

# Depósitos silíceos hidrotermales y alteraciones asociadas en sedimentos carbonáticos del Tortoniense superior ( Agua Amarga, Almería)

*Silica hydrothermal deposits and related alterations of the Upper Tortonian carbonated rocks (Agua Amarga, Almería)*

M<sup>a</sup> A. Bustillo <sup>(1)</sup> y A. Aparicio <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Dpto. de Geología. Museo Nacional de Ciencias Naturales. CSIC. José Gutiérrez Abascal 2. Madrid 28006. E-mail: abustillo@mncn.csic.es  
<sup>(2)</sup>Dpto. de Volcanología. Museo Nacional de Ciencias Naturales. CSIC. José Gutiérrez Abascal 2. Madrid 28006.

## ABSTRACT

Hydrothermal silica deposits occur in a small fault (dike) as well as in several veins located in the contact between the andesitic volcanic rocks (8.1-8.7 M years old) and the biocalcarenes (Upper Tortonian-lower Messinian) of the Agua Amarga area. The silica deposits have different colours (green, blue, greyish, white, red or brown etc.) and luminosity (shiny or matt surfaces). Their mineralogy was determined by X-ray diffraction (XRD), while their textures and microstructures were examined by transmitted light microscopy and scanning electron microscopy (SEM) with energy-dispersive X-ray microanalysis. The XRD analyses indicated that the dike and veins (which show mineral zonation) are made of opal CT, quartz, sepiolite and dolomite. The outer parts are formed only by sepiolite, the intermediate areas by mixtures of sepiolite and opal CT, and the inner areas sometimes only by quartz. Fe-(hydro)oxides give the green and red colours. Near these hydrothermal deposits, the biocalcarenes show dolomitization and ferrugination.

Optical and SEM observations showed the dolomite to be superimposed on the opal CT- sepiolite mixtures and quartz; it is therefore younger. The opal has similar textural characteristics to the sepiolite, and therefore originated from the sepiolite by silicification. It is suggested that this sepiolite is the result of a chemical precipitation brought about by the reaction of hydrothermal solutions with sea water in fractures and voids. A pseudomorphic silicification then occurred on the sepiolite, and an opaline rock with the textural and structural features of the sepiolite was formed. The replacement of sepiolite by opaline minerals released Mg that produced a later formation of dolomite on the opaline chert and also on the biocalcarenes associated with the fractures. The ageing of the opaline minerals formed quartz in the inner parts of the dyke and veins.

**Key words:** opal, sepiolite, dolomite, silicification hydrothermal

Geogaceta, 35 (2004), 31-634  
 ISSN:0213683X

## Introducción y encuadre geológico

La presencia de depósitos silíceos hidrotermales en la región volcánica de Cabo de Gata es muy escasa, estando los casos descritos asociados a bentonitas (Delgado *et al.*, 1994). Debido a ello, el estudio petrológico y genético de los depósitos silíceos que aparecen en una fractura y pequeñas venas, en las cercanías de la Cala de Enmedio (Agua Amarga), adquiere gran interés, ya que además, se encuentran en un marco geológico diferente al de las bentonitas (Figs. 1 y 2). Otro aspecto importante de este estudio es que se puede observar las alteraciones de las biocalcarenes y brechas volcánicas que están en contacto con los depósitos silíceos.

La cuenca de Agua Amarga es una pequeña cuenca sedimentaria, cuyo relie-

no se inicia con dos unidades de carbonatos "templados" del Tortoniense separadas por rocas volcánicas (Braga *et al.*, 1996). La unidad inferior está formada por depósitos volcanoclásticos de abanico deltaico y biocalcarenes/calciruditas compuestas por fragmentos de briozoos, moluscos, macroforaminíferos, equínidos y algas rojas. Rocas volcánicas con edades de 8.1 a 8.7 Ma atraviesan, engloban y recubren a los carbonatos templados de esta primera unidad (Braga *et al.*, 1996). La segunda unidad, de edad Tortoniense superior- Messiniense inferior, esta constituida por calcarenitas/calciruditas bioclasticas y se divide en cuatro subunidades, siendo la última rica en organismos planctónicos (Martín *et al.*, 1996).

Los depósitos silíceos que son estudiados se encuentran principalmente en

un dique de 30-60 cm de espesor que se localiza en una fractura que pone en contacto las biocalcarenes del Tortoniense superior con las brechas volcánicas andesíticas (Figs. 1 y 2). El dique silíceo manifiesta diferentes aspectos, pudiendo tener color blanco, beige, gris, verde, marrón o azul y mostrar aspecto cristalino, vítreo o mate según los casos. Algunas muestras silíceas como son las de color azul o verde llaman la atención por su viscosidad, aunque no tienen valor como gemas ya que se fracturan fácilmente.

En su parte externa el dique toma color beige y aspecto mate, y a veces incluye clastos de la roca volcánica. El contacto con la roca caja se realiza a través de una banda laminada verticalmente, de un espesor de unos 10 cm, formada por sepiolita. Las biocalcarenes en el contacto con el dique cambian de aspecto y

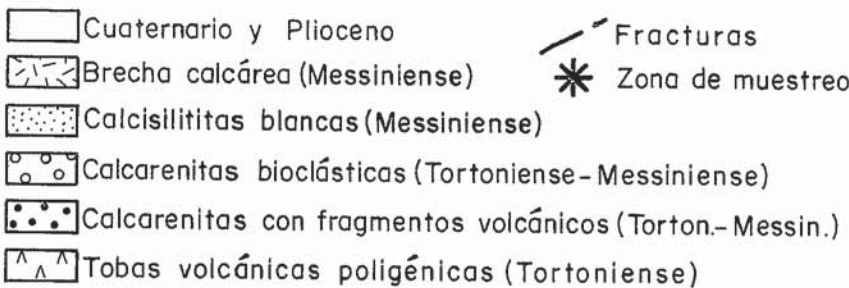
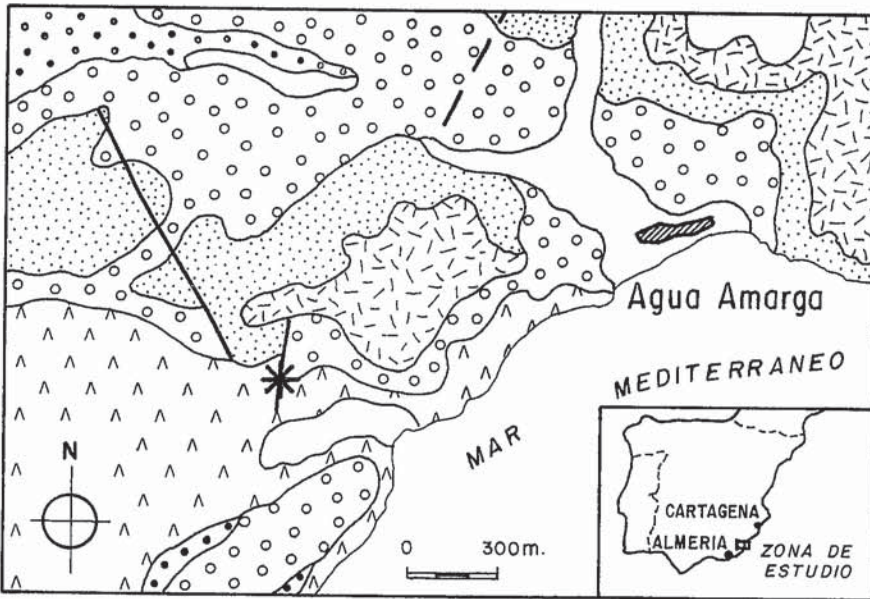


Fig.1.- Mapa geológico en los alrededores de Agua Amarga, y localización de la zona de estudio. Modificado de Pineda et al. (1981)

Fig.1.- Geological map of the Agua Amarga area and location of the studied zone. After Pineda et al., (1981).

color, siendo mas compactas y de tonos más rojizos. El dique a veces se bifurca, dejando incluidas en él parte de las biocalcarenitas que se encuentran, entonces, muy transformadas.

Dentro de las brechas volcánicas también se observan depósitos silíceos en pequeñas venas y bolsadas de pocos centímetros. Se sitúan relativamente próximas al dique silíceo y presentan características parecidas. Se observa en ellas, variedad de colores y aspectos, siendo su parte mas exterior también beige y mate.

**Metodología**

Se ha realizado el muestreo del dique silíceo y de una vena silíceo verde y marrón incluida en la brecha volcánica. La situación de las muestras se ha expresado en la Figura 2. Las características mineralógicas y petrológicas de las rocas silíceas y rocas caja fueron estudiados con Difracción de Rayos X (DRX) junto con microscopia óptica y electrónica (MEB). Los análisis de DRX se llevaron

acabo con un equipo Philips modelo PW1710, equipado con monocromador de grafito, utilizando la radiación Ka del Cu. Las observaciones de MEB se han realizado con un Microscopio Philips QUANTA 200, operando en alto vacío y a 20KV, utilizando además la Energía Dispersiva de un sistema de análisis integrado OXFORD Instruments Analytical-Inca. En una misma muestra de mano pueden aparecer varios aspectos de color y brillo, y cada uno de estos fue analizado independiente para obtener las causas de esta variabilidad. Los resultados mineralógicos son expresados en la tabla 1, estando las diferentes partes de una misma muestra subdivididas numéricamente.

**Mineralogía**

Los diferentes aspectos del dique y de las otras manifestaciones silíceas son mayormente consecuencia de los diferentes componentes mineralógicos (tabla 1). Las muestras de aspecto cristali-

no, color blanco, gris claro o azules, están constituidas mayoritariamente por cuarzo. Las muestras verdes y marrones están formadas por ópalo CT y diferentes proporciones de sepiolita.

El ópalo CT, se define por las reflexiones intensas próximas a 4.11, 4.30 y 2.50 Å. El d (101) varia entre 4.08 y 4.12, pero lo más frecuente es 4.11 Å. Las partes internas del dique y venas se enriquecen en cuarzo, apareciendo ocasionalmente indicios de moganita que se detecta por la pequeña reflexión a 4,45 Å. (Bustillo, 2001) Las partes exteriores del dique y venas tienen siempre importantes cantidades de sepiolita, o incluso, están compuestas solo por sepiolita, la cual, da el aspecto beige y mate anteriormente descrito. Justo en el contacto con la roca caja la sepiolita puede ser laminada.

**Petrología**

Tanto el dique silíceo como las venas presenta gran variedad de características y una cierta zonación de fases mineralógicas. No existe diferencia entre la fabrica de la sepiolita y la del ópalo CT, siendo el paso casi imperceptible en lámina delgada. El ópalo presenta birrefringencia estriada reflejo de la fabrica fibrosa de la sepiolita. En MEB, la estructura fibrosa de la sepiolita se reproduce en el ópalo, aunque en él, las fibras están empastadas constituyendo láminas. El cuarzo en lámina delgada es micro-criptocristalino y se estructura con una fabrica fibrosa-hojosa parecida a la de la parte ópalo-sepiolítica, por lo que toma un aspecto poco usual tanto en lámina delgada como en MEB, donde no se ven cristales salvo en los huecos. Estas características implican que este cuarzo se forma por envejecimiento del ópalo. Localmente también aparece cuarzo meso y macrocristalino ligado al relleno de cavidades.

Tanto los ópalos con sepiolita como los sílex de cuarzo pueden presentar cristales de dolomita. En unas zonas opalinas se observa que estos cristales son rombos pequeños (entre 5 y 50 µm), y pueden mostrar núcleos oscuros. En otras zonas de sílex de cuarzo los cristales tienen formas variables (rombos, esféricos o lenticulares parecidos al yeso), pueden presentar mayor tamaño (entre 5 y 130 µm), y suelen ser ferrosos. En todos los casos se observa que los cristales de dolomita se superponen a la fabrica y microestructura de los ópalos/sílex. La neoformación de dolomita es, por lo

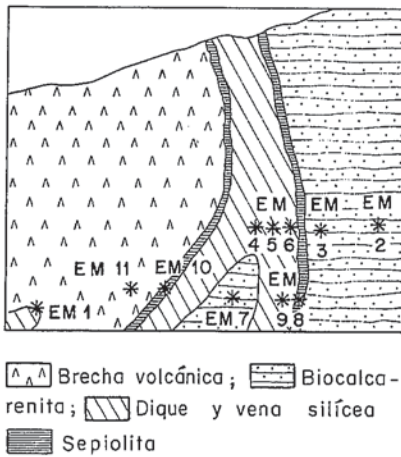


Fig.2.- Esquema de la localización de las muestras dentro del dique y vena.

Fig. 2.- Sketch illustrating the location of the samples in the dyke and vein.

tanto, posterior a la constitución del ópalo CT.

Las rocas carbonáticas y volcánicas, en los bordes con los diques o venas, muestran transformaciones. La transformación de la roca volcánica es muy local y puntual, y se traduce en una silicificación, quedando conservada la microestructura de la roca volcánica. Las transformaciones de los carbonatos originan dolomitizaciones y ferruginizaciones.

Se deduce que la dolomitización es consecuencia del dique porque las facies algo más alejadas del contacto con él, no la tienen, y porque este proceso

puede ser casi total en las biocalcarenitas incorporadas dentro del dique. Por otra parte, en las descripciones sobre estas formaciones de carbonatos templados no se menciona la existencia de dolomías (Braga *et al.* 1996). La dolomitización parcial de las biocalcarenitas del contacto genera cristales pequeños (5-10 µm) y sin forma determinada, pero en las calcarenitas incluidas en el dique aparecen dolomías casi puras con cristales rómbicos, esféricos o irregulares de entre 10 y 100 µm.

**Discusión**

Tanto el dique silíceo localizado en la fractura, como las venas silíceas que se encuentran en la roca volcánica, presentan asociaciones mineralógicas y zonaciones semejantes. Las zonas exteriores son de sepiolita, y esta, progresivamente se va mezclando con ópalo hacia el interior, apareciendo además cuarzo en la parte más interna. Esto se observa independientemente de que la roca en contacto o roca caja sea sedimentaria o volcánica. Dos mecanismos diferentes de procesos en cadena podrían justificar el conjunto de asociaciones mineralógicas encontradas:

1) Disoluciones hidrotermales precipitarían inicialmente sepiolita en el dique y en las venas. Bowles *et al.* (1971), comentan la precipitación de sepiolita por la reacción de soluciones hidrotermales con el agua de mar. Posteriormente nue-

vas disoluciones sobresaturadas en sílice y pobres en cationes reemplazarían esta sepiolita, precipitando fases opalinas. El reemplazamiento de sepiolita por ópalo liberaría mucho Mg y esto explicaría la neoformación de dolomita en el dique y los procesos de dolomitización que se observan en las biocalcarenitas directamente en contacto. Posteriormente parte de este ópalo envejece y se transforma a cuarzo.

En algunos depósitos hidrotermales asociados a bentonitas de la zona de Cabo de Gata se ha descrito también ópalos con sepiolita que son interpretados como consecuencia de un proceso de reemplazamiento de sepiolita por ópalo (Delgado *et al.*, 1994), por lo que este proceso es más general de lo que parece. En ambos casos el reemplazamiento se hace preferentemente en el centro, quedando los bordes sin afectar. Ejemplos de reemplazamientos pseudomorfo de sepiolita por ópalo son frecuentes en silcretas formadas sobre depósitos sedimentarios de sepiolita, y una de las causas podría estar en la capacidad de la sepiolita para retener agua en su estructura interior (Bustillo y Alonso, 2003),

2) La otra hipótesis es que en el dique precipite ópalo A, que es amorfo y puede llevar incluido grandes cantidades de Mg. Esta fase amorfa, que sería al comienzo un gel silicomagnesiano con mucho agua, comenzaría a envejecer pasando a ópalo CT; el Mg, no pudiendo entrar en la estructura del ópalo

		Ópalo C-T	Cuarzo	Calcita	Dolomita	Sepiolita	Plagioclasa	Anfibol	Otros
EM-1.1	Ópalo verde (parte interior vena)	85	10			5			
EM-1.2	Ópalo marrón (parte intermedia vena)	65	5%			30			
EM-1.3	Arcilla beige (parte exterior vena)					100			
EM-1.4	Roca volcánica		50				40	5	Mica-5
EM-2	Biocalcarenita		In	95				In	Mica-In
EM-3	Biocalcarenita		In	75	25				
EM-4.1	Sílex blanco		95		5				
EM-4.2	Sílex ocre		55	5	40				
EM-5	Ópalo beige-verdoso	35	5		25	35			
EM-6	Ópalo beige	25	5		25	45			
EM-7	Biocalcarenita		5%		95				
EM-8	Arcilla masiva		In			100			
EM-9.1	Sílex azul (parte interior)		100						Mo-In
EM-9.2	Arcilla opalina (parte intermedia)	20	10			70			
EM-9.3	Arcilla opalina (parte exterior)	10	10			80			
EM-10	Arcilla laminada		In			100			
EM-11	Roca volcánica		10				55	15	Cb-5, Ceo-15

Cb=cristobalita, Ceo=ceolita, Mo=moganita; In=indicios

Tabla I.- Abundancia relativa de los minerales que constituyen los diques y venas. Datos obtenidos por DRX

Table I.- Relative abundance of the minerals in the dykes and veins. The analyses were obtained by DRX

CT, quedaría libre formando sepiolita que se distribuiría mayormente en las partes exteriores del dique y venas. Los procesos de envejecimiento que implican el paso ópalo A- ópalo CT-cuarzo suelen empezar en el núcleo de las acumulaciones silíceas, de manera que cuando el proceso no ha terminado totalmente, las fases más envejecidas están en el interior, como sucede en este caso. El cuarzo del interior sería la última fase del envejecimiento. También, durante este envejecimiento, parte del Mg que sale origina la precipitación de la dolomita. Todos estos procesos se han comentado en ambiente sedimentario cuando el ópalo amorfo biogénico coge Mg del agua del mar, y luego, al transformarse a ópalo CT y cuarzo, aparece sepiolita y dolomita. (Donnelly y Merrill, 1977)

Aunque ambas posibilidades podrían explicar las asociaciones mineralógicas y su zonación, consideramos más factible la primera, porque el ópalo refleja todas las características de fábrica y estructura que tiene la sepiolita, indicando entonces un reemplazamiento pseudomórfico. También podría apoyar esta hipótesis el hecho de que la dolomita que está dentro del dique nunca se sobrepone a la sepiolita pura, tiene que existir ópalo o cuarzo. Ello podría indicar que es necesario la sustitución de la sepiolita por síli-

ce para generar la fuente del Mg. Por otra parte, quizás no sea posible un primer amorfo de sílice tan cargado en Mg como para generar por envejecimiento una fuente de Mg, de tal cantidad, que pudiera justificar la precipitación de sepiolita y dolomita.

### Conclusiones

Los depósitos silíceos emplazados en fracturas y venas se han producido a partir de disoluciones hidrotermales, posiblemente cuando se mezclan con el agua de mar. Las asociaciones sepiolita-ópalo-cuarzo-dolomita, que aparecen de una forma constante, son explicadas por una sucesión de procesos encadenados que implican la precipitación de sepiolita, su reemplazamiento por fases opalinas y, posteriormente, la neoformación de dolomita/dolomitización debido a la riqueza en Mg que se origina como consecuencia del reemplazamiento. Las fases opalinas envejecen y se transforman a cuarzo en las partes interiores de los diques y venas.

### Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto BTE2002-04017-

CO2-01 del Ministerio de Ciencia y Tecnología. Agradecemos al Dr. Javier García Guinea y a D. Martín Fernández Hernán su ayuda en la localización de los afloramientos.

### Referencias

- Bowles F.A., Angino E.A., Hosterman J.W., and Galle O.K. (1971): *Earth and Planetary Science Letters*, 11, 324-332.
- Bustillo M.A. (2001): *Journal of Sedimentary Research*, 71, 436-443.
- Bustillo M.A. y Alonso A. (2003): *Estudios geológicos*, 59, (en prensa)
- Braga J.C., Martín J.M., Betzler C. y Brachert T. (1996): *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 9, 285-297.
- Delgado A., Bustillo M.A. y Reyes E. (1994): *Revista del Instituto Oceanográfico*, 18, 51-61.
- Martín J.M., Braga J. C., Betzler C. y Brachert T. (1996). *Sedimentology*, 43, 263-277.
- Donnelly T.W. y Merrill L. (1977): *Chemical Geology*, 19, 167-186
- Pineda A., Giner J., Zazo C., Goy J.L. (1981): Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 1046 (Carboneras). IGME, Madrid.