

# Yesos de Calatayud: aplicación del estudio de facies y geoquímica de sulfatos al conocimiento de un sistema evaporítico

## *Calatayud Gypsum: application of the study of sulphates facies and geochemistry to the knowledge of an evaporitic system*

F. Ortí (\*), L. Rosell (\*), A. E. Fallick (\*\*) y R. Utrilla (\*\*\*)

(\*) Departament de Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica, Universitat de Barcelona. Zona Universitària de Pedralbes; Barcelona, 08071

(\*\*) SURRC (Scottish University Research Reactor Centre); Glasgow, Reino Unido

(\*\*\*) Institut de Ciències de la Terra «Jaume Almera», C.S.I.C.; C/ Martí i Franqués s/n, Barcelona, 08028.

### ABSTRACT

*The study of depositional and diagenetic calcium-sulphate evaporites in the Calatayud Gypsum (Zaragoza prov., Spain), reveals the existence of a NW to SE elongated and relatively asymmetrical arrangement in this Miocene lacustrine system. In this particular arrangement a marginal belt exists of bioturbated gypsum, surrounding a central body formed by nodular laminated-facies. This marginal belt is narrow in the NW zone and wider in the SE zone. The isotopic compositions ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^{34}\text{S}$ ) of all the studied samples suggest that a concentration gradient occurred in the basin towards the NW area of the central body, where the more saline waters and the depocentre were probably located.*

**Key words:** gypsum, evaporites, geochemistry, Miocene, Calatayud, Spain.

*Geogaceta*, 15 (1994), 74-77

ISSN: 0213683X

### Introducción

En el Terciario de la Cuenca del Ebro es conocida la existencia de sistemas lacustres evaporíticos muy someros, tanto de implantación central como marginal, mostrando cada uno de ellos formaciones bien diferenciadas por sus paragénesis minerales, facies y potencias sedimentarias (Ortí *et al.*, 1989).

El objetivo de la presente nota consiste en ilustrar un caso bien definido de sistema lacustre evaporítico único, el de la formación yesífera del Mioceno inferior de Calatayud, con desarrollo de cuerpo central y anillo marginal parcialmente envolvente. En dicha formación el estudio conjunto de las facies sedimentarias y de la geoquímica (elemental e isotópica) de los sulfatos ayuda a comprender mejor la distribución original de la salinidad en la cuenca.

### Distribución de facies evaporíticas

La formación yesífera de Calatayud (Aragoniense) ocupa el centro de la fosa de este mismo nombre, desarrollándose de un modo elongado entre la Sierra de Armantes, por el NW, y la localidad de Villafeliche, por el SE (fig. 1). Una cartografía parcial de esta formación entre

la ciudad de Calatayud y Villafeliche fue presentada por Collantes y Griffo (1982), y una correlación estratigráfica de la misma entre ambas localidades se ofrece en Ortí (1990). Dicha correlación (fig. 2) muestra la existencia de una unidad yesífera marginal (Yesos de Fuentes), de potencia progresivamente menor hacia el SE hasta desaparecer prácticamente en Villafeliche, la cual pasa lateralmente hacia centro de cuenca a la potente unidad central conocida propiamente como Yesos de Calatayud. El tránsito entre ambas unidades ocurre hacia Morata de Jiloca, habiéndose presentado una columna detallada de dicho tránsito en la nota de Rosell y Ortí (1992). Ambas unidades constituyen un mismo sistema lacustre muy somero.

La unidad *Yesos de Fuentes* presenta fundamentalmente facies de yesos primarios microcristalinos, masivos y bioturbados, con abundantes nódulos de sílice. También presenta, en su mitad inferior, importantes intercalaciones de horizontes diagenéticos de nódulos y meganódulos de anhidrita (en la actualidad rehidratados a yeso secundario). El carácter diagenético muy temprano de la silicificación ha sido discutido en Ortí *et al.* (1991) y Ortí *et al.* (1993). A su vez, el fenómeno de anhidritización

de los yesos microlenticulares bioturbados es muy complejo, habiendo ocurrido tanto de un modo sinsedimentario (anhidritización de sabkha) como en el enterramiento inicial (anhidritización meganodular) (ver discusión en la síntesis de Ortí, 1992).

La unidad *Yesos de Calatayud* ocupa propiamente todo el centro de la cubeta, entre la zona al NW del castillo de esta ciudad y la localidad de Morata, constituyendo una potente serie de más de 200 m, en afloramiento, con facies alternantes laminado-nodulares, en la que pueden distinguirse al menos dos grandes ciclos sedimentarios (corte de Morata, antes referido). En la actualidad, el sulfato está transformado en yeso secundario, habiendo ocurrido en esta unidad una anhidritización sinsedimentaria (de sabkha) muy intensa, que únicamente en algún extremo de la unidad ha permitido la conservación muy parcial de sus facies primarias. Estas últimas están constituídas por láminas de gipsarenitas, lentículas y microselinitas (corte de Morata: Rosell y Ortí, *op.cit.*). Las características de facies y potencias de esta unidad la hacen similar a los Yesos de Zaragoza (Mioceno inferior, cuenca del Ebro), en donde son conocidas intercalaciones halíti-

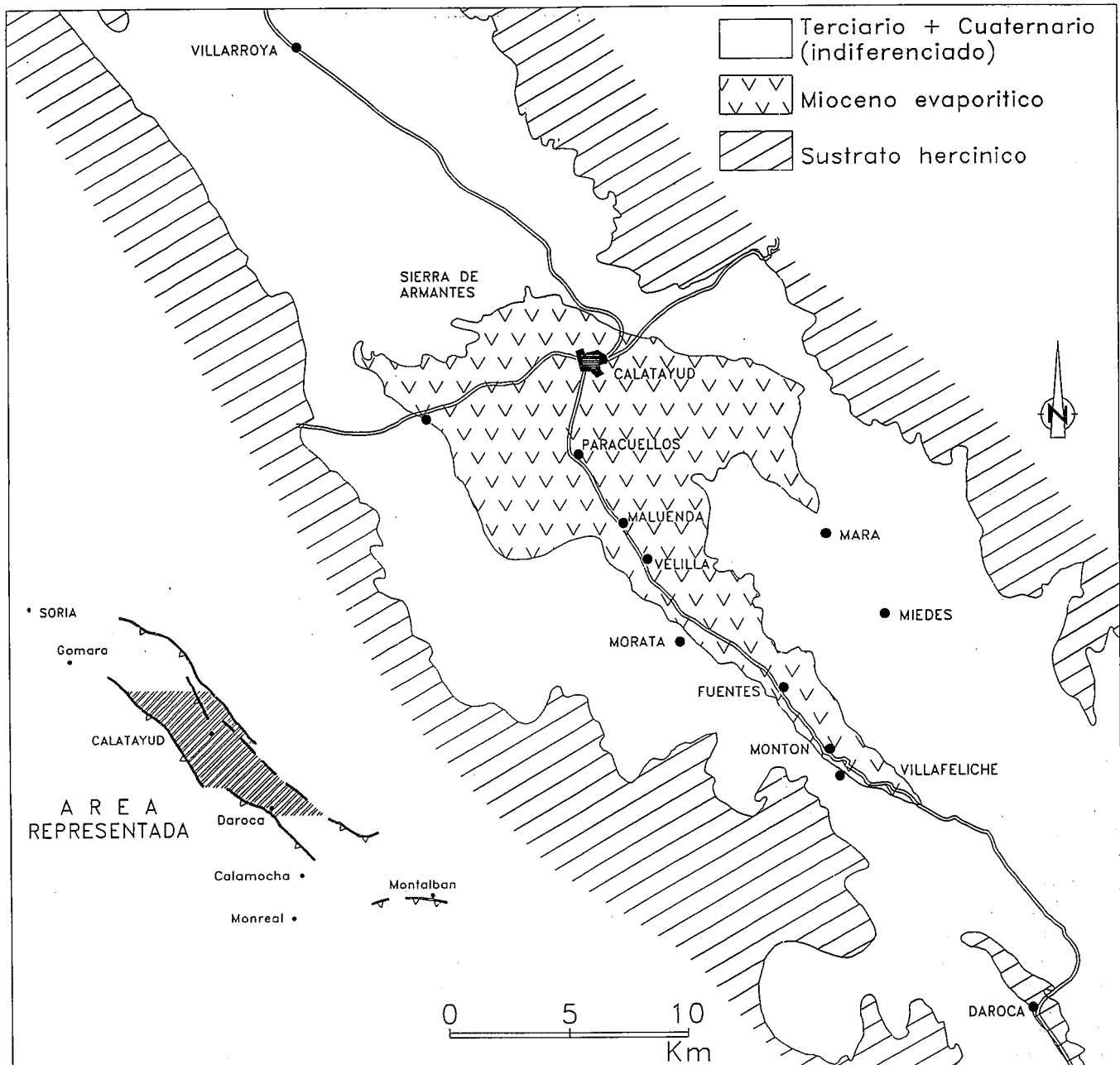


Fig. 1.— Esquema de la zona de afloramiento de la formación evaporítica del Mioceno de Calatayud.

Fig. 1.— Schema of the outcrop zone of the Miocene evaporite formation of Calatayud.

cas y de sulfatos sódicos. Es posible que la ausencia en Calatayud de estas sales solubles en la inmediata subsuperficie se deba, en parte, a la disolución impuesta por el encajamiento de la actual red hidrográfica. Sin embargo, los datos de sondeos antiguos (Paracuellos de Jiloca) marcan la existencia de halita en profundidad, en varios cientos de metros (Marín, 1932). Al igual que ocurre en los Yesos de Zaragoza, no es de descartar en los Yesos de Calatayud la existencia de capas de glauberita en profundidad. Otra característica también

común a ambas unidades centrales es la ausencia de niveles silíceos en sus facies yesíferas laminado-nodulares.

➤ Unos pocos kms al NW del castillo de Calatayud estas facies laminado-nodulares cambian lateralmente de nuevo, en el espacio de pocos cientos de metros, hacia facies de yesos bioturbados, aunque están diagenizados y transformados en yeso secundario. Estos materiales presentan abundantes niveles de sílice. Haremos referencia a ellos como *Yesos de Armantes*. En ellos el yeso microlenticular original se ha perdido

totalmente por anhídritización sinsedimentaria intensa, presentándose abundantes texturas nodulares. Faltan, no obstante, las facies meganodulares desarrolladas en el extremo SE de la formación evaporítica. También en los Yesos de Armantes, como en los Yesos de Fuentes, se aprecia que la silicificación no sólo es diagenética muy temprana sino también anterior a cualquier fase de anhídritización. En la misma Sierra de Armantes estas facies se interdigitan verticalmente con niveles de margas y carbonatos, desapareciendo

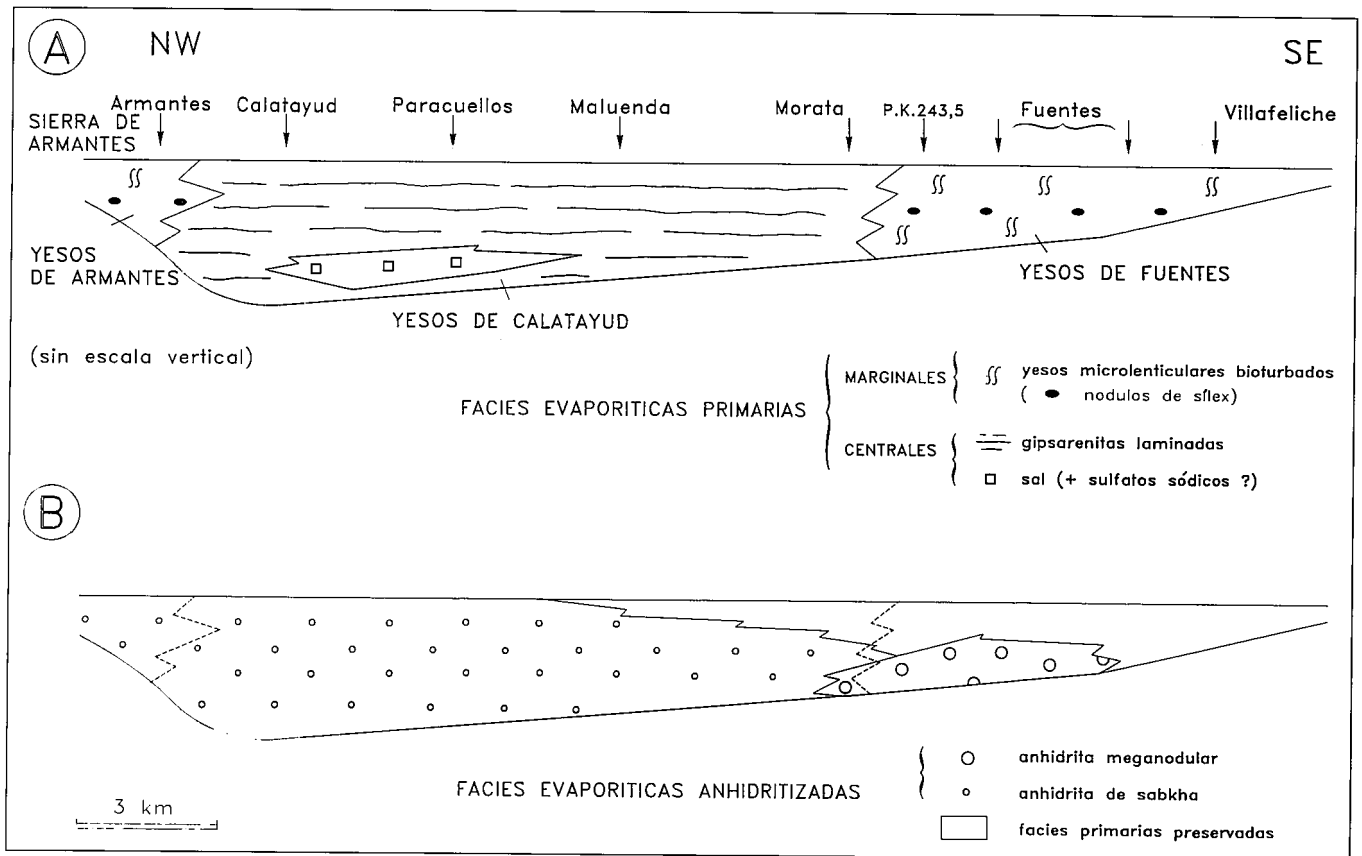


Fig. 2.— A) Esquema de facies deposicionales en un corte longitudinal de la formación evaporítica de Calatayud (sin escala vertical). B) Esquema de facies diagenéticas principales (anhidrita) sobreimpuestas a las deposicionales.

Fig. 2.— A) Schema of depositional facies in a longitudinal section of the evaporite formation of Calatayud (not to a vertical scale). B) Schema of main diagenetic facies (anhidrite) modifying the depositional facies.

bajo la mesa carbonatada que constituye este relieve.

La figura 2A sintetiza el dispositivo que se acaba de describir, y que muestra cierta asimetría en el sentido longitudinal. En él se aprecia que en los extremos NW y SE del cuerpo evaporítico elongado se repiten unas facies deposicionales de borde bien definidas y ya conocidas en otras cuencas terciarias (yesos microlenticulares bioturbados con siflex), aunque de desigual desarrollo, ya que son muy amplias en el extremo SE (Yesos de Fuentes, con una anchura estimable en unos 10 kms) mientras que en el NW parecen constituir una franja muy estrecha (Yesos de Armantes, con una anchura estimable en unos 2 kms). Los reconocimientos realizados hasta el momento a ambos lados del cuerpo central elongado, tanto a lo largo del margen NE como del SW, no permiten apreciar que estas facies marginales encierren anularmente a las facies laminado-nodulares centrales, quedando limitadas aparentemente a los polos NW y SE del dispositivo evaporítico. Los as-

pectos diagenéticos principales ocurridos en este dispositivo se resumen en la figura 2B.

#### Procesos diagenéticos y contenidos elementales de los sulfatos

Una descripción sucinta de las facies primarias y diagenéticas de los sulfatos se ofrece en la nota de Rosell y Ortí (1992), en la que se toma como referencia el corte de Morata de Jiloca. En ella se hace también referencia a la complejidad de los procesos diagenéticos ocurridos en el borde SE de la formación evaporítica, en el tránsito entre los Yesos de Fuentes y los Yesos de Calatayud.

El estudio de los contenidos elementales (Sr, Na, Mg, K) en 32 muestras de yeso permite diferenciar tres grandes grupos de facies yesíferas, dos de ellas deposicionales y una tercera diagenética. Basándose principalmente en los contenidos de Sr, se distingue entre:

a) facies deposicionales primarias (gipsarenitas laminadas y yesos micro-

lenticulares bioturbados), con valores relativamente altos entre 829 y 1457 ppm; los valores máximos corresponden a las gipsarenitas, reflejando ello la mayor concentración de las aguas en el cuerpo central de facies laminadas;

b) facies deposicionales intersticiales (macrolenticulas, nódulos de yeso primario, cemento de yeso poiquilítico), con valores relativamente bajos entre 60 y 159 ppm;

c) el grupo de los yesos secundarios, con valores intermedios entre los dos grupos anteriores, entre 257 y 622 ppm; las muestras analizadas proceden del reemplazamiento de facies del grupo a), y muestran una pérdida importante en Sr.

Aunque los contenidos elementales de los sulfatos son de gran interés como indicadores geoquímicos, la aplicación sistemática de esta metodología en la formación evaporítica de Calatayud encuentra la dificultad de que al NW del corte de Morata todo el yeso es secundario, y sus contenidos elementales están condicionados por haber sufrido el ciclo diagenético completo del sulfato cálcico.

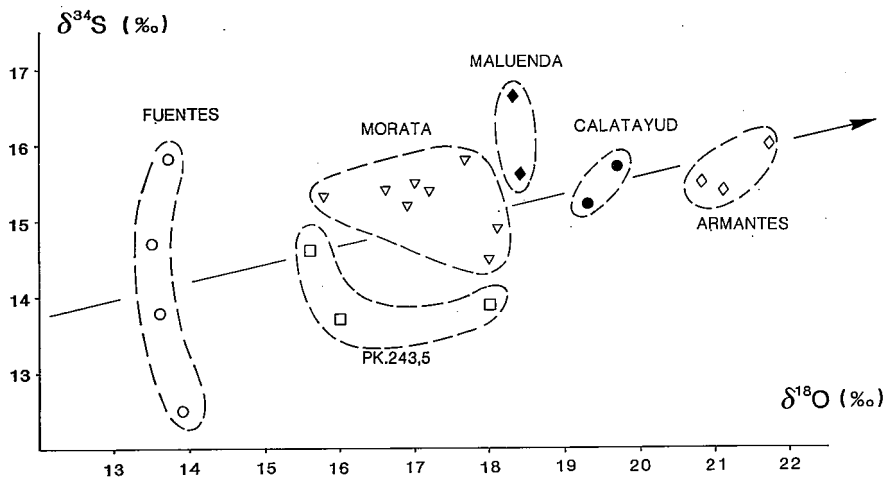


Fig. 3.— Diagrama  $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^{34}\text{S}$  de muestras de yesos de la formación evaporítica de Calatayud.

Fig. 3.—  $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^{34}\text{S}$  diagram of gypsum samples of the evaporite formation of Calatayud.

### Composición isotópica de los sulfatos

En las formaciones evaporíticas de las cuencas continentales también la composición isotópica de los sulfatos puede utilizarse como indicador paleohidrológico y paleoambiental (Pierre, 1982).

En la formación evaporítica de Calatayud los primeros datos isotópicos de sulfatos (fase sólida) se deben a Utrilla (1989), quien reconoce en ellos un origen por reciclaje a partir de los sulfatos triásicos, al tiempo que señala la existencia de un gradiente de concentración en la cuenca en función del contenido en  $\delta^{18}\text{O}$ : con valores relativamente bajos (entre 13,5 y 13,9 ‰) en la zona marginal de Fuentes, y relativamente altos (entre 18,3 y 19,7 ‰) en la zona más central de Maluenda-Calatayud.

Para la presente nota se ha ampliado este estudio hasta completar un perfil isotópico realizado con muestras pertenecientes a 6 columnas estratigráficas levantadas entre Sierra de Armantes y Fuentes de Jiloca. Los resultados obtenidos confirman la procedencia triásica del ión sulfato. La fig. 3 recoge la totalidad de valores de que disponemos.

Podemos observar, por una parte, un incremento de los valores de  $\delta^{18}\text{O}$  y de  $\delta^{34}\text{S}$  respecto de los valores de los sulfatos triásicos (valores medios de 11,8 ‰ para el  $^{18}\text{O}$  y de 13,5 ‰ para el  $^{34}\text{S}$ ; Utrilla, op. cit.). La tendencia que sigue este enriquecimiento se ha marcado con una línea en la fig. 3. Por otra parte, puede observarse que el enriquecimiento en  $^{18}\text{O}$  se traduce en una ordenación creciente casi perfecta de los

valores, desde las muestras correspondientes a las columnas de borde (Fuentes) hasta las de centro de cuenca (Calatayud, Maluenda).

Este hecho contrasta con lo observado en las grandes formaciones evaporíticas del Terciario de la cuenca del Ebro donde, entre los sistemas marginales y los sistemas centrales, existe un enriquecimiento en oxígeno-18 (similar a lo que parece ocurrir en el Mioceno de Calatayud) y un empobrecimiento en azufre-34 (Utrilla *et al.*, 1991; Utrilla *et al.*, 1992).

Todo ello hace pensar que, en el caso de la cuenca de Calatayud, durante el reciclaje del ión sulfato triásico intervienen una serie de procesos que provocan un enriquecimiento en isótopos pesados, en general, hacia centro de cuenca. Tal enriquecimiento podría explicarse a partir de un reciclaje parcial del sulfato sedimentado en las zonas de borde de cuenca hacia zonas más centrales, durante episodios de dilución, debido al fraccionamiento que se produce durante la disolución-cristalización del sulfato cálcico y que implica un enriquecimiento en isótopos pesados en el precipitado respecto al sulfato disuelto.

Otro factor que podría explicar la marcada gradación de valores de  $\delta^{18}\text{O}$  sería la existencia de actividad sulfato-reductora en las aguas que provoca la reducción y posterior oxidación del ión sulfato (Pierre, 1982). En este caso, el enriquecimiento en  $^{18}\text{O}$  hacia centro de cuenca reflejaría la existencia de aguas progresivamente más evaporadas en esta dirección, tal como sugería Utrilla (1989).

Por lo que respecta a los altos valores de  $\delta^{18}\text{O}$  obtenidos en muestras de la columna de Sierra de Armantes, pertenecientes al cinturón marginal NW (totalmente diagenizado en ambiente sinsedimentario como se ha visto), puede pensarse que la anhidritización tiene lugar aquí en presencia de salmueras intersticiales de alta concentración cuyo sulfato disuelto ha podido incorporar parcialmente la anhidrita.

En su conjunto, este perfil isotópico revela una cierta distribución asimétrica de la salinidad, con la zona de mayor concentración desplazada hacia el extremo NW de los Yesos de Calatayud (columna del castillo de Calatayud), generador de salmueras intersticiales muy concentradas que han podido afectar al estrecho cinturón marginal de Sierra de Armantes, muy próximo a dicha zona. Tal dispositivo evaporítico se muestra como una variante del modelo concéntrico (*bull's eye*).

### Agradecimientos

Trabajo realizado en el marco del proyecto DGICYT PB90-0485.

### Referencias

- Collantes, L.P. y Griffo, J.L. (1982): *Tecniterrae*, 8 (6): 53-63.
- Marín, A. (1932): *Boletín de sondeos*, t.3, fasc.1: 29-99.
- Ortí, F. (1990): *Formaciones evaporíticas de la Cuenca del Ebro y cadenas periféricas, y de la zona de Levante* (F.Ortí y J.M. Salvany, Eds.). ENRESA-Univ. Barcelona: 178-180.
- Ortí, F. (1992): *III Congr. Geol. España*, Salamanca 1992, Simposios, t.I: 118-127.
- Ortí, F., Salvany, J.M., Rosell, L. y Inglès, M. (1989): *Geogaceta*, 6: 103-104.
- Ortí, F., Rosell, L., Fallick, A., Inglès, M. y Salvany, J.M. (1991): *VI Flint Symposium*, Madrid 1991, Abstracts: 34-37.
- Ortí, F., Rosell, L., Salvany, J.M. y Inglès, M. (1993): *Siliceous Rocks and Culture* (A. Ramos, Ed.). Univ. Granada-C.S.I.C., 14 págs. (en prensa).
- Pierre, C. (1982): *Thèse. Docteur d'Etat*. Université Paris-Sud, Orsay, 266 p.
- Rosell, L. y Ortí, F. (1992): *IGCP-324 GLOPALS, Annual Meeting*, Madrid 1992, Abstracts: 39-41.
- Utrilla, R. (1989): Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona, 276 p.
- Utrilla, R., Ortí, F., Pierre, C. y Pueyo, J.J. (1991): *Rev. Soc. Geol. España*, 4 (3-4): 353-360.
- Utrilla, R., Pierre, C., Ortí, F. y Pueyo, J.J. (1992): *Chem. Geol. (Isotope Geo-science Section)*, 102: 229-244.