

# Génesis de cristobalita en andesitas alteradas (Los Escullos, Almería)

*Cristobalite formation in altered andesites (Los Escullos, Almeria)*

M<sup>a</sup> Ángeles Bustillo<sup>1</sup> y Alfredo Aparicio<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Geología. Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC. C/ José Gutiérrez Abascal 2, 28006 Madrid, España. abustillo@mncn.csic.es

<sup>2</sup> Departamento de Dinámica Terrestre, Instituto de Geociencias, CSIC-UCM. C/ José Gutiérrez Abascal 2, 28006 Madrid, España. a.aparicio.yague@csic.es

## ABSTRACT

This paper studies the mineralogical and petrological composition of an outcrop of altered andesite in the volcanic region of Cabo de Gata (Los Escullos), using X-ray diffraction, optical microscopy and scanning electron microscopy (SEM) with energy dispersive analyses. The aim is to determine the alteration processes that were able to develop a large amount of cristobalite in the andesites. This cristobalite grew independent of the silicification that generated siliceous veins and dikes in this outcrop. Optical microscopy reveals that the alteration affected only the andesite groundmass, leaving the phenocrysts (amphibole, biotite, plagioclase and opaques) preserved. The paste is mainly composed of cristobalite and small amounts of zeolites and smectites, which were formed in a later stage. The twinnings of cubic and tetragonal cristobalite crystals, identified in SEM, suggest that they might be formed as a vapour-phase. It is considered the cristobalite was formed by devitrification and perhaps by vapour-phase mineralization and that may be necessary a cristobalite precursor formation, in order to provide the nuclei. This process would occur during the percolation of gas at the start of cooling of the glass in the andesitic flow.

**Key-words:** Cristobalite, devitrificación, andesite, vapour-phase, Los Escullos.

*Geogaceta*, 58 (2015), 35-38  
ISSN (versión impresa): 0213-683X  
ISSN (Internet): 2173-6545

## Introducción

Las rocas volcánicas del Cabo de Gata están formadas por secuencias de tipo calcoalcalino, en las que andesitas y dacitas, junto a riolitas, son las composiciones más frecuentes, abarcando un periodo de tiempo de emisión entre los 15 y 7 Ma (López-Ruiz y Rodríguez-Badiola 1980; Fernández-Soler, 1992). Los tipos de yacimiento de estas rocas corresponden a coladas y domos con emisiones aéreas y submarinas dando origen en ocasiones a depósitos pirocláticos e

hidromagmáticos (Fernández-Soler, 1992). En determinados puntos de la región volcánica de Cabo de Gata las coladas y domos son transformados por procesos de alteración hidrotermal en rocas silicificadas o surcados por diques silíceos (Delgado *et al.*, 1994; Bustillo y Aparicio, 2004), pero la formación de fases silíceas dentro de andesitas alteradas no ha sido estudiada. El presente trabajo aborda el estudio de los procesos de alteración que sufrió un afloramiento concreto de roca volcánica, y que fueron capaces de formar mayoritariamente cristo-

## RESUMEN

El presente trabajo aborda el estudio de la composición mineralógica y petrológica de un afloramiento de andesitas alteradas en la región volcánica de Cabo de Gata (Los Escullos), mediante Difracción de rayos X, Microscopía Óptica (MO) y Electrónica (MEB) con Energía Dispersiva. El objetivo es determinar los procesos de alteración que fueron capaces de formar gran proporción de cristobalita, independientemente de los procesos de silicificación que generaron venas y diques silíceos en este afloramiento. La microscopía óptica revela que la alteración afectó solo a la matriz de la andesita, quedando los fenocristales (anfíbol, biotita, plagioclasa y opacos) preservados. La matriz está constituida mayoritariamente por cristobalita y pequeñas cantidades de zeolitas y esmectitas, que se formaron posteriormente a la cristobalita. Las maclas de cristales de cristobalita con hábitos cuadrangulares y tetragonales, identificados en MEB, sugieren que pudo haber una precipitación en fase de vapor. Se considera que la cristobalita se constituye por un proceso de desvitrificación, planteando la hipótesis de que también pudo existir cristalización de cristobalita en fase de vapor, durante la percolación de gases en el comienzo del enfriamiento del vidrio volcánico.

**Palabras clave:** Cristobalita, desvitrificación, andesitas, fase de vapor, Los Escullos.

Fecha de recepción: 2 de febrero de 2015  
Fecha de revisión: 29 de abril de 2015  
Fecha de aceptación: 15 de mayo de 2015

balita, independientemente de los procesos de silicificación que generaron venas y diques silíceos.

## Contexto geológico

El afloramiento estudiado está situado en la carretera de San José a Los Escullos (Fig. 1) y corresponde a lavas masivas (8 metros de espesor) con aspecto y color muy variable. Está formado por una andesita beige muy alterada y surcada por venas y bolsas de sílice pura muy compacta (ópalos),

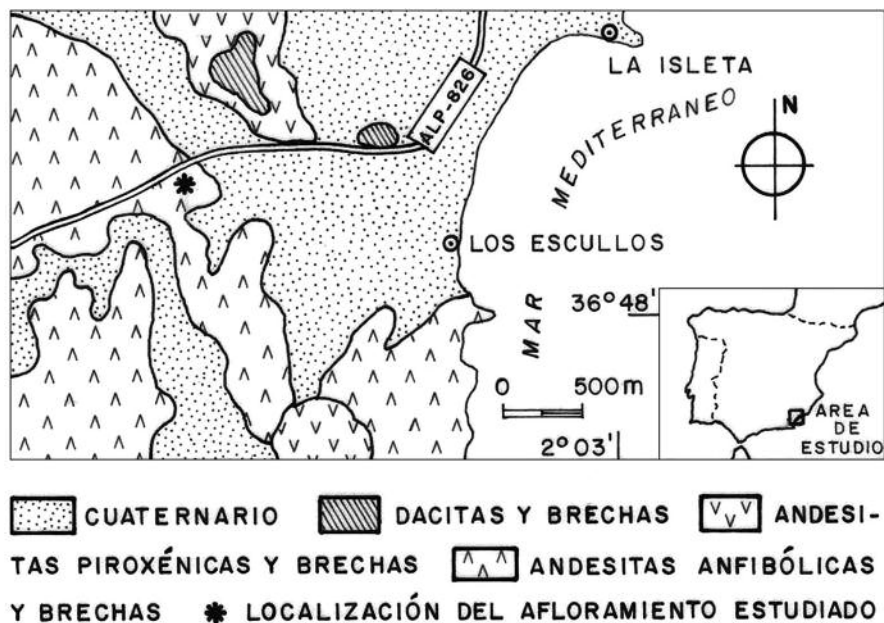


Fig. 1.- Situación geográfica y geológica (modificado de Pineda *et al.*, 1983).

Fig. 1.- Geographic and geological location (modified from Pineda *et al.*, 1983).

que presentan color variable, predominando los tonos verdes o morados oscuros (Fig. 2). En determinadas zonas las venas de sílice compacta son tan abundantes que el conjunto toma el aspecto de brechas, al quedar aisladas entre ellas zonas de la roca volcánica beige alterada.

De acuerdo con los datos del mapa geológico a escala 1:50.000 (Fig. 1), el afloramiento se incluiría en la formación de andesitas anfibólicas, en contacto con una formación de brechas piroclásticas de andesita anfibólica, que se formaron por brechificación en los conductos de emisión, debido a su propia viscosidad y al alto contenido en volátiles. De acuerdo con Fernández-Soler (1992) este afloramiento formaría parte de los materiales Pre-Frailes. En afloramientos próximos, pero no en la

misma formación, aparecen los yacimientos de bentonitas y zeolitas, formados principalmente por procesos de alteración hidrotermal (Benito-García *et al.*, 1997; García-Romero, 2012).

### Metodología

El estudio mineralógico se llevó a cabo con Difracción de Rayos X (DRX), mediante diagramas de polvo total, utilizando un Equipo PHILIPS modelo PW1710, equipado con monocromador de grafito. El estudio petrológico fue realizado por microscopía óptica convencional y microscopía electrónica de barrido (MEB). En MEB se trabajó sobre fragmentos de muestras metalizadas con oro, con un equipo FEI Inspect, realizándose a la vez análisis químicos puntua-

les por energía dispersiva (EDS), con un equipo OXFORD Inca.

### Mineralogía y petrología

El estudio en microscopía óptica reveló que existe una alteración de la roca volcánica que afecta fundamentalmente a la pasta, pues los fenocristales se conservan relativamente bien, manteniendo todo el conjunto la textura/estructura original de una andesita. Aunque existe cierta porosidad, no se advierten vacuolas. Los fenocristales son de anfíbol, biotita, plagioclasa y opacos. La plagioclasa (40%) se presenta en cristales idiomorfos a subidiomorfos, con secciones tabulares y exfoliación fuertemente marcada; su longitud máxima no supera los 2 mm aunque el tamaño medio es de 0,5 mm. El anfíbol (30%) es de tipo hornbléndico, fuertemente pleocroico y con hábitos tabulares aunque a veces presentan sección hexagonal; su longitud máxima es de un 1 mm y su tamaño medio es de 0,5 mm. Los opacos son poco numerosos (menos del 5%), alotriomorfos, con diámetro medio de 0,2 mm y máximo de 0,5 mm. La matriz está constituida principalmente por cristobalita (25%), observándose solo en ciertos casos que este mineral rellenó una porosidad antigua. Se presenta en cristales que cuando se observan completamente son octogonales; manifiestan estructura fibrosa y tiene tamaños que pueden alcanzar 170 μm de diámetro (Fig. 3). Su color es grisáceo o marrón, pueden presentar núcleos más oscuros, y son casi isotropos en nícoles cruzados.

Puntualmente, en la matriz, se advierten también huecos cementados por zeolitas que se diferencian de la cristobalita por tener color marrón amarillento (Fig. 4) y presentar birrefringencia. En las zonas de contacto de la roca volcánica alterada con las venas de sílice se observa como estas cortan tanto a los fenocristales como a la cristobalita.

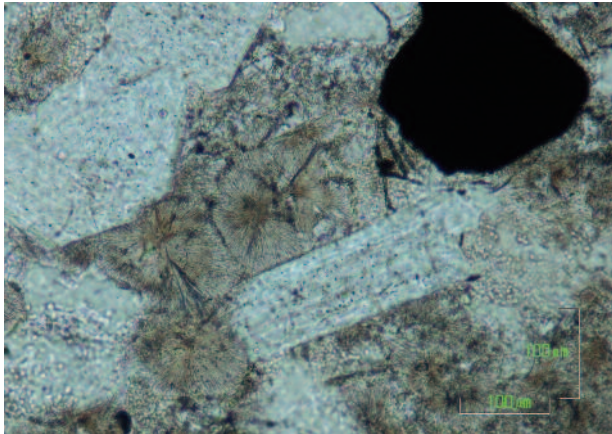
Los estudios de DRX (Fig. 5) revelan que la matriz está formada principalmente por cristobalita, apareciendo minoritariamente esmectitas e indicios de micas, porque el anfíbol y los feldespatos se encuentran como fenocristales. Es difícil detectar en DRX la presencia de las zeolitas por su pequeña proporción e interferencia con los otros minerales.

La cristobalita presenta buena cristalinidad porque la anchura a mitad de la al-



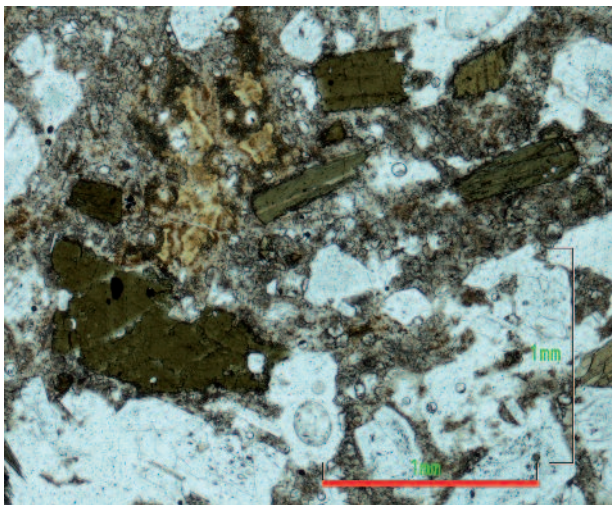
Fig. 2.- Roca volcánica alterada atravesada por venas de sílice compacta.

Fig. 2.- Altered volcanic rock cut by silica veins.



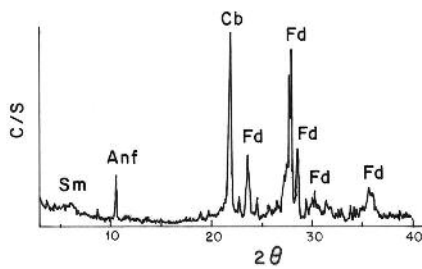
**Fig. 3.-** Fotografía de microscopía óptica. Cristales de cristobalita entre fenocristales. Nícoles paralelos. La barra corresponde a 100  $\mu\text{m}$ .

*Fig. 3.- Optical microphotograph. Cristobalite crystals between phenocrysts. Parallel nicols. The bar is 100  $\mu\text{m}$ .*



**Fig. 4.-** Fotografía de microscopía óptica donde zeolitas coexisten con cristobalita en la matriz de la andesita alterada. Nícoles paralelos. La barra corresponde a 1 mm.

*Fig. 4.- Optical microphotograph. Zeolites and cristobalite constitute the groundmass of the altered andesite. Parallel nicols. The bar is 1 mm.*

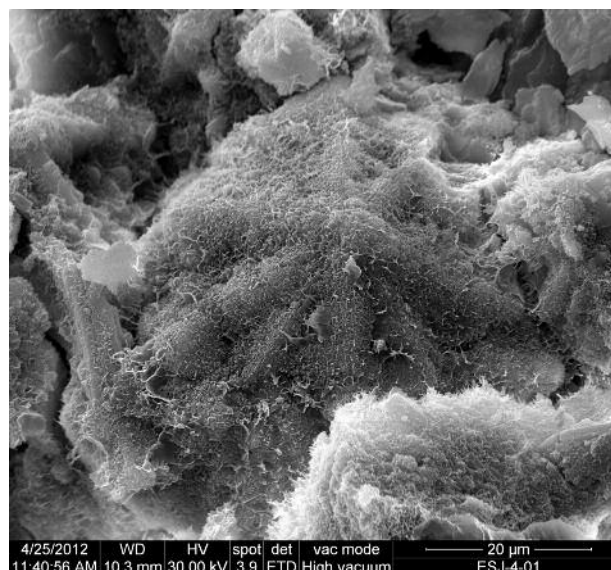


**Fig. 5.-** Difractograma de polvo total de la andesita alterada. Sm = Smectita, Anf = anfíbol, Cb = Cristobalita, Fd = feldspato.

*Fig. 5.- XDR pattern of altered andesite powder. Sm = Smectite, Anf = anfíbol, Cb = Cristobalite, Fd = feldspat.*

tura del pico correspondiente a 4,04 Å es de 0,25  $^{\circ}$ . En MEB, los cristales de cristobalita se presentan con una morfología exterior de pinacoides (Fig. 6) y tienen frecuentemente tamaños entre 20 y 60  $\mu\text{m}$ . Estas morfologías son consecuencia de que los cristales de cristobalita muestran hábitos cuadrangulares y tetragonales y constituyen maclas (Horwell *et al.*, 2013). En la superficie aparecen pequeñas láminas onduladas

que son interpretadas como esmectitas. Los análisis de EDX, indican que la cristobalita tiene sustituciones estructurales de Al, y a veces de otros elementos como Fe, Na, Ca, Mg y K. Las relaciones atómicas Si /Al varían entre 40 y 36.



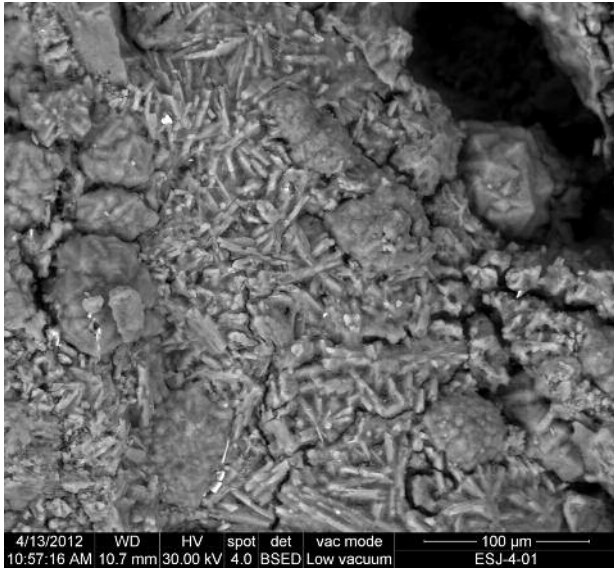
**Fig. 6.-** Fotomicrografía de MEB (detector de electrones secundarios) de un cristal pinacoidal maclado de cristobalita con esmectita sobre su superficie.

*Fig. 6.- SEM microphotograph (everhart thornley detector) of the pinacoid twinned cristobalite with smectites on their surface.*

Entre los pináculos de cristobalita y dentro de huecos dejados por la cristobalita aparecen, en algunas ocasiones, placas o varillas que se presentan en disposición radial (Fig. 7), y que se interpretan como zeolitas. Las relaciones Si/Al de estas zeolitas varían entre 2,72 y 3,11. Son ricas en Na y K, pero también incluyen Ca, Mg y Fe. Por su morfología y composición podrían ser definidas como clinoptilolita (Welton, 2003).

**Discusión**

De acuerdo con la estructura compacta del afloramiento, y la textura de la roca andesítica, las coladas estudiadas se emplazaron en medio aéreo. Los datos bibliográficos indican que posteriormente fueron cubiertas por sedimentos marinos (Pérez del Villar *et al.*, 2005). Los fenocristales y microcristales de las andesitas alteradas no muestran signos petrográficos de alteración post-magmática, siendo la matriz la que refleja la alteración. De una manera genérica en todo estudio de alteración de una roca volcánica se plantea la disyuntiva de si la alteración fue por desvitrificación del vidrio original, por hidrotermalismo o por ambos. El proceso de desvitrificación/hidratación de una andesita, puede implicar la transformación del vidrio en cristobalita, arcillas, y zeolitas, pero también los reemplazamientos hidrotermales del vidrio pueden generar estos minerales, y de hecho este el principal proceso por el que se explican los depósitos de bentonitas y zeolitas de uso industrial en esta zona del Cabo de Gata (Benito-García *et al.*, 1997; García-Romero, 2012).



**Fig. 7.- Fotomicrografía de MEB (detector de electrones retrodispersados). Placas de zeolitas con disposición radial coexisten con los cristales pinacoidales de cristobalita.**

*Fig. 7.- SEM microphotograph (Backscattering electron detector). Zeolites, showing radial network, coexist with pinacoidal cristobalite crystals.*

En las muestras estudiadas la matriz está formada casi exclusivamente por cristobalita, mientras que el resto de minerales (zeolitas y esmectitas) solo aparecen puntualmente. La distribución homogénea de los cristales de cristobalita en la matriz de la roca volcánica, comenzando su crecimiento muchas veces sobre los bordes de los fenocristales, hace pensar en una génesis por desvitrificación. Cristobalita, con este origen, es reconocida en muchas rocas volcánicas de Japon (p. ej., Wakizaka 2000). Yurtmen y Rowbotham (2002) definen en ignimbritas de Anatolia (Turquía) el proceso de desvitrificación en fase de vapor con la cristalización esferulítica de cristobalita y feldespato potásico. De acuerdo con estos autores, esta cristalización resulta de la percolación de gases durante el enfriamiento del vidrio. Baxter *et al.* (1999) y Horwell *et al.* (2013) analizan la naturaleza de la cristobalita que aparece en los domos de andesitas del volcán Soufriere Hills, Montserrat (Antillas). Estos autores llegan a la conclusión de que la cristobalita se formó a partir de una fase de vapor, pero también como consecuencia de la desvitrificación. De acuerdo con Horwell *et al.* (2013) para la formación de cristobalita en fase de vapor puede ser necesario la formación de una cristobalita precursora por desvitrificación. Es difícil confirmar esta hipótesis, aunque los hábitos pinacoidales, observados en MEB, en este estudio (Fig. 5), son similares a los mostrados por Horwell *et al.* (2013) para cristobalitas que se forman en fase de vapor, por lo que podría considerarse tam-

bién esta génesis. La cristobalita formada ocluiría parte de la porosidad inicial de la roca volcánica, por lo cual, no la observamos actualmente.

Las texturas en microscopía óptica, donde se observan núcleos más oscuros en algunos cristales de cristobalita (Fig. 3) podrían ser un indicio para determinar que han existido varias fases de crecimiento en ellos, y por lo tanto, esa fase precursora. La persistencia de cristobalita a temperaturas y presiones ambientales es debida a que necesita una energía de activación alta para transformarse a cuarzo de baja temperatura, que sería la fase estable. Las relaciones entre fases minerales en microscopía óptica y MEB indican que las esmectitas y las zeolitas son los minerales más tardíos de la roca volcánica alterada (desvitrificada).

## Conclusiones

Los procesos de alteración que han sufrido las andesitas estudiadas contrastan con otros procesos de alteración existentes en la zona de Los Escullos y que formaron yacimientos de bentonitas y zeolitas. Los procesos de alteración de las andesitas estudiadas generaron neoformaciones de cristobalitas, y posteriormente, venas de ópalo, siendo insignificantes las proporciones de esmectitas y zeolitas. Se considera que la cristobalita, que es el principal componente de la matriz de la andesita alterada, se constituye por un proceso de desvitrificación, planteando la hipótesis de que también pudo existir una cristalización de cris-

tobalita en fase de vapor, durante la percolación de gases en el comienzo del enfriamiento del vidrio volcánico.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado a través del proyecto MINECO CGL2011-27826-02. Nuestro agradecimiento a los revisores anónimos que con sus anotaciones y comentarios han mejorado este artículo

## Referencias

- Baxter, P.J., Dupree, R., Hards, H.L., Kohn, S.C., Murphy, M.D., Nichols, A., Nicholson, R.A., Norton, G., Searf, A., Sparks, J. y Vickers, B.P. (1999). *Science* 283, 1142-1145.
- Benito-García, R., García-Guinea, J. y Valle-Fernández, F.J. (1997). En: *Recursos Naturales y Medio Ambiente en el Sureste Peninsular* (L. García-Rossel y A. Navarro, eds), Instituto de Estudios Almerienses y Ayuntamiento de Cuevas de Almanzora, Almería, 291-306.
- Bustillo, M.A. y Aparicio, A. (2004). *Geogaceta* 35, 31-34.
- Delgado, A., Bustillo, M.A. y Reyes, E. (1994). *Revista del Instituto Oceanográfico de España* 18, 51-61.
- Fernández-Soler, J.M. (1992). *El volcanismo calco-alcalino de cabo de Gata (Almería). Estudio volcanológico y petrológico*. Tesis Doctoral. Univ. de Granada, 197 p.
- García-Romero, E. (2012). *Workshop Bentonitas del sureste de la Península Ibérica*. Guía de Campo. Sociedad Española de Arcillas, 48 p.
- Horwell, C.J., Williamson, B.J., Llewellyn, L.E.W., Danby D.E. y Le Blond, J.S. (2013). *Bulletin of Volcanology* 75, DOI: 10.1007/s00445-013-0696-3.
- López-Ruiz, J. y Rodríguez- Badiola, E. (1980). *Estudios Geológicos* 36, 5-63.
- Pérez del Villar, L., Delgado, A., Reyes, E., Pelayo, M., Fernández-Soler, J.M., Cozar J.S., Tsige, M. y Quejido, A.J. (2005). *Applied Geochemistry* 20, 2252-2282.
- Pineda, A., Goy, J.L., Zazo, C. y Giner, J. (1983). *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 1060 (El Pozo de los Frailes) y memoria*. IGME, Madrid, 35 p.
- Wakizaka, Y. (2000). *Engineering Geology* 56, 211-221.
- Welton, J.E. (2003). *SEM Petrology Atlas. Methods in Exploration Series No. 4*. The American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Oklahoma, 240 p.
- Yurtmen, S. y Rowbotham, G. (2002). *Geological Journal* 37, 189-215.