

Diagénesis temprana meteórica de la Formación Torrecilla en Cameros (Kimmeridgiense inferior; *Prerift*) y de los carbonatos de la base del Grupo Tera (Tithónico; *Sinrift*) en el sector de Soria. Cuenca de Cameros. N España

M. I. Benito^{1,2} y R. Mas¹

¹ Dpto. Estratigrafía, U.E.I. de Correlaciones Estratigráficas, Facultad C.C. Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, CSIC, 28040 Madrid, España.
² Dirección actual: Instituto Geológico y Minero de España, C/ Ríos Rosas, nº 23, 28003 Madrid.

ABSTRACT

The last marine Jurassic episode of sedimentation in the Soria area corresponds to the deposition of the Torrecilla en Cameros Fm. during Lower Kimmeridgian. This formation is mainly composed by sandstones, coral reefs and oolites, and is overlain by the Tithonian continental sediments (clays, conglomerates, sandstone and lacustrine and palustrine limestones) of the Ágrede Afm. (Tera Group). The limit between both units corresponds to an edaphic surface overlain by a ferruginous crust. Associated to the subaerial exposure of the Torrecilla en Cameros Fm. during Upper Kimmeridgian, and prior to the deposition of Ágrede Afm., marine aragonite was dissolved. Both primary and secondary porosity were then cemented by meteoric non-ferroan calcite. Isotopic composition of this calcite ranges between -3.7 and -7.3 ‰ in $\delta^{13}\text{C}$ and -4.7 and -5.9 ‰ in $\delta^{18}\text{O}$. Carbonates situated at the base of the Ágrede Afm. correspond to some layers of palustrine limestones as well as conglomerates, basically composed by lacustrine and oolitic pebbles. The isotopic composition of both palustrine limestones and limestone pebbles is very similar to the isotopic composition of the meteoric cement precipitated in the Torrecilla en Cameros Fm. This suggests that the climatic conditions and the isotopic composition of the meteoric waters were very similar during precipitation of meteoric calcite in both Torrecilla en Cameros Fm. and the base of the Ágrede Afm.

Key words: carbonates, meteoric diagenesis, isotopes, cathodoluminescence, Cameros Basin

INTRODUCCIÓN

La sedimentación durante el Kimmeridgiense inferior en gran parte de la Cuenca Ibérica, y en concreto en el estrecho de Soria (Cuenca Ibérica noroccidental), tuvo lugar en una plataforma carbonática de tipo rampa que se abría hacia el sureste (Alonso et al., 1989) y en la que predominó el desarrollo de arrecifes de coral pertenecientes a la Fm. Torrecilla en Cameros (Alonso y Mas, 1990). A partir del Kimmeridgiense superior tuvo lugar una retirada progresiva del mar de la Cuenca Ibérica hacia el SE producida tanto por un descenso eustático, como por la actividad tectónica de régimen extensivo (Aurell et al., 1994). En concreto, en el Tithónico comenzó el desarrollo del rifting finijurásico-eocretácico que dio lugar a la formación de la Cuenca de Cameros, en la que se depositaron materiales principalmente continentales, desde el Tithónico al Albiense inferior (Mas et al., 1993), y en cuyo sector sur se encuentra el área estudiada (Fig. 1).

Este trabajo trata de los procesos diagenéticos que afectaron en el sector de Soria a la Fm. Torrecilla en Cameros y a los carbonatos suprayacentes pertenecientes a la base de la Aloformación Ágrede (Grupo Tera) durante las etapas tempranas de la diagénesis, de carácter meteórico.

MARCO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO DEL ÁREA.

Este trabajo se ha realizado en un afloramiento situado al NE de Soria (Fig. 1). En este sector, la sedimentación de la Fm. Torrecilla en Cameros, de edad Kimmeridgiense inferior (Errenst, 1990, 1991), comenzó en una zona interna-media de una rampa dominada por las tormentas, de tendencia retrogradante, y con gran cantidad de aportes siliciclásticos. La sedimentación continuó con el desarrollo de colonias de corales masivos y faceloides con abundantes depósitos de tormenta intercalados y con muy poca influencia siliciclástica en una zona media y media-

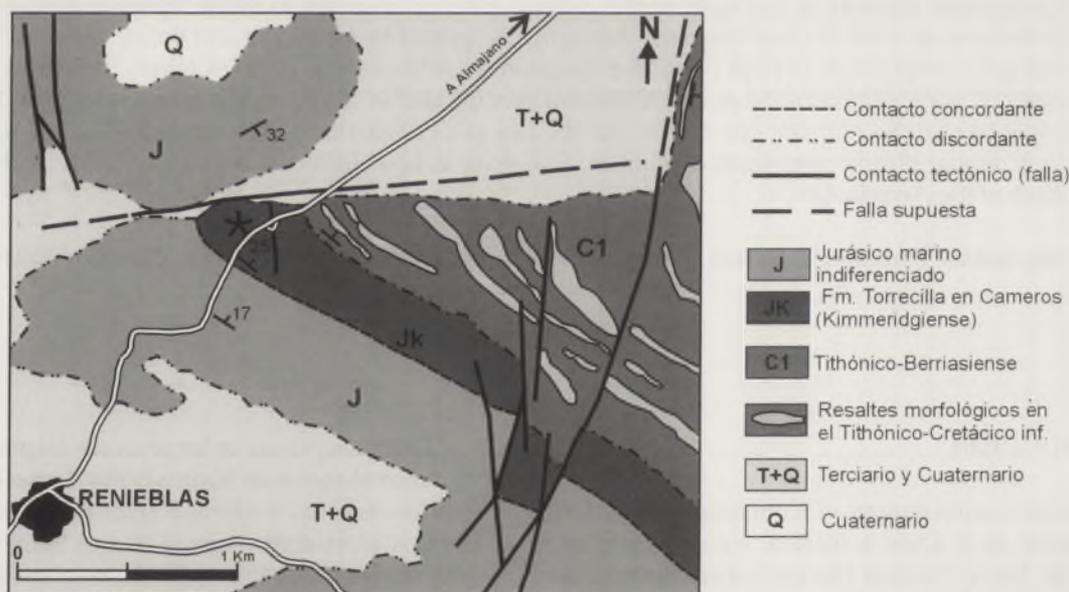
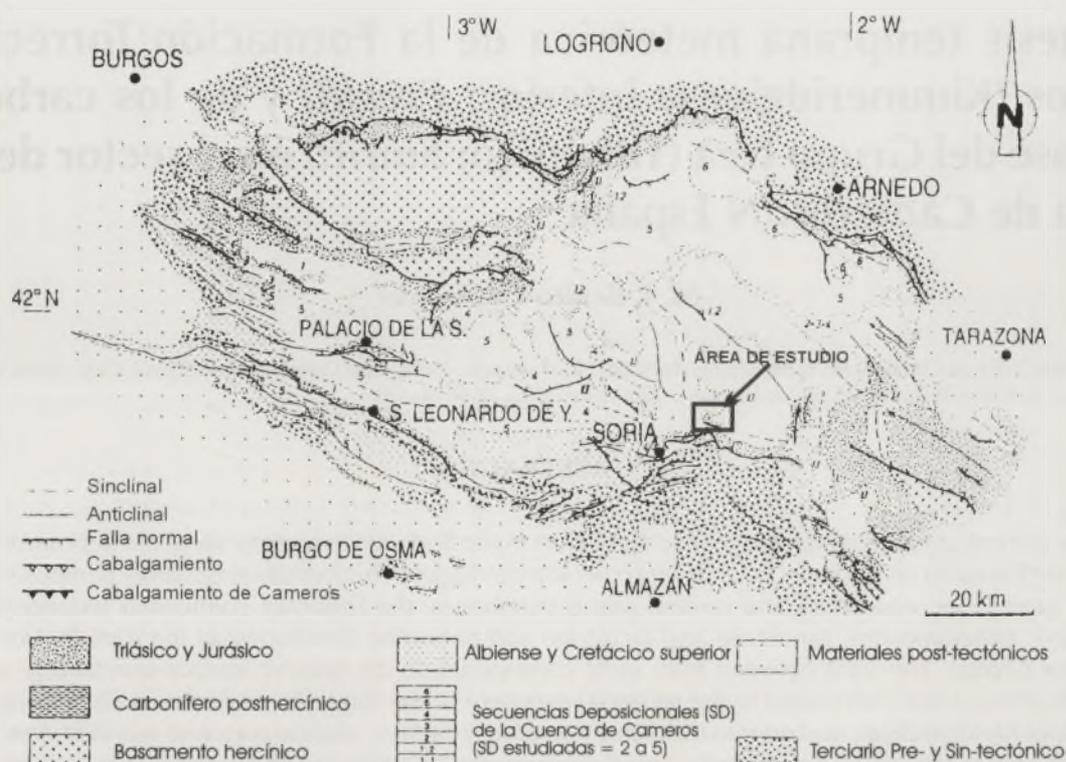


FIGURA 1: Mapa geológico de la Cuenca de Cameros y situación del área de estudio (modificada de Guimerá et al., 1995).

interna de la rampa. La sedimentación de esta unidad en este área finalizó con el desarrollo y progradación de barras oolíticas de *back-reef* sobre las facies arrecifales (Fig. 2).

A partir del Tithónico tuvo lugar el episodio de *rifting* que dio lugar a la formación de la Cuenca de Cameros y a su relleno por los depósitos en su mayor parte continentales del "Weald" (Mas et al., 1993) que en conjunto presentan un espesor en este sector no superior a 2.500 m. Estos materiales continentales comienzan con el depósito de arcillas rojas, cuerpos canalizados de conglomerados

y areniscas y calizas lacustres y palustres que pertenecen a la Afm. Ágreda. Esta unidad, del Tithónico (Gómez Fernández y Meléndez, 1994), se apoya discordantemente sobre las calizas de la Fm. Torrecilla en Cameros que había quedado expuesta en superficie en el Kimmeridgiense superior. El límite entre ambas unidades viene dado por una superficie edafizada y nodulizada sobre la que se sitúa una costra hematítica de hasta varios decímetros de espesor (Fig. 2). El desarrollo de esta discontinuidad tuvo una gran importancia en cuanto a la evolución diagenética temprana de la unidad arrecifal.

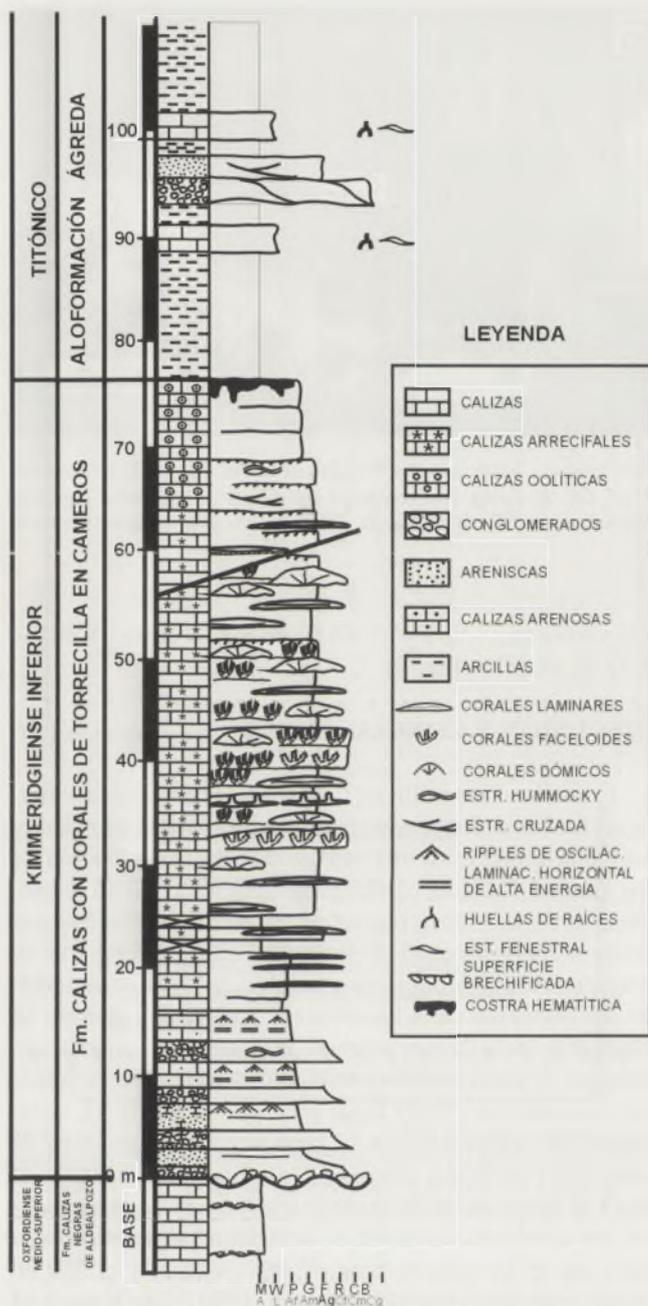


FIGURA 2: Columna estratigráfica simplificada de la Fm. Torrecilla en Cameros en el sector de Soria.

METODOLOGÍA

Este trabajo se ha basado en el estudio de 160 láminas delgadas, doblemente pulidas y sin cubrir, la mitad de ellas de 30 mm de espesor y la otra mitad de 150-200 mm. Todas ellas fueron examinadas mediante un microscopio de polarización acoplado a un equipo de catodoluminiscencia (CL) fría Technosyn® modelo MK-II. Una vez examinadas, las láminas de 30 mm se tiñeron con Alizarina roja S y ferricianuro potásico. Posteriormente, y basándonos en las imágenes obtenidas con la CL, se realizaron los análisis geoquímicos elementales e isotópicos en las láminas de 200 mm de espesor. Para los análisis de elementos traza se ha utilizado el equipo de microsonda elec-

trónica de la Universidad Complutense de Madrid. Los análisis isotópicos se realizaron en el laboratorio de isótopos estables de la Universidad de Michigan tras la extracción de las muestras en polvo (en ningún caso superiores a 150 mg) mediante un torno de dentista acoplado a una lupa.

RESULTADOS.

Como consecuencia de la entrada de las aguas meteóricas en la Fm. Torrecilla en Cameros, una vez expuesta, se produjo la disolución y neomorfismo de los componentes marinos originalmente compuestos por aragonito, calcita de alto contenido en magnesio (HMC) e incluso calcita de bajo contenido en magnesio (LMC). La porosidad secundaria, móldica principalmente, recién creada, así como la porosidad primaria no rellena durante la diagénesis marina sinsedimentaria, fue entonces cementada por calcita no ferrosa en mosaico drúsico, cementación que fue previa a la compactación mecánica de la unidad y que no suele rellenar por completo los poros superiores a 500-1.000 mm de diámetro.

Cuando se aplica la CL se observa una zonación en los cristales del cemento en mosaico drúsico que, tanto en la porosidad primaria como secundaria, nos ha permitido discriminar una única generación de cemento. Esta generación comienza con una banda ancha NL que va seguida de una franja LB amarillenta. Este cemento finaliza con una banda LM marrón-anaranjada que, además, se tiñe de color púrpura. Las bandas LB y LM presentan un espesor relativamente mucho menor al que tiene la primera banda NL (Fig. 3A).

En el último metro de la unidad, la Fm. Torrecilla en Cameros, constituida por calizas oolíticas, puede presentar una intensa ferruginización. En esta zona del techo de la unidad la porosidad intergranular y móldica, principalmente, está cementada por un mosaico drúsico de calcita no ferrosa. Cuando se aplica la CL se observa que este cemento presenta una primera generación de calcita NL que puede rellenar por completo la porosidad. Sin embargo, en muchos casos y tras una superficie de corrosión, esta generación va seguida de una generación que presenta en primer lugar, y sólo en algunas ocasiones, un zonado NL-LB seguido de una franja LB y finalmente de otra LM marrón-anaranjada y algo ferrosa.

La composición elemental del cemento en mosaico drúsico, a lo largo de toda la unidad, varía según la luminiscencia que presenta. La composición elemental media de las bandas NL es: $(Ca_{99,8}Sr_{0,004}Mg_{0,074}Fe_{0,02}Mn_{0,01})(CO_3)_{100}$, la de la bandas LB es: $(Ca_{99,6}Sr_{0,004}Mg_{0,99}Fe_{0,01}Mn_{0,2})(CO_3)_{100}$, y la de la última banda de LM es: $(Ca_{99,41}Sr_{0,008}Mg_{0,36}Fe_{0,26}Mn_{0,049})(CO_3)_{100}$.

La composición isotópica del cemento en mosaico drúsico de la mayor parte de la unidad varía entre valores de $-3,68$ y $-7,32$ ‰ en $\delta^{13}C$ y entre $-4,74$ y $-5,89$ ‰ en $\delta^{18}O$, correspondiendo los valores más negativos en carbono a los cementos analizados de la parte superior de la unidad (Fig. 4). Por otro lado, la composición isotópica de los

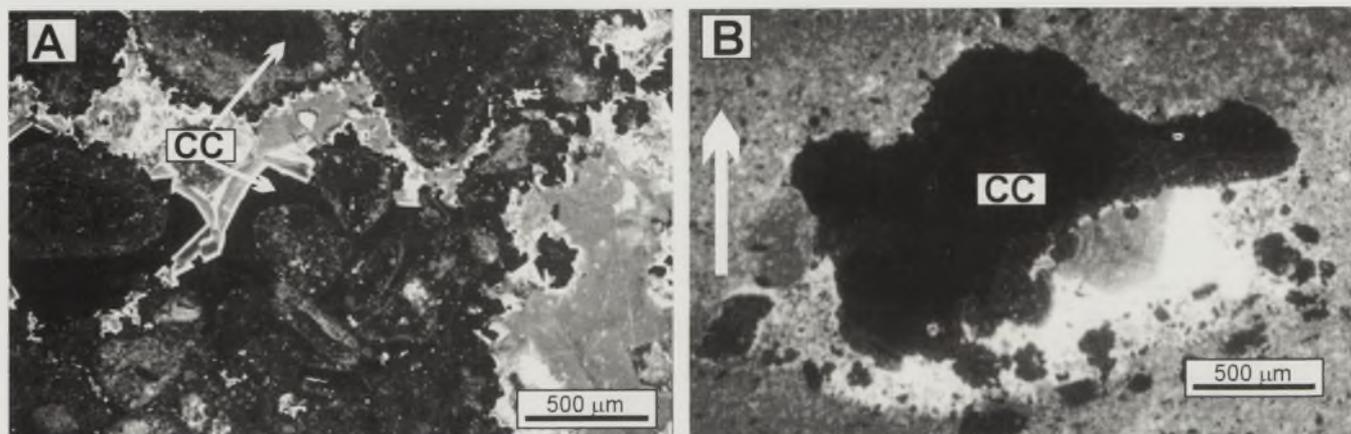


FIGURA 3: A. Fotografía realizada con CL en la que se observa la porosidad intergranular y móldica en una muestra de la Fm. Torrecilla en Cameros cementada por calcita en mosaico drúsico (CC) que presenta un zonado NL-LB-LM. B. Fotografía realizada con CL de la porosidad fenestral desarrollada en las calizas palustres de la Afm. Ágreda cementada por un mosaico drúsico (CC) de calcita NL-LB creciendo gravitacionalmente (la flecha indica el techo de la unidad).

cementos precipitados en la zona de techo de la unidad, donde las calizas están ferruginizadas es de $-5,10$ a $-7,12$ ‰ en $\delta^{13}\text{C}$ y de $-4,15$ a $-5,10$ ‰ en $\delta^{18}\text{O}$ (Fig. 4).

Han sido también estudiados, petrográficamente e isotópicamente, los carbonatos de la base de la unidad suprayacente continental Ágreda. En esta unidad, de edad Tithónico (Gómez Fernández, 1992), se han analizado por un lado los cantos de calizas pertenecientes a los depósitos conglomeráticos de canal situados en los primeros tramos de esta unidad y por otro, los niveles de calizas palustres que se sitúan estratigráficamente por debajo y por encima de los depósitos canalizados (Fig. 2).

Gran parte de los cantos de caliza que se encuentran en los depósitos de canal corresponden a calizas *mudstone* y *wackestone* con granos de cuarzo de origen lacustre y palustre que en ocasiones presentan textura alveolar-septal y nodulización. La composición isotópica de la matriz micrítica de estos cantos varía desde $-2,74$ a $-7,53$ ‰ en $\delta^{13}\text{C}$ y de $-5,05$ a $-5,80$ ‰ en $\delta^{18}\text{O}$ (Fig. 4). También son muy abundantes los fragmentos de calizas oolíticas que, en muchos casos, presentan una intensa ferruginización. La composición isotópica del cemento de calcita en mosaico drúsico, no ferrosa y NL, que se encuentra tanto en la porosidad intergranular como en la porosidad móldica de estos cantos es de $-7,55$ a $-8,04$ ‰ en $\delta^{13}\text{C}$ y de $-4,16$ a $-4,91$ ‰ en $\delta^{18}\text{O}$ (Fig. 4).

Los niveles de calizas palustres que se encuentran por debajo y por encima de los cuerpos canalizados están constituidos por calizas *mudstone* de color rojizo que presentan una intensa nodulización y porosidad fenestral rellena parcial o totalmente por sedimento interno y cementada posteriormente por un cemento de calcita en mosaico no ferrosa y NL-LB que, en algunos casos, se dispone gravitacionalmente (lo que sugiere que precipitó en un ambiente vadoso) (Fig. 3B). La composición isotópica de la matriz micrítica de estas calizas es de $-6,88$ a $-7,07$ ‰ en $\delta^{13}\text{C}$ y de $-5,27$ a $-5,72$ ‰ en $\delta^{18}\text{O}$. La composición isotópica del cemento de calcita no ferrosa en mosaico que se encuentra en la porosidad fenestral de estas cali-

zas varía entre $-5,99$ y $-7,63$ ‰ en $\delta^{13}\text{C}$ y entre $-4,80$ y $-5,72$ ‰ en $\delta^{18}\text{O}$ (Fig. 4).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En la Fm. Torrecilla en Cameros, el cemento de calcita en mosaico drúsico, que rellena porosidad primaria y secundaria precipitó una vez producida la disolución de los corales y demás partículas aragoníticas como consecuencia de la exposición subaérea de la unidad. Sus características petrográficas y geoquímicas sugieren que su precipitación se produjo en un ambiente freático meteórico. La variación en la luminiscencia y en el contenido en elementos traza de este cemento indica que existieron condiciones de precipitación cambiantes durante el crecimiento cristalino. En primer lugar precipitó la franja NL, relativamente más ancha, en la zona activa del acuífero de naturaleza oxidante. Seguidamente precipitaron las bandas LB bajo condiciones subóxicas en una zona estancada del acuífero con un Eh lo suficientemente alto como para que el Fe estuviera en estado oxidado y el Mn en estado reducido (Machel y Burton, 1991). Las zonas LM también precipitaron en una zona estancada del acuífero, aunque con un Eh ya lo suficientemente bajo como para que el Fe estuviera ya en estado reducido, como consecuencia, probablemente, del progresivo enterramiento de la unidad a medida que se iba produciendo la sedimentación de la Aloformación suprayacente Ágreda.

Las composiciones isotópicas de este cemento en mosaico drúsico son también típicas de las calcitas meteóricas (Allan y Matthews, 1982; Lohmann, 1987). Presentan valores negativos y variables en el $\delta^{13}\text{C}$ y negativos, aunque más constantes, en el $\delta^{18}\text{O}$, cuyo un valor medio es de $-5,3$ ‰ (Fig. 4). Estas características isotópicas indican, además, que este cemento precipitó en un sistema abierto, como lo refleja la composición isotópica relativamente constante en O (procedente en origen de la composición isotópica en O de las aguas a partir de las cuales precipitó) y con influencia de C ligero orgánico proce-

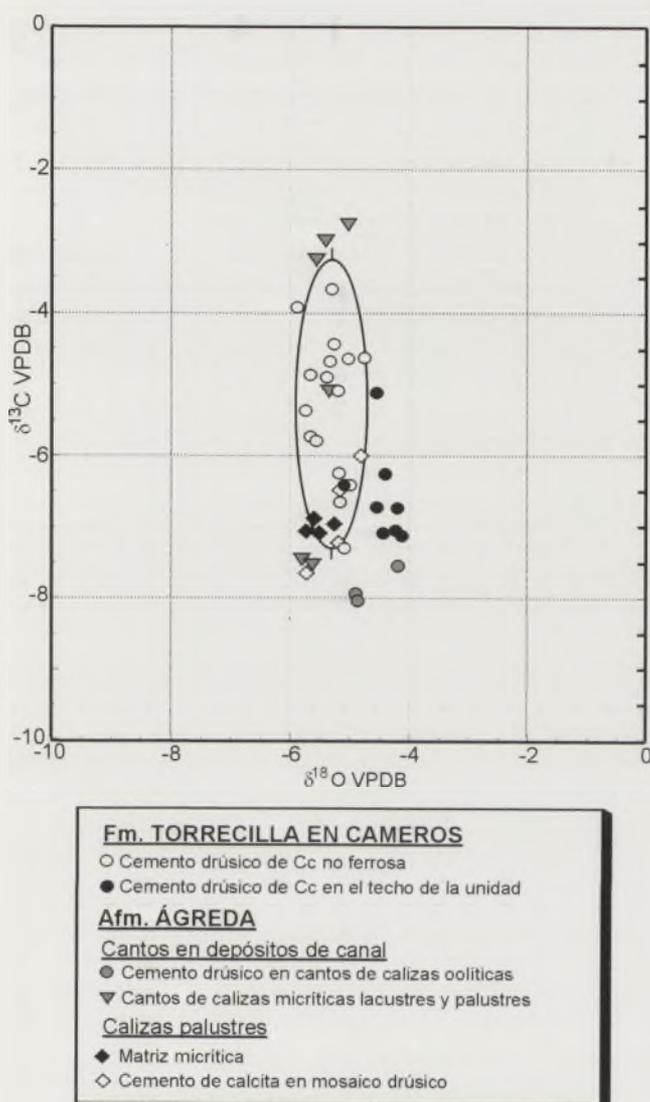


FIGURA 4. Composición isotópica de C y O de las fases diagenéticas estudiadas en la Fm. arrecifal de Torrecilla en Cameros y en la Afm. Ágreda en el sector de Soria. La elipse define la media (± 2 desviaciones estándar) de los valores isotópicos de la calcita en mosaico drúsico precipitada en la Fm. Torrecilla en Cameros (salvo el cemento precipitado en el techo de la unidad).

dente de la oxidación de la materia orgánica del suelo (Allan y Mathews, 1982; Lohmann, 1987). De hecho, los valores más negativos en C se han obtenido en el cemento en mosaico drúsico precipitado en las facies oolíticas de la parte superior de la columna estratigráfica.

Solamente en el último metro de la sección estratigráfica este cemento presenta una composición isotópica en conjunto más pesada en O (Fig. 4), lo que probablemente se deba al hecho de que en las zonas más superficiales y cercanas al suelo las tasas de evaporación son mayores lo que habría producido el enriquecimiento de estas calcitas en el oxígeno más pesado respecto a las del resto de la unidad.

Con respecto a los carbonatos de la Afm. Ágreda, las composiciones isotópicas de los cantos de calizas palustres y lacustres de los cuerpos canalizados así como de los niveles estratificados de calizas palustres de la base

de esta unidad continental son muy similares a las del cemento de calcita en mosaico drúsico precipitado en la Fm. Torrecilla en Cameros (Fig. 4). Este hecho sugiere que en ambos casos la precipitación de la calcita se produjo a partir de aguas de composiciones isotópicas similares y bajo condiciones ambientales también similares. Es decir, probablemente no existieron variaciones climáticas importantes en este área durante el periodo de tiempo durante el cual se produjo la precipitación de la calcita meteórica (Kimmeridgiense superior-Tithónico; basal?) en la Fm. Torrecilla en Cameros y en la base de la Afm. Ágreda.

El cemento de calcita en mosaico drúsico que rellena la porosidad de los cantos de calizas oolíticas ferruginizados, por su parte, presenta una composición isotópica muy similar a la del cemento de calcita precipitado en las calizas oolíticas ferruginizadas del techo de la Fm. Torrecilla en Cameros, de cuya erosión, probablemente, procedieron estos cantos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Proyecto PB97-0298 del Ministerio de Educación y Cultura

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allan, J.R. y Mathews, R.K. (1982): Isotope signatures associated with early meteoric diagenesis. *Sedimentology*, 29: 797-817.
- Alonso, A., Aurell, M., Mas, J.R., Meléndez, A. y Nieva, S. (1989): Estructuración de las plataformas del Jurásico superior de la zona de enlace entre la Cuenca Ibérica y el Estrecho de Soria. En *XII Congreso Español de Sedimentología*. Comunicaciones, 175-178.
- Alonso, A. y Mas, J.R. (1990): El Jurásico Superior marino en el sector Demanda-Cameros (La Rioja-Soria). *Cuadernos de Geología Ibérica*, 14: 173-198.
- Aurell, M., Mas, R., Meléndez, A. y Salas, R. (1994): El tránsito Jurásico-Cretácico en la Cordillera Ibérica: relación tectónica-sedimentación y evolución paleogeográfica. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 18: 369-396
- Errenst, C. (1990) Das korallenführende Kimmeridgium der nordwestlichen Iberischen Ketten und angrenzender gebiete (Fazies, paläogeographie und beschreibung der korallenfauna). Teil 1. *Palaeontographica*, A, 214: 121-207.
- Errenst, C. (1991): Das korallenführende Kimmeridgium der nordwestlichen Iberischen Ketten und angrenzender gebiete (Fazies, paläogeographie und beschreibung der korallenfauna). Teil 2. *Palaeontographica*, A, 215: 1-142.
- Gómez Fernández, J.C. (1992): *Análisis de la Cuenca sedimentaria de los cameros durante sus etapas iniciales de relleno en relación con su evolución paleogeográfica*. Tesis doctoral, Univ. Complutense de Madrid, 343 p. (Inédita)

- Gómez Fernández, J.C. y Meléndez, N. (1994): Estratigrafía de la "Cuenca de Cameros" (Cordillera Ibérica Noroccidental, N de España) durante el tránsito Jurásico-Cretácico. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 7: 121-139.
- Guimerá, J., Alonso, A. y 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 y P.G. Buchanan, Eds.). Geological Society, London, Special Publication, 88: 433-453.
- Lohmann, K.C. (1987): Geochemical patterns of meteoric diagenetic systems and their application to studies of paleokarst. En: *Paleokarst* (N.P. James y P.W. Choquette, Eds.) Springer-Verlag, Berlin, 58-80.
- Machel, H.G. y Burton, E. (1991) Factors Governing Cathodoluminescence in Calcite and Dolomite and their Implications for Studies of Carbonate Diagenesis. En: *Luminescence microscopy and Spectroscopy: Qualitative and Quantitative Applications* (Ch.E. Barker y O.C. Kopp, Eds.). Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Short Course, 25: 37-57
- Mas, J.R., Alonso, A. y Guimerá, J. (1993): Evolución tectonosedimentaria de una cuenca extensional intraplaca: La cuencafinijurásica-eocretácica de Los Cameros (La Rioja-Soria). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 6: 129-144.