

Origen de concreciones dolomíticas en el Terciario de la Cuenca de Calatayud (Zaragoza)

F. J. Torrijo^{*,†}, J. Mandado^{*} y M. E. Bona[‡]

^{*} Depto. Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza. 50009 Zaragoza

[†] Depto. de Geología y Geotecnia. Laboratorios PROYEX, S.A., 50180 Utebo

[‡] Ibergeotecnia, S.R.L. C/ Don Jaime I, 35, 50003 Zaragoza

Abstract

Carbonate concretions in deposits of Tertiary (Calatayud-Zaragoza) were studied. The concretions are included in dolomitic mudstones, and contain dolomite and detrital particles of host. The cement is micritic dolomite.

Content in authigenic cement decreases outwards the concretions related to the ground waters. A precompactacional model, and a replacement growth are proposed.

1. Introducción

Son numerosos los autores que a lo largo de la historia han estudiado diferentes aspectos de los materiales terciarios de la cuenca de Calatayud, aunque es destacable que ninguno haga referencia a la existencia de nódulos carbonatados. El estudio de la bibliografía geológica referente a los materiales estudiados en esta zona permite comprobar que hay numerosos trabajos, tanto generales como específicos, de los mismos, pero en los cuales no se hace referencia a la existencia de concreciones carbonatadas.

Los primeros estudios concretos en esta región fueron realizados por Julivert en 1954, en un trabajo referente a la tectónica de la Depresión de Calatayud. A éste se han sumado numerosos trabajos, de diversa índole, de los que cabría destacar los de Bomer (1960), Tena *et al.* (1980), Tena y Mandado (1984), Colomer y Santanach (1988), y más recientemente los llevados a cabo por Gutiérrez (1994 y 1999).

Uno de los últimos trabajos sobre la zona es el realizado por Joven *et al.* (1997) sobre los rasgos edáficos de los materiales miocenos de la periferia del lago terciario central y en él se cita la presencia de estas estructuras.

Este trabajo se centra, por tanto, en el estudio petrográfico, geoquímico y mineralógico de las concreciones, que aportan datos que permiten discernir su origen, proporcionando un modelo genético para ellos, que se basa en el modelo de clasificación propuesta por Torrijo *et al.* (1997) y Torrijo (1999).

2. Localización geográfica y Marco Geológico

La situación del punto de estudio se localiza en la Depresión de Calatayud, en el margen oriental de la Sierra de Armantes, situada al norte de Calatayud. La región se sitúa en la hoja de Calatayud (409) del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000.

El perfil levantado se localiza entre la Ermita del Cristo de Ribota y la Ermita de Santa Cruz (figura 5.11 y lámina VII, foto A). Este perfil fue publicado por Joven *et al.* (1997), y se recoge en la figura 1.

El punto de estudio se sitúa al NE de la Sierra de Armantes, dentro de la Cuenca de Calatayud. Esta cuenca es una fosa tectónica intramontañosa formada por un proceso de rifting en el Mioceno medio mediante la reactivación de fracturas de zócalo y rellena de sedimentos neógenos que se depositaron en un ambiente continental endorreico. Julivert (1954) considera que la Depresión de Calatayud, en la zona de Daroca, presenta un carácter de semigraben, mientras que en la zona de Calatayud se puede considerar como una verdadera fosa tectónica.

La cuenca está limitada al SO por la llamada falla del Jiloca, la cual es en realidad un sistema de fallas de dirección NO-SE escalonadas de forma levógira (Colomer y Santanach., 1988), y al NO por una discordancia que pone en contacto los conglomerados terciarios y los materiales paleozoicos.

Sobre los materiales paleozoicos se depositaron los materiales mesozoicos y paleógenos en un ambiente continental endorreico, que continúa en el Mioceno con el depósito de evaporitas en el centro de la cubeta, completándose la colmatación con depósitos predominantemente calcáreos.

Los depósitos carbonatados terciarios de las planas, donde se encuentran las concreciones, tienen su origen en la precipitación dentro del lago central en condiciones relativamente salobres, aunque también se considera la influencia de algas para su depósito. Los materiales calcáreos que se encuentran digitados entre los depósitos detríticos se consideran debidos a la precipitación en zonas de llanura circundante al lago sulfatado por procesos de concentración evaporativa (Joven *et al.*, 1997).

Dos de las características de los materiales carbonatados encontrados en la Sierra de Armantes es la presencia de procesos de dolomitización y de silicificaciones en forma de nódulos y capas continuas de sílex. Es importante señalar la evolución lateral de nódulos

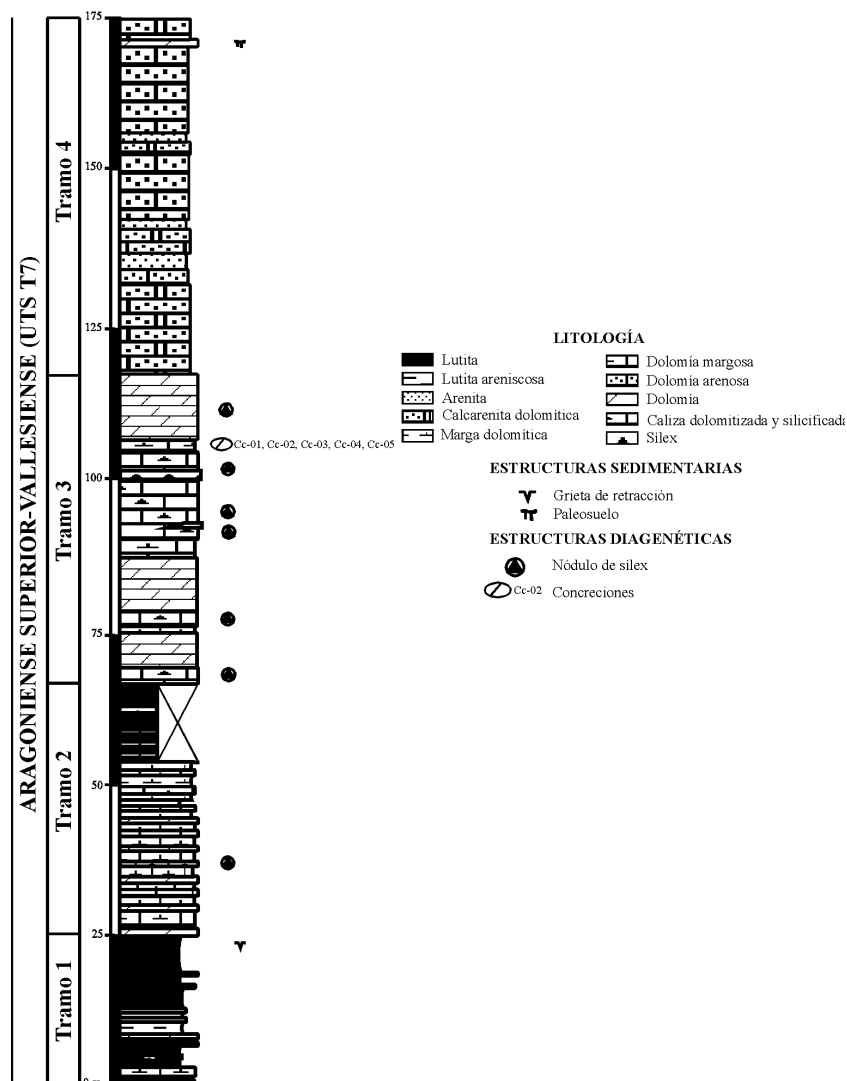


Figura 1.—Columa litoestratigráfica levantada entre la Ermita del Cristo de Ribota y la Ermita de Santa Cruz (modificada de Joven *et al.*, 1997).

de sílex a una capa continua que desaparece cuando se produce el tránsito de la facies carbonatada a las facies lutíticas. El proceso que se interpreta para la formación de estas silicificaciones es la sustitución de los carbonatos preexistentes por la sílice, lo cual es coherente con un modelo de génesis por reemplazamiento. Estos procesos han sido verificados recientemente por Joven *et al.* (1997).

La cronoestratigrafía de esta cuenca se basa actualmente en las unidades tectosedimentarias (U.T.S.) establecidas por Villena *et al.* (1991). Dentro de este marco, las concreciones se ubican en materiales calcáreos neógenos de la unidad tectosedimentaria UTS T7 (Aragonesense superior-Vallesiense).

3. Metodología

Se muestrearon cuatro concreciones separándolas de la roca encajante de manera manual y retirando posteriormente del mismo modo las superficies de alteración. A continuación se subseccionaron cada una de las concreciones, seleccionando de cada subsección una muestra para su estudio en lámina delgada y otra para su trituración y posterior análisis químico, tal y como propone Raiswell (1971).

La trituración se realizó mediante trituradora de mandíbulas y molienda de la fracción extraída con molino de aros, hasta un tamaño de grano inferior a 60 μm . Para ello se usaron los equipos del Servicio de Preparación de Rocas y Materiales Duros de los Servicios de Apoyo a la Investigación de la Universidad de Zaragoza.

El análisis químico de las muestras se realizaron en el Laboratorio “Juan Tena” del Área de Petrología y Geoquímica del Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Zaragoza, y en el Laboratorio de Análisis Químico de la empresa Laboratorios Proyex, S.A.

La disgregación de las muestras carbonatadas es un problema analítico sencillo que requiere pocas modificaciones en función de las características de la misma. En nuestro caso, se ha seleccionado una sistemática de extracción estándar, de acuerdo con la metodología de Brand y Veizer (1980).

La valoración gravimétrica del residuo insoluble al ataque ácido, expresada en % respecto al peso inicial de muestra, se expresa como R.I.; que corresponde al contenido de la fracción de minerales arcillosos, cuarzo y otros silicatos detríticos de la roca, no disueltos durante el ataque.

La determinación del contenido en carbonato se ha realizado mediante el cálculo de la pérdida de peso por ignición (Dean, 1974). Se basa en la interpretación de que las pérdidas de peso tras calentamientos escalonados a 200, 500 y 900 $^{\circ}\text{C}$ corresponden a los contenidos de agua, materia orgánica y CO_2 respectivamente.

El análisis de cationes, excepto el estroncio, se efectuó por espectrometría de absorción atómica, con un equipo PERKIN-ELMER 2380 con llama de acetileno en atmósfera de aire. Por su parte, el estroncio se determinó también por espectrometría de absorción atómica, con un equipo PERKIN-ELMER 3030 con llama de óxido nitroso en atmósfera de aire.

A partir de las muestras se realizaron secciones pulidas y láminas delgadas en el Servicio de Preparación de Rocas y Materiales Duros de la Universidad de Zaragoza. Antes del recubrimiento de estas últimas, se hizo la observación de las propiedades luminiscentes de los cristales que componen las muestras carbonatadas. Mediante esta técnica se intentó

identificar si la incorporación de elementos tales como Fe y Mn en la red del carbonato era o no significativa. Para ello se utilizó el equipo de catodoluminiscencia del Departamento de Geología, modelo 8200 MK II de TECHNOSYN. Los resultados de esta técnica demostraron el carácter no luminiscente de prácticamente la totalidad de las muestras analizadas.

El estudio petrográfico convencional permite identificar la distribución textural y estructural de los componentes, así como una semicuantificación de los mismos, facilitando la identificación de subestructuras y variaciones composicionales en el interior de los nódulos.

4. Resultados

4.1 Distribución y geometría

Las concreciones se sitúan paralelas a la estratificación existente en la roca encajante. Se disponen en un nivel bien definido, presentando una correlación a gran escala dentro del afloramiento.

La laminación alrededor de la concreción está deformada y envolviendo a ésta, sin apreciarse láminas que las corten.

Se encuentran separadas de forma brusca de la roca encajante por la presencia de una coraza de 1 a 3 mm de espesor. Su naturaleza es carbonatada aunque empobrecida con respecto a la concreción y a la roca encajante.

En las concreciones se observan fracturas de pequeño tamaño con continuidad dentro la roca que las rodea. Además, presentan numerosos rasgos edáficos recientes, tales como restos de bioturbación por raíces, depósitos espeleotémicos laminares y estructuras en panal de abeja.

Tanto en las concreciones como en la roca encajante no se ha podido constatar la presencia de restos fósiles.

In situ, las concreciones son de color gris oscuro a gris blanquecino, presentan una morfología esferoidal oblata, aunque también se han identificado algunas morfologías irregulares, y se presentan paralelas al plano de estratificación. Sus diámetros mayores varían de 3 a 16 cm (tabla 1). Presentan una clara zonación, mostrando un núcleo de color más oscuro.

Las concreciones con morfologías irregulares (p.ej.: la muestra Cc-02) podrían tener su origen en la acción de los procesos edáficos posteriores, o incluso podrían deberse a una karstificación diferencial de estas morfologías. Ambos procesos son visibles en la muestras estudiadas. En este caso se descarta el origen por coalescencia de dos o más concreciones, ya que no se ha podido encontrar ningún indicio de este fenómeno.

Muestra	Forma	Diámetro mayor	Diámetro intermedio	Diámetro menor	Material encajante	Inclinación respecto a So
Cc-01	Esferoide oblató	16	11.5	3	Dolomía	0
Cc-02	Irregular	-	-	-	Dolomía	0
Cc-03	Esferoide oblató	11.5	6	6	Dolomía	0
Cc-04	Esferoide oblató	21	15	8	Dolomía	0

Tabla 1.—Parámetros morfológicos y características de situación de los nódulos estudiados. Los diámetros establecidos en cm y la inclinación en grados.

Su superficie viene caracterizada por la presencia de irregularidades debidas a la existencia de espeleotemas laminares, los cuales se ajustan al modelo de formación pedogénico descrito por Sanz (1998) para estas estructuras, y por la existencia de una coraza carbonatada que las separa de la roca encajante.

En varias de las muestras se observa la existencia de pátinas de pirolusita dendrítica y es de destacar la falta de restos fósiles, tanto en la roca encajante como en las concreciones.

4.2 Características microscópicas

Las concreciones están constituidas por dolomita (de origen secundario), con algún indicio de calcita, en forma de micrita ($< 5\mu\text{m}$), y por pequeñas cantidades de cuarzo, tanto como pequeños fragmentos detríticos como en forma de coloides de sílice.

Las concreciones presentan una textura micrítica, en cuyo interior aparecen pequeñas zonas con morfologías pseudolenticulares rellenas de cemento microesparítico, cuya génesis está ligada a la actividad edáfica. En todas ellas encontramos zonas rellenas de cemento microesparítico, las cuales se asocian a procesos edáficos. Estos procesos son el resultado de la actividad de las raíces, tanto en las concreciones como en la roca encajante.

Se observan algunas fracturas de poco espesor y rellenas de cemento microesparítico. Estas fracturas también se aprecian en la roca encajante.

Todas las muestras estudiadas presentan un marcado contraste con la roca encajante, ya que ésta presenta un mayor contenido en minerales opacos y fragmentos de cuarzo detrítico.

4.3 Características mineralógicas y geoquímicas

La composición mineralógica de las concreciones y de la roca encajante es muy homogénea, sin observarse cambios considerables entre el interior y el exterior de las concreciones, tal y como se aprecia en los datos obtenidos por D.R.X. (tabla 2).

Por su parte, las tendencias de evolución geoquímica se pueden explicar desde un punto de vista mineralógico. Si expresamos los contenidos de los elementos diagenéticos

	Micas	Cuarzo	Calcita	Dolomita
Roca	8	7	indicios	85
Exterior	-	indicios	indicios	100
Interior	-	indicios	indicios	100

Tabla 2.—Contenido mineralógico medio obtenido mediante análisis semicuantitativo por D.R.X..

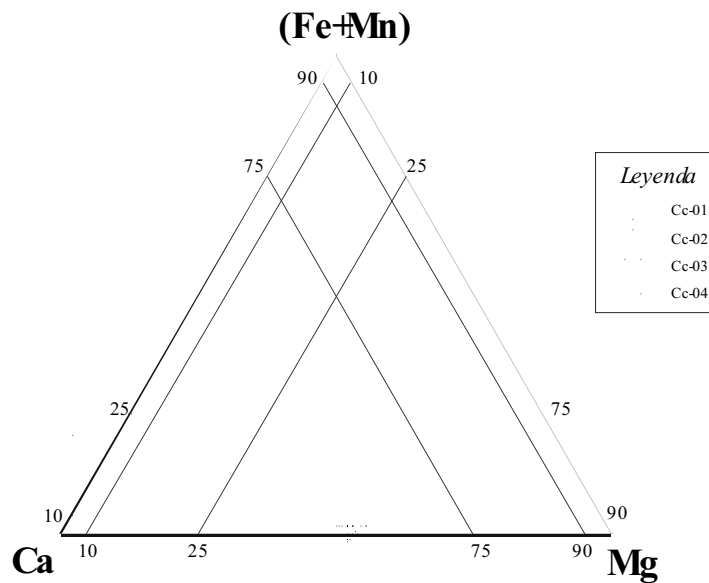


Figura 2.—Variabilidad composicional de las muestras estudiadas, expresada en forma de diagrama triangular, utilizando como polos del mismo los datos analíticos del Ca, Mg y Fe+Mn.

más significativos en un diagrama triangular en el que se representen los contenidos de Ca - Mg - Fe+Mn (figura 2) podemos observar que todas las muestras se sitúan en el dominio de la dolomita.

En contra de lo que parece indicar la figura 2, la dolomita no es la fase mineral responsable original de la formación de las concreciones, sino que han sufrido un proceso posterior de dolomitización que ha afectado por igual a la roca encajante y a las concreciones (Joven *et al.*, 1997). Por lo tanto, es presumible pensar, por analogía con los materiales adyacentes a la columna estudiada, los cuales presentan una naturaleza calcítica, que la fase mineral primaria en la formación de las concreciones y de la roca encajante sea calcita.

La tendencia general en el interior de los nódulos es de una paulatina disminución del contenido en dolomita de centro a borde y en el contenido de residuo insoluble hacia el exterior (figura 3).

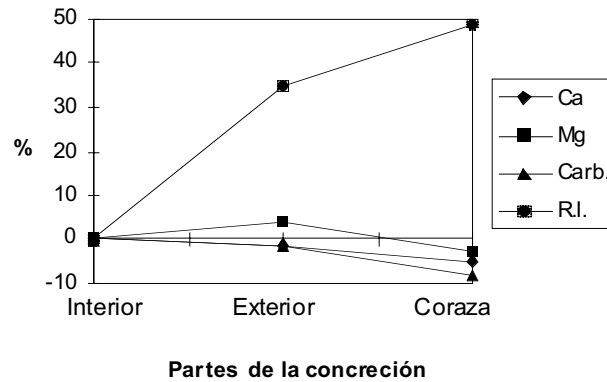


Figura 3.—Porcentaje medio de variación, en el interior de las concreciones, del contenido en carbonato, calcio, magnesio y residuo insoluble.

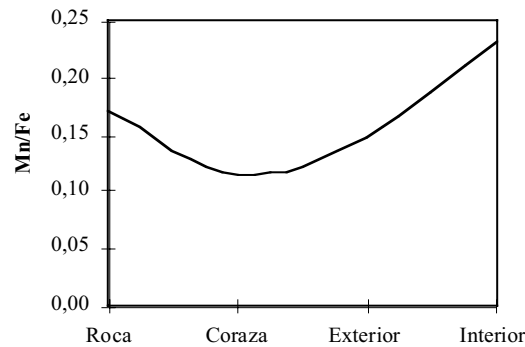


Figura 4.—Variación media del parámetro geoquímico Mn/Fe en las diferentes zonas de los nódulos y en la roca encajante.

Por último, el parámetro Mn/Fe (figura 4), presenta una tendencia negativa desde el interior de los nódulos hasta la roca encajante.

5. Discusión y conclusiones

La distribución de concreciones carbonatadas en los materiales terciarios de las proximidades de la Ermita del Cristo de Ribota (Cuenca de Calatayud), está controlada por las aguas intergranulares atrapadas en los sedimentos. Esta afirmación se fundamenta en la inexistencia de restos fósiles y fragmentos detríticos carbonatados dentro de las concreciones, que pudieran haber actuado como fuente interna en el crecimiento de las concreciones.

El transporte sufrido por el carbonato disuelto hasta el punto de precipitación ha debido ser, en circunstancias normales, relativamente largo (de escala hectométrica a

kilométrica); y evidentemente el mecanismo de transporte ha sido el de flujo, pudiendo descartarse un mecanismo difusivo (Bjørkum y Walderhaug, 1990).

Los aspectos más relevantes a tener en cuenta a la hora de establecer un modelo genético son:

1. La laminación alrededor de las concreciones está deformada, envolviéndolas, sin apreciarse láminas que las corten. Esto sugiere que la roca encajante ha sido desplazada durante el crecimiento de las concreciones.
2. El contenido en residuo insoluble, considerado como el reflejo del contenido en minerales detríticos no carbonatados existente en las muestras, es muy similar tanto en las concreciones como en la roca encajante, observándose los mayores valores en la periferia de los nódulos y en la coraza, lo que podría explicarse por un modelo de emplazamiento desplazante.
3. Las concreciones presentan un contenido en carbonato más elevado, generalmente, en el centro de las concreciones y va disminuyendo progresivamente hacia la periferia. Esta tendencia negativa hacia el exterior de las concreciones es coherente con el crecimiento concrecionario y refleja una reducción progresiva de la porosidad (Gautier, 1982a y b; Mozley y Burns, 1993a y b; entre otros).
4. Se observa un claro zonado marcado por cambios de tonalidad que se podría corresponder con un proceso de ralentización en su velocidad de crecimiento asociado al empobrecimiento progresivo de las concreciones en carbonato. Esta zonación interna concéntrica es una evidencia clara de una estructura concéntrica convencional (Parsons, 1980; Scotchman, 1991; entre otros), la cual no implica siempre un modelo de crecimiento concéntrico convencional, sino que en este caso, y debido al marcado empobrecimiento en carbonato de la roca encajante en contacto directo con las concreciones, parece implicar que crecimiento se ajuste a un modelo de crecimiento en equilibrio, el cual también puede presentar una estructura concéntrica, debida a la variación temporal de la química de las aguas intergranulares durante el crecimiento concrecionario (Berner, 1968; Gautier, 1982a y b).

A la vista de estas evidencias podemos concluir diciendo que la génesis de las concreciones se adapta claramente a un modelo precompactacional, con un emplazamiento desplazante y caracterizado por un crecimiento en equilibrio (Torrijo *et al.*, 1997; Torrijo, 1999).

Agradecimientos

Los autores queremos agradecer la colaboración de María Paz Ibáñez (Laboratorios Proyex, S.A.) en la determinación de estroncio mediante espectrometría de absorción atómica, y la colaboración de Francisco Gonzalo y Fernando San Miguel Til (MYTA) en la realización del estudio mineralógico mediante difracción de rayos X.

Referencias

- [1] Brand, U. and Veizer, J. (1980): Chemical diagenesis of a multicomponent carbonate system-1: Trace elements. *Jour. Sed. Petrol.*, **50**(1), 219-236.
- [2] Berner, R.A. (1968). Calcium carbonate concretion formed by the decomposition of organic matter. *Science*, **159**, 195-197.
- [3] Bjørkum, P.A. and Walderhaug, O. (1990). Geometrical arrangement of calcite cementation within shallow marine sandstones. *Earth Sci. Reviews*, **29**, 145-161.
- [4] Bomer, B. (1960). Aspectos morfológicos de la Cuenca de Calatayud-Daroca y de sus zonas marginales. *Estudios Geol.*, año **XXI**, 21-80, 393-402.
- [5] Colomer, M. y Santanach, P. (1988). Estructura y evolución del borde suroccidental de la Fosa de Calatayud-Daroca. *Geogaceta*, **4**, 29-31.
- [6] Dean, W.E. (1974): Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods. *Jour. Sed. Petrol.*, **44**, 242-248.
- [7] Gautier, D.L. (1982a): Siderite concretions: indicators of early diagenesis in the Gammon Shale (Cretaceous). *Jour. Sedim. Petrol.*, **52**, 859-871.
- [8] Gautier, D.L. (1982b): Siderite concretions, indicators of early diagenesis in shallow gas reservoirs of the Gammon Shale (Cretaceous). *Eleventh International Congress on Sedimentology*.
- [9] Gutiérrez, F. (1994). *Geomorfología de la Región de Calatayud. El karst en yesos*. Tesis de Licenciatura, Universidad de Zaragoza. 302 pp. (No publicada).
- [10] Gutiérrez, F. (1999). *Fenómenos de subsidencia por disolución de formaciones evaporíticas en las fosas neógenas de Teruel y Calatayud (Cordillera Ibérica)*. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza. (No publicada).
- [11] Joven, R.B., Mandado, J., Sanz, F.J. y Torrijo, F.J. (1997). Rasgos edáficos en la periferia del lago terciario central de la Cuenca de Calatayud. *Rev. Acad. Ciencias Zaragoza*, **52**, 171-183.

- [12] Julivert, M. (1954). Observaciones sobre la tectónica de la Depresión de Calatayud. *Arrahona*, 1-17.
- [13] Mozley, P.S. and Burns, S.J. (1993a): Oxygen and carbon isotopic composition of marine carbonate concretions: An overview. *Jour. Sed. Petrol.*, **63**(1), 73-83.
- [14] Mozley, P.S. and Burns, S.J. (1993b): Oxygen and carbon isotopic composition of marine carbonate concretions: An overview. Reply. *Jour. Sed. Petrol.*, **63**(5), 1008.
- [15] Parson, M.W. (1980). *Distribution and origin of elongate sandstones concretions, Bullion Creek and Slope Formations (Paleocene), Adams County, North Dakota*. Master's Thesis, University of North Dakota, Grand Forks, N.D. 133 pp. (Unpublished).
- [16] Raiswell, R. (1971): The Growth of Cambrian and Liassic concretions. *Sedimentology*, **17**, 147-171.
- [17] Sanz, F.J. (1998). *Génesis de depósitos carbonatados asociados al sistema termal de Jarab-Alhama de Aragón*. Tesis de licenciatura, Universidad de Zaragoza. 180 pp. (No publicada).
- [18] Scotchman, I.C. (1991). The geochemistry of concretions from the Kimmeridgiense Clay Formation of southern and eastern England. *Sedimentology*, **17**, 147-171.
- [19] Tena, J.M. y Mandado, J. (1984). Estudio Geológico de la Cuenca Terciaria de Calatayud-Daroca. *Rev. Acad. Ciencias Zaragoza*, **39**, 69-78.
- [20] Tena, J.M., Mandado, J. y Gisbert, J. (1980). *Síntesis geológica de la Cuenca Terciaria de Calatayud*. Memoria del Departamento de Petrología de la Universidad de Zaragoza. 75 pp. (No publicada).
- [21] Torrijo, F.J., Mandado Collado, J., Joven Barcelona, R.B. y Sanz Morales, F.J. (1997): Nódulos y concreciones. Modelos genéticos. *Rev. Academia de Ciencias. Zaragoza*, **52**, 159-169.
- [22] Torrijo, F.J (1999): *Nódulos y concreciones carbonatadas. Distribución y génesis*. Tesis de Licenciatura. Universidad de Zaragoza. 201 pp. (No publicada).
- [23] Villena, J, Pérez, A., Pardo, G. y González, A. (1991). *Mapa y memoria explicativa de la Hoja 40 (Daroca) del Mapa Geológico de España a escala 1:200.000*, ITGE.