

Fracturación y migración de fluidos durante la evolución tectónica neogena en el Sector Central de las Cadenas Costero Catalanas

Fracturation and fluid migration during the neogene tectonic evolution in the Central Zone of the Catalan Coastal Ranges

F. Calvet (*), A. Travé (*), E. Roca (**), A. Soler(***) y P. Labaume (****)

(*) Dpt. GPPG, Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona, 08028, Barcelona.

(**) Dpt. GPPG, Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona, 08028, Barcelona.

(***) Dpt. CMDM, Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona, 08028, Barcelona.

(****) LGIT-CNRS Université J. Fourier, BP 53, 38041 Grenoble, France.

ABSTRACT

The Neogene rift in the Catalan Coastal Ranges, located in the NE part of the Eastern Iberian Margin, corresponds to a system of grabens formed in the north-western margin of the Valencia Trough. Extensional activity was superimposed on to earlier, Eocene strike-slip movements related to the Alpine compression. In the Penedés graben and the adjacent Garraf horst, tectonic structures (faults and joints) affect Mesozoic limestones as well as Miocene deposits which fill the grabens. Seven generations of fractures formed during different geodynamic stages (prerift, synrift, early postrift and late postrift) have been distinguished. The fractures are filled with calcite cement, and locally by internal sediment and dolomitic cement. The fillings present different petrographic, minor and trace elements (Mg, Sr, Na, Fe and Mn), stable isotopes ($\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$) and $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ ratio features. The prerift stage presents two fluid regimes: in the first (Fractures 1 and 2) the fluids related to the Alpine compression suggest a relatively closed hydrogeological system and high fluid-rock interaction; and in the second (Fractures 2 and 4) the fluids are meteoric in origin and present low fluid-rock interaction. The synrift stage is characterized by formation fluids (Fractures 5) suggesting an open hydrogeological system and low fluid-rock interaction. The early postrift stage was a period of low tectonic activity and the fluids have not been studied. The late postrift stage presents two fluid regimes: in the first (dolomite cement on Fractures 7) the fluids are hydrothermal and present a high fluid-rock interaction; in the second (calcite cement on Fractures 7) the fluids are meteoric and present an open hydrogeological system and low fluid-rock interaction.

Key words: Fracturación, Diagénesis, Fluidos, Migración de fluidos, Rifting, Neógeno.

Geogaceta, 20 (7) (1996), 1715-1718

ISSN: 0213683X

Introducción

Las características de los fluidos que han circulado a través de zonas de fracturas (fallas y grietas de tensión) pueden conocerse a partir del estudio petrológico, geoquímico y de las inclusiones fluidas de las mineralizaciones que rellenan estas fracturas (de Brit, 1989; Muchez *et al.*, 1991, 1994). Así mismo, el análisis geoquímico de las rocas encajantes y su comparación con los valores geoquímicos de las mineralizaciones permite conocer el grado de interacción fluido-roca.

En la evolución tectónica neógena del sector central de las Cadenas Costero Catalanas pueden distinguirse las siguientes etapas: prerift, sinrift (Oligoceno superior-Burdigaliense), postrift inicial (Burdigaliense-Serravaliense inferior) y postrift tardía (Tortonense-Cuaternario). Estas distintas etapas están representadas por distintos conjuntos de frac-

turas, que afectan tanto al sustrato paleozoico-mesozoico como a los materiales neógenos que rellenan los grabens.

Los objetivos de este artículo son: (1) Analizar las características petrológicas y geoquímicas del relleno mineral de las distintas fracturas originadas durante las diferentes etapas de evolución tectónica neógena; y (2) Determinar la composición y la migración de los fluidos en las distintas fracturas, y por consiguiente la composición química y caracterizar las migraciones de los fluidos en cada una de las distintas etapas de la evolución neógena.

Marco geológico

Las Cadenas Costero Catalanas corresponden a un sistema transpresivo paleógeno que, desde el Oligoceno superior, ha pasado a

ser el margen occidental del surco de Valencia (Fontboté *et al.*, 1990; Roca y Guimerà, 1992). Aunque las deformaciones paleógenas también están bien registradas, las principales características de su estructura actual han sido adquiridas durante el Neógeno. Efectivamente, relacionados con la apertura oligocena superior-miocena inferior del surco de Valencia, las Cadenas Costero Catalanas muestran características típicas de margen continental con una corteza relativamente adelgazada (22-32 km; Gallart *et al.*, 1994), y una estructura bien desarrollada en horsts y grabens.

Entre estos grabens neógenos de orientación NE-SW destaca la fosa del Vallès-Penedès con una longitud superior a los 100 km y una anchura variable entre 10 y 14 km. Esta fosa está limitada al NW por una falla inclinada al SE con un salto normal de hasta 4 km (Bartina *et al.*, 1992) y en su interior incluye fallas normales de salto hectométrico que

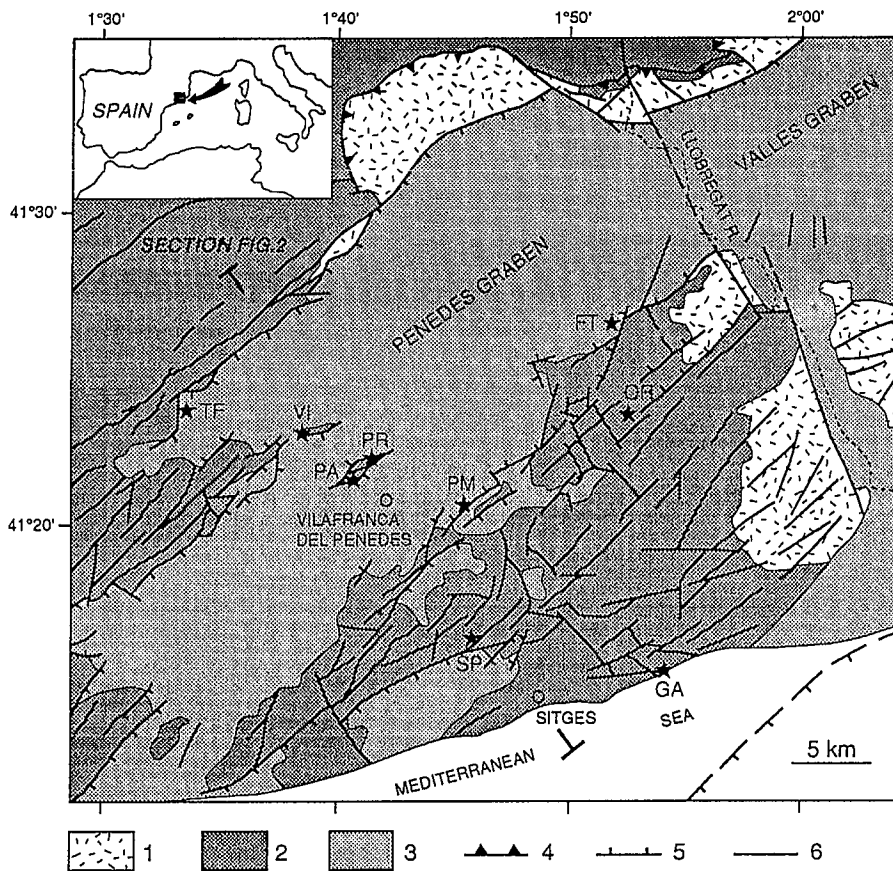


Fig. 1. Mapa geológico del sector central de las Cordilleras Costero Catalanas. 1: Paleozoico. 2: Mesozoico y depósitos terciarios de la depresión del Ebro. 3: Depósitos neógenos. Los afloramientos estudiados están representados por estrellas. 4: Falla inversa. 5: Falla directa. 6: Falla

Fig. 1.-Geological map of the central zone of the Catalan Coastal Ranges. 1: Paleozoic. 2: Mesozoic and Ebro Basin Tertiary deposits. The studied outcrops are indicated by stars. 4: Thrust fault. 5: Normal fault. 6: Fault.

constituyen a menudo el límite meridional del relleno del semigraben del Vallès-Penedès (Figs. 1 y 2). Este relleno es máximo junto a la falla del Vallès-Penedès (2000-3000 m) y está formado por depósitos de edad Aquitaniense (?) a Plioceno (Cabrera y Calvet, 1996).

La evolución neógena del margen pasivo nordoccidental del surco de Valencia, y por lo tanto de este sector de las Cadenas Costero Catalanas, incluye tres etapas (Roca, 1992):

- a) una etapa rifting Oligoceno superior-Burdigaliense en la que se forma la Cuenca Catalano-balear a partir del hundimiento y adelgazamiento de las áreas levantadas durante el Paleógeno.
- b) una etapa postrift inicial compresiva, Burdigaliense-Serravalliense inferior, en la que, relacionada con el emplazamiento de cabalgamientos béticos en Mallorca y parte SE del surco de Valencia, se activa el vulcanismo calcoalcalino y dejan de funcionar la mayor parte de las fallas normales (alguna de ellas incluso invierte su movimiento).
- c) una etapa postrift tardía, Serravaliense-

Cuaternario, iniciada tras la finalización de la compresión bética en Mallorca, que se caracteriza por una actividad tectónica extensiva muy débil de la corteza superior y la extrusión de rocas volcánicas alcalinas. En esta etapa de aparente tranquilidad tectónica, no obstante, el magmatismo alcalino y los movimientos verticales recientes de la corteza indican un progresivo adelgazamiento del manto litosférico, y probablemente también, de la corteza inferior (Martí *et al.*, 1992; Janssen *et al.*, 1993).

Paleofluidos y etapas de evolución tectónica neógena

El análisis estructural y microestructural de los materiales de los horsts, principalmente carbonatos cretácicos, y del relleno neógeno, principalmente materiales siliciclásticos, de los grabens ha permitido distinguir siete conjuntos de fracturas, denominadas Fracturas 1 a 7 (Travé *et al.*, 1995). Estas fracturas están rellenas por cemento de calcita, y localmente por sedimento interno y cemento dolomítico.

El relleno en cada conjunto de fracturas presenta características petrológicas, elementos menores y traza (Mg, Sr, Na, Fe y Mn), isótopos estables ($\delta^{18}O$ y $\delta^{13}C$) y relaciones $^{87}Sr/^{86}Sr$ distintas.

En relación al contexto tectónico en el que se formaron estos conjuntos de fracturas se han agrupado en: prerift, sinrift y postrift (Fig.3).

Fracturas y paleofluidos prerift: Durante la etapa prerift se han reconocido dos grupos de fracturas: 1) las Fracturas 1 y 2, las cuales son básicamente fallas direccionales de orientación ENE-WSW, relacionadas con la compresión alpina (Amigó, 1986); y 2) las Fracturas 3 y 4, que cortando a las fracturas anteriores, se han localizado solamente en la discordancia Mesozoico-Terciario que aflora en los bloques de Vilobí y de Pacs. Las Fracturas 3 y 4 están rellenas por sedimento interno (microesparita, litoclastos mesozoicos) y presentan *Microcodium* y texturas alveolares. El relleno de estas fracturas se relaciona con un periodo de exposición meteórico, el cual estaría confirmado por los valores isotópicos de oxígeno ($\delta^{18}O$ entre -6.4 y -6.1 ‰ PDB) y de carbono ($\delta^{13}C$ entre -7.5 y -3.4 ‰ PDB) de la microesparita. Este periodo de exposición subaérea comprendería posiblemente en los sectores estudiados desde el Eoceno medio al Burdigaliense medio.

Fracturas y paleofluidos sinrift: A parte de las Fracturas 3 y 4 que pudieron continuar siendo activas durante este periodo, durante la etapa sinrift neógena se originaron las Fracturas 5. Estas fracturas son fallas normales orientadas NE-SW que cortan a las Fracturas 1, 2, 3 y 4. Las Fracturas 5, de pocos milímetros a 2 cm de ancho, están rellenas por dos generaciones de cemento esparítico de calcita, y muy localmente por una última etapa de sedimento interno. La primera generación de cemento presenta una disposición isopaca con un espesor máximo de 100 m Mientras que la segunda generación de cemento está constituida por cristales euédricos-subhédricos de aspecto translúcido, extinción uniforme, y zonación al microscopio de catadoluminiscencia. Ambos cementos presentan un contenido en Mg y Fe notablemente inferior al de la roca encajante y un ligero incremento en valores del Sr, y sus composiciones isotópicas de oxígeno varían entre $\delta^{18}O$ - 10.1 y -4.4 ‰ PDB y las de carbono entre $\delta^{13}C$ -3.2 y +1.1 ‰ PDB. La relación $^{87}Sr/^{86}Sr$ de los cementos de calcita varía de 0.70787 a 0.70847, valores significativamente más radiogénicos que los de la roca encajante, cuyos valores oscilan entre 0.70734 y 0.70743.

La composición del fluido a partir del cual se originó el cemento esparítico que rellena las

Fracturas 5 tenía una relación Mg/Ca entre 0 y 1, Mg/Sr entre 0 y 70, y Ca/Fe entre 600 y 1000. Los valores de estas relaciones permiten interpretar este fluido original como un agua de formación o meteórica (Howson *et al.*, 1987; Tucker y Wright, 1990).

La composición isotópica en $\delta^{18}O$ y en $\delta^{13}C$ del cemento esparfítico es de respectivamente 0.6 a 4.6 y de 0.8 a 8.9, unidades por mil más ligeros que los de la roca encajante. Las importantes diferencias en la composición isotópica del carbono entre el cemento y la roca encajante permiten deducir una baja interacción fluido-roca (Marshall, 1992), y por consiguiente un sistema paleohidroológico relativamente abierto.

En resumen, los paleofluidos relacionados con la etapa sinrift fueron posiblemente aguas de formación, con interacción fluido-roca baja, y por consiguiente el sistema paleohidroológico fue relativamente abierto.

Fracturas y paleofluidos postrift: Las Fracturas 6, que cortan a las Fracturas 5, y que es un sistema de fracturas poco desarrollado estaría relacionado con la etapa postrift inicial, mientras que las Fracturas 7 estarían relacionadas con la etapa de postrift tardío. Las Fracturas 7 analizadas en este trabajo afectan al relleno neógeno de los grabens, son de orden centimétrico, y presentan dos generaciones de cemento separadas por una superficie de microcorrosión. Una primera generación constituida por cristales euhedrales tipo "baroque" milimétricos de cemento dolomítico [$(CO_3)_2Ca_{39-55}Mg_{41-45}$] en disposición "rim", y una segunda generación formada por cristales euhedrales-subhedrales milimétricos de calcita

El cemento dolomítico presenta una composición isotópica de oxígeno que varía desde -4.6 a -3.2 ‰ PDB y de carbono que oscila desde -3.1 a -2.4 ‰ PDB, valores que son semejantes a los de la roca encajante ($\delta^{18}O = -2.5$ ‰ PDB y $\delta^{13}C = -2.0$ ‰ PDB). La composición del fluido que originó el cemento dolomítico presentaba relaciones Mg/Ca entre 16 y 40, Mg/Sr entre 0 y 800, y Ca/Fe entre 0 y 800. El conjunto de valores geoquímicos, conjuntamente con las características petrográficas, permiten interpretar que el fluido dolomitizante fue de origen hidrotermal, y que circuló a través del sistema de fracturas, precipitando en su interior y dolomitizando la matriz de las rocas encajantes. El conjunto de características petrológicas y geoquímicas sugieren un origen hidrotermal para el fluido dolomitizante. Procesos hidrotermales parecidos (silicificaciones, mineralizaciones,...) se encuentran en otros sectores de las Cordilleras Costero Catalanas.

El cemento de calcita presenta una composición isotópica de oxígeno que varía des-

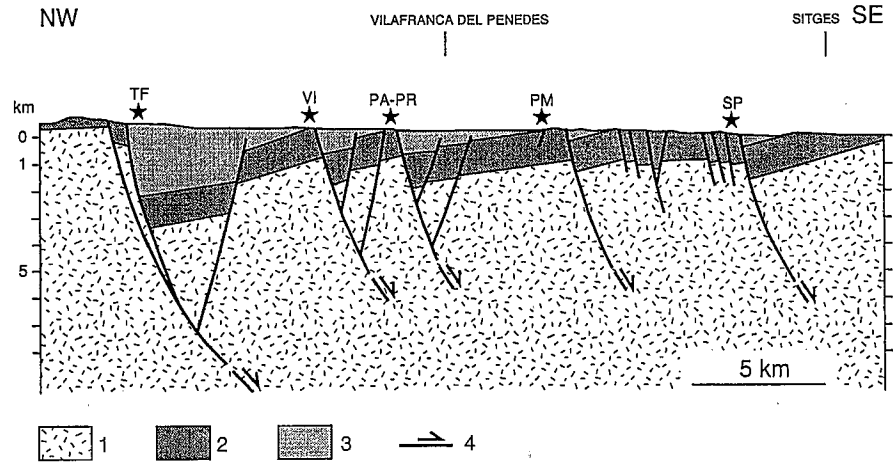


Fig. 2. Corte geológico a través del graben del Penedès y el horst de Garraf. 1: Paleozoico. 2: Mesozoico. 3: Depósitos neógenos. Los afloramientos estudiados están representados por estrellas.

Fig. 3.- Geological section across the Penedès graben and the Garraf horst. 1: Paleozoic. 2: Mesozoic. 3: Neogene deposits. The studied outcrops are indicated by stars.

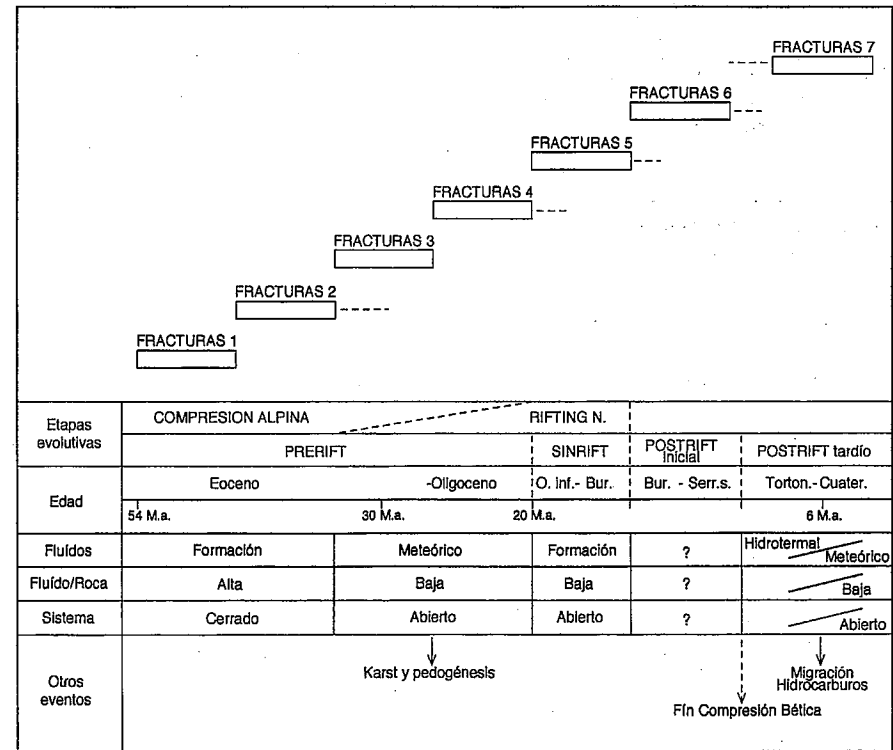


Fig. 3. Secuencia diagenética de fracturación. Las Fracturas 1 son las más antiguas mientras que las Fracturas 7 son las más recientes.

Fig. 4.- Diagenetic sequence of the fracturation. Fractures 1 are the oldest whereas Fractures 7 are the youngest.

de -7.0 a -5.1 ‰ PDB y de carbono que oscila desde -7.5 a -5.9 ‰ PDB. La composición del fluido que originó el cemento de calcita tenía relaciones MgCa entre 0 y 0.6, MgSr entre 2 y 14, y Ca/Fe muy baja (por debajo del límite de detección de la microsonda). Los distintos análisis geoquímicos de estos cementos sugieren un fluido de carácter meteórico, el cual circuló posteriormente a través del mismo sistema de fracturas que originó la dolomitización, pero no interactuó con la roca encajante.

Conclusiones

Cada una de las distintas etapas de la evolución tectónica neógena en el sector central de las Cadenas Costero Catalanas está caracterizada por un conjunto de fracturas por las que circulaban fluidos de diferente origen, con diferentes grados de interacción fluido-roca.

La etapa prerift está caracterizada por dos tipos de fluidos. En primer lugar los fluidos ligados a la compresión Alpina que sugieren un sistema hidrológico relativamente cerrado con una alta interacción fluido-roca. En segundo lugar los fluidos ligados a la discontinuidad Mesozoico-Terciario que son de origen meteórico, y presentan poca interacción fluido-roca.

La etapa sinrift, esta caracterizada por fluidos de composición de aguas de formación y baja interacción fluido-roca. Los resultados obtenidos no permiten suponer que los fluidos causantes de las mineralizaciones tuvieran una temperatura elevada, que es lo que cabría esperar de la etapa de sinrift, la cual es el momento de máximo flujo calorífico (McKenzie, 1978).

La etapa postrift inicial es una etapa de atenuación tectónica en la que no han podido reconocer las características de los fluidos.

La etapa postrift tardía, que comprendería desde el Mioceno superior hasta la actualidad, está caracterizada por la presencia de fluidos de origen hidrotermal (dolomitizaciones, silicificaciones, mineralizaciones,...). Este episodio hidrotermal implica un aumento importante del flujo calorífico durante esta etapa. La causa, o las causas, de este incremento calorífico deben analizarse a escala de la evolución tectónica del surco de Valencia. La presencia de fluidos hidrotermales estaría relacionado con la finalización de la compresión bética en el borde Este (Mallorca) del surco de Valencia, y un progresivo adelgazamiento subcortical que podría explicar los valores relativamente altos que muestra el flujo de calor del área (Foucher *et al.*, 1992).

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto "Fluids as Agents of Basin Deformation" (Ebro Network, Human Capital and Mobility Program of the E.C.) y del proyecto PB94-0868 de la CAYCIT. Asimismo la investigación necesaria para desarrollar este trabajo ha sido parcialmente financiada con el soporte del "Comissionat per Universitats i Recerca de la Generalitat de Catalunya" 1995-SGR-00195 (F.C. y A.T.) y GRQ94-1048 (E.R.). Los autores agradecemos a A. Alvarez, X. García-Veigas, R. Salas la ayuda recibida durante las distintas fases de este trabajo.

Referencias

- Amigó, J. (1986), *Tesis Doctoral*, Univ. Barcelona, 253p.
- Bartina, M.T., Cabrera, L., Jurado, H.J., Guimerà, J. & Roca, E. (1992): *Tectonophysics*, 203, 219-248.
- Brit, T.J. de (1989): *Irish Journal of Earth Sciences*, 10, 13-31.
- Cabrera, L. y Calvet, F. (1996): *Tertiary basins of Spain*, Friend, P.T. y Dabrio, C.T., eds., Cambridge Univ. Press, 97-105.
- Fontboté, J.M., Guimerà, J., Roca, E., Subart, F., Santanach, P., Fernández-Ortigosa, F. (1990): *Rev. Soc. Geol. España*, 3, 249-256.
- Foucher, J.P. *et al.*, (1992): *Tectonophysics*, 203, 77-97.
- Gallart, J., Vidal, N., Dañoibeitia, J.J., ESCI. (1994): *Tectonophysics*, 232, 59-75.
- Howson, M.R., Pethybridge, A.D., House, W.A. (1987): *Chemical Geology*, 64, 79-87.
- Janssen, M.E., Tomé, M., Cloeting, S., Banda, E. (1993): *Earth Planet. Sci. Lett.*, 119, 585-597.
- Marshall, J.D. (1992): *Geol. Mag.*, 129, 143-160.
- Martí, J., Megavila, F., Roca, E., Aparicio, A. (1992): *Tectonophysics*, 203, 145-165.
- McKenzie, D.P. (1978): *Earth Planet. Sci. Lett.*, 40, 25-32.
- Muchez, P., Viaene, W.A., Keppens, E., Marshall, J.D., Vandenberghe, N. (1991): *Journal of the Geological Society, London*, 148, 1005-1017.
- Muchez, P., Marshall, J.D., Touret, J.L.R., Viaene, W.A. (1994): *Sedimentology*, 41, 133-145.
- Roca, E. (1992): *Tesis Doctoral*, Univ. Barcelona, 330p.
- Roca, E. y Guimerà, J. (1992): *Tectonophysics*, 203, 203-218.
- Travé, A., Soler, A., Calvet, F., Briquet, L., Labauwe, P. (1995), *Bol. Soc. Esp. de Mineralogía*, 18-2, 13-14.
- Tucker, M.E. y Wright, P.V. (1990): *Carbonate Sedimentology*, Blackwell Sci. Public., 482p.