

Composición y microestructura de la sílice opalina en icnofósiles del Oligoceno de Ica (SO Perú)

Antonio Romero Baena (1), Fernando Muñiz Guinea (1*), Antonio Jesús Ayala Arias (1), Samuel Ramírez-Cruzado (2), Raúl Esperante Caamaño (3), Fabián Figueroa Martínez (3)

(1) Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. Universidad de Sevilla, 41012, Sevilla (España)

(2) Department of Archaeology. Durham University, South Road Durham, DH1 3LE (United Kingdom)

(3) Geoscience Research Institute. 11060 Campus Street, Loma Linda, CA, 92350 (USA)

* corresponding author: fmuniz@us.es

Palabras Clave: Ópalo, Moganita, Icnofósil, *Gastrochaenolites*, Perú. **Key Words:** Opal, Moganite, Ichnofossil, *Gastrochaenolites*, Peru.

INTRODUCCIÓN

El ópalo es sílice amorfa hidratada $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (el agua varía entre 2 y 20 %) y sus variedades se agrupan en: no-cristalinos (ópalo-A, subdivididos en ópalo-AN o “hialita” y ópalo-AG u “ópalo precioso”) y microcristalinos (ópalo-C formado por cristobalita y ópalo-CT por cristobalita y/o tridimita). El ópalo, junto con las variedades de cuarzo y la moganita, es a menudo un agente fosilizante de material orgánico por procesos diagenéticos, es decir, por reacciones de reemplazo en las que el biomineral es sustituido por sílice bajo ciertas condiciones físico-químicas (T° , pH, etc.) y tiempo. La evolución diagenética (envejecimiento) idealizada para la sílice es: ópalo-A \rightarrow ópalo-CT/ópalo-C \rightarrow moganita \rightarrow variedades de cuarzos. En la silicificación está involucrado también el proceso de cementación, que puede ocurrir antes, durante y después del proceso de reemplazamiento. El proceso de silicificación es frecuente en restos de plantas (principalmente madera), excepcional en animales (huesos, conchas, etc.) y muy raro en icnofósiles (estructuras que reflejan el comportamiento de animales y plantas en diferentes tipos de sustratos). En este sentido, presentamos el estudio preliminar de la composición químico-mineralógica, y la microestructura de un caso extraordinario de sílice opalina fosilizante de perforaciones de bivalvos Pholadidae (icnofósil *Gastrochaenolites*). Estas estructuras de bioerosión fueron realizadas en cantos decimétricos de toba volcánica depositados en un ambiente submareal marino tras un evento tsunamítico, registrado en la base de la Formación Chilcatay (200 m de areniscas bioclásticas y lutitas diatomáceas y tufáceas) de edad Oligoceno medio-superior (área de Ullujaya, Ica, SO Perú) (Fig. 1A-C).

MATERIAL Y METODOLOGÍA

Se seleccionaron tres muestras del icnofósil *Gastrochaenolites* en las que se estudiaron el relleno externo, la concha y el relleno interno (Fig. 1D). Los análisis realizados fueron: (1) mineralógicos por microscopía óptica polarizada (MOP) para la identificación de los cristales, texturas, así como posibles aspectos heredados de las rocas a las que reemplazaron, y difracción de rayos X (DRX), que permitió diferenciar variedades polimórficas de la sílice y otros minerales de la roca reemplazada o encajante; (2) químico por fluorescencia de rayos X (FRX) para la determinación de elementos mayoritarios y traza; y (3) se empleó la microscopía electrónica de barrido (MEB) para completar el estudio químico-mineralógico y microestructural.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Las tres zonas analizadas muestran por MOP una textura fibrosa (Fig. 1E) y a veces, en el relleno interno, es apreciable además una fábrica esferulítica radial; ambos casos son característicos del ópalo-CT y/o calcedonia (variedad microcristalina de cuarzo con moganita). Precisamente, la moganita ha sido determinada por DRX en las tres zonas (reflexiones a 3,33 Å, 4,45 Å y 3,06 Å) y representa la fase intermedia de la transformación del ópalo-CT a calcedonia durante el proceso de “envejecimiento” de la sílice. Por otro lado, en el relleno externo se han podido observar algunas reflexiones pequeñas en torno a 4,02 Å, 2,83 Å y 2,45 Å, que podrían indicar la presencia de α -cristobalita. El análisis químico-mineralógico ha permitido diferenciar que: (1) el **relleno externo** es mayoritariamente sílice (84,25 %, ópalo-CT, moganita y calcedonia) con una pérdida por calcinación del 7,96 % congruente con ópalo-CT diagenético, aunque también se han identificado trazas de yeso, feldespato y enstatita; (2)

el **relleno interno** es más heterogéneo, formado en un 35,92 % por sílice (polimorfos *idem* al relleno externo) cristales de yeso, plagioclasas, enstatita y moscovita, y restos de microorganismos como briozoos y corales. Estos componentes que coexisten con la sílice diagenética se interpretan como heredados de la roca encajante (arenisca bioclástica) de los cantos de toba volcánica. Por otra parte, (3) **la concha**, inicialmente formada por calcita y/o aragonito, está silicificada (mismos polimorfos de los rellenos), lo que ha permitido preservar de forma extraordinaria la característica ornamentación externa original de los Pholadidae (Fig. 1D.1). Por último, por MEB se observa la presencia de “residuos” de lepiesferas de ópalo-CT desordenadas y masivas (Fig. 1F), tanto en el relleno externo como en el interno, así como la presencia de megacuarcos con hábito reconocible (Fig. 1G). La existencia de estos “residuos” de lepiesferas refuerzan la idea de que estos rellenos fueron una sílice opalina precursora que se ha transformado en moganita y/o calcedonia. Por otro lado, los megacuarcos observados delatan el comienzo de la fase final del envejecimiento.

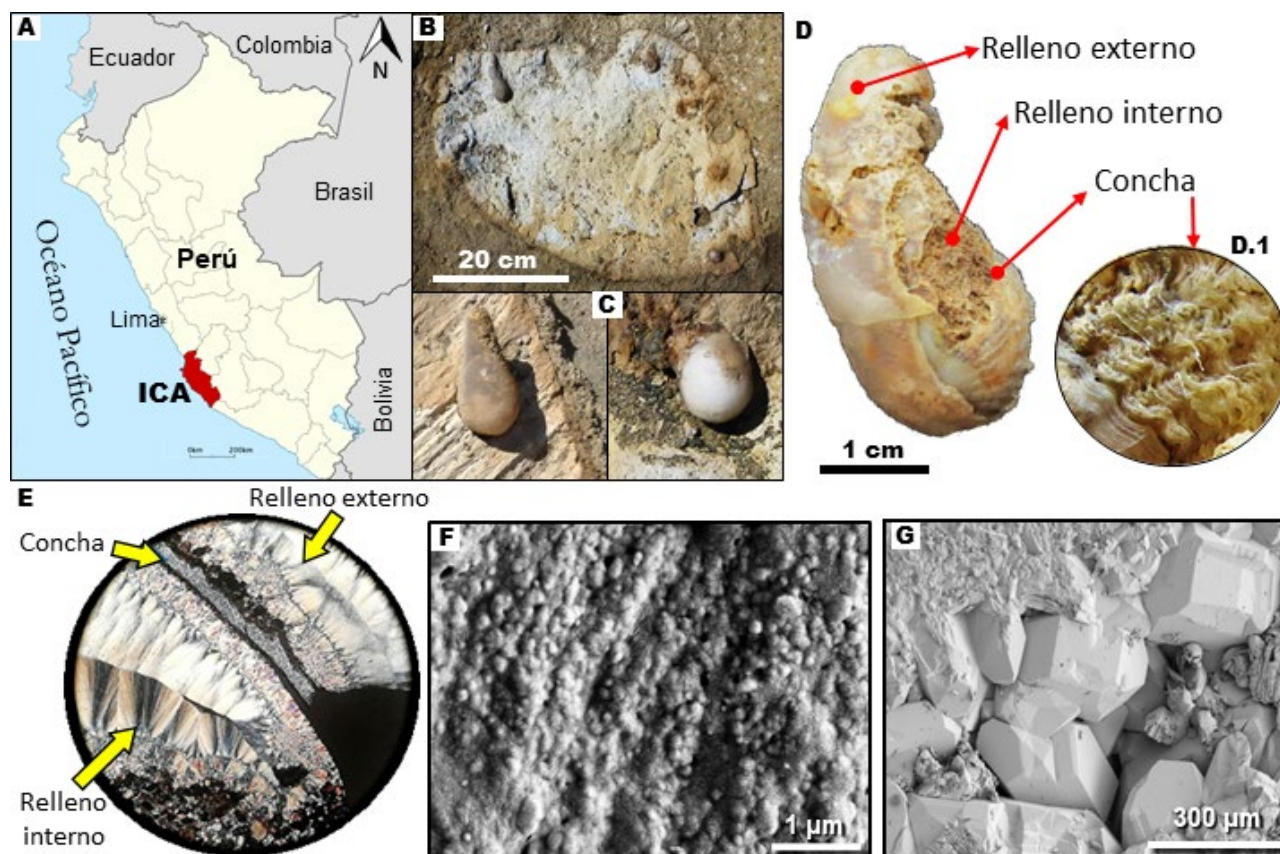


Fig 1. A. Localización geográfica de Ica (Perú). B. Sección transversal de un canto de toba volcánica bioerosionado. C. *Gastrochaenolites* silicificados. D. Ejemplar estudiado (OP3) de *Gastrochaenolites* y zonas analizadas. E. Textura fibrosa de ópalo-CT y/o calcedonia. F. “residuos” de lepiesferas de ópalo-CT en el relleno externo. G. Megacuarcos en el relleno interno.

Las perforaciones del tipo *Gastrochaenolites* realizadas en un sustrato duro tienen la peculiaridad de que una vez son enterradas con o sin las conchas del organismo productor, quedan a modo de huecos que se pueden rellenar total o parcialmente por la sedimentación, quedando finalmente expuestas a los procesos diagenéticos posenterramiento. El estudio por MOP, DRX, FRX y MEB de *Gastrochaenolites* silicificados de Ica (Perú) permite establecer preliminarmente que la silicificación ocurre en el hueco (relleno) externo por cementación y en menor medida por reemplazamiento, en la concha calcítica/aragonítica por reemplazamiento y en el hueco (relleno) interno por combinación de reemplazamiento y cementación. En las tres zonas se han reconocido indicios de ópalo-CT, moganita y calcedonia, que nos indicaría que el proceso quedó en una fase intermedia del proceso de evolución diagenética o envejecimiento de la sílice opalina, y unas pocas áreas reflejarían una incipiente fase más evolucionada por la presencia de megacuarcos. El área fuente de la sílice es la toba volcánica donde se realizaron los *Gastrochaenolites* y las diatomeas de la arenisca como roca encajante de las anteriores.