

Estromatolitos Silíceos en Espeleotemas de la Cueva de Branca Opala (Isla de Terceira, Azores)

/ M^a ANGELES BUSTILLO (1, *), ALFREDO APARICIO (2), M^a ROSARIO CARVALHO (3)

(1) Departamento de Geología. Museo Nacional de Ciencias Naturales. CSIC. C/ José Gutiérrez Abascal 2. 28029, Madrid (España)

(2) Departamento de Volcanología. Museo Nacional de Ciencias Naturales. CSIC. C/ José Gutiérrez Abascal 2. 28029, Madrid (España)

(3) Departamento de Geología e CeGUL. Faculdade de Ciências. Universidade de Lisboa, Campo Grande. 1749-016, Lisboa (Portugal)

INTRODUCCIÓN.

En la Isla de Terceira, en Azores, se pueden encontrar diferentes cuevas formadas en tubos volcánicos, presentando revestimientos de paredes, estalactitas y estalagmitas formadas por sílice; de entre estas las más conocidas son el Algar do Carvão (Carvalho et al., 2004) y Branca Opala. Mientras que en la cueva de Algar do Carvão los espeleotemas tienen formas conocidas, en la cueva Branca Opala los espeleotemas presentan formas diferentes a las habituales por su aspecto exterior en mamelones.

La formación directa de estromatolitos silíceos es un proceso poco frecuente en la naturaleza y principalmente está restringida a ambientes geotermales (fuentes calientes, geiseres, etc.) (Jones et al., 2001). En este trabajo se describe la formación de estromatolitos silíceos en espeleotemas y sin participación de aguas termales, en la cueva de Branca Opala. Los datos presentados demuestran que la formación de los estromatolitos está controlada principalmente por la actividad microbiana que facilita la precipitación de sílice.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Los espeleotemas de la cueva Branca Opala, que se caracterizan por tener aspecto exterior en mamelones, revisten techo, paredes y suelo de la cueva. Las muestras estudiadas fueron cogidas cerca de la zona de entrada de la cueva (zona fótica), y estaban a menudo húmedas (Fig. 1). Para el estudio de la estructura interna las muestras fueron impregnadas con resina de epoxi y cortadas en secciones transversales. Una vez cortadas las muestras exhiben una estructura laminada ondulada, columnar y dómica alternando láminas de sílice más claras

con otras más parduzcas, y zonas más compactas con otras más friables y porosas (Fig. 2).



fig. 1. Estromatolitos recubren las paredes.

Se estudiaron también muestras de la roca volcánica en la que se localiza la cueva y las rocas que constituyen el sustrato sobre el que crecen los estromatolitos.

La mineralogía se determinó por difracción de rayos X (DRX), con un equipo PHILIPS modelo PW1710, equipado con monocromador de grafito. El estudio petroológico fue realizado por microscopía óptica y electrónica (SEM). Se trabajó mediante SEM con un equipo QUANTA 2000, de la casa FEI. Se llevó a cabo también análisis químicos puntuales, por energía dispersiva (EDS), con un equipo OXFORD-Inca.

CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS.

Las paredes y techo de esta cueva están constituidas por una roca volcánica de composición basáltica con fenocristales de plagioclasa acicular y tabular y algún olivino. La pasta microcristalina está constituida por máficos (clinopiroxeno y olivino), plagioclasa y opacos. La roca es muy fresca y no presenta alteración.

Mediante DRX, se ha determinado que los estromatolitos están formados fundamentalmente por ópalo A, que se caracteriza por una única banda que se

extiende entre 15 y 30 °2 θ y con un máximo centrado alrededor de 22 °2 θ (\approx 4Å). No se advierte en esta banda, picos alrededor de 4,04, o 4,09 y 4,30 Å que podrían indicar un comienzo de formación de ópalo C u ópalo CT. Ocasionalmente pueden aparecer indicios de arcillas. La banda ancha (centrada en \approx 4Å), tiene una anchura a mitad de la altura que oscila alrededor de 7,20-7,80 °2 θ , indicando una baja organización estructural.

CARACTERÍSTICAS PETROLOGICAS DE LOS ESTROMATOLITOS.

El espesor de los espeleotemas estudiados varía de 0,5 cm a 5 cm, y están formados, en muchos casos por domos superpuestos. Crecen recubriendo el basalto, o sobre depósitos detríticos silíceos. Dependiendo de las muestras, la estructura que se observa en secciones transversales es diferente, y se reconocen: capas estratiformes con microlaminación ondulada, capas con formas columnares que están internamente también constituidas por laminas, y zonas sin organización reconocible que frecuentemente son más porosas (Fig.2).



fig. 2. Sección transversal de un estromatolito silíceo creciendo sobre el basalto (zona oscura de la base). La escala corresponde a 1cm.

En SEM se observa que unas láminas son más porosas que otras. Las más porosas muestran microesferas de ópalo A formando una masa general, o

palabras clave: tubos volcánicos, espeleotemas opalinos, estromatolito, bacterias filamentosas, silicificación .

key words: volcanic tubes, opaline speleothems, stromatolites, filamentous bacteria, silicification.

también recubriendo o reemplazando filamentos microbianos (Fig. 3). En estas capas aparecen además muchos tipos de diatomeas. En las capas densas, a pesar de ser muy compactas se observaron moldes de microbios, secciones de filamentos microbianos, polen, esporas, hongos, y otras huellas biológicas.

Es difícil definir los microbios, a través de las estructuras filamentosas

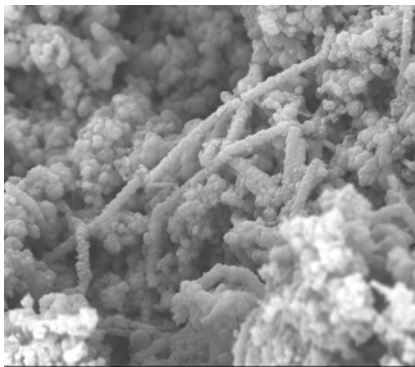


Fig. 3. Microesferas de ópalo A recubriendo filamentos microbianos.

recubiertas por sílice, aunque en la superficie exterior de los estromatolitos se han podido reconocer localmente cianobacterias y bacterias heterotróficas típicas de suelos (López-Archilla M.I. y Guerrero C., Comunicación personal).

DISCUSIÓN.

La presencia de espeleotemas opalinos en tubos volcánicos, no es extraña (Hill y Forti, 1997), pero que estos tengan estructura estromatolítica ha sido descrito en pocas ocasiones (cueva de Mezesse, Camerum, (Willems et al., 2002), cueva de Charles Brewer, Venezuela (Aubrecht et al., 2008). Aunque existen trabajos genéricos que apuntan la posibilidad de que pueden existir estructuras silíceas inorgánicas con apariencia estromatolítica, en flujos turbulentos y precipitaciones coloidales, estas nunca incorporan formas filamentosas, por lo que una génesis totalmente inorgánica, en el caso estudiado, es descartada.

Desafortunadamente el proceso de silicificación destruye la mayoría de las características taxonómicas que son necesarias para hacer una identificación realista de las bacterias filamentosas. La silicificación, por ejemplo enmascara las vainas de las bacterias filamentosas, produciendo varillas sólidas de sílice que están desprovistas de los aspectos internos y externos, y también alteran su

tamaño, debido al proceso de encostramiento (Jones et al., 2001).

Experimentos de precipitación de sílice realizados con la cianobacteria, *Calotrix* sp., que se encuentra frecuentemente en geiseres y fuentes calientes, han demostrado que cuando las concentraciones de sílice son muy altas, la precipitación de la sílice es principalmente inorgánica, y la superficie de la bacteria tiene un efecto insignificante sobre la nucleación (Yee et al., 2003). Estos autores, sin embargo proponen que aunque las superficies microbianas no nuclean directamente la sílice, si tienen un papel en la agregación de los polímeros de sílice y su deposición como coloides. Las precipitaciones iniciales de sílice, fomentadas directamente o indirectamente por la actividad bacteriana (bacterias y sus EPS), generan entramados porosos, que posteriormente son cementados y compactados por una precipitación silíceas inorgánica (Hadley et al., 2005).

Además de las estructuras filamentosas adscritas a bacterias, las diatomeas son los otros organismos que participan activamente en la construcción del estromatolito, encontrándose tanto en las zonas microlaminadas como en las porosas desorganizadas. La presencia de biofilms con diatomeas es frecuente en estromatolitos carbonáticos, valorándose el papel de las diatomeas y sus sustancias poliméricas extracelulares, como agentes fijadores (Winsborough, 2000).

Los revestimientos silíceos de estructura estromatolítica aparecen de forma generalizada en el techo, paredes laterales y suelo de la cueva, indicando que el agua que precipita estos depósitos se mueve a través de todo el volumen general de la cueva. La roca volcánica en la que esta cavidad está abierta no manifiesta fenómenos de alteración que expliquen un aporte local de sílice, como sucede en otras cuevas de espeleotemas silíceos.

CONCLUSIONES.

Los espeleotemas silíceos de la cueva de Branca Opala son estructuras estromatolíticas laminadas, columnares o peloidales formadas con participación biológica. Estos espeleotemas conservan sobre todo formas microbianas filamentosas, atribuibles a bacterias, y diatomeas. En su parte exterior ambas son más frecuentes y la

mayor presencia de C, determinado por EDS, indica la presencia de tapetes bacterianos menos silicificados. Estos tapetes están creciendo dentro de la zona fótica en las paredes, suelos y techos muy cerca de la entrada de la cueva. Aguas neutrales, con no excesiva concentración de sílice, provenientes posiblemente del agua del suelo que existe encima de la cueva, fluyen lentamente facilitando la formación de tapetes bacterianos. Procesos biogénicos operan en combinación con procesos inorgánicos de cementación para generar estas estructuras.

AGRADECIMIENTOS.

Este trabajo ha sido financiado a través del proyecto CGL-2008-05584-CO2-1. Agradecemos a las Dras. Isabel López-Archilla y Carmen Guerrero su interés y asesoramiento en el intento de caracterización microbiológica.

REFERENCIAS.

- Aubrecht R., Brewer-Carias, Ch., Šmída, B., Audy, M., Kováček, L. (2008): Anatomy of biologically mediated opal speleothems in the World's largest sandstone cave: Cueva Charles Brewer, Chimantá Plateau, Venezuela. *Sedimentary Geology*, **203**, 181-195.
- Carvalho, M.R., Nunes, J.C., França, Z. (2004): Controle hidrogeológico das estalactites silíceas do Algar do Carvão (Ilha Terceira, Açores). III Pico Island International Volcanological Meeting, Ilha do Pico, Açores, Abstract Book, 21-23.
- Handley, K.M., Campbell, K.A., Mountain, B.W., Browne, P.R.L. (2005): Abiotic-biotic controls on the origin and development of spicular sinter: in situ growth experiments, Champagne Pool, Waiotapu, New Zealand. *Geobiology*, **3**, 93-114.
- Hill, C. & Forti, P. (1997): Cave minerals of the world. Second edition. National Speological Society. USA, 463 p.
- Jones, B., Renaut, R.W., Rosen, M.R. (2001): Microbial Construction of Siliceous Stalactites at Geysers and Hot Springs: Examples from the Whakarewarewa Geothermal Area, North Island, New Zealand. *Palaios*, **16**, 73-94.
- Willems, L., Compère, Ph., Hatert, F., Pouclet, A., Vicat, J.P., Boulvain, F. (2002): Karst in granitic rocks, South Cameroon: cave genesis and silica and taranakite speleothems. *Terra Nova*, **14**, 335-362.
- Winsborough, B.M. (2000): Diatoms and benthic microbial carbonates. In: "Microbial Sediments". R.E. Riding & M.A. Stanley, eds. Springer-Verlag, Berlin, 76-83.
- Yee, N., Phoenix, V.R., Konhauser, K.O., Benning, L.G., Grant Ferris, F. (2003): The effect of cyanobacteria on silica precipitation at neutral pH: implications for bacterial silicification in geothermal hot springs. *Chem. Geology*, **199**, 63-90.