

PROCEDENCIA Y EVOLUCION DIAGENETICA DE LAS ARENISCAS PERMO-TRIASICAS DE LA CORDILLERA IBERICA (SIERRA DE ALBARRACIN-BONICHES-TALAYUELAS, PROVINCIAS DE TERUEL Y CUENCA)

POR

BERTA DE LA CRUZ *, RAFAELA MARFIL *, JOSÉ ANDRÉS DE LA PEÑA *
y JOSÉ ARRIBAS *

RESUMEN

Las series detríticas rojas atribuidas al Permo-Triásico en esta zona de la Cordillera Ibérica comprenden una potente sedimentación terrígena depositada en ambiente fundamentalmente fluvial, controlada por la tectónica que, según ALVARO *et al.* (1982), representa las primeras etapas de relleno de cuencas de tipo semigraben del aulacógeno celtibérico.

A partir de sondeos de testificación continua, realizados por la J. E. N. para una campaña de prospección de uranio, se ha llevado a cabo un estudio petrológico de las areniscas, haciendo hincapié en la procedencia y evolución diagenética de las mismas. Para la realización de este trabajo se han adoptado las unidades litoestratigráficas propuestas por VIALLARD (1973) para el Permo-Triásico en este área de la Cordillera Ibérica.

La composición de las areniscas (fig. 1) varía de sublitoarenitas a cuarzoarenitas e incluso subarcosas en la unidad basal. En la unidad intermedia la composición es más homogénea, arcosas y subarcosas, salvo en el área de Talayuelas, donde continúan siendo sublitoarenitas. En la unidad superior vuelven de nuevo a ser sublitoarenitas, con subarcosas subordinadas; excepto en el área de Boniches, donde las arcosas dominan hasta el techo.

El análisis de los datos composicionales y texturales nos ha permitido deducir la existencia de diferentes áreas fuentes para cada uno de los sectores estudiados, así como también su variación a lo largo

* Junta de Energía Nuclear, 28040 Madrid.

** Departamento de Petrología, Universidad Complutense, 28040 Madrid.

de la sedimentación permo-triásica. Para la unidad basal hemos deducido una procedencia de áreas fuentes volcánicas y metamórficas, observándose un cambio de los aportes en la unidad intermedia, con macizos granítico-gneísicos como principales contribuyentes. En la unidad superior se produce un cambio no tan generalizado, con aportes metamórficos a excepción del sector de Boniches y Talayuelas, donde persisten las áreas fuentes granítico-gneísicas hasta el techo.

Respecto al medio de sedimentación, el hecho de encontrar en la unidad basal niveles de areniscas con caracteres texturales eólicos, junto con la presencia de magnesita relacionada con costras ferruginosas y cantos blandos oxidados, nos indican la existencia de los períodos climáticos más áridos dentro de las tres unidades.

Los procesos diagenéticos más importantes sufridos por estas areniscas varían a lo largo de las unidades como queda reflejado en la figura 2. Según la composición y secuencia de formación de los cementos y otros minerales autigénicos, se puede sintetizar la evolución de la naturaleza de los fluidos intersticiales de la manera siguiente: *unidad basal*: aguas ácidas y óxicas durante la eodiagénesis y telodiagénesis y alcalinas en la mesodiagénesis. *Unidad intermedia*: aguas alcalinas y alternancia de óxicas y anóxicas en la eodiagénesis y mesodiagénesis; aguas óxicas y localmente alcalinas durante la telodiagénesis. *Unidad superior*: igual que en la anterior pero con dominio de los ambientes óxicos en las dos primeras etapas y ácido en la telodiagénesis. Asimismo, la secuencia típica de precipitación de cementos a partir de aguas dulces: ilita-caolinita-cuarzo-dolomita (ALMON & DAVIES, 1979) sería válida para la unidad inferior pero no para las unidades intermedia y superior. En éstas, la secuencia coincidiría con la de precipitación a partir de aguas diagenéticas marinas propuesta por BURLEY *et al.* (1985): feldespato potásico-ilita-interestratificados ilita/esmectita-cuarzo-dolomita.

La porosidad presente en las areniscas (fig. 6) es de origen secundario, con valores máximos (alrededor del 15%) en la unidad intermedia arcósica. Genéticamente la relacionamos con la disolución del feldespato potásico y del cemento dolomítico durante la telodiagénesis, como consecuencia de la circulación de aguas meteóricas.

El rango de los carbones asociados indica que las areniscas permo-triásicas estudiadas han sufrido un enterramiento relativamente somero (no más de 3.000 m), con temperaturas próximas a los 100° C.

ABSTRACT

The Permo-Triassic detrital red beds located on this zone of the Iberian Range comprise a huge terrigenous sedimentation, deposited

under a dominating fluvial environment. The deposits are tectonically controlled and, according to ALVARO et al. (1982), they represent the early filling stages of a semigraben basin within the celtiberian aulacogen.

A petrologic study of the sandstones has been made based on a series of drillholes done by the J. E. N. during a uranium prospecting campaign. Emphasis has been given to the provenance and diagenetic evolution of the sandstones. The lithostratigraphic units appearing on this work were proposed by VIALARD (1973) for the Permo-Triassic in the SE of the Iberian Range.

The composition of the sandstones (fig. 1) of the lower unit varies from sublithoarenites to quartzarenites, and even subarkoses appear. The middle unit is more homogenous, comprising arkoses and subarkoses, except in the area of Talayuelas where they continue being sublithoarenites. In the upper unit, the sublithoarenites predominate again with subordinated subarkoses, except in the area of Boniches and Talayuelas, where the arkoses prevail up to the top of the series.

The existence of different source areas for each of the areas studied and their variation along the Permo-Triassic sedimentation have been inferred from compositional and textural data. For the lower unit a volcanic and metamorphic provenance has been deduced. A change of the composition of the materials has been observed in the middle unit, where the principal source areas have a granitic-gneissic composition. A minor change, consisting of metamorphic source areas, can be inferred for the provenance of the upper unit, except in the area of Boniches, where the granitic-gneissic influence continues up to the top of the unit.

In relation to the environment of sedimentation, the occurrence of sandstone levels within the lower unit with eolic textural features, as well as the existence of magnesite associated with ferruginous cruds and oxidized rip-up clasts, indicates the presence of the most arid periods of the three units.

The major diagenetic processes that have occurred in these sandstones vary along the units, as can be observed in Fig. 2. According to the composition and the formation sequence of the cements and other authigenic minerals, the evolution of the nature of the interstitial fluids can be summarized as follows: *Lower Unit*: acidic and oxic water during the eodiagenesis and telodiagenesis and alkaline during the mesodiagenesis. *Middle Unit*: alkaline water and alternation of oxic and anoxic environments during the eodiagenesis and mesodiagenesis; and acidic and locally alkaline and oxic waters during the telodiagenesis. *Upper Unit*: the geochemical characteristics are similar to the middle unit, but the oxic environment prevails during the first two stages and the acidic conditions during the telodiagenesis.

Likewise, the typical sequence of precipitation of cements from fresh waters: Illite-Kaolinite-Quartz-Dolomite (ALMON & DAVIES, 1979) would be valid for the lower unit but not for the other two. In the middle and upper units the sequence follows the pattern of precipitation from marine diagenetic waters proposed by BURLEY et al., 1985: K-feldspar-illite-illite/smectite mixed-layer-quartz-dolomite.

The porosity existing in the sandstones (fig. 6) is secondary with maximum values ($\approx 15\%$) within the arkosic middle unit. Genetically, this porosity is associated with the dissolution of K-Feldspar and dolomitic cement during telodiagenesis, as the result of circulating meteoric waters.

The range of the associated coals indicates that the Permo-Triassic sandstones have suffered a relatively shallow burial (not more than 3.000 m.) with temperatures close to 100°C.

I. INTRODUCCION

Las series detríticas rojas atribuidas al Permo-Triásico en esta zona de la Cordillera Ibérica comprenden una potente sedimentación terrígena depositada en ambiente fundamentalmente fluvial, controlada por la tectónica que, según ALVARO *et al.* (1982), representan las primeras etapas de relleno de cuencas de tipo semigraben del aulacógeno celtibérico. Para VIALARD (1973) estas facies, en la zona estudiada, se subdividen en las siguientes unidades litoestratigráficas: *Unidad basal*: 0 a 300 m. de conglomerados con cantos de cuarcita y niveles de arcosas y protocuarzitas. *Unidad intermedia*: 80 a 120 m. de limolitas y arcillas rojas con algunos niveles de areniscas arcósicas intercaladas. *Unidad superior*: 200 a 300 m. de areniscas rojas, que en algunas zonas tienen conglomerados en su base. En diversos puntos del área de estudio se ha encontrado una microflora de edad Thuringiense en la parte baja de la unidad intermedia. Dichas unidades han sido las empleadas en este trabajo.

Respecto al medio de sedimentación, ARCHE y LOPEZ GOMEZ (1984) han interpretado estos materiales en el sector Boniches-Talayuelas como depósitos de abanicos aluviales (unidad basal e intermedia) y como depósitos de canales fluviales entrelazados (unidad superior). Sin embargo, los autores de la memoria de la hoja 589 (Terriente) (1981) señalan para la unidad superior un posible retrabajamiento de los depósitos fluviales por la acción de mareas y oleaje.

Este trabajo forma parte de un proyecto de investigación sobre procedencia y evolución diagenética de las areniscas pérmicas y triásicas de la Cordillera Ibérica, sobre cuyo tema ya se han realizado diversas publicaciones referidas a otras zonas de la misma (DE LA

PEÑA y MARFIL, 1975; DE LA PEÑA *et al.*, 1977; MARFIL *et al.*, 1977; MARFIL y BUENDIA, 1980; SENTCHORDI y MARFIL, 1983; DE LA PEÑA *et al.*, 1983; ARRIBAS, 1984; ARRIBAS, 1985 y ARRIBAS *et al.*, 1985).

II. TECNICAS DE ESTUDIO

A partir de 22 sondeos de testificación continua, realizados por la J. E. N. para una campaña de prospección de uranio, se han muestreado los niveles de areniscas, eligiéndose para este trabajo los cinco sondeos más completos y representativos (fig. 1): a) *Sierra de Albarracín*. Hoja 589, Terriente, sondeos 1 y 26, situados, respectivamente, al SO de la localidad de Bezas (cerro del Vallejo) y al E de Tormón (cerro de la Morrita). b) *Talayuelas*. Hoja 665, Mira, sondeos 1 y 5, situados entre el cerro Castellar y los Castellares, y en el collado de la Traga. c) *Boniches*. Hoja 636, Villar del Humo, sondeo 2, situado al S del pueblo de Boniches, en la fuente de la Hoya.

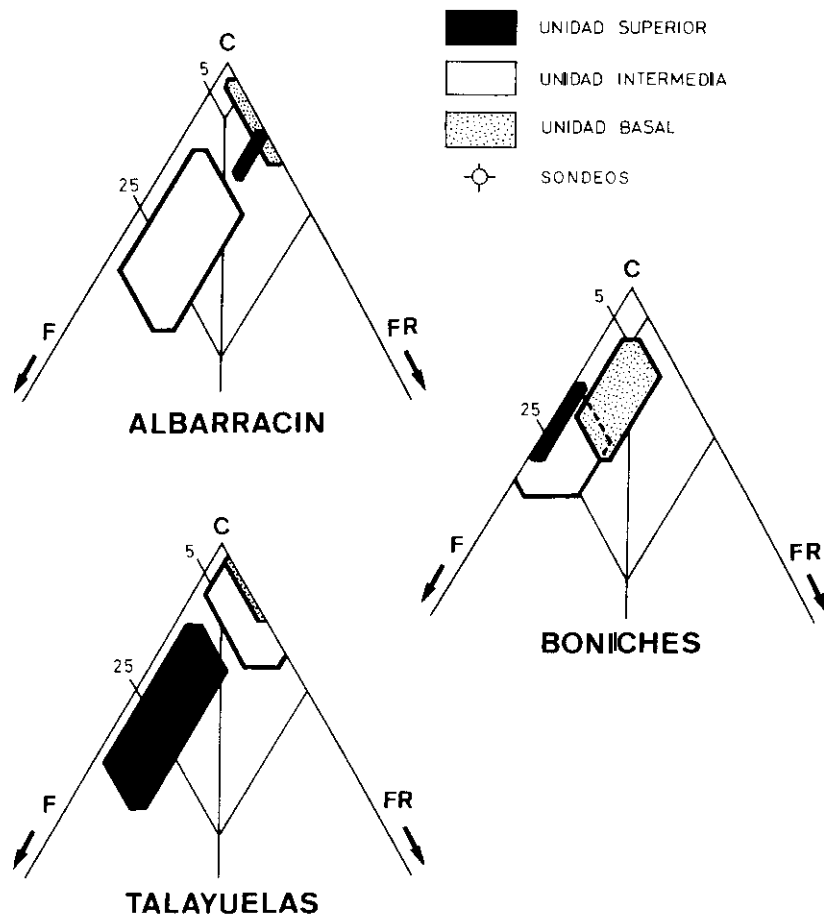
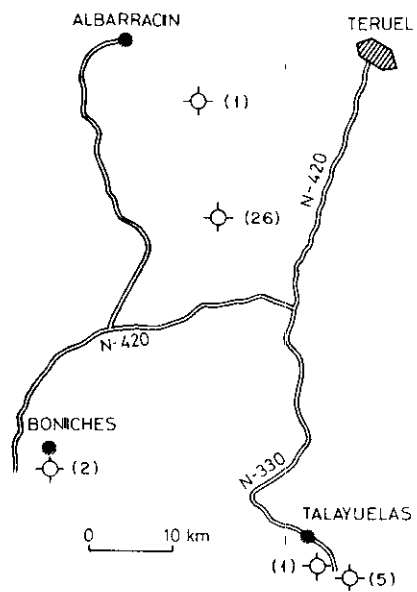
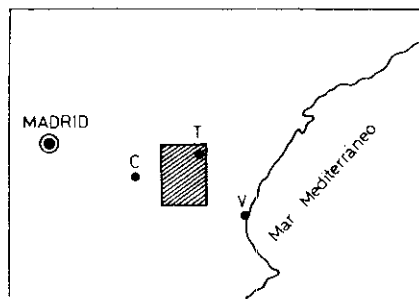
Las muestras fueron estudiadas al microscopio petrográfico, impregnándose las correspondientes a los sondeos 1 y 26 de Albarracín con resina plástica coloreada para el estudio de la porosidad. Asimismo, se utilizó el microscopio electrónico de barrido con espectrometría de dispersión de energía de rayos X incorporada, para abordar algunos problemas concretos. Por último se determinó la reflectividad de la vitrinita de areniscas ricas en materia orgánica dispersa, utilizando probetas pulidas.

III. COMPOSICION MINERALOGICA Y PROCEDENCIA

En la figura 1 se han representado en un diagrama triangular C-F-FR, utilizando los campos de clasificación propuestos por PETTIJOHN *et al.* (1972), la composición de las areniscas de las tres zonas estudiadas, diferenciando además la correspondiente a cada una de las unidades litoestratigráficas definidas por VIALLARD (1973).

En un primer examen se puede comprobar que la composición es bastante variable y que la unidad basal es la más rica en cuarzo. En todas las unidades existe una escasa proporción de matriz arcillosa (menos del 15%) a excepción de la unidad intermedia en todas las zonas y la superior en Boniches, donde se encuentran algunos niveles de «arkosic wackes».

Unidad basal.—Se apoya en Albarracín sobre brechas volcánicas riolíticas y en Talayuelas sobre brechas polimícticas y cineritas silici-



ficadas (Autuniense?), y está integrada por sublitoarenitas, cuarzoarenitas e incluso parte de subarcosas en el área de Boniches. En ellas el tamaño de grano dominante es de 0,25-0,50 mm., con selección moderadamente buena. Los granos son subangulosos y subordinadamente existen niveles con granos redondeados y bien seleccionados. Estos caracteres texturales, junto con la presencia de películas continuas de óxidos de hierro, indican un posible origen eólico.

Unidad intermedia.—Está formada por arcosas y subarcosas, salvo en el área de Talayuelas donde siguen dominando los fragmentos de roca metamórficos y volcánicos sobre los feldespatos, siendo la mayoría de las areniscas sublitoarenitas, con subarcosas y cuarzoarenitas subordinadas. Los caracteres texturales son muy parecidos a los de la unidad basal.

Unidad superior.—En Albarracín desaparecen progresivamente los feldespatos, teniendo de nuevo las areniscas una composición de sublitoarenitas. Por el contrario, en Talayuelas, sobre un potente paquete de lutitas rojas (35 m.) se produce un cambio notable en la litología con un importante incremento de los feldespatos (subarcosas y arcosas, con alguna sublitoarenita subordinada). Dicha composición se mantiene en las areniscas del área de Boniches. Texturalmente son algo más gruesas que las anteriores, con tamaños entre 0,25 y 0,50 mm., pasando hacia el techo a valores entre 0,5 y 1,0 mm. La selección mejora ligeramente, pero los granos siguen siendo subangulosos, con subredondeados subordinados.

En las tres unidades la asociación de minerales pesados es monótona y escasa, con turmalina, circón, leucoxeno, opacos y, en menores proporciones aún, rutilo y apatito.

El análisis de los datos composicionales y texturales nos ha permitido llegar a las siguientes conclusiones sobre la *procedencia*: 1) La existencia de áreas fuentes locales (volcánicas y metamórficas) para la unidad basal, con máxima influencia volcánica en la Sierra de Albarracín y Talayuelas. 2) El cambio de las áreas fuentes en la unidad intermedia después de, en ocasiones, importante depósitos de lutitas rojas. En este caso la mineralogía denota la presencia de rocas granítico-gneísicas como principales contribuyentes. 3) Por último, en la unidad superior cambian de nuevo los aportes, haciéndose más loca-

FIG. 1.—Mapa de situación de los sondeos estudiados y representación de las areniscas en un triángulo cuarzo-feldespatos-fragmentos de roca, según PETTI-JOHN et al. (1972).

Geographic location of the drillholes and a Quartz-Feldspar-Rock Fragments triangular representation of the sandstones.

les y procediendo de nuevo de rocas metamórficas (metacuarcitas, esquistos y pizarras) en Albarracín. Sin embargo, en las áreas de Boniches y Talayuelas las areniscas feldespáticas persisten hasta el techo, con clara influencia granítico-gneísica. Estos cambios en la composición coinciden con las variaciones en las direcciones de aporte señaladas por ARCHE y LOPEZ GOMEZ (1984) en el sector Boniches-Talayuelas.

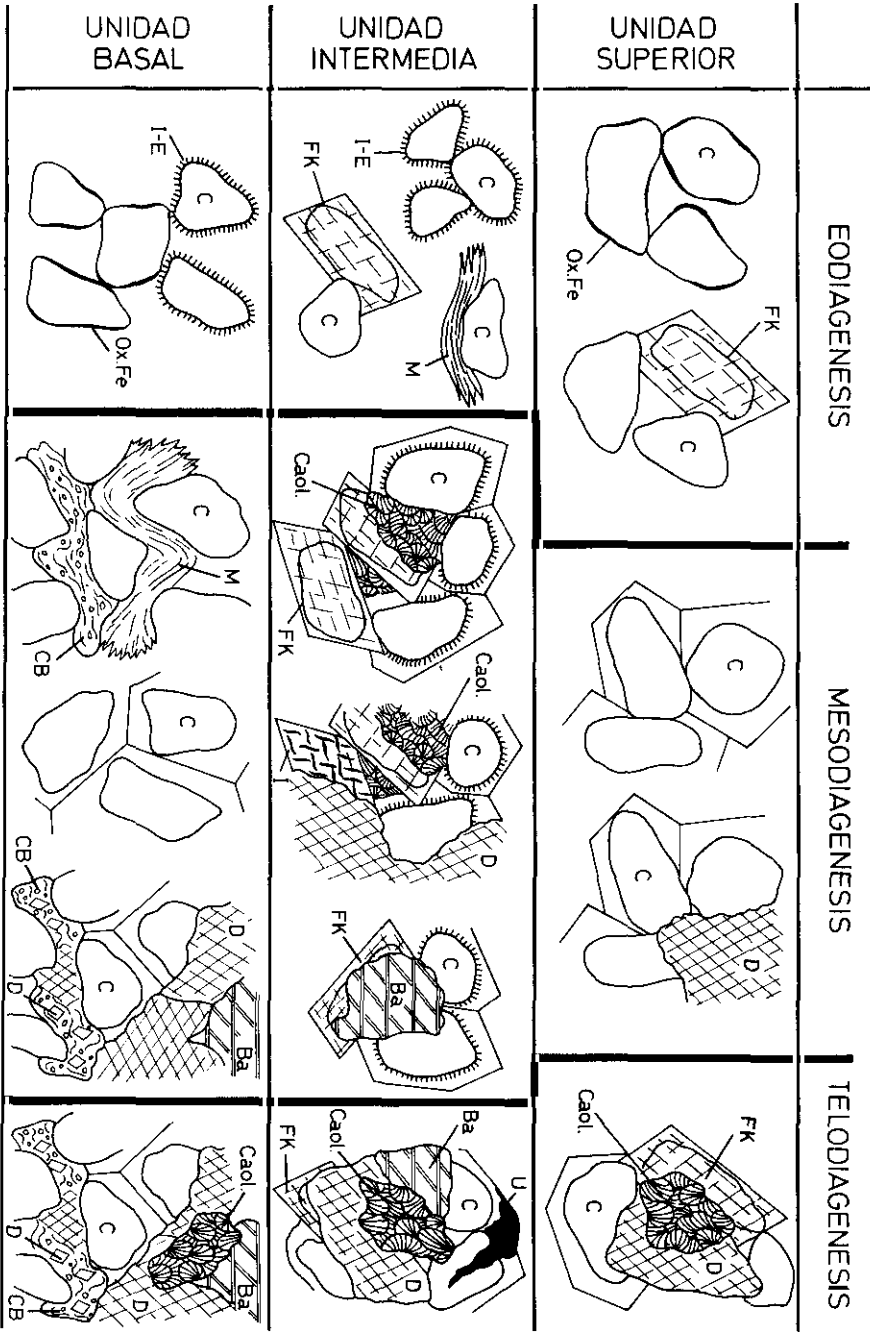
IV. PROCESOS DIAGENETICOS

Como veremos a continuación, los procesos diagenéticos más importantes que afectan a las areniscas estudiadas están controlados principalmente por los factores siguientes: la diferente estabilidad del esqueleto («framework»), la naturaleza geoquímica de las aguas intersticiales, la potencia y composición de las lutitas intercaladas y la diferente penetración de las aguas meteóricas durante la emersión y exhumación de estas rocas. En la figura 2 se han esquematizado los procesos más significativos en relación con las distintas etapas diagenéticas (utilizando la terminología de CHOQUETTE & PRAY, 1970).

Las sublitoarenitas y cuarzoarenitas de la *unidad basal*, con el esqueleto más lábil (5-25% de fragmentos de roca metamórfica y volcánicos y 2-7% de micas) presentan los fenómenos más importantes de compactación mecánica (aproximadamente un 10-12% de pérdida de porosidad para un 25% de granos dúctiles según RITTENHOUSE, 1971). En estas areniscas domina la formación de pseudomatriz en las primeras etapas de enterramiento diagenético. Son muy frecuentes en etapas muy tempranas, e incluso anteriores a la diagénesis, los «coatings» ferruginosos continuos y discontinuos alrededor de los cuarzos más redondeados, con moderada cementación silícea sobrepuesta (5-10%). Esta riqueza en SiO₂ podría proceder de los niveles de arenas eólicas intercaladas (PITTMAN, 1977). En otros casos se aprecian «pore linings» radiales de illita (fig. 5C) que también han sido englobados por la cementación silícea. Además es abundante la cementación y reemplazamiento dolomítico y por magnesita, sobre todo de los cantos blandos ferruginosos y frecuentes restos de cutanes

FIG. 2.—Sucesión temporal de los principales procesos diagenéticos en relación con las tres unidades litoestratigráficas: C=Cuarzo; FK=Feldespato-K; M=Muscovita; CB=Canto blando; Caol=Caolinita; I=Illita; I-E=Interestratificado Illita-Esmectita; D=Dolomita-Ankerita; U=Minerales de Uranio.

Temporal sequence of the major diagenetic processes associated with the three lithostratigraphic units: C=Quartz; FK=K-Feldspar; M=Muscovite; CB=Rip-up clast; Caol=Kaolinite; I= Illite; I-E=Illite-smectite mixed layer; D=Dolomite-Ankerite; U=Uranium minerals.



rodados, proceso que se observa muy bien en la zona de Talayuelas. La dolomita, con textura poiquilotópica, lleva casi siempre asociada algo de baritina, también poiquilotópica, anhedral y reemplazante. La magnesita muestra mosaicos idiotópicos de grandes cristales que reemplazan a los cantos blandos, siendo anterior a la cementación por dolomita y estando relacionada con un medio de sedimentación en ambiente árido, tal y como hemos encontrado en otras zonas de la Cordillera Ibérica en facies semejantes (MARFIL y PEREZ GONZALEZ, 1973). Existen moderados procesos de disolución por presión con contactos dominantes cóncavo-convexos. Finalmente, a favor de la disolución del cemento-reemplazamiento dolomítico aparecen «pore fillings» de caolinita-dickita cerrando la porosidad remanente.

Las arcosas de la *unidad intermedia* y parte de la superior se caracterizan por una débil compactación mecánica debido al bajo contenido en componentes dúctiles (fragmentos de roca y micas) y en ellas la cantidad de pseudomatriz es inferior a la de epimatriz procedente de la alteración de los feldespatos (fig. 3A). Son muy frecuentes los «pore linings» radiales y tangenciales (fig. 3B y C) de minerales de arcilla del tipo interestratificados I-E, clorita e illita. Los tangenciales («clay coats» de GALLOWAY, 1979) se forman por iluviación de materia coloidal entre granos y son semejantes a los descritos sobre arcosas por DUTTON & LAND (1985). En la base de esta unidad hemos encontrado varios niveles de conglomerados de calcreta (NIKEL, 1985) con componentes de tipo «gravel» (fig. 3D) coexistiendo con fragmentos de silcreta, así como con granos detríticos de tamaño arena gruesa y cantos pequeños muy bien redondeados. Alrededor de algunos de los «gravels» se desarrolla un cemento vadoso de calcita,

FIG. 3.—3A.—Sección de plagioclasa alterada a illita (epimatriz). Litoarenita de la unidad intermedia del sondeo núm. 1 de Talayuelas. NC, escala=0.5 mm.

Plagioclase section altered to illite (epimatrix). Lithoarenite of the middle unit from drillhole n.º 1 located at Talayuelas. CN, scale=0.5 mm.

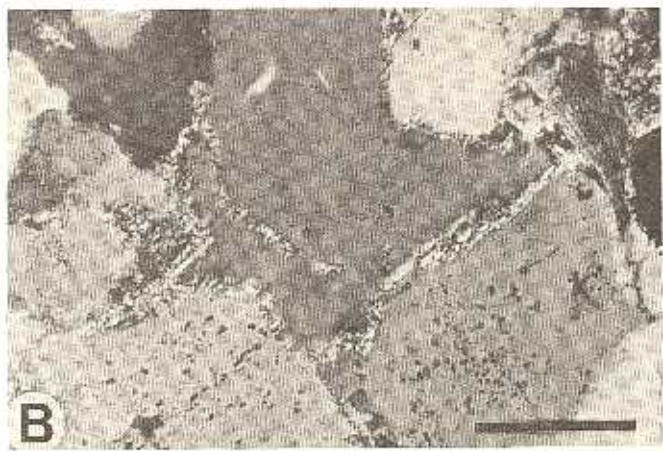
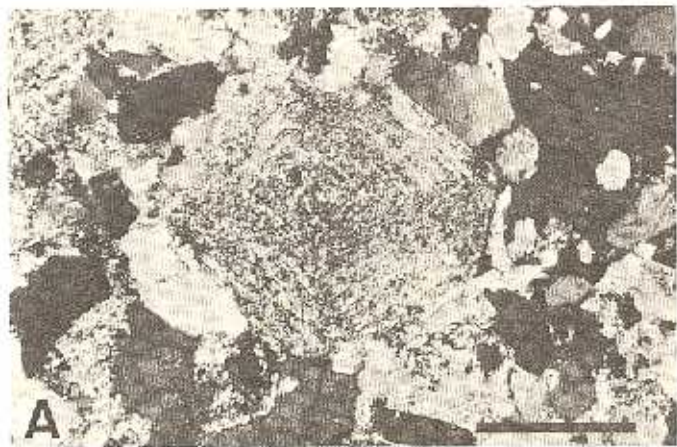
3B.—«Pore lining» radial de illita precediendo al cemento sintaxial de cuarzo. Arcosa de la unidad intermedia del sondeo n.º 2 de Boniches. NC, escala=0.2 mm. Illite radial pore lining deposited before the sintaxial quartz cement. Arkose of the middle unit from drillhole n.º 2 located at Boniches. CN, scale=0.2 mm.

3C.—Arcilla infiltrada como «clay coat» en una arcosa de la unidad intermedia del sondeo n.º 2 de Boniches. NC, escala=0.5 mm.

Clay coat originated by infiltration of clay in a middle unit arkosa of drillhole n.º 2 located at Boniches. CN, scale=0.5 mm.

3D.—«Gravel» dolomitizado de un nivel de conglomerado de calcreta en la unidad intermedia del sondeo n.º 2 de Albarracín. NP, escala =0.5 mm.

Dolomitized gravel in a calcrete conglomerate level in the middle unit of drill-hole n.º 2 located at Albarracín. PN, scale=0.5 mm.



estando todo el conglomerado cementado por un mosaico posterior de dolomita anhedral. Los caracteres edafogenéticos encontrados nos indican que los períodos de exposición subaérea eran bastante áridos.

En esta unidad es también carácter distintivo la frecuente y abundante cementación por feldespatos-K formando crecimientos secundarios en ligera discontinuidad óptica. Por criterios texturales (fig. 4A) la consideramos anterior a la cementación silíceo y, al igual que el «pore lining» radial de ilita (fig. 3B), un proceso eodiagenético. La neoformación de feldespatos-K ha sido relacionada con aguas intersticiales alcalinas (marinas) (BERG, 1952; KASTNER & SIEVER, 1969; VISWANATHIAN & GOVINDA RAO, 1968; KASTNER, 1971). Por otro lado, WALKER & WAUGH (1973) y WALKER (1976) relacionan la neoformación de feldespatos-K con la hidrólisis de silicatos detríticos por soluciones alcalinas intraestratales. En lechos rojos continentales WAUGH (1978) reconoce la neoformación de ilita en «pore linings» como el primer cemento, encontrando una relación directa entre este cemento y el de feldespatos-K, lo que se interpreta como debido a que la hidrólisis y la autigénesis ocurren por encima y por debajo del nivel freático a profundidad muy somera. MARFIL *et al.* (1977) relacionan la cementación feldespática eodiagenética con la progresiva alcalinización de los fluidos intersticiales a causa de la influencia marina del Muschelkalk, y ARRIBAS (1984) lo relaciona con ambientes de transición. Asimismo, pensamos que los «pore linings» de ilita pueden estar relacionados con los procesos que se desarrollan en dichos ambientes. Los «pore linings» de clorita e interestratificados I-E

FIG. 4.—4A.—Crecimiento secundario de Fto-K con hábito de adularia en una arcosa de la unidad intermedia del sondeo n.º 2 de Boniches. NC, escala=0,2 mm.

Adularia habit K-feldspar secondary overgrowth in a middle unit arkose of drillhole n.º 2 located at Boniches. CN, scale=0.2 mm.

4B.—Cemento silíceo sintaxial de cuarzo amoldándose al cemento de feldespatos-K (más idiomorfo) en una arcosa de la unidad intermedia del sondeo n.º 2 de Boniches. NC, escala=0,5 mm.

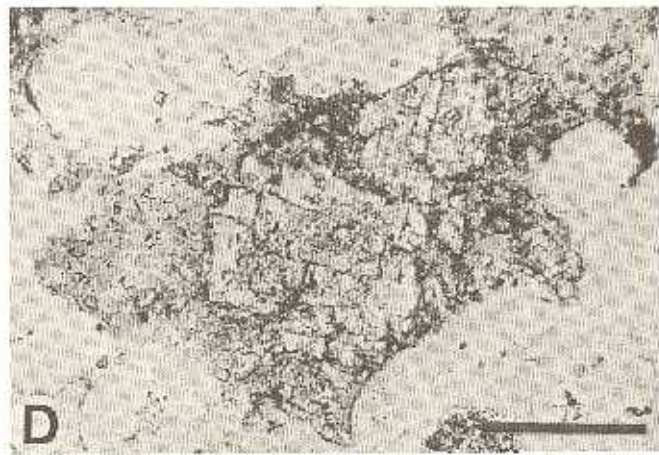
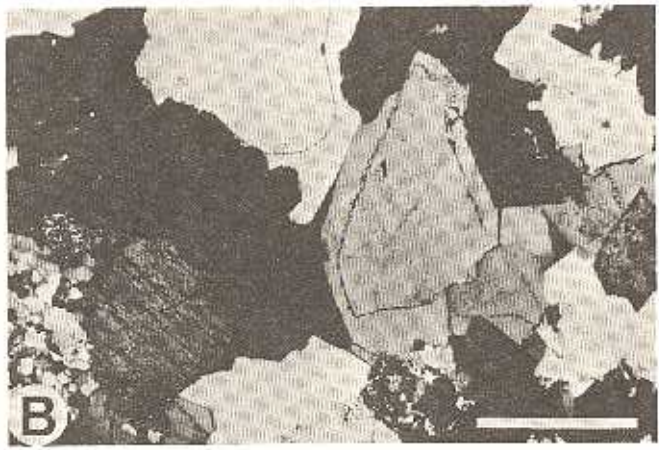
Sintaxial quartz cement shaped after the K-feldspar cement (more idiomorphic) in a middle unit arkose of drillhole n.º 2 located at Boniches. CN, scale=0.5 mm.

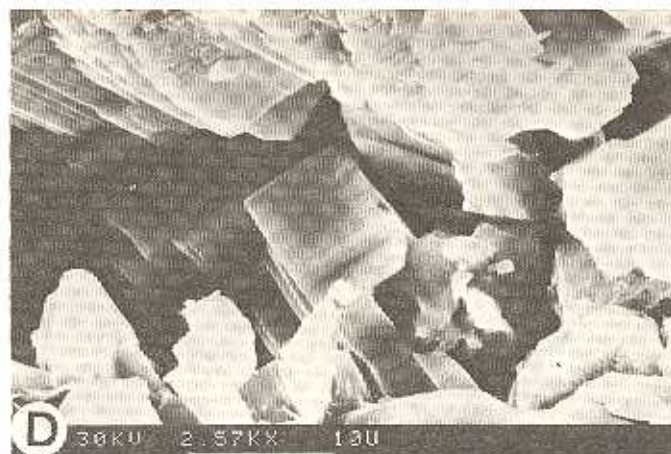
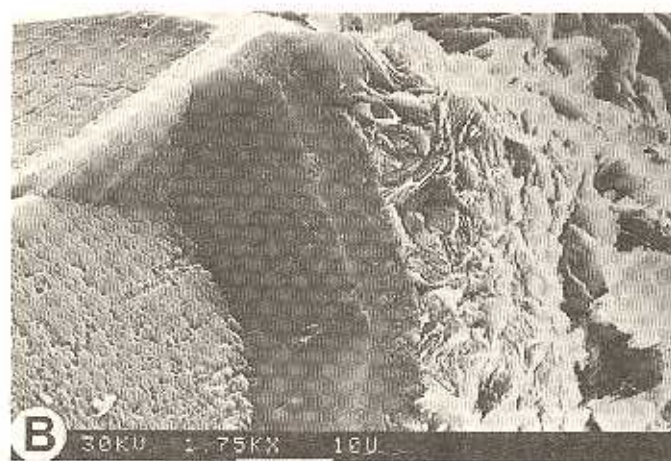
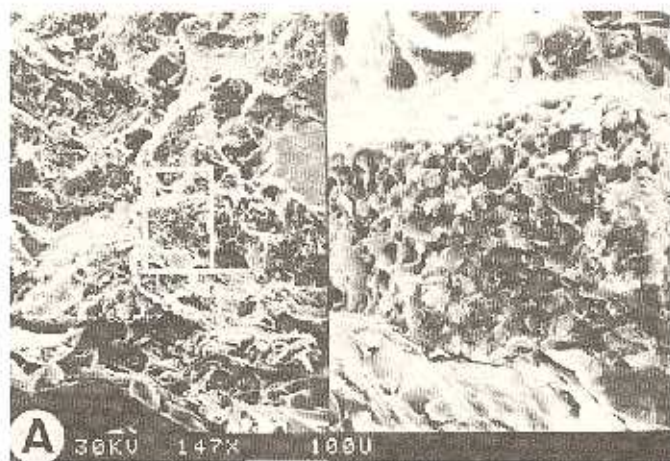
4C.—Reemplazamiento de canto blando arcilloso por dolomita en una arcosa de la unidad intermedia del sondeo n.º 2 de Boniches. NC, escala=0,5 mm.

Replacement of an argillaceous rip-up clast by dolomite in a middle unit arkose of drillhole n.º 2 located at Boniches. CN, scale=0.5 mm.

4D.—Porosidad secundaria por disolución del cemento-reemplazamiento dolomítico en una arcosa de la unidad intermedia del sondeo n.º 1 de Albarracín. NP, escala=0,2 mm.

Secondary porosity originated by dissolution of the dolomitic cement-replacement in a middle unit arkose of drillhole n.º 1 located at Albarracín. PN, scale=0.2 mm.





pueden ser mesodiagenéticos, posteriores a la cementación silíceica (figura 5B). Otro mineral autígeno característico de esta unidad intermedia es la pirita, que se neoforma en los niveles grises anóxicos sobre las líneas de exfoliación de micas o de feldespatos en fase de alteración a caolina. La cementación silíceica alcanza en esta unidad sus valores máximos (5-20%), reemplazando en parte a la feldespática y englobando los «pore linings» de ilita (fig. 4B). La interpretamos como de mesodiagénesis semimadura (SCHMIDT & MCDONALD, 1979) y probablemente simultánea con la epimatriz y algún «pore filling» de caolinita-dickita. Debido a la gran potencia de niveles lutíticos intercalados en esta unidad, y al existir moderados procesos de disolución por presión, consideramos a la SiO_2 procedente en parte de las reacciones diagenéticas que tienen lugar en las arcillas de dichas lutitas: esmectitas \rightarrow interestratificados I-E \rightarrow ilita (BURST, 1959; BOLES & FRANKS, 1979). Otra posible fuente sería la alteración de los feldespatos a ilita y/o caolinita que, como ya hemos dicho, ocurre en la misma etapa diagenética. Esta última fuente y la relación entre silicificación y alteración de los feldespatos ha sido encontrada en otras arcosas del Trías de la Cordillera Ibérica (MARFIL y BUENDIA, 1980) y cuantificada en otras cuencas (HAWKINS, 1978). Los cementos de dolomita ferrosa y ankerita (fig. 5D) reemplazan a los anteriores y sólo son abundantes localmente. Se formarían en la mesodiagénesis semimadura-madura «A» y los iones necesarios serían también el resultado de las reacciones de las arcillas en las lutitas intercaladas (BOLES & FRANKS, 1979; KANTOROWICZ, 1985), así como un producto de la tamización salina (WHITE, 1965). Siempre aparecen asociados

FIG. 5.—5A.—Intensa alteración de feldespatos a epimatriz de interestratificado I-E y detalle de la misma. Unidad superior del sondeo n.º 1 de Talayuelas.

Tightly altered feldspar constituting an epimatrix of Illite-Smectite mixed layer, and detail of the alteration. Upper unit of drillhole n.º 1 located at Talayuelas.

5B.—Crecimiento sintaxial de cuarzo con picoteado orientado que precede a un «pore lining» de clorita. Unidad intermedia del sondeo n.º 26 de Albarracín.

Sintaxial quartz overgrowth with oriented pit preceding a pore lining of chlorite. Middle unit of drillhole n.º 26 located at Albarracín.

5C.—Cuarzo con superficie rugosa (por abrasión eólica), «pore lining» radial de ilita y en la parte superior derecha disolución de feldespato-K. Unidad basal del sondeo n.º 26 de Albarracín.

Upturned plates on quartz grain (originated by eolian action), illitic radial pore lining and K-feldspar dissolution on the top right part. Basal unit of drillhole n.º 26 located at Albarracín.

5D.—Cemento y reemplazamiento de Ankerita en fase de disolución. Unidad intermedia del sondeo n.º 26 de Albarracín.

Partially dissolved ankeritic cement and replacement. Middle unit of drillhole n.º 26 located at Albarracín.

a este cemento pequeños parches de baritina que reemplazan sobre todo al feldespato-K. Finalmente, como consecuencia de la entrada de aguas meteóricas en la telodiagénesis, se forman «pore fillings» de caolinita-dickita y cementos poiquilótópicos y rellenos de fisuras de minerales de uranio.

En la *unidad superior* la matriz diagenética es muy escasa y el cemento syntaxial de cuarzo disminuye, pero persiste sobre los «coatings» ferruginosos más o menos discontinuos. El cemento feldespático es más escaso y el dolomítico-ankerítico tiene valores muy variables, aunque en general menores del 10%. En esta unidad los procesos de disolución por presión son similares a los de la basal y mayores que en la unidad intermedia. En la telodiagénesis se producen también «pore fillings» de caolinita dickita.

Según la composición y diferente edad diagenética de los cementos se podría sintetizar la evolución de la naturaleza de las aguas intersticiales de la manera siguiente: *Unidad basal*.—Aguas ácidas y óxicas durante la eodiagénesis y telodiagénesis, y alcalinas en la mesodiagénesis. *Unidad intermedia*.—Aguas alcalinas y alternancia de óxicas y anóxicas en la eodiagénesis y mesodiagénesis; aguas óxicas ácidas, y localmente alcalinas durante la telodiagénesis. *Unidad superior*. Igual que en la anterior, pero con dominio de los ambiente óxicos en las dos primeras etapas y aguas ácidas en la telodiagénesis. Asimismo, la secuencia típica de precipitación de cementos a partir de aguas dulces: ilita → caolinita → cuarzo → dolomita (ALMON & DAVIS, 1979) sería válida para la unidad inferior pero no para la intermedia y superior, en las que coincidiría mejor con la secuencia de precipitación de aguas diagenéticas marinas propuestas por BURLEY *et al.* (1985): feldespato potásico → ilita → interestratificados ilita/esmectita → cuarzo → dolomita.

V. EVOLUCION DE LA POROSIDAD

El estudio de las areniscas al MEB y microscopio petrográfico nos ha permitido comprobar que la porosidad ha sido llevada a niveles irreductibles por compactación mecánica y que tanto las micas como los minerales de arcilla aparecen con orientaciones preferentes, desarrollando fisibilidad. Asimismo, existe una intensa reacción entre el esqueleto y la matriz (ilítica) (fig. 5C), teniendo estos minerales morfología laminar y algún desarrollo de fibras cortas. Se ha observado además que las muestras presentan unos moderados porcentajes de porosidad secundaria cuya evolución se ha representado en la figura 6. En ella se aprecia que los máximos valores se obtienen precisamente en la unidad intermedia arcósica ($\approx 15\%$) y que se mantiene con va-

lores alrededor del 10% en la unidad basal. En esta unidad el tipo de porosidad dominante es de disolución del cemento y reemplazamiento por dolomita-ankerita (fig. 4D y 5D), siendo también importante la porosidad por retracción y rotura de costras ferruginosas y de micas. En ocasiones domina la porosidad de fractura tanto del esqueleto como de la matriz. En la unidad intermedia continua la disolución del cemento y reemplazamiento de dolomita-ankerita y aparece como dominante la disolución de feldespatos. En la unidad superior domina la microporosidad a veces con formas lamelares a favor de «pore fillings» de caolinita-dickita, siendo muy difícil de cuantificar dado su tamaño. Creemos que tanto la disolución de carbonatos como la de feldespatos están relacionadas con la entrada de aguas meteóricas ácidas y óxicas en la telodiagénesis. En esta misma etapa se ha creado la porosidad de fractura tan importante en la unidad basal.

VI. LA MATERIA ORGANICA ASOCIADA

La reflectividad de la vitrinita medida en las areniscas grises de la unidad intermedia en varios sondeos del área estudiada oscila entre $R_M - R_m = 0,16$ (zona de Boniches) y $R_M - R_m = 0,33$ (zona de Albarra-cín), correspondiendo pues al campo de los lignitos. Para SCHMIDT y Mc DONALD (1979a), este intervalo de reflectividades nos sitúa a las areniscas estudiadas en la etapa de mesodiagénesis semimadura, con profundidades de enterramiento no superiores a 3.000 m y temperaturas de alrededor de 90° C (BOSTICK, 1979) ó 115° C (WASSOJE-WITSCH *et al.*, 1970). Estos datos nos confirman que los cementos silíceo y dolomítico-ankerítico deben haberse formado en la etapa semimadura (fig. 21 de SCHMIDT & Mc DONALD, 1979a). Asimismo se corrobora que el CO₂ liberado en la decarboxilación de la materia orgánica de las lutitas intercaladas entre las areniscas no pudo ser el responsable de la disolución de los cementos carbonáticos ya que no se alcanzaron temperaturas suficientes para que este proceso tuviera su máximo desarrollo (etapa madura «A»). Así pues, confirmamos que la porosidad de disolución de los carbonatos y feldespatos está ligada a la entrada de fluidos ácidos en la etapa de telodiagénesis.

VIII. CONCLUSIONES

Del estudio petrológico de las areniscas permo-triásicas en este área de la Cordillera Ibérica se puede deducir sobre su *procedencia* que existen diferentes áreas fuentes para cada uno de los sectores estudiados, así como su variación a lo largo de su sedimentación. Hemos podido establecer para la *unidad basal* una procedencia vol-

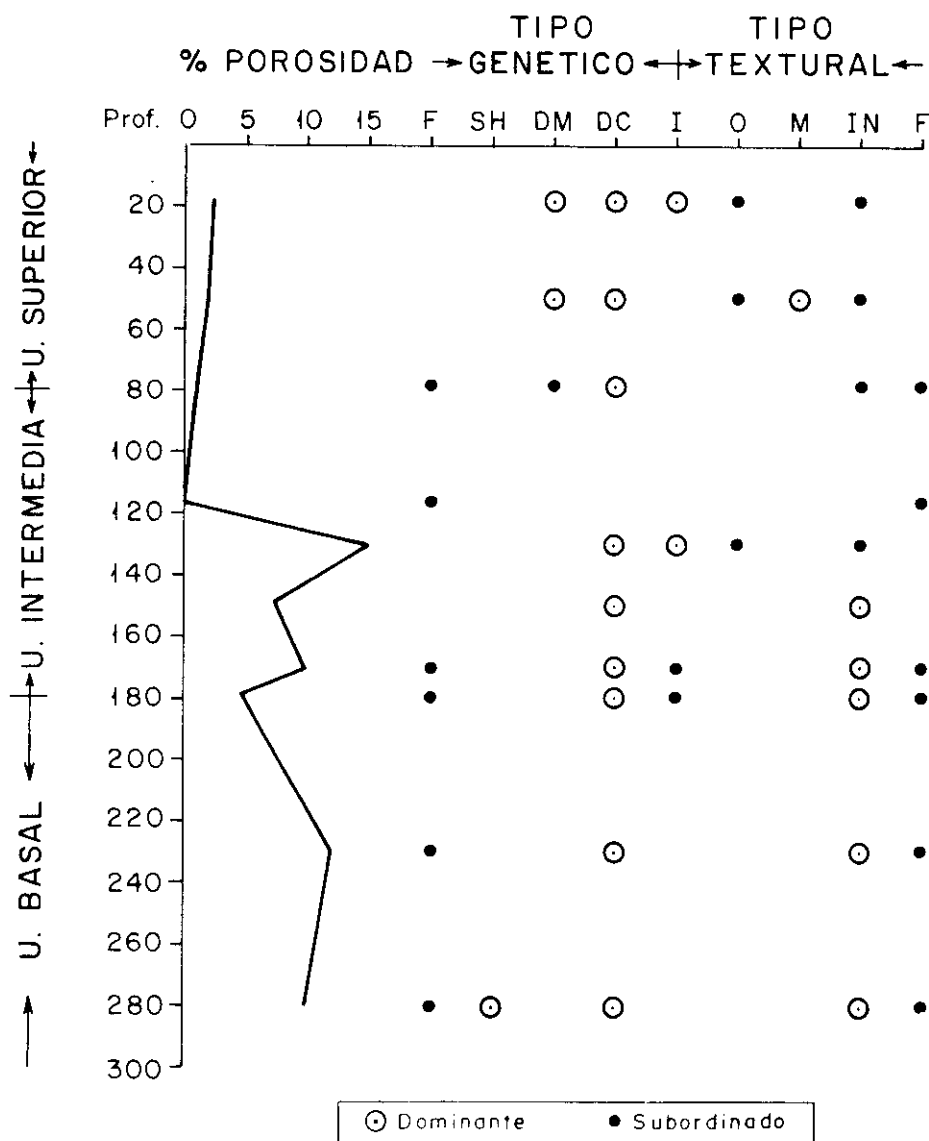


FIG. 6.—Tipos dominantes de porosidad secundaria según los criterios de SCHMIDT y McDONALD (1979b) en el sondeo n.º 1 de Albarracín. F=Fractura; SH=Retracción; DM=Disolución material sedimentario; DC=Disolución del cemento; I=Intergranular; O=Poros agrandados; M=Móldica; IN=Intraconstituyente.

Dominant types of secondary porosity after SCHMIDT and McDONALD (1979b) corresponding to drillhole n.º 1 in Albarracín. F=fracturing; SH=shrinkage; DM=dissolution of sedimentary material; DC=cement dissolution; I=intergranular; O=oversized pores; M=moldic; IN=intra-constituent.

cánica y metamórfica, un cambio en la *unidad intermedia* con macizos cristalinos granítico-gneísicos como principales contribuyentes, y un cambio no tan generalizado en la *unidad superior* de nuevo hacia aportes de tipo metamórfico de bajo grado, a excepción del área de Boniches y Talayuelas donde persisten las áreas fuentes cristalinas hasta el techo.

Respecto al *medio de sedimentación*, en la unidad basal hemos encontrado niveles de areniscas con caracteres texturales eólicos. Este hecho, junto a la presencia de magnesita relacionada con costras ferruginosas y cantos blandos oxidados, denotan la existencia de los períodos climáticos más áridos de las tres unidades. La presencia en las arcosas de la unidad intermedia de niveles de conglomerados de calcretas y «clay coats» arcillosos infiltrados denotan gran actividad edafogenética, con alternancia de períodos húmedos y áridos.

El estudio de los procesos diagenéticos nos ha permitido realizar una secuencia de cementaciones e interpretar la evolución de la naturaleza de las aguas intersticiales. Así, la *unidad basal* se caracteriza por aguas ácidas y óxicas (meteóricas) durante la eodiagénesis y la telodiagénesis, y alcalinas en la mesodiagénesis. La *unidad intermedia*, por aguas alcalinas y alternancia de óxicas y anóxicas en la eodiagénesis y mesodiagénesis, y aguas óxicas y localmente alcalinas durante la telodiagénesis. La *unidad superior* tiene características similares a la anterior, pero con dominio en los ambientes óxicos en las dos primeras etapas y ácidas en la telodiagénesis. La secuencia de cementación deducida a partir de las características texturales coincide en el orden de precipitación a partir de aguas meteóricas: ilita → caolinita → cuarzo → dolomita, en la unidad inferior, pero no en las unidades intermedia y superior, cuyo orden de precipitación coincidiría mejor con una secuencia de cementación a partir de aguas diagenéticas marinas: feldespatos potásico → ilita → interestratificados ilita-esmectita → cuarzo → dolomita.

El estudio de la *porosidad* nos ha llevado a concluir que ésta es secundaria en origen, con valores máximos en la unidad intermedia arcósica y se ha producido como consecuencia de la disolución del cemento dolomítico y de los feldespatos, relacionándose con la entrada de aguas meteóricas ácidas y óxicas en la telodiagénesis.

La reflectividad de la vitrinita se correspondería con una etapa de enterramiento relativamente somero (no más de 3.000 m), con temperaturas próximas a los 100° C.

AGRADECIMIENTOS

Manifestamos nuestra gratitud al Dr. M. Martín, de la J. E. N., por los datos suministrados sobre el rango de los carbones, y a los Dres.

J. Sorano y C. Barba y a D. J. L. Valdonedo, del Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del MOPU, por su colaboración en las determinaciones al M. E. B.

VIII. BIBLIOGRAFIA

- ALMON, W. R., y DAVIES, D. K. (1979): «Regional diagenetic trends in the lower Cretaceous Muddy sandstones, Powder River basin». *S. E. P. M. Spec. Publ.*, 26, pp. 379-400.
- ALVARO, M.; CAPOTE, R., y VEGAS, R. (1982): «Un modelo de evolución geotectónica para la Cadena Celtibérica». *Acta Geológica Hispánica*, 14 (Libro Homenaje Luis Solé Sabaris), pp. 172-177.
- ARCHE, A., y LÓPEZ GÓMEZ, J. (1984): «Características sedimentológicas de las facies Buntsandstein entre Boniches y Talayuelas (Prov. de Cuenca), Cordillera Ibérica». *Publicaciones de Geología*, 20. Universidad Autónoma de Barcelona (Homenaje a Luis Sánchez de la Torre), pp. 97-107.
- ARRIBAS, J. (1984): «Sedimentología y diagénesis del Buntsandstein y Muschelkalk de la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica (provincias de Soria y Zaragoza)». Tesis Doctoral. Universidad de Madrid, 354 pp.
- ARRIBAS, J. (1985): «Origen y significado de los cementos en las areniscas de las facies Buntsandstein (Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica)». *Cuadernos Geología Ibérica*, 11, pp. 535-556.
- ARRIBAS, J.; MARFIL, R., y DE LA PEÑA, J. A. (1985): «Provenance of Triassic feldspathic sandstones in the Iberian Range (Spain). Significance of quartz types». *J. Sedim. Petrol.*, 55, pp. 864-868.
- BERG, R. R. (1952): «Feldspathized sandstone». *J. Sedim. Petrol.*, 22, pp. 221-223.
- BOLES, J. R., y FRANKS, S. G. (1979): «Clay diagenesis in Wilcot sandstones of southwest Texas: implications of smectite diagenesis on sandstone cementation». *J. Sedim. Petrol.*, 49, pp. 55-70.
- BOSTICK, N. H. (1979): «Microscopic measurement of the level of catagenesis of solid organic matter in sedimentary rocks to aid exploration for petroleum and to determine former burial temperatures. A review». *S. E. P. M. Spec. Publ.*, 26, pp. 17-43.
- BURLEY, S. D.; KANTOROWICZ, J. D., y WAUGH, B. (1985): «Clastic diagenesis». En: *Sedimentology Recent developments and applied aspects*. (Ed. por P. J. Brenchley and P. J. Williams). Blackwell Scientific Publications. Oxford, pp. 189-226.
- BURST, J. F. (1959): «Post diagenetic clay mineral environmental relationships in the Gulf Coast Eocene». *Clays Clay Miner.*, 6, pp. 327-341.
- CHOQUETTE, Ph. W., y PRAY, L. C. (1970): «Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates». *A. A. P. G. Bull.*, 54, pp. 207-250.
- DE LA PEÑA, J. A.; ARIBAS, J.; DE LA CRUZ, B., y MARFIL, R. (1983): «Diagenetic model of Permo-Triassic continental and transitional sandstones (Red beds) in the Iberian Range, Spain». *4th I. A. S. Regional Meeting, Split Yugoslavia*, pp. 137-139.
- DE LA PEÑA, J. A., y MARFIL, R. (1975): «Estudio petrológico del Pérmico de la Cordillera Ibérica: zona de Torre La Hija (NE de Molina de Aragón, Guadalajara)». *Estudios Geol.*, 31, pp. 513-530.
- DE LA PEÑA, J. A.; MARFIL, R., y GARCÍA PALACIOS, M. C. (1977): «Un ejemplo de depósito volcanoclástico antiguo: su procedencia y evolución diagenética». *Estudios Geol.*, 33, pp. 485-496.

- DUTTON, S. P., y LAND, L. S. (1985): «Meteoric burial diagenesis of Pennsylvanian arkosic sandstones, southwestern Anadarko basin, Texas». *A. A. P. G. Bull.*, 69, pp. 22-38.
- FÜCHTBAUER, H. (1974): *Sedimentary Petrology, Part II. Sediments and Sedimentary rocks I*. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 464 pp.
- GALLOWAY, W. E. (1979): «Diagenetic control of reservoir quality in arc-derived sandstones: Implications from petroleum exploration». *S. E. P. M. Spec. Publ.*, 26, pp. 251-262.
- HAWKINS, P. J. (1978): «Relationship between diagenesis, porosity reduction, and oil emplacement in late Carboniferous sandstone reservoirs, Bothamsall Oilfield, E. Midlands». *The Journal of the Geological Society*, 135, pp. 7-24.
- IGME (1985): «Memoria de la Hoja núm. 589 (Terriente) del Mapa Geológico de España a escala 1:50.000», 80 pp.
- KANTOROWICK, J. D. (1985): «The origin of authigenic ankerite from the Ninian Fields, Uk North Sea». *Nature*, 315, pp. 214-216.
- KASTNER, M. (1971): «Authigenic feldspars in carbonate rocks». *Am. Miner.*, 56, pp. 1403-1442.
- KASTNER, M., y SIEVER, R. (1968): «Origin of authigenic feldspars in carbonate rocks». *Spec. Pap. Geol. Soc. Am.*, 121, pp. 155-156.
- MARFIL, R.; DE LA CRUZ, B., y DE LA PEÑA, J. A. (1977): «Procesos diagenéticos en las areniscas del Buntsandstein de la Cordillera Ibérica». *Cuadernos Geología Ibérica*, 4, pp. 411-422.
- MARFIL, R., y BUENDÍA, E. (1980): «La evolución diagenética de los sedimentos detríticos del Pérmico y Triásico del sondeo de Sigüenza (Guadalajara)». *Revista del Instituto de Investigaciones Geológicas*. Diputación Provincial de Barcelona, 34, pp. 59-74.
- MARFIL, R., y PÉREZ GONZÁLEZ, A. (1973): «Estudio de las series rojas pérmicas en el sector noroccidental de la Cordillera Ibérica (Región de El Bosque, Alto Tajuña)». *Estudios geol.*, 29, pp. 83-98.
- NICKEL, E. (1985): «Carbonates in alluvial fan systems, an approach to physiography, sedimentology and diagenesis». *Sedimentary Geology*, 42, pp. 83-104.
- PETTJOHN, F. J.; POTTER, P. E., y SIEVER, R. (1972): *Sand and sandstone*. Springer Verlag. Berlín, 618 pp.
- PITTMAN, E. D. (1977): «Porosity, diagenesis and productive capability of sandstone reservoirs». *S. E. P. M. Spec. Publ.*, 26, pp. 159-173.
- RITTENHOUSE, G. (1971): «Mechanical compaction of sands containing different percentages of ductile grains: a theoretical approach». *A. A. P. G. Bull.*, 55, pp. 92-96.
- SCHMIDT, V., y McDONALD, D. A. (1979a): «The role of secondary porosity in the course of sandstone diagenesis». *S. E. P. M. Spec. Publ.*, 26, pp. 175-207.
- SCHMIDT, V., y McDONALD, D. A. (1979b): «Texture and recognition of secondary porosity in sandstones». *S. E. P. M. Spec. Publ.*, 26, pp. 209-225.
- SENTCHORDI, E., y MARFIL, R. (1983): «Estudio petrológico de las facies Saxoniense y Buntsandstein de la zona El Pobo de Dueñas (Cordillera Ibérica)». *Bol. Geol. Min.*, XCIV, V, pp. 448-471.
- VIALARD, P. (1973): «Recherches sur le cycle alpine dans la Chaîne Ibérique Sud-Occidentale. Tesis Doctoral». *Travaux du Lab. de Geol. Médit. Associé au C. N. R. S. Université Paul Sabatier*, pp. 1-445.
- VISWANATHIAN, M. N., y GOVINDA RAO, M. R. (1968): «Occurrence of authigenic feldspars in arkosic sandstones of Kaladgi formations, Badami, Mysore strata, India». *J. Sedim. Petrol.*, 38, pp. 1344-1347.

- WALKER, T. R. (1976): «Diagenetic origin of continental red beds». En: *The continental Permian in Central, west and south Europe*. (Ed. H. Falke). Reidel, Dordrecht, Holland, pp. 240-282.
- WALKER, T. R., y WAUGH, B. (1973): «Intrastratal alteration of silicate minerals in late Tertiary fluvial arkose, Baja California, México». *Geol. Soc. Am. Abs. with Progs.*, 7, 7, pp. 853-854.
- WASSOJEWITSCH, N. B.; KORCHAGINA, J. I.; LOPATIN, N. V., y CHERNYSHEV, V. V. (1970): «Principal phase of oil formation». *Int. Geol. Rev.*, 12, pp. 1276-1296.
- WAUGH, B. S. (1978): «Authigenic K-feldspar in British Permo-Triassic sandstones». *J. Geol. Soc. London*, 135, pp. 51-56.
- WHITE, D. E. (1965): «Saline water of sedimentary rocks». En: *Fluids in Subsurface environments*. (Ed. A. Young and J. E. Galley). *Mem. Am. Ass. Petrol. Geol.*, 4, pp. 342-366.