

# Silicificaciones de calizas oolíticas del Dogger en el Subbético Interno oriental: ¿silcretas freáticas?

*Silicifications of Dogger oolitic limestones in the Eastern Internal Subbetic: ¿Freatic silcretas?*

M.A. Bustillo (\*), J. Rey (\*\*), A. Delgado (\*\*\*) y P.A. Ruiz-Ortiz (\*\*\*\*)

(\*) Museo Nacional de Ciencias Naturales. CSIC. C/ José Gutiérrez Abascal, 2, 28006-MADRID.

(\*\*) Dpto. de Geología, Universidad de Jaén, E. U. Politécnica de Linares, 23700- LINARES (Jaén)

(\*\*\*) Estación Experimental del Zaidín. CSIC. Paseo Albareda, 1, 18008-GRANADA

(\*\*\*\*) Dpto. de Geología, Universidad de Jaén, Facultad de Ciencias Experimentales, 23071-JAEN

## ABSTRACT

*Cherts occurring in oolitic limestones of the Dogger in the Internal Subbetic, are studied for the first time. Two genetic hypothesis are considered from the interpretation of the stratigraphic, petrological and geochemical data. The one first considers that the silicification took place in relation with continental groundwater, in the Middle to Late Jurassic transition, forming silcretas. The second one, shows the silicification as generated from marine waters in diagenetic environments at relatively higher temperatures, during Late Jurassic-Early Cretaceous times.*

**Key words:** silicification, oolite, Dogger, silcrete, stable isotopes.

*Geogaceta*, 20 (3) (1996), 639-642

ISSN: 0213683X

## Introducción

Se estudian las silicificaciones que afectan a las calizas oolíticas del Dogger (Fm. Camarena) en el Subbético Interno de la transversal de Vélez-Rubio, en el límite de las provincias de Murcia y Almería. Los primeros trabajos geológicos realizados en la región (Fig. 1A) se enfocaron principalmente a la identificación y definición de un conjunto de unidades estratigráficas (ver p.ej. Geel, 1973; Baena *et al.*, 1977; entre otros). Estudios posteriores (Rey, 1993) pusieron de manifiesto los importantes cambios laterales de facies así como sus implicaciones sedimentológicas y paleogeográficas. No obstante, las silicificaciones que afectan a las facies del Dogger no habían sido analizadas; tan sólo Baena *et al.* (1977) las citan y Rey (1993) las describe de forma somera sin entrar en consideración genética alguna. El presente trabajo introduce diferentes consideraciones acerca del ambiente de formación de las silicificaciones citadas, a partir de los datos estratigráficos, petrológicos y geoquímicos obtenidos.

## Estratigrafía. Posición de las silicificaciones

En este apartado se esbozan las características estratigráficas de la región y se presta especial atención a aquellas litologías en las que aparecen ubicadas las silicificacio-

nes (Figs. 1A y B). Sobre las calizas del Lías pre-Domeriense (Fm. Gavilán) (Fig. 1B), se instala directamente el Dogger, que se caracteriza por la presencia de una potente secuencia de calizas oolíticas (Fm. Camarena). Esta formación ha sido interpretada, tanto en el estratotipo (Molina, 1987) como en esta región (Rey, 1993), como típica de plataformas carbonáticas someras y abiertas. En la parte alta de la formación, en algunos sectores (p.ej. Rambla Seca) (Fig. 1A), se produce un cambio litológico brusco: sobre una superficie de discontinuidad, localmente erosiva y/o basculada, se disponen facies más margosas ricas en filamentos y peloides (Fig. 1B). Será precisamente en las calizas oolíticas, justo por debajo de este cambio litológico, donde se localicen las silicificaciones, sustituyendo parcialmente al carbonato de la roca.

Durante el Malm, las facies, siempre pelágicas, son bien distintas en los diferentes sectores. Así, en la sierra del Almirez y en la sierra del Pericay (Fig. 1A), existe una laguna estratigráfica que abarca desde el Calloviense al Kimmeridgiense, y el Tithónico, constituido por calizas nodulosas aparece directamente sobre la Fm. Camarena, fosilizando una geometría irregular (Fig. 1B). Por el contrario, en los sectores con silicificaciones (p.ej. Rambla Seca) (Fig. 1A) existe un registro, posiblemente continuo, de margas y calizas radiolaríticas, de edad Oxfordiense-Kimmeridgiense, que alcanza los cien metros de espesor, sobre las

que se depositaron calizas nodulosas margosas durante el Tithónico, con no más de cinco metros de potencia (Fig. 1B).

El Cretácico inferior es de facies pelágicas, con espesores máximos que pueden alcanzar los 400 metros y con intercalaciones de turbiditas oolíticas a partir del Barremiense terminal; en estas turbiditas se han encontrado cantos procedentes de la erosión de las calizas oolíticas silicificadas estudiadas en este trabajo.

## Petrología

La formación Camarena está constituida por facies bastante uniformes de grains-tones oolíticos, en los que pueden aparecer otros aloquímicos asociados. Las escasas variaciones laterales y verticales de facies se definen en función de la relativa abundancia de estos aloquímicos. El cemento suele ser de dos tipos diferentes: acicular, que se dispone alrededor de los aloquímicos, y en mosaico

Las silicificaciones han llegado a formar masas lenticulares, de tonos marrones y rojo vinoso, que aunque tienden a adaptarse a la estratificación, localmente la cortan. Pueden llegar a alcanzar tres metros de espesor y su continuidad lateral es escasa, generalmente inferior a 10 m. En su aspecto exterior destaca, frecuentemente, la presencia de concavidades alargadas en sentido vertical que en conjunto le confieren una apariencia columnar.

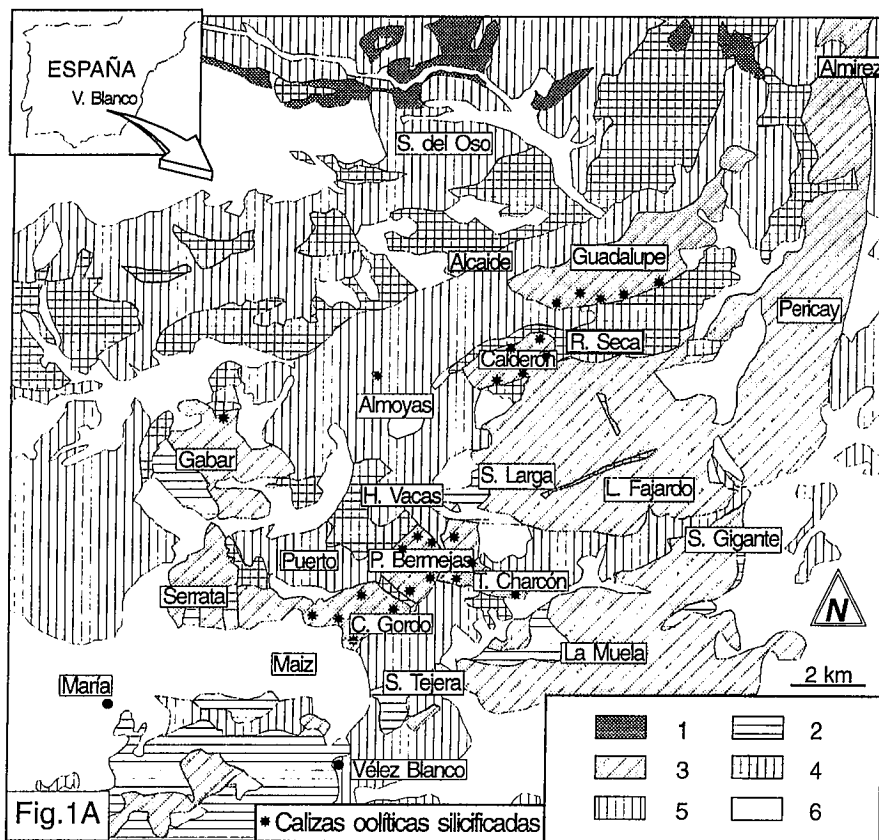


Fig.1.- A.- Localización geográfica y esquema geológico del sector estudiado. Leyenda: 1.- Facies Keuper (Triás). 2.- Calizas de la Fm. Gavilán (Lías infra-Domeriense). 3.- Calizas oolíticas de la Fm. Camarena (Dogger) y localmente calizas margosas y calizas nodulosas (Malm). 4.- Alternancia de margas y margocalizas (Fm. Carretero), y margas, a veces con facies turbidíticas (Fm. Fardes) (Cretácico inferior). 5.- Margas, margocalizas y facies detríticas (Cretácico superior y Terciario pre-orogénico). 6.- Terciario sin y post-orogénico y Cuaternario.

Fig.1.- A.- Geographic position and geological map of the studied area. Key: 1.- Keuper facies (Triassic). 2.- Limestones of the Gavilán Fm. (infra-Domerian Liassic). 3.- Oolite limestones of the Camarena Fm. (Dogger), and locally, marly limestones and nodular limestones (Malm). 4.- Alternating marls and marly limestones (Carretero Fm.), and marls, locally with turbiditic facies (Fm. Fardes) (Lower Cretaceous). 5.- Marls, marly limestones and detrital facies (Upper Cretaceous and pre-orogenic Tertiary). 6.- Sin and post-orogenic Tertiary, and Quaternary.

Al microscopio se observa que las rocas silíceas están constituidas fundamentalmente por megacuarcos (tamaño de cristal entre 20 y 220µ), que en algunos casos reflejan en su interior las sucesivas etapas de crecimiento con bordes idiomorfos. Todo esto indicaría una silicificación muy lenta con disoluciones poco saturadas en sílice y a su vez pobres en otros cationes (Millot, 1970). Localmente, y en proporciones muy pequeñas, se observan texturas fibrosas (calcedonita) y cuarzo micro- o criptocristalino. Los tonos rojizos de las masas de sílice se deben a la presencia de óxidos de Fe que aparecen mayoritariamente en el borde de los oolitos y sólo ocasionalmente entre los megacristales de cuarzo. La parte fundamental afectada por la silicificación es la que originalmente fue el cemento de la roca. Los aloquímicos o

no se encuentran silicificados o sólo lo están parcialmente.

**Composición isotópica**

Se han analizado, por separado, el <sup>18</sup>O y <sup>13</sup>C de la calcita y el <sup>18</sup>O del cuarzo. En la calcita, los valores de <sup>18</sup>O (entre -1,49 y +0,99; respecto al PDB) y <sup>13</sup>C (entre +1,15 y +2,53; respecto al PDB), indican un equilibrio con aguas marinas a temperatura ambiental. Los valores del <sup>18</sup>O del cuarzo presentan por el contrario una mayor dispersión y varían entre +29,1 ‰ y +35,6 (V-SMOW). Estos valores son inferiores a lo que cabría esperar para sílice precipitada a partir de agua marina, lo que podría deberse a temperaturas superiores a las ambientales o a la intervención de aguas meteóricas.

En la Figura 2 se relaciona la composición isotópica de las rocas silíceas estudiadas con los posibles ambientes y/o temperaturas a las que pudo haberse producido la silicificación. Los fluidos diagenéticos en ambientes marinos tienen valores <sup>18</sup>O próximos al de las aguas oceánicas. Shakleton y Kennet (1975) atribuyen a las aguas marinas jurásicas valores en torno a -1‰. No obstante, en medios diagenéticos carbonáticos, donde las razones roca/agua son relativamente altas, el agua de los poros puede estar enriquecida en 1 o 2 unidades por mil (Lawrence *et al.*, 1977); por ello, en la elaboración de la Figura 2 se ha considerado como rango más probable el comprendido entre -1‰ y +1‰. La génesis en este medio diagenético se habría dado, por tanto, a temperaturas comprendidas entre los 20°C y 55°C (ver área sombreada SM, Fig. 2). Una segunda hipótesis es considerar un origen a temperaturas superficiales (entre 15 y 20°C), para lo cual, de acuerdo con la Fig. 2, se necesitarían aguas con valores comprendidos entre -2‰ y -8‰ (área sombreada SF, Fig. 2). Estos valores relativamente empobrecidos en <sup>18</sup>O son típicos de aguas meteóricas, y asimismo, su gran dispersión es acorde con la de este tipo de aguas. Los efectos estacionales, la procedencia de las masas nubosas, la temperatura, cantidad de precipitación, evaporaciones, etc., favorecen la variabilidad en la composición isotópica de las aguas meteóricas frente a la gran regularidad de las marinas.

Se ha analizado también la composición isotópica de los niveles radiolaríticos, encontrándose valores de <sup>18</sup>O comprendidos entre +36‰ y +37‰ (área sombreada R, Fig. 2). Estos valores son claros referentes de sílice originada a partir de aguas marinas a temperaturas ambientales.

**Discusión y Conclusiones**

Del análisis de los datos isotópicos se deduce que las rocas silíceas se habrían originado, bien a partir de aguas meteóricas a temperaturas comprendidas entre 15 y 20 °C, y por tanto se podrían interpretar como silcretas, o bien en ambientes diagenéticos mediante la intervención de aguas marinas a temperaturas entre 20 y 55°C. En cualquier caso, su formación habría tenido lugar antes del Aptiense, ya que aparecen como clastos en turbiditas de esta edad.

Existen aspectos estratigráficos, sedimentológicos y petrológicos que apuntan hacia la primera de estas alternativas. Concretamente, el ambiente de plataforma somera en el que se depositaron las calizas oolíticas facilitaría su emersión a favor de procesos alocíclicos o autocíclicos. Por

ejemplo Friedman (1994), describe parasecuencias de calizas oolíticas que terminan con emersión y formación de silcretas. De ser así, las características petrológicas de las silicificaciones estarían de acuerdo más con un ambiente de tipo freático que de tipo edáfico, puesto que se conservan las estructuras de la roca caja y no se observan registros paleoedáficos como estructuras de iluviación o bioturbaciones (Thiry y Milnes, 1991).

La formación de silcretas no necesita intervalos de tiempo muy grandes; son suficientes períodos de, p.ej., unos 100.000 años (Meyer y Pena dos Reis, 1985). La superficie de discontinuidad existente en el techo de las facies oolíticas, en su contacto con las facies de filamentos, en relación con la cual afloran las silicificaciones, y a la que se asocian algunos rasgos erosivos y cierto basculamiento, representa, muy probablemente, intervalos de tiempo superiores.

La fuente de la sílice es incierta. Se piensa en sílice biogénica, pero no han aparecido restos de organismos silíceos en las muestras estudiadas. Sin embargo, la ausencia de evidencias acerca de la fuente de la sílice no es extraña en silicificaciones freáticas y, además, la cantidad de sílice necesaria para producir megacuarcos es muy pequeña (14 p.p.m., como máximo, Arbey, 1980). No obstante, la presencia de facies ricas en sílice (calizas y margas radiolaríticas, del Calloviense-Kimmeridgiense) en las mismas series estratigráficas en las que aparecen las rocas silíceas, y la estrecha asociación espacial entre ambas, de modo que cuando no existe una no existe la otra (p.ej. serie del Almirez), nos llevan a considerar otra hipótesis alternativa que es asimismo propiciada por los resultados de los análisis isotópicos realizados.

En esta segunda hipótesis alternativa, la fuente de la sílice serían las facies radiolaríticas, por lo que la edad de la silicificación habría que situarla entre el Kimmeridgiense, final del depósito de dichas facies, y el Aptiense, como se expresó anteriormente. La silicificación se habría originado por la actuación de aguas marinas, a temperaturas entre 20 y 55 °C. Estimando una profundidad de enterramiento del techo de las facies oolíticas entre 400 y 500 m para el Aptiense, y asumiendo temperaturas superficiales de entre 10 y 20 °C, serían necesarios gradientes geotérmicos de entre 40 °C/km y 100 °C/km para alcanzar una T<sup>m</sup> de 40-50 °C. Gradientes como los considerados, superiores a la media (30 °C/km), podrían estar relacionados con la circulación de aguas termales por antiguas fracturas. La presencia de paleofracturas, tanto en el Malm como en el Aptiense (Aguado *et al.*, 1991; Rey, 1993), la asociación espacial entre las silicificaciones y los afloramientos de facies radiola-

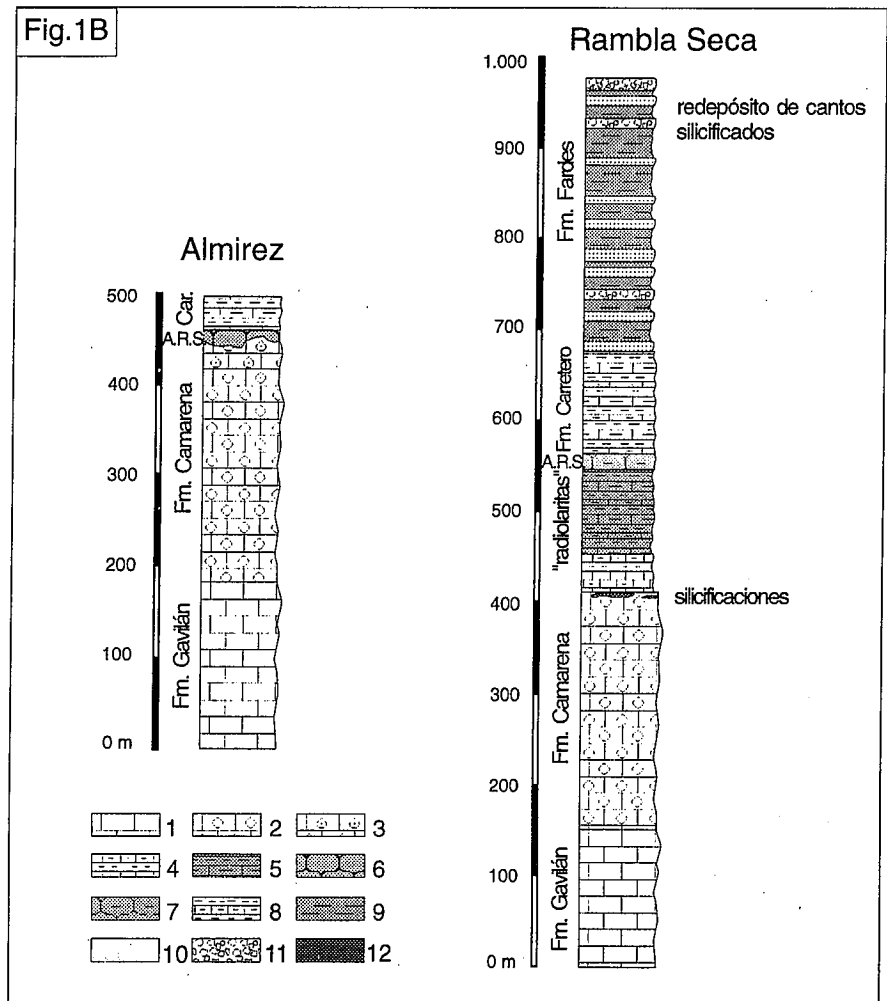


Fig.1.B.- Columnas estratigráficas sintéticas en las que se observan los cambios laterales de facies en la región. Ver situación geográfica y geológica en fig. 1A. Leyenda: 1.- Calizas. 2.- Calizas oolíticas. 3.- Crinoidita. 4.- Alternancia de calizas de «filamentos» y peloides, y margas. 5.- Calizas ricas en radiolarios y margas. 6.- Calizas nodulosas. 7.- Margocalizas nodulosas. 8.- Alternancia de margas y margocalizas. 9.- Margas oscuras. 10.- Calcarenitas. 11.- Brechas. 12.- Silicificaciones

Fig.1.- B.- Stratigraphic synthetic sections showing lateral variations of facies in the studied region. For location see fig. 1A. Key: 1.- Limestones. 2.- Oolite limestones. 3.- Crinoidal limestones. 4.- Alternating «filament» and peloidal limestones, and marls. 5.- Alternating radiolaritic marls and limestones. 6.- Nodular limestones. 7.- Nodular marly limestones. 8.- Alternating marls and marly limestones. 9.- Dark marls. 10.- Calcarenites. 11.- Breccias. 12.- Silicifications.

ríticas, así como la distribución regional de facies apoyarían esta segunda hipótesis.

**Agradecimientos**

Este trabajo se ha realizado en el marco de los proyectos de investigación PB92/0069 y PB93-1150-C02-02 de la CICYT, y del Grupo de Investigación 4135 de la Junta de Andalucía. Representa, asimismo, una contribución al proyecto 317 "Paleoalteraciones y Paleosuperficies" del PICG. Aentidades y organismos, nuestro reconocimiento.

**Referencias**

Aguado, R.; O'Dogherty, L.; Rey, J. y Vera, J.A. (1991): *Rev. Soc. Geol. España*, 4, 271-304.  
 Arbey, F. (1980). *Bull. Cent. Rech. Explor. Prod. Elf-Aquit.*, 4:309-365.  
 Baena, J.; Torres, J.; Geel, T.; y Roep, T.B. (1977): *Hoja 952 (Vélez-Blanco)*, del *Mapa Geológico (1:50.000)*, Plan Magna, I.G.M.E., 42 p.  
 Clayton, R.N. O'Neil, J.R y Mayeda, T.K. (1972). *J. Geophys. Res.* 77:3057-3067.

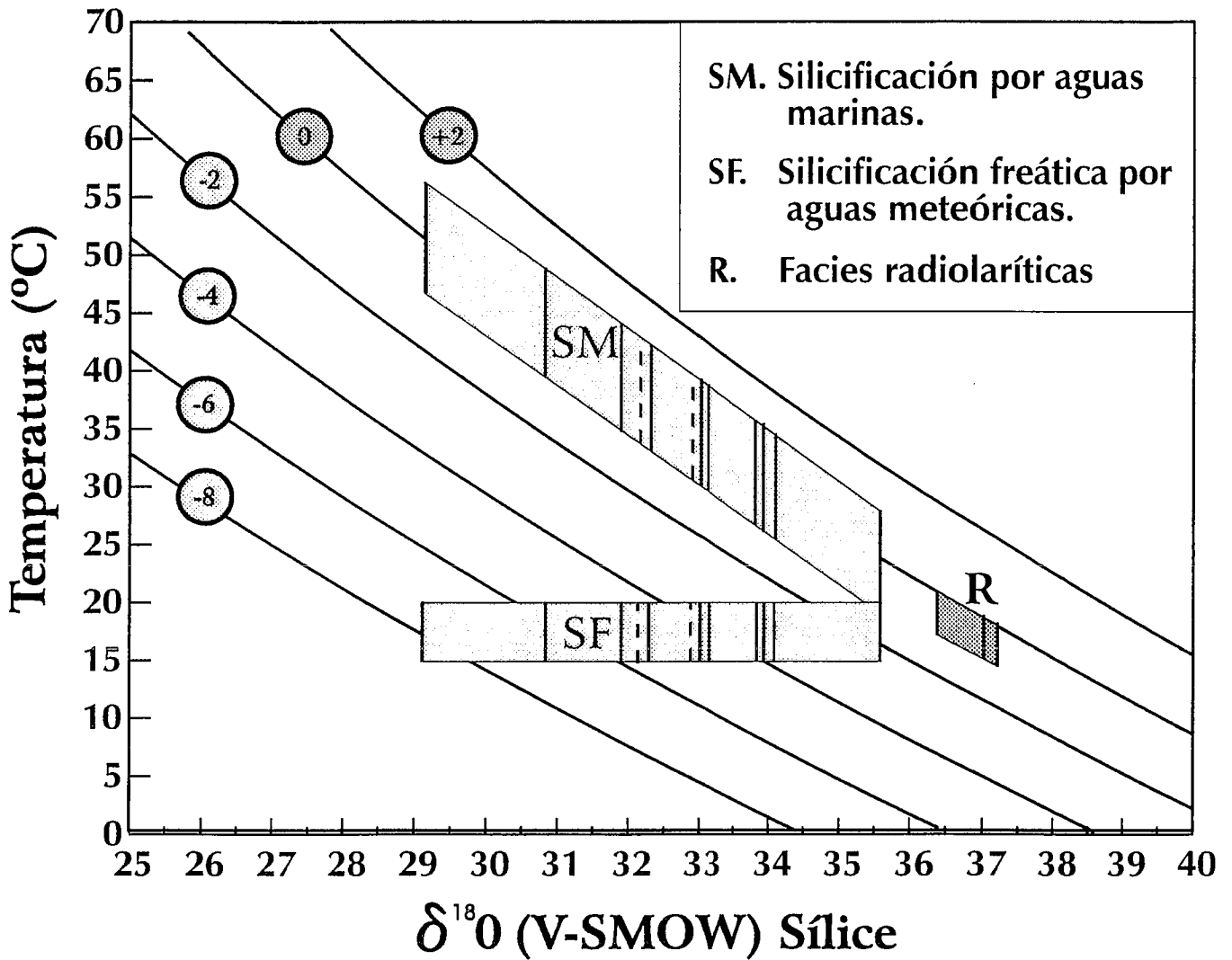


Fig. 2.- Las curvas representan la composición isotópica ( $^{18}\text{O}$ ) de la sílice en equilibrio con aguas a diferentes temperaturas y valores de  $^{18}\text{O}$  comprendidos entre +2‰ y -8‰. Las temperaturas se han calculado mediante la ecuación de Clayton et al. (1972). Las líneas verticales indican la composición isotópica de las muestras estudiadas (en trazos discontinuos, muestras tomadas de cantos de turbiditas de edad Aptiense).

Fig. 2.- The curves represent the isotopic composition ( $^{18}\text{O}$ ) of the silica in equilibrium with water at different temperatures and values of  $^{18}\text{O}$  ranging from +2‰ y -8‰. The temperatures have been calculated according to the equation of Clayton et al. (1972). The vertical lines show the isotopic composition of the studied samples (dashed lines represent samples from turbidite clasts of Aptian age).

Friedman G.M. (1994). *Earth-Sci. Reviews* 37: 135-137.  
 Geel, T. (1973): *GUA Papers Geol.*, 5, 131 p.  
 Lawrence, J.R., Gieskes, J. and Anderson, T.F. (1977) *Initial Reports of the Sea Drilling Project*. 35:507-512.  
 Meyer, R. y Rui B. Pena Dos Reis (1985).

*Jour. Sed. Petrol.*, 55: 76-85.  
 Millot, G. (1970). *Geology of Clays Springer-Verlag*, 429 p.  
 Molina, J. (1987): *Tesis Doct., Univ. de Granada*, 512 p.  
 Rey, J (1993): *Tesis Doc., Univ. de Granada*, 460 p.

Thiry, M. y Milnes, A.R. (1991). *Jour. Sed. Petrol.*, 61:111-127.  
 Shackleton, N.J. y Kenett, J. (1975) *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, 29:743-755.