

UNA NUEVA ULTRAESTRUCTURA DE OPALO CT EN SILCRETAS. POSIBLE INDICADOR DE INFLUENCIA BACTERIANA

M.^a A. Bustillo *

RESUMEN

Un estudio mediante MEB de silcretas miocenas opalinas formadas por silicificación de playas en un ambiente de «playa-lake» pone de manifiesto la existencia de una nueva microestructura de ópalo CT. Esta microestructura denominada en general fibrosa, se manifiesta por la presencia de multitud de fibras, filamentos o varillas formadas por la alineación de microesferas o microhemisferas que presentan un diámetro entre 0,1 y 0,2 μ . Las fibras, filamentos o varillas tienen formas variables: rectas, curvadas, onduladas y «en horquilla», y presentan longitudes de hasta 10 μ , aunque podrían existir longitudes mayores. La disposición organizada de las microesferas en filamentos o fibras, constituyendo la masa general del ópalo, y su parecido con microestructuras opalinas que han sido formadas por influencia bacteriana, hacen considerar esta hipótesis, aunque no se puede descartar totalmente un origen inorgánico por silicificación de sepiolita.

Palabras clave: *Microesferas, fibras, Opalo CT, bacterias, silcretas.*

ABSTRACT

Electron microscope observations of opaline silcrettes found in the playa of a miocene shallow lake reveal new opal CT microstructures. These microstructures are made up of fibres, filaments or rods, which are formed, in turn by coalesced microspheres or micro-hemispheres (0,1-0,2 μ diameter). They are up to 10 μ in length although larger ones could exist. They are straight, bent, wavy or even hairpin shaped. These microstructures comprise part of the opaline mass of the silcrettes and are very similar to both neogenic opaline structures which are formed by bacterial influence and to silicified biofilms. Therefore microbial mediation could exist in the genesis of this opal CT, although a possible inorganic origin by silicification of sepiolite is also considered.

Key words: *Microspheres, fibres, Opal CT, bacterial, silcrettes.*

Introducción

Las silcretas son encostramientos silíceos formados cerca de la superficie por procesos de precipitación de sílice en huecos o por reemplazamientos de materiales preexistentes. Las características composicionales, texturales y microestructurales de las silcretas son muy variables pues influyen en ellas una gran variedad de factores entre los que cabe destacar: a) La gran diversidad de rocas caja sobre las que se puede producir el encostramiento, las cuales condicionan las fases resultantes de una silicificación simplemente por su propia composición mineralógica (Millot, 1964). b) El ambiente superficial de formación, que es un ámbito geológico suscepti-

ble de cambios rápidos. Los cambios climáticos o hidrogeológicos afectan directamente a las silcretas en constitución (Summerfield, 1983; Thiry y Milnes, 1990; Armenteros *et al.*, 1995). c) La participación de una actividad orgánica, ya que ciertos tipos de encostramientos silíceos se realizan sobre suelos (Wilding *et al.*, 1977; Chadwick *et al.*, 1987a). d) Edad de formación de las silcretas. Mientras que en las silcretas pre-terciarias la mineralogía es muy simple porque el cuarzo suele ser la fase silícea predominante, en las cenozoicas puede existir cualquiera de las fases de la sílice de ambiente sedimentario (ópalo A, ópalo C, ópalo CT y cuarzo (Chadwick *et al.*, 1987b).

De acuerdo con lo anteriormente expuesto se

* Departamento de Geología. Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC). José Gutiérrez Abascal, 2. 28006 Madrid.

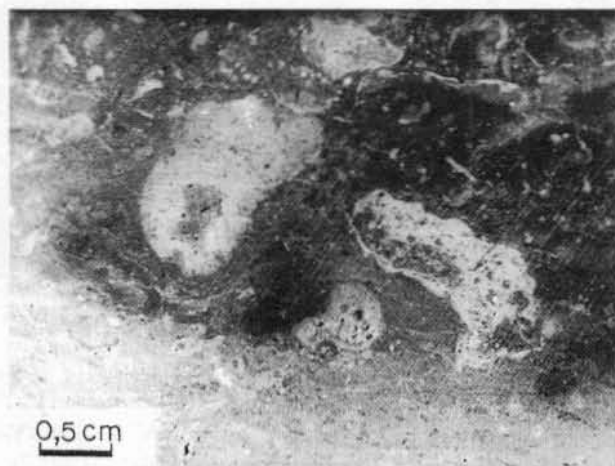


Fig. 1.—Silcreta opalina con estructuras de bioturbación. Constituye la parte B de las secuencias de somerización.

deduce que aunque el estudio de silcretas se ha desarrollado notablemente en las dos últimas décadas, todavía existen muchas características texturales, mineralógicas o petrológicas que no han sido descritas ni interpretadas, debido a su complejidad. En este sentido, un estudio rutinario realizado mediante MEB, en diferentes niveles de silcretas opalinas cerca de Madrid (Vicálvaro) ha puesto de manifiesto la existencia de nuevas microestructuras en el ópalo CT, discutiéndose en el presente trabajo su posible génesis por influencia bacteriana al observar su gran parecido con las descritas por Monty *et al.* (1991) y Westall y Rincé (1994).

Materiales y métodos

Las silcretas analizadas en el presente estudio provienen de una sección litológica miocena (Aragoniense), próxima a Vicálvaro (Cuenca de Madrid). En ella se observan cuatro secuencias rítmicas ópalo-arcillosas que han sido interpretadas como perfiles de silcretas en zonas de borde de lago (Bustillo y Capitán, 1990) y formadas bajo clima árido (Bustillo y Bustillo, 1993). La secuencia tipo, presenta una base arcillosa (tramo A), que pasa progresivamente a un techo donde predomina el encostramiento silíceo (tramo B) (fig. 4; Bustillo y Capitán, 1990). Las muestras correspondientes a los tramos B (silcretas) son complejas, diferenciándose a simple vista estructuras globulares, micronódulos (desde pocos milímetros a 2 cm) más silíceos y bioturbaciones (fig. 1).

Las arcillas masivas de la parte A, están formadas por esmectitas dioctaédricas con pequeñas cantidades de ilita y terrígenos. La parte B presenta una composición básicamente silíceo, estando constituida principalmente por ópalo CT (>50 %), sepiolita (5-40 %), cuarzo (<10 %) e ilita (<5 %). El paso de A a B es transicional coexistiendo los componentes de A y B. El ópalo CT que es el componente principal de las silcretas, presenta en DRX un pico bien definido entre 4,07 y 4,11 Å, con una relación altura/anchura entre 3 y 7 indicando una fase de ópalo CT poco ordenada, pero usual en silcretas.

Se han preparado para el estudio al MEB muestras correspondientes a los tramos B (fig. 1) y a las facies de transición

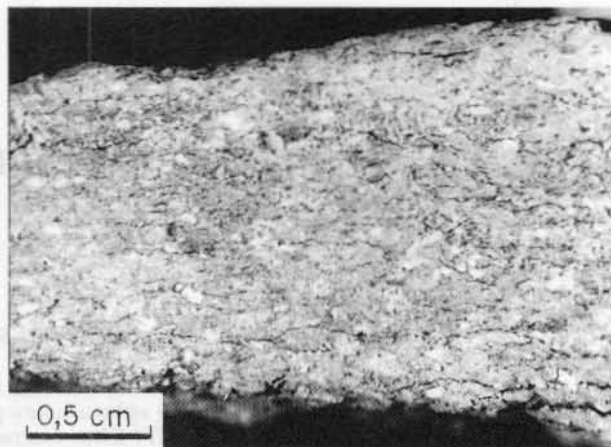


Fig. 2.—Facies arcillosas de transición entre las partes A y B de las secuencias. Las zonas más claras corresponden a sepiolita y ópalo CT.

(fig. 2) porque sólo en ellas se detectó la presencia de ópalo CT. Los fragmentos de roca fueron pegados en portamuestras de aluminio con pintura de plata coloidal. Después de secarse en la estufa a 50° C durante 24 horas, fueron recubiertas con una capa de oro de 15 nm de espesor por medio de un metalizador por «sputter» BIO-RAD SC-SC-515. Las observaciones se hicieron en un microscopio electrónico de barrido Philips XL-20 a voltajes de aceleración que variaban entre 20-30 kV. Las determinaciones químicas se realizaron con un microanalizador de energía dispersiva de RX, EDAX-DX-4i.

Resultados

Con bajos aumentos, el ópalo CT que constituye los encostramientos silíceos presenta unas veces estructura masiva y otras en escamas u hojosa (fig. 3.1). Esta morfología en escamas u hojosa se puede producir cuando las silcretas se originan por procesos de silicificación de arcillas (Thiry y Milnes, 1990). Puntualmente, en los cementos, el ópalo CT (lussatita), deja traslucir su estructura en láminas (fig. 3.2) debido al crecimiento libre de los cristales de ópalo (Flörke *et al.*, 1975). A mayores aumentos, la estructura masiva o la de escamas presentan dos microestructuras diferentes: grumosa o fibrosa.

La microestructura grumosa es debida a la coalescencia de numerosas y diminutas esferas de sílice (su diámetro más usual varía entre 0,10 y 0,20 μ) (fig. 3.3). La coalescencia entre ellas hace que morfológicamente pasen a ser hemisferas. Este conjunto de microesferas deja traslucir frecuentemente la estructura general en escamas u hojosa de la roca, indicando que estas microesferas constituyen sólo un recubrimiento o reproducen por reemplazamiento la estructura de las arcillas (fig. 3.4).

La microestructura fibrosa, hasta ahora no descrita, se manifiesta por la presencia de multitud de

fibras o filamentos anastomosados y de características muy diferentes. Las fibras o filamentos, formados por la alineación de microesferas o microhemisferas (fig. 3.5), tienen forma variable, siendo rectos, curvados u ondulados, llegando a constituir entramados complejos (fig. 3.6). Ocasionalmente los bordes se curvan (figs. 4.1 y 4.2). Presentan tamaños variables con un diámetro entre 0,10 y 0,20 μ y una longitud entre 0,40 y 10 μ , aunque pueden existir longitudes mayores ya que es difícil medirlos al entrecruzarse (figs. 4.3 y 4.4). Cuando tienen longitudes muy pequeñas pierden el aspecto fibroso (fig. 4.5). Al igual que sucedía con la microestructura grumelar hay que interpretar que la fibrosa se forma por recubrimientos silíceos sobre las partículas arcillosas o por procesos de reemplazamiento ya que se traslucen las formas originales de las partículas (fig. 4.6).

Los análisis realizados mediante energía dispersiva en estas estructuras fibrosas revelan una composición variable. En algunas zonas sólo aparece Si y O pero en otras se detectó también Mg, Al, Fe con relaciones de Si/Mg 10,1-13,15, Si/Al 45-221 y Si/Fe 25-32 y ocasionalmente pequeñas cantidades de K, Ca y Ti. Aunque todos estos elementos pueden aparecer como impurezas en el ópalo CT, su proporción es excesivamente alta ya que Flörke *et al.* (1991) consideran que las relaciones Si/Mg, Si/Al y Si/Fe en el ópalo CT son como mínimo 807, 253 y 239, respectivamente. Esta composición anómala que se da en algunos puntos analizados puede ser explicada considerando una interferencia del «fondo» de la roca formada por partículas siliciclásticas y sepiolita además de la sílice.

Discusión

El hallazgo de formas esféricas en rocas silíceas marinas, continentales, o en precipitados de sílice en experiencias de laboratorio, no es inusual cuando se estudian por microscopía óptica o electrónica. Sin embargo, no todas las formas esféricas mencionadas en la literatura tienen las mismas características ni corresponden a las mismas causas. En este estudio se ha desechado todos aquellos datos existentes sobre formas esféricas que poseían tamaños superiores a 1 μ , y que han sido interpretadas como restos de algas o bacterias (La Berge, 1973; Fairchild *et al.*, 1973; Horodyski y Donalson, 1983) o como productos de la precipitación inorgánica de sílice amorfa por cristalización esferulítica (Oehler, 1976; Herzig *et al.*, 1988). Considerando el entorno de tamaño de las microesferas anteriormente descritas y sus características, hay también interpretaciones que aluden a un origen orgánico o inorgánico (Fox y Syren, 1983), que es la disyuntiva que se nos plantea en este estudio.

De una forma general, en los estudios al MEB de rocas o minerales silíceos, las microesferas se consideran simplemente testimonio de un predecesor opalino amorfo (Kelts, 1979; Arbey, 1985) sin considerar su origen o admitiendo implícitamente una precipitación inorgánica. Normalmente el origen inorgánico de las microesferas se apunta cuando éstas no manifiestan ninguna ordenación, o se disponen constituyendo una gran macroestructura cristalina como sucede en ciertos ópalos nobles (Darragh *et al.*, 1976; Meyer, 1983). En los últimos años, cuando estas microesferas aparecen constituyendo filamentos o varillas son relacionadas frecuentemente con una actividad bacteriana (Monty *et al.*, 1991; Westall y Rince, 1994; Gardner y Hendry, 1995). A su vez, los estudios experimentales de laboratorio con cultivos de bacterias y la existencia de éstas dentro de precipitados silíceos, están demostrando la viabilidad de un proceso de precipitación de sílice por mediación bacteriana (Ferris *et al.*, 1986; Urrutia y Beveridge, 1994).

Debido a que las microesferas halladas en este trabajo están asociadas en fibras o filamentos y muestran similitud con las estructuras neomórficas opalinas encontradas por Monty *et al.* (1991) en las muestras del sondeo 699A del ODP, y con biofilms silicificados (Westall y Rince, 1994), pensamos que en su génesis podría haber participado una acción bacteriana. El ambiente de formación de los casos citados es marino, sin embargo Gardner y Hendry (1995) comentan la formación de rizolitos silíceos en ambiente continental, indicando que la presencia de esferas y varillas silíceas puede indicar que las bacterias asociadas a las raíces han tenido un papel activo en la silicificación. A su vez en playas alcalinas actuales, Shaw *et al.* (1990) describen la presencia de mallas orgánicas que actúan como plantillas para la precipitación de sílice desde la salmuera, originando silcretas.

Por otra parte, la única posibilidad de considerar las fibras o filamentos estudiados como inorgánicos, sería admitiendo que tales estructuras son producto del proceso de reemplazamiento de la sepiolita por ópalo durante el proceso de silicificación. De acuerdo con los datos de Jones y Galán (1988), las fibras que constituyen la sepiolita presentan tamaños entre 100 Å y 3,4 μ en longitud, 100-300 Å en anchura y 50-100 Å en grosor. Estas dimensiones son muy inferiores al tamaño de las fibras silíceas aquí descritas, por lo que en caso de que éstas se produjeran por silicificación de fibras de sepiolita, la silicificación tendría que abarcar a la vez varias fibras. Habría que pensar entonces que las fibras de sepiolita influyen como camino de difusión de la sílice, más que como un cristal sobre el que se produce un pseudomorfismo.

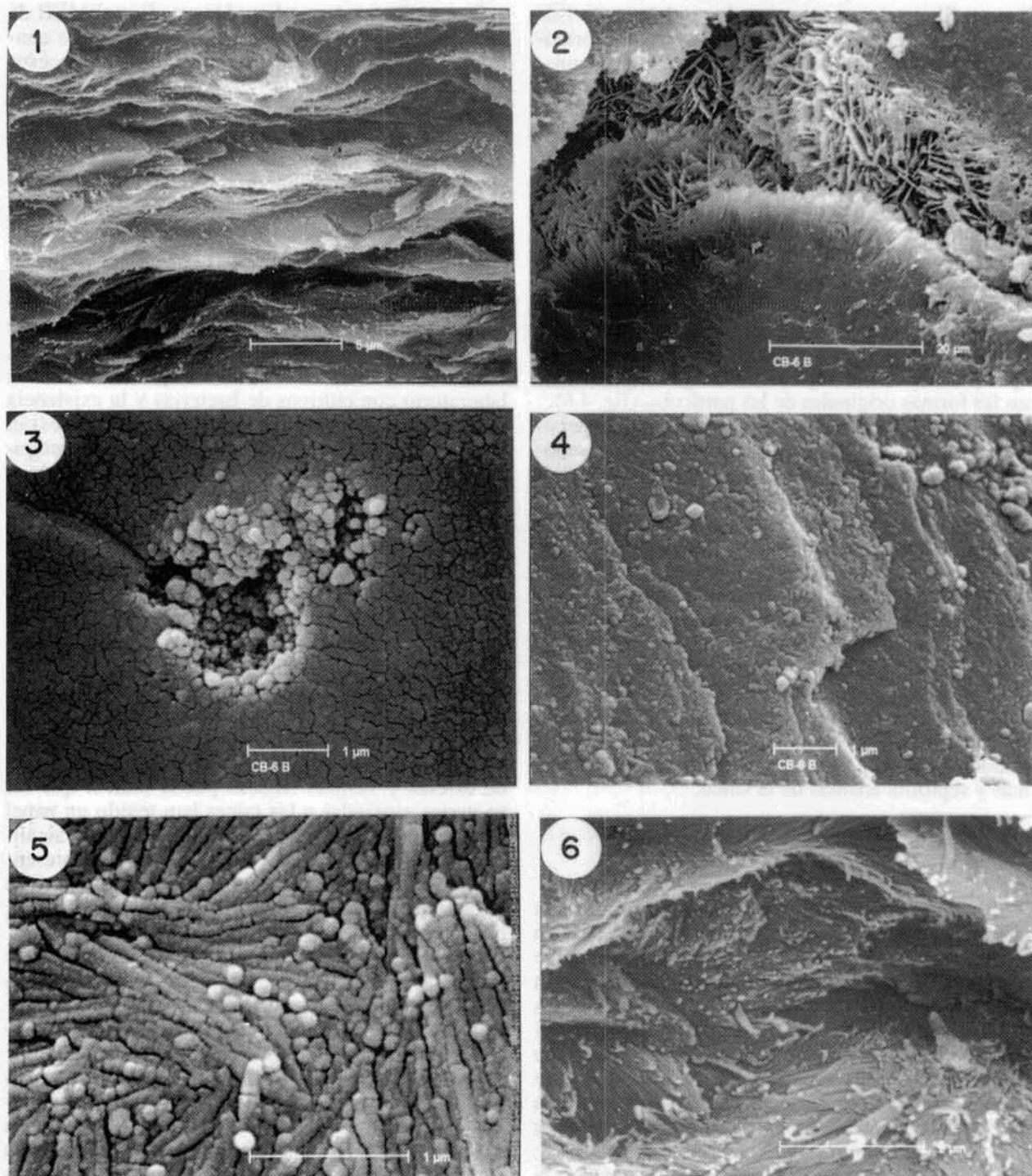


Fig. 3.—1) La silcreta opalina presenta en ciertas zonas estructura hojosa o en escamas debido a que se trasluce la estructura original arcillosa. 2) Cementos de ópalo CT formando «lepisferas». 3) Microestructura grumosa formada por la coalescencia de numerosas y minúsculas esferas de sílice. 4) Microestructura grumosa que trasluce la estructura general hojosa o en escamas de la silcreta. 5) Fibras o filamentos silíceos formados por microesferas o microhemisferas soldadas. 6) Aspecto general de la microestructura fibrosa constituida por multitud de fibras o filamentos con formas variables.

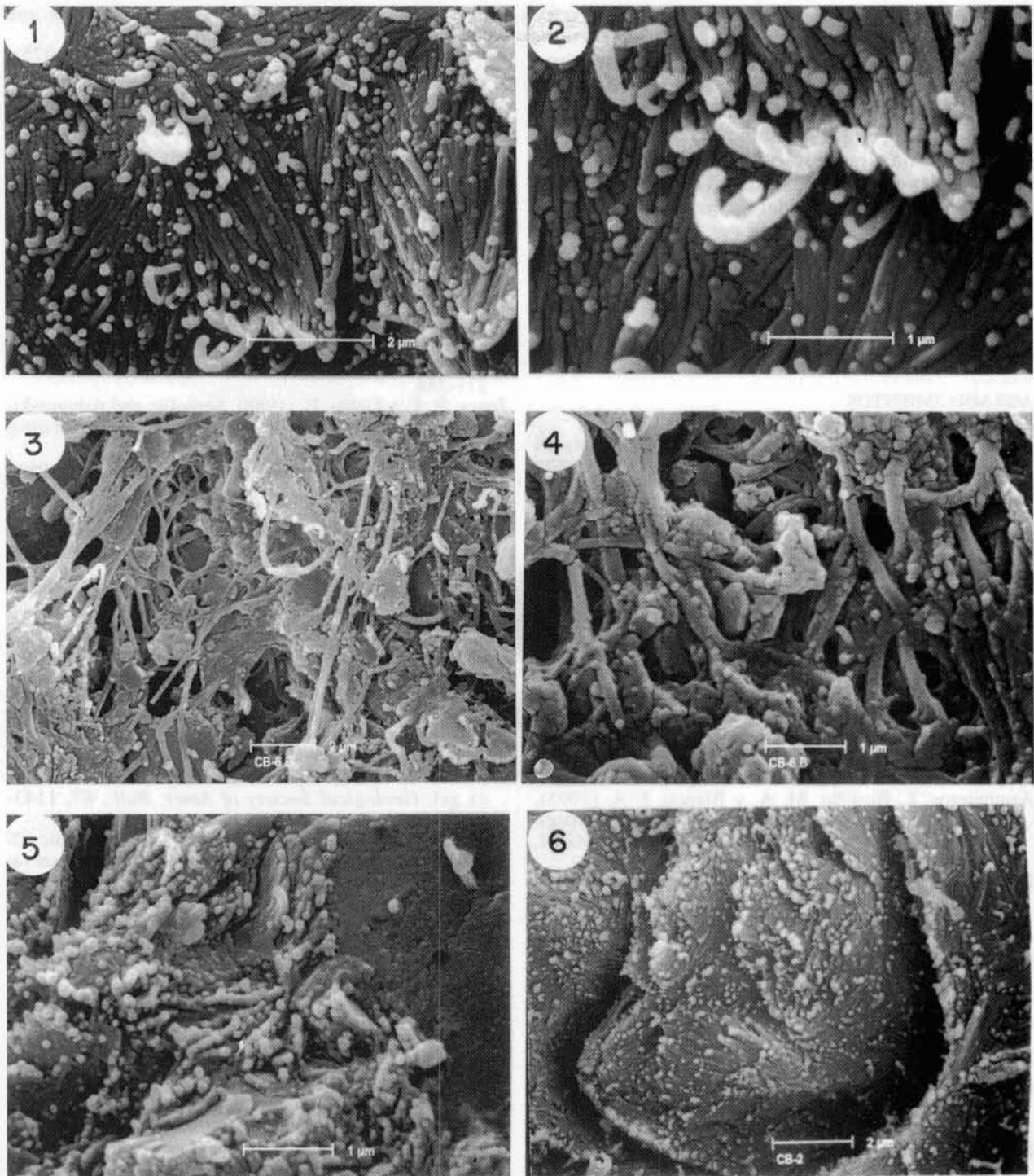


Fig. 4.—1) Los bordes de las fibras o filamentos silíceos se curvan. 2) Detalle de la foto anterior. 3) Enramado de fibras o filamentos silíceos con grandes longitudes y formas muy variables. 4) Detalle de la foto anterior donde se observa que las fibras se forman por la coalescencia de microhemisferas. 5) Fibras o filamentos de pequeña longitud constituidos por pocas microesferas. 6) Numerosas fibras silíceas recubren o reemplazan anteriores partículas, reflejándose todavía su morfología.

Conclusiones

El hallazgo en silcretas de estructuras de microesferas formadas por ópalo CT es interpretado como testimonio de la existencia de una fase opalina más amorfa (ópalo A) que evoluciona posteriormente a ópalo CT. La disposición organizada de estas microesferas en filamentos, fibras o varillas, constituyendo la masa general del ópalo no ha sido anteriormente referida en la bibliografía sobre silcretas, y aunque no se puede descartar totalmente un origen inorgánico, su gran parecido con microestructuras formadas con mediación bacteriana, apunta esta génesis.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la DGICYT a través del proyecto PB 920069 y constituye una contribución al proyecto n.º 317 del PICG. Quiero expresar mi agradecimiento a José Bedoya del Laboratorio de Microscopía Electrónica del Museo Nacional de Ciencias Naturales, por su entusiasta participación en el presente trabajo. Asimismo agradezco la colaboración técnica de María del Carmen Sendra y José González de la Fuente en mecanografía y fotografía.

Referencias

- Arbey, F. (1985). La lutecite et le quartz á terminaisons monorhombodriques: Etude préliminaire au MEB. Aspect géochimique et hypothèses sur leur génèse. *110º Congrès des Sociétés savantes*, Montpellier, I, 163-179.
- Armenteros, I., Bustillo, M. A. y Blanco, J. A. (1995). Pedogenic and ground water processes in a closed Miocene Basin (Northern Spain). *Sedimentary Geol.* (en prensa).
- Bustillo, M. A. y Bustillo, M. (1993). Rhythmic lacustrine sequences with silcretas from the Madrid Basin, Spain: Geochemical trends. *Chem. Geol.*, 107, 229-232.
- Bustillo, M. A. y Capitán, J. (1990). Secuencias ópalo-arcillosas en zonas de borde de lago (Vicálvaro, cuenca del Tajo). *Bol. Geol. Min.*, 101, 932-944.
- Chadwick, O. D., Hendricks, D. M. Y. y Nettleton, W. D. (1987a). Silica in duric soils: A depositional model. *Soil Sci. Amer. J.*, 51, 975-982.
- Chadwick, O. D., Hendricks, D. M. Y. y Nettleton, W. D. (1987b). Silica in duric soils: Mineralogy. *Soil Sci. Amer. J.*, 51, 982-985.
- Darragh, P. J., Gaskin, A. J. y Sander, J. V. (1976). Opals. *Sci. Amer.*, 234, 84-95.
- Fairchild, T. R., Schopf, W. y Folk, R. (1973). Filamentous algal microfossils from the Caballos Novaculite. Devonian of Texas. *J. Paleontology*, 47, 946-952.
- Ferris, F. G., Beveridge, T. J. y Fyfe, W. S. (1986). Iron-silica crystallite nucleation by bacteria in a geothermal sediment. *Nature*, 320, 609-611.
- Flörke, O. W., Graetsch, H., Martín, B., Röller, K. y Wirth, H. (1991). Nomenclature of micro and non-crystalline silica minerals, based on structure and microstructure. *N. Jb. Miner. Abh.*, 163, 19-42.
- Flörke, O. W., Jones, J. B. y Segnit, E. R. (1975). Opal CT. crystals. *N. Jb. Miner. Mh.*, 8, 369-377.
- Fox, S. y Syren, R. (1983). Ancient microspheres: Abiogenic, protobiogenic or biogenic. *Precambrian Research*, 23, 1-8.
- Garder, R. y Hendry, D. (1995). Early silica diagenetic fabrics in Late Quaternary sediments, South India. *J. Geol. Soc. London*, 152, 183-192.
- Herzig, P., Becker, K., Stoffers, P., Bäcker, H. y Blum, N. (1988). Hydrothermal silica chimney fields in the Galapagos Spreading Center at 86°W. *Earth Planet. Sci. Letters*, 890, 261-272.
- Horodyski, R. J. y Donaldson, A. (1983). Distribution and significance of microfossils in cherts of the Middle Proterozoic Dismal Lakes group, district of Mackenzie, Northwest territories, Canada. *J. Paleontology*, 57, 271-288.
- Jones, B. F. y Galán, E. (1988). Sepiolite and palygorskite. En S. W. Bailey (ed.), *Hydrous phyllosilicates, Reviews in Mineralogy*, 19, 631-674.
- Kelts, K. (1976). Summary of chert occurrences from line Islands sites 314, 315, 316. DSDP, leg. 33, *Initial Reports of the DSDP*, 33, 855-865.
- La Berge, G. L. (1973). Possible biological origin of Precambrian iron formations. *Economic Geol.*, 68, 1098-1109.
- Millot, G. (1964). *Géologie des Argiles*. Masson, París, 499 págs.
- Meyer, R. (1983). Fixation de la silice dans les environnements continentaux. *Bull. Centres Rech Explor-Prod. Elf-Aquitaine*, 8, 195-207.
- Monty, C., Westal, F. y van der Gaast, S. (1991). Diagenesis of siliceous particles in subantarctic sediments, hole 699A: Possible microbial mediation. *Proceedings of the ODP*, 114, 685-709.
- Oehler, J. H. (1976). Hydrothermal crystallization of silica gel. *Geological Society of Amer. Bull.*, 87, 1143-1152.
- Shaw, P., Cooke, H. y Perry, C. (1990). Microbialitic silcretas in highly alkaline environments: Some observations from Sua Pan, Botswana. *S. Afr. J. Geol.*, 93, 803-808.
- Summerfield, M. A. (1983). Silcrete as a palaeoclimatic indicator: Evidence from southern Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 41, 1/2, 65-81.
- Thiry, M. y Milnes, A. R. (1990). Pedogenic and ground-water silcretas at Stuart Creek Opal Field, South Australia. *J. Sediment. Petrol.*, 61, 111-127.
- Urrutia, M. Y Beveridge, T. (1994). Formation of fine-grained metal and silicate precipitates on a bacterial surface (*Bacillus subtilis*). *Chem. Geol.*, 116, 261-280.
- Westall, F. y Rincé, Y. (1994). Biofilms, microbial mats and microbe particle interactions: Electron microscope observations from diatomaceous sediments. *Sedimentology*, 41, 147-162.
- Wilding, L. P., Smeck, N. E. y Drees, L. R. (1977). Silica in soils: Quartz, cristobalite, tridymite and opal. En J. B. Dixon et al. (eds.), *Minerals in soil environments*, Soil Science Society of America, Madison, 471-552.

Recibido el 16 de febrero de 1995
Aceptado el 9 de marzo de 1995