Petrofacies and petrologic evolution of the Late Cretaceous fore-arc basin, northern and central California. *Journal of Geology* (86), 335-352.

- Ingersoll, R.V., Bullard, T.F., Ford, R.L., Grimm, J.P., Pickle, J.D., Sares, S.W., 1984. The effect of grain size on detrital modes: a test of the Gazzi-Dickinson point-counting method. *Jour. Sedim. Petrol.* (54), 103-116.
- Johansson, M.J., 1990. Overlooked sedimentary particles from tropical weathering environments. *Geology* (18), 107-110.
- Lindholm, R.C., Finkelman, R.B., 1972. Calcite staining; semiquantitative determination of ferrous iron. *Jour. Sedim. Petrol.* (42), 239-245.
- Lundegard P.D., 1992. Sandstone Porosity Loss- A «Big Picture» View of the Importance of Compaction. *Jour. Sedim. Petrol.* (62), 250-260.
- Martín-Closas, M., Alonso Millán, A., 1998. Estratigrafía y Bioestratigrafía (Charophyta) del Cretácico inferior en el sector occidental de la Cuenca de Cameros (Cordillera Ibérica). *Revista de la Sociedad Geológica de España* (11), 253-269.
- Mas, R.; Alonso, A., Guimerà, J., 1993. Evolución tectonosedimentaria de una cuenca extensional intraplaca: La cuenca finijurásica-eocretácica de Los Cameros (La Rioja-Soria). *Revista de la Sociedad Geológica de España* (6), 129-144.
- Mas, R., Benito, M<sup>a</sup> I., Arribas, J., Serrano, A., Guimerà, J., Alonso, A., Alonso-Azcárate, J., 2005. La cuenca de Cameros (Cordillera Ibérica noroeste): desde la extensión finijurásica-eocretácica a la inversión contractiva terciaria - Implicaciones en la exploración de hidrocarburos. (en este volumen)
- Pettijohn, F.J., Potter, P.E., Siever, R. (1973): *Sand and Sandstones*. Springer-Verlag, New York, 618 p.
- Salas, R., Guimerà, J., Mas, R., Martín-Closas, C., Meléndez, A., Alonso, A., 2001. Evolution of the Mesozoic Central Iberian Rift System and its Cenozoic inversion (Iberian Chain). In: Peri-Tethyan Rift/Wrench Basins and Passive Margins. W. Cavazza, A.H.F.R. Robertson & P. Ziegler, eds. *Mémoires du Muséum National d'Histoire Naturelle* (186), 145-185.
- Scholle, P.A., Schluger, P.R., 1979. Aspects of Diagenesis. *Soc. Econ. Paleontol. Mineral.*, Spec. Publ. (26), 443p.
- Wilson, M.D., 1994. Reservoir quality assessment and prediction in clastic rocks. *SEPM Short Course* (30), 432p.
- Zuffa, G.G., 1980. Hybrid arenites: their composition and classification. *Jour. Sedim. Petrol.* (50), 21-29.