

## Metamorfismo de alta-P en las rocas volcánicas submarinas de Espasante (II): Condiciones P-T y evolución reaccional

### *High-P metamorphism in submarine volcanic rocks of Espasante (II): P-T conditions and reaction evolution*

I. Novo-Fernández<sup>1</sup>, A. García-Casco<sup>2,3</sup>, R. Arenas<sup>4</sup> y R. Díez Fernández<sup>5</sup>

1 Departamento de Petrología y Geoquímica (UCM), Universidad Complutense. 28040 Madrid. [inovo@ucm.es](mailto:inovo@ucm.es)

2 Departamento de Mineralogía y Petrología, Universidad de Granada. 18071 Granada. [agcasco@ugr.es](mailto:agcasco@ugr.es)

3 Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (CSIC, UGR). E-18100 Armilla, Granada.

4 Departamento de Petrología y Geoquímica (UCM), Universidad Complutense. 28040 Madrid. [rarenas@ucm.es](mailto:rarenas@ucm.es)

5 Departamento de Petrología y Geoquímica (UCM), Universidad Complutense. 28040 Madrid. [georuben@usal.es](mailto:georuben@usal.es)

**Resumen:** El bloque tectónico de metavulcanitas de la Mélange de Somozas se caracteriza por registrar un evento de alta-P ocurrido durante su subducción. Este evento se refleja únicamente en la matriz hialoclastítica, que desarrolló una mineralogía compleja favorecida por la alteración hidrotermal de fondo oceánico previa que modificó su composición primaria y favoreció el desarrollo de fases minerales de alta-P durante la subducción. La modelización termodinámica de las metahialoclastitas ha permitido determinar las condiciones P-T de la asociación mineral del pico metamórfico, constituida por moscovita+paragonita+granate+clorita+distena+hematites+epidota+ cuarzo+rutilo. Las pseudosecciones, calculadas en el sistema KNCFMnMASHTO, indican unas condiciones para el pico metamórfico de aproximadamente 17.5-18 kbar de presión y 550°C de temperatura. La margarita aparece como mineral retrógrado en las muestras, y se forma por debajo de los 11 kbar de presión. La trayectoria P-T propuesta para estas rocas indica una drástica descompresión y un rápido ascenso del bloque de metavulcanitas a través del canal de baja viscosidad en el cual se desarrolló la mélange en sí.

**Palabras clave:** Mélange, Serpentinitas, Metavulcanitas, Pseudosecciones, Alta Presión.

**Abstract:** The studied tectonic block of submarine metavolcanic rocks in the Somozas Mélange records a high-P metamorphic event developed during subduction. This metamorphic event is only clearly recorded in the hyaloclastitic matrix of the pillow-breccias. It is suggested that the first hydrothermal metamorphism affecting the hyaloclastic rocks, that strongly modified its chemical composition, favored the development of high-P mineral phases during subduction. Pseudosection modeling of the metahyaloclastites has allowed establishing the P-T conditions of the metamorphic peak mineral assemblage (muscovite+paragonite+garnet+chlorite+kyanite+hematite+epidote+quartz+rutile). Several pseudosections calculated in the KNCFMnMASHTO system indicate P-T peak conditions of 17.5-18 kbar and ca. 550°C. Margarite appears as a retrograde mineral formed at pressure conditions below 11 kbar. The P-T path evolution shows a drastic exhumation of the metavolcanic block developed after a subduction event. The exhumation was driven by return flow in the low-viscosity subduction channel in which the mélange developed.

**Key words:** Serpentine mélange, Metavolcanic rocks, Pseudosection modeling, High-P metamorphism.

## INTRODUCCIÓN

Debido a sus características la Mélange de Somozas ha sido interpretada como una zona de subducción en el orógeno Varisco. Sin embargo, hasta ahora no se ha descrito la presencia de rocas con paragénesis de alta presión originadas durante la subducción que dio lugar a la formación de la mélange.

En este trabajo se han calculado pseudosecciones que muestran las condiciones P-T del pico metamórfico y la evolución reaccional de las hialoclastitas presentes

en el bloque tectónico de metavulcanitas de Espasante que aparece dentro de dicha mélange.

## GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS MAYORES

Para la obtención de la composición de roca total de las metahialoclastitas de Espasante se ha analizado la composición de roca total de la pastilla correspondiente a cada lámina en los laboratorios ACTLABS (Ontario, Canadá). Para la cuantificación de los elementos mayores se ha utilizado la técnica de Fusión-ICP, mientras que los elementos traza se han establecido mediante Fusión-ICP-MS. Además, se ha determinado

el contenido en agua por gravimetría y el FeO mediante complexometría.

Arenas *et al.* (2009) clasifican las metavulcanitas submarinas de Espasante como andesitas basálticas. Sin embargo, la geoquímica de elementos mayores de las metahialoclastitas es compleja y poco común debido a la gran alteración hidrotermal que modificó su composición primaria. La Figura 1 compara las rocas sin alterar con las metahialoclastitas, en las que se pueden observar diferencias significativas. Se trata de rocas con valores ligeramente inferiores en SiO<sub>2</sub> con respecto a las andesitas basálticas, contenidos variablemente superiores en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y MnO, un fuerte enriquecimiento en K<sub>2</sub>O, un empobrecimiento en Na<sub>2</sub>O, y un acusado empobrecimiento en CaO y MgO. Estas pautas de metasomatismo son anteriores al metamorfismo de alta-P y se produjeron durante el proceso de fragmentación extrema de las rocas volcánicas submarinas (formación de las hialoclastitas) y de su interacción a elevada temperatura con agua marina.

Esta alteración hidrotermal afectó a la composición primaria de las hialoclastitas favoreciendo el desarrollo de paragénesis de alta presión en estas rocas.

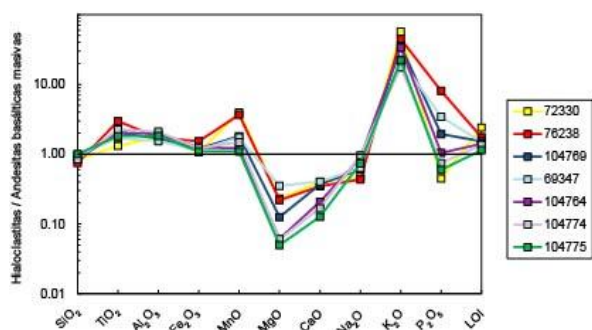


FIGURA 1. Diagrama mostrando la relación de los elementos mayores de las metahialoclastitas con las andesitas basálticas masivas sin alterar.

## CONDICIONES P-T

Con el objetivo de determinar la trayectoria P-T que han seguido las metahialoclastitas de Espasante se han calculado diagramas de fases para las composiciones específicas de las muestras estudiadas (o pseudosecciones). En este trabajo se presentan los resultados para la muestra con una composición y mineralogía más apropiada, ofreciendo los diferentes campos P-T de estabilidad de las asociaciones de fases y también la distribución de isopleetas de Si en fengita (Figura 2). Se ha trabajado con el software de modelización termodinámica Theriak-Domino (de Capitani y Brown, 1987; de Capitani y Petrakakis, 2010), utilizando la base de datos internamente consistente 5.5 de Holland y Powell (1998) ("tcd55c2d"). Para el cálculo de pseudosecciones, las rocas hialoclastíticas se han modelizado en el sistema

químico KNCFMnMASHTO, considerando al H<sub>2</sub>O en exceso. El diagrama de fases se ha calculado en un rango de presión de 5 a 20 kbar, mientras que la temperatura se ha establecido en un rango de 400 a 700°C.

La Figura 2 presenta el diagrama de fases calculado para la muestra 76238. Los campos de estabilidad aparecen coloreados en función del grado de libertad de sus asociaciones de fases respectivas. Así, los colores más claros indican menos grados de libertad, mientras que las tonalidades más oscuras mayor varianza.

La moscovita, el granate, la hematites, el cuarzo y el rutilo son estables en todos los campos de la pseudosección. Algunos minerales, sin embargo, restringen su estabilidad solamente a ciertas áreas del diagrama. Así, la distena se forma a temperaturas superiores a 450 °C y a partir de 10 kbar. El máximo de presión en que puede formarse la clorita se encuentra aproximadamente a 19 kbar, y a partir de los 575 °C no es estable. Por último, la margarita se forma a presiones inferiores a 11 kbar y en un rango de temperatura de 400 a 600 °C aproximadamente. Todo ello resulta en el acotamiento de las condiciones P-T de la asociación mineral que constituye el pico metamórfico de la muestra 76238 entre los 16.5-18.5 kbar y 525 y 575 °C.

Durante el pico metamórfico se forman la mayoría de las fases minerales que se preservan en las metahialoclastitas. A partir de las isopleetas de Si en fengita se puede determinar la presión a la que estuvieron sometidas las rocas durante el pico metamórfico. Las moscovitas formadas durante este estadio son ricas en fengita, y los valores de Si son de 3.15 apfu (normalizado a 11 oxígenos). De acuerdo con los resultados obtenidos para las isopleetas, la presión a la que estuvieron sometidas las rocas se encuentra en un rango de 17.5 a 18 kbar, lo que corresponde a aproximadamente 66 km de profundidad. La temperatura está acotada por dicho campo de estabilidad en 525 a 575 °C.

La roca sufrió una retrogradación que se manifiesta principalmente por la aparición de margarita en el interior de la distena, granos de clorita que cortan la foliación principal, paragonita dispuesta en forma de corona alrededor de la distena, y moscovita de composición menos fengítica alrededor de núcleos más fengíticos.

La trayectoria P-T deducida para las metahialoclastitas de Espasante se puede dividir en dos sectores. Al comienzo la trayectoria es muy vertical, casi isotérmica, hasta alcanzar los 10 kbar de presión, mientras que la segunda parte implica un enfriamiento moderado. Esto indica la drástica descompresión de unas litologías que comenzaron a exhumarse inmediatamente después de alcanzar su pico bórico.

Considerando las presiones alcanzadas y las características de la trayectoria descompresiva, las metavulcanitas de Espasante fueron subducidas y luego experimentaron una exhumación que es consistente con

la existencia de un flujo de retorno en un canal de subducción.

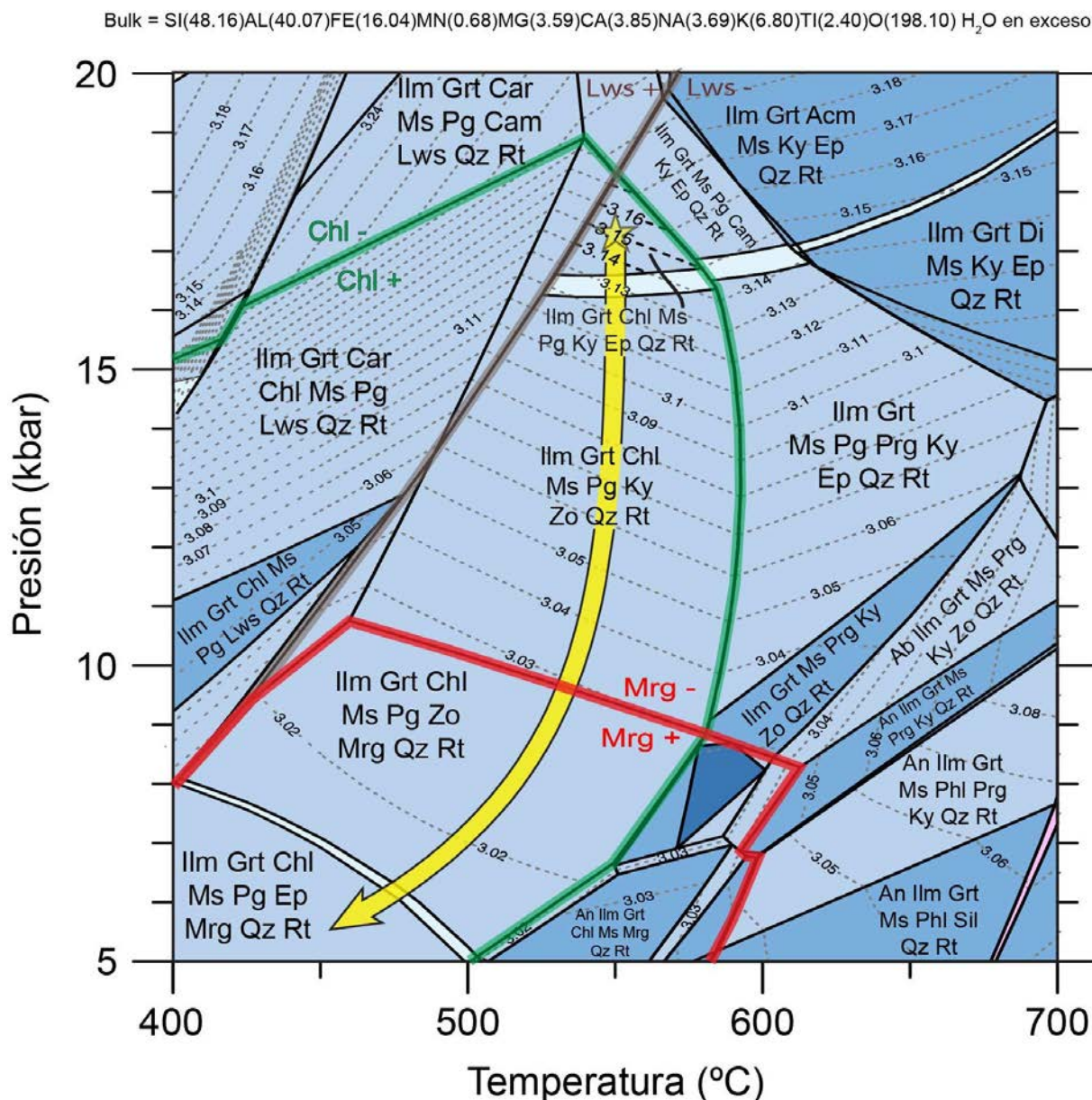


FIGURA 2. Pseudosección calculada para la muestra 76238. Las líneas discontinuas muestran las isopleteras para Si en fengita.

**CONCLUSIONES**

Las hialoclastitas del bloque tectónico de metavulcanitas de Espasante, a diferencia del resto de las litologías presentes en este bloque, manifiestan un evento de metamorfismo de alta presión. Esto es debido a la gran alteración hidrotermal de fondo oceánico que hidrató considerablemente a las hialoclastitas, afectando a su composición química y favoreciendo el desarrollo de paragénesis de alta presión.

La alta presión calculada para este bloque, así como la drástica y rápida exhumación deducida, pone de manifiesto que la Mélange de Somozas representa una zona de subducción. El metamorfismo de alta presión registrado por las metahialoclastitas ocurrió durante la subducción. El bloque tectónico de metavulcanitas fue subducido hasta 60 km de profundidad y posteriormente incorporado al canal de baja viscosidad en el cual se produjo su rápida exhumación.

## AGRADECIMIENTOS

Al proyecto de investigación “Ensamblado de Pangea: Eventos críticos en el basamento de Europa Occidental” (CGL2012-34618) por financiar este trabajo.

## REFERENCIAS

- Arenas, R., Sánchez Martínez, S., Castiñeiras, P., Jeffries, T.E., Díez Fernández, R. y Andonaegui, P. (2009): The basal tectonic mélange of the Cabo Ortegal Complex (NW Iberian Massif): a key unit in the suture of Pangea. *Journal of Iberian Geology*, 35: 85-125.
- De Capitani, C. y Brown, T.H. (1987): The computation of chemical equilibrium in complex systems containing non-ideal solutions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 51: 2639-2652.
- De Capitani, C. y Petrakakis, K. (2010): The computation of equilibrium assemblage diagrams with Theriak/Domino software. *American Mineralogist*, 95: 1006-1016.
- Holland, T.J.B. y Powell, R. (1998): An internally consistent thermodynamic data set for phases of petrological interest. *Journal of Metamorphic Geology*, 16: 309-343.