

Evaluación de las condiciones de presión y temperatura de cristalización en los enjambres de diques del Edificio Antigo Inferior de La Gomera: aplicación al estudio del campo de esfuerzos del Edificio

Evaluation of the P-T conditions of crystallization in the dyke swarms of Lower Old Edifice of La Gomera: application to the study of the stress field of the volcano

Beatriz Barajas, Joaquín Barrado, Álvaro Márquez y Raquel Herrera

Departamento de Biología y Geología, ESCET, Universidad Rey Juan Carlos. C/ Tulipán s/n, Móstoles, 28933 Madrid, España.
beavarely@hotmail.com, joaquinbarrado@hotmail.com, alvaro.marquez@urjc.es, raquel.herrera@urjc.es

ABSTRACT

In the Lower Old Edifice of La Gomera two mafic dyke swarms crop out showing different attitudes: the older formed by outward-dipping dykes and the later formed by vertical radial dykes. Therefore, a change in the stress field has occurred during the growth of the volcano. In order to evaluate the influence of the magmatic system in the stress change, we have estimated temperature and pressure of crystallization from both dyke swarms using clinopyroxene thermobarometry. We have performed a petrographic study of 23 samples and mineral chemical analysis of 16 samples. The obtained results show that all dykes come from magmas that have crystallized at similar depths, possibly from the upper mantle. Therefore, the change in the stress field in the volcano evidenced by the two different dyke swarms could be related to the growth of the volcano, neglecting an influence from a shallow magma chamber.

Key-words: Stress field, dykes, thermobarometry, pyroxene, La Gomera.

RESUMEN

En el Edificio Antigo Inferior de La Gomera afloran dos enjambres de diques máficos con diferentes geometrías: el primero formado por diques tendidos, y uno posterior de diques verticales radiales. Esto implica un cambio en el campo de esfuerzos durante el crecimiento del volcán. Para evaluar la influencia del sistema magmático en este cambio, se han estimado mediante termobarometría en clinopiroxenos las condiciones de temperatura y presión de cristalización de los magmas de ambos enjambres. Para ello se ha realizado el estudio petrográfico de 23 muestras y el análisis químico mineral en 16. Los resultados obtenidos muestran que todos los diques proceden de magmas cristalizados a profundidades muy similares, posiblemente en el Manto superior. Por tanto, el cambio en el campo de esfuerzos del volcán que reflejan los dos enjambres de diques podría deberse al crecimiento del propio volcán, descartándose la influencia de una cámara magmática somera.

Palabras clave: Campo de esfuerzos, diques, termobarometría, piroxeno, La Gomera.

Geogaceta, 52 (2012), 49-52.
ISSN 2173-6545

Fecha de recepción: 15 de febrero de 2012
Fecha de revisión: 26 de abril de 2012
Fecha de aceptación: 25 de mayo de 2012

Introducción y contexto geológico.

El crecimiento de los edificios volcánicos se produce por la combinación de la acumulación en el exterior de sus productos eruptivos y la intrusión en el interior del edificio de cuerpos plutónicos y diques. La intrusión de los diques en un edificio volcánico está controlada por el campo de esfuerzos existente en el volcán, el cual puede ser una combinación de los efectos debidos a la carga del edificio, su cámara magmática y los esfuerzos regionales (p.ej., Fernández

et al., 2002). Los estudios de los enjambres de diques en edificios volcánicos antiguos erosionados han sido numerosos en las Islas Canarias, siendo La Gomera una de las islas donde estos estudios han proporcionado información más útil para la reconstrucción de la evolución volcano-estructural (p.ej., Ancochea *et al.*, 2008). Allí, la combinación de estos trabajos sobre los enjambres de diques con estudios volcano-estratigráficos (Ancochea *et al.*, 2006) ha permitido reconstruir la evolución de la isla como la superposición sobre el denominado Complejo Basal de tres edificios volcánicos sub-

aereos (Fig. 1), cuyos centros eruptivos han ido migrando con el tiempo. En la actualidad existen tres modelos evolutivos para la isla (Paris *et al.*, 2005; Cueto *et al.*, 2004; y Ancochea *et al.*, 2006 y Herrera, 2008) que aunque proponen una volcano-estratigrafía a grandes rasgos similar, difieren en la interpretación genética de la misma. Este trabajo se utiliza la terminología de Ancochea *et al.* (2006) y Herrera (2008), que engloba la mayor parte de los trabajos realizados en La Gomera con anterioridad (p.ej., Bravo, 1964; Cendrero, 1970). Las fases de crecimiento más recientes, el Edificio Reciente

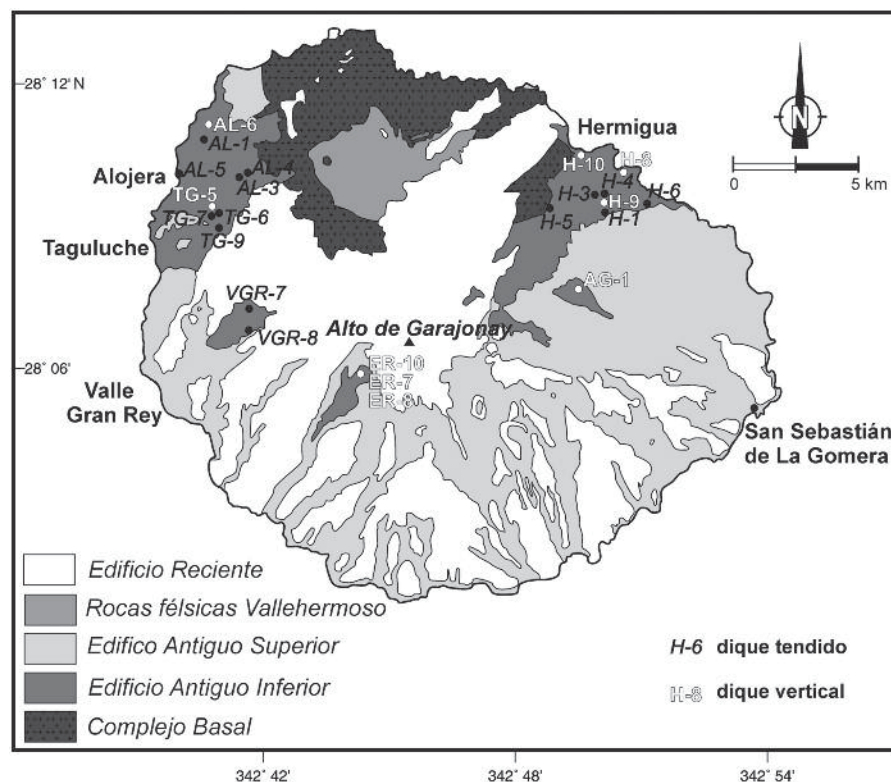


Fig. 1.- Mapa geológico de La Gomera (modificado de Ancochea *et al.*, 2006) en el que se han situado las muestras estudiadas.

Fig. 1.- Geological map of La Gomera modified after Ancochea *et al.* (2006) showing the analyzed samples.

(ER; edad: 5,7 – 4 Ma) y el Edificio Antiguo Superior (EAS; edad: 8,6 – 6,4 Ma), presentan enjambres tanto de diques félsicos como máficos, siendo estos últimos predominantemente verticales y radiales. Sin embargo, el más antiguo de los edificios subaéreos, el Edificio Antiguo Inferior (EAI; edad: 10,5-10 – 8,7 Ma), no sólo no presenta diques félsicos sino que además presenta dos enjambres diferentes de diques máficos: uno de diques verticales radiales y otro más antiguo formado por diques tendidos con buzamientos suaves (entre 15° y 50°) hacia el exterior del volcán (Ancochea *et al.*, 2008; Márquez *et al.*, 2010). Este tipo de enjambres de diques tendidos hacia el exterior del volcán han sido descritos en muy pocas ocasiones (p.ej., Ancochea *et al.*, 2010) y su geometría parece indicar un estado de esfuerzos en el edificio muy distinto al que provoca los típicos enjambres radiales de diques verticales. Éstos están controlados por el campo de esfuerzos local del edificio que está provocado por la carga del mismo, pero también por la posible presencia de una cámara magmática somera (Accella y Neri, 2009).

Por ello, el objetivo principal de este tra-

bajo es determinar si el cambio en los enjambres de diques que se observa en el Edificio Antiguo Inferior de La Gomera durante su evolución está relacionado con un cambio en su sistema magmático. En concreto, mediante el uso de cálculos termobarométricos, se pretende determinar si el posible desarrollo de una cámara magmática somera puede explicar el cambio en el campo de esfuerzos del edificio.

Se han estudiado un total de 23 muestras, 14 de diques tendidos y 9 de diques verticales, procedentes de 6 zonas distintas (Fig. 1 y Tabla I). En cada zona se ha procurado muestrear, al menos, un dique de cada familia definida (Tabla I) especialmente si había diversidad litológica dentro de ellas. En Aguajilva y Erque no afloran diques tendidos; en Valle Gran Rey no ha sido posible obtener una muestra no alterada de ningún dique vertical del EAI por su intensa alteración. En las restantes zonas, donde sí disponemos de muestras de diques tendidos y verticales, cabe destacar que existen 2 familias distintas de diques tendidos (Márquez *et al.*, 2010) tanto en el sector NO, en Alojera y Taguluche, como en Hermigua en el NE (Tabla I).

Petrografía y química mineral

Desde el punto de vista petrográfico, la mayoría de las muestras son basaltos porfídicos con matriz microcristalina. Sólo 6 basaltos son afíricos (<5% de fenocristales), de los cuales 4 son diques verticales (H-9, AG-1, ER-10 y AL-6) y 2 son tendidos (H-1 y AL-3). Únicamente en 3 muestras los fenocristales son sólo de olivino y piroxeno (los diques tendidos H-6 y VGR-8 y el vertical H-8), mientras que los restantes poseen entre un 15% y un 60% de fenocristales de olivino, + piroxeno y + plagioclasa.

No se observa que haya una litología dominante asociada al tipo de dique, a la familia a la que pertenece ni tampoco a la zona.

Se ha caracterizado químicamente la composición de las fases minerales que componen estas rocas en 16 muestras representativas (10 diques tendidos y 6 verticales; Tabla I). El análisis químico mineral se ha realizado con una microsonda de electrones Jeol JXA-890M en el Centro de Microscopía Electrónica Luis Bru de la Universidad Complutense (Madrid).

El piroxeno se presenta en todas las rocas, tanto como fenocristal como microlitos en la matriz, clasificándose todos como diópsidos (Fig. 2). En general, el rango de variación composicional de este mineral es el mismo para los diques tendidos y para los verticales, tanto para cada zona como comparando todas en conjunto. Los fenocristales tienen una composición de $En_{36-48}Wo_{50-45}$. Comparando ambos tipos dentro de cada zona, se observa que los clinopiroxenos de los diques tendidos son más magnésicos, aunque la diferencia no es significativa (3%).

La variación de los fenocristales de olivino es de Fo_{89-79} . En general, los diques tendidos (Fo_{89-79}) presentan olivinos más magnésicos que los verticales (Fo_{82-81}). Dentro de las 7 familias de diques tendidos consideradas en el estudio, los olivinos menos magnésicos son los de Valle Gran Rey Valle, seguidos de los de Alojera, Taguluche y Hermigua.

La plagioclasa aparece siempre en la matriz, y como fenocristal en la mayoría de las muestras. La variación composicional de los fenocristales es An_{87-56} . En general, los diques tendidos presentan un mayor contenido en anortita, (diferencia de 5% An). Comparando los diques verticales y tendidos dentro de cada zona, se observa que en Hermigua los diques tendidos son ligera-

ZONA	FAMILIA	Diques tendidos		Diques verticales	
		Analizados	No analizados	Analizados	No analizados
HERMIGUA	N 90-100° β Sur	H-3, H-6	H-1, H-5		
	N 40° β SE	H-4			
	N 90° Vertical			H-8, H-9	H-10
ALOJERA	N 120-175° β SO	AL-1, AL-4			
	N 45-65° β NO	AL-5	AL-3		
	N 90° Vertical			AL-6	
TAGULUCHE	N 150-160° β SO	TG-7			
	N 10° β ONO	TG-6			
	N 80-85° Vertical			TG-5	TG-9
VALLE GRAN REY	N 100° β Sur	VGR-7, VGR-8			
	N 50° Vertical				
ERQUE	N 170° Vertical			ER-7	ER-10
AGUAJILVA	N 150° Vertical			AG-1	

Tabla I.- Resumen de las características de las familias de diques verticales y tendidos del Edificio Antiguo Inferior de La Gomera analizados en el presente trabajo.

Table I.- Sketch of the characteristics of the groups of outward-dipping and vertical dyke swarms of the Lower Old Edifice of La Gomera analyzed in this work.

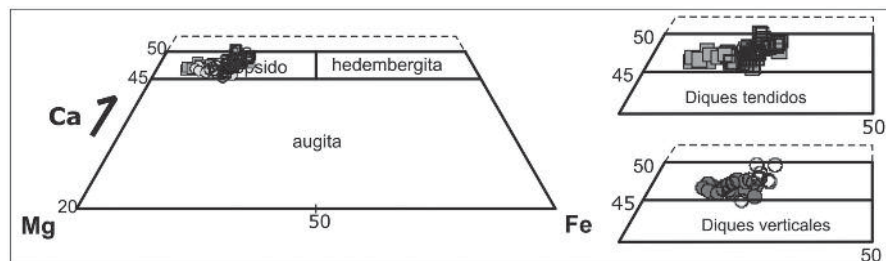


Fig. 2.- Clasificación de los clinopiroxenos de los diques estudiados (campos establecidos por Morimoto *et al.*, 1988). Los símbolos rellenos son los núcleos de los fenocristales, mientras que los vacíos son los bordes.

Fig. 2.- Clinopyroxene classification of the analyzed dykes (after Morimoto *et al.*, 1998). Filled symbols correspond to phenocryst cores and open symbols to phenocryst rims.

mente más ricos en An, mientras que en Taguluche y Alojera son más cálcicas las plagioclasas en los diques verticales.

Los minerales opacos analizados son óxidos principalmente de la serie magnetita-ulvoespinela. Los microfenocristales muestran una variación de $Mt_{18-42} Usp_{79-43} Cr_{0-7}$. Los cristales de la matriz varían entre $Mt_{6-32} Usp_{87-56} Cr_{1-0}$. La mayoría de las inclusiones en olivinos y algunos microfenocristales se clasifican como cromitas ($Mt_{12-32} Usp_{30-7} Cr_{59-15}$).

Termobarometría

Para estimar las condiciones de cristalización de las rocas se ha utilizado en este trabajo la composición química de los clinopiroxenos, mediante la aplicación del geotermómetro propuesto por Brizi *et al.* (2000) y el geobarómetro de Nimis (1999) basado en la relación de la presión de cristalización y determinados parámetros estructurales del piroxeno y el cual requiere

haber estimado previamente la temperatura de cristalización de los minerales. El error estándar asociado es del 8% de la temperatura calculada (Brizi, *et al.*, 2000) y de ± 2 kbar en el caso de la presión (Nimis, 1999).

Los resultados obtenidos se muestran en la figura 3. Se observa que los fenocristales de piroxeno (tanto núcleos como bordes, sin obtenerse diferencias significativas entre ellos) cristalizaron en un intervalo reducido de temperatura (913-982° C) y a una presión de cristalización media de 8 kbar (correspondiente a una profundidad media de 24 km).

La temperatura media de formación de los fenocristales de piroxeno que contienen los diques verticales es de 940°C ($\pm 75^\circ C$) y en los diques tendidos de 945°C ($\pm 76^\circ C$). Por otro lado, se ha estimado que la presión media de formación de los fenocristales de piroxeno es 7,9 kbar en diques verticales y de 8,1 kbar en tendidos. Teniendo en cuenta que el intervalo de variación de ambas va-

riables está dentro del margen de error del método (Fig. 3) puede afirmarse que no existen diferencias significativas entre la T^a y presión de formación de los piroxenos incluidos en los dos tipos de diques estudiados. El mayor rango de temperatura obtenido en los diques tendidos es probable que se deba al mayor número de muestras analizadas (28 datos de T^a -P de diques verticales frente a 63 de tendidos, Fig. 3).

Discusión

Los resultados de este estudio muestran que no existen diferencias significativas en la composición química de los minerales entre los diques de las distintas zonas, así como tampoco entre diques tendidos y verticales del Edificio Antiguo Inferior de La Gomera (Fig. 2). Esta similitud se refleja también en las condiciones de formación calculadas, tanto de temperatura como de presión (Fig. 3). Para estimar las condiciones de presión y temperatura en este trabajo hemos utilizado formulaciones basadas únicamente en la composición química de clinopiroxenos al no disponer de análisis químicos de roca total de las muestras estudiadas. Las temperaturas de formación obtenidas ($\sim 940^\circ C$) son inferiores a las estimadas por otros autores para magmas máficos en las Islas Canarias: por ejemplo, Longpré *et al.* (2008) obtienen temperaturas entre 1170°C y 1290°C en coladas del Edificio Mioceno Teno en Tenerife, aunque utilizando un geotermómetro basado en el equilibrio clinopiroxeno-líquido.

Aunque la presión calculada depende de la temperatura obtenida, puesto que el

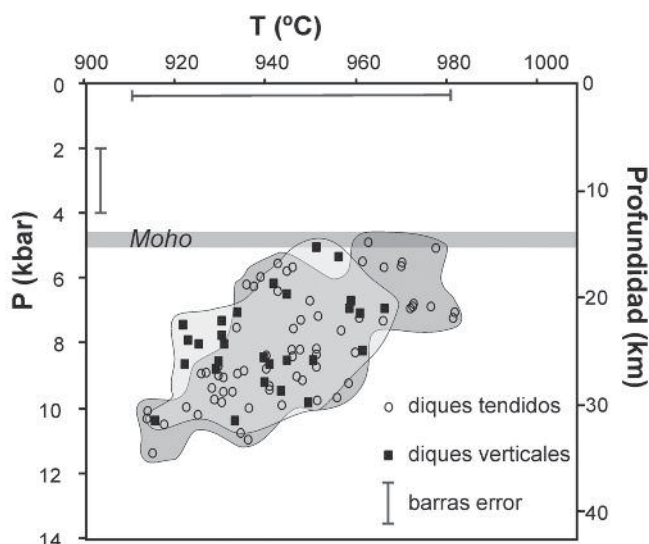


Fig. 3.- Datos de temperatura, presión y profundidad de cristalización de los magmas generadores de los diques verticales y tendidos estudiados obtenidos mediante termobarometría basada en la composición química de los clinopiroxenos. Se ha marcado la situación estimada del límite Mohorovicic para las Islas Canarias (Longpré *et al.*, 2008).

Fig. 3.- Temperature, pressure and depth data of cristallization for vertical and outward-dipping dykes calculated by clinopyroxene chemical thermobarometry. Mohorivicic boundary depth estimated for Canary Islands has been included (Longpré *et al.*, 2008).

objetivo de este estudio era comprobar si existen diferencias en la profundidad de cristalización de los magmas que dieron lugar a los distintos enjambres de diques del EAI, el resultado reseñable es la ausencia de diferencias en las presiones obtenidas en ambos enjambres (Fig. 3) y no el valor absoluto de la presión.

Las relaciones de campo ponen de manifiesto que los diques verticales del EAI son siempre más modernos que los diques tendidos (Ancochea *et al.*, 2008; Márquez *et al.*, 2010). Esto implica un cambio en el campo de esfuerzos del edificio. Los resultados obtenidos indican que no se observan cambios temporales en la T° y presión de cristalización de los diques asociados al EAI, y que ambos enjambres de diques estuvieron alimentados desde zonas relativamente profundas y similares (Fig. 3). Por ello, la aparente ausencia de una cámara magmática somera alimentando a los diques verticales hace que la explicación más probable para este cambio de esfuerzos esté relacionada con el aumento en el tamaño del edificio en sus etapas finales de crecimiento, ya que se ha comprobado que el incremento en la topografía del volcán genera un campo de esfuerzos compresivo-radial que resulta en una distribución radial

de diques (Acocella y Neri, 2009). Sin embargo, el hecho de que en el EAI los diques tendidos no se restrinjan a las partes más bajas del edificio hace que esta hipótesis deba ser analizada en mayor detalle en el futuro.

Conclusiones

Los diques verticales y tendidos del Edificio Antiguo Inferior de La Gomera presentan grandes similitudes composicionales mineralógicas en todas las zonas estudiadas. Los dos tipos de diques están compuestos por piroxenos diopsídicos, olivinos fosteríticos, plagioclasas cálcicas y óxidos de Fe y Ti.

Los datos obtenidos a partir de la composición química mineral de los clinopiroxenos muestran que ambos enjambres de diques proceden de magmas que comenzaron su cristalización a profundidades muy similares, posiblemente en el Manto superior (Fig. 3). Por ello, el cambio en el campo de esfuerzos que provocó el paso de diques tendidos a diques verticales en el EAI podría ser consecuencia del aumento en la topografía del volcán, una vez descartado un cambio temporal en las condiciones de cristalización de los distintos enjambres de di-

ques del volcán y el desarrollo de una cámara magmática somera.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos CGL2006-06290 y CGL2010-19388. Agradecemos los comentarios de R. Casillas, un revisor anónimo y los editores.

Referencias

- Acocella, V. y Neri, M. (2009). *Tectonophysics*, 471, 67-77.
- Ancochea, E., Hernán, F., Huertas, M. J., Brändle, J. L. y Herrera, R. (2006). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 157, 271-293.
- Ancochea, E., Huertas, M. J., Brändle, J. L., Hernán, F. y Herrera, R. (2008). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 173, 207-216.
- Ancochea, E., Huertas, M. J., Hernán, F. y Brändle, J. L. (2010). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 198, 143-157.
- Bravo, T. (1964). *Estudios Geológicos*, 20, 1-56.
- Brizi, E., Molin, G. y Zanazzi, P. (2000). *American Mineralogist*, 85, 1375-1382.
- Cendrero, A. (1970). *Estudio geológico y petroológico del complejo basal de la isla de La Gomera (Canarias)*. Tesis Doctoral, Univ. Complutense de Madrid, 264 p.
- Cueto, L.A., Gómez, J.A., Balcells, R., Barrera, J.L., Pineda, A., Cerrato, M., Klein, E., Ruiz, M.T. y Brändle, J.L. (2004). *Mapa Geológico de España, 1:25.000, hojas nº 1.097 I-II, III y IV y 1105 I y IV*. IGME.
- Fernández, C., de la Nuez, J., Casillas, R. y García Navarro, E. (2002). *Tectonics*, 21, 4, 10.1029.
- Herrera, R. (2008). *Volcanoestratigrafía, composición y evolución de los Edificios Volcánicos subaéreos de La Gomera*. Tesis Doctoral, Univ. Complutense, 533 p.
- Longpré, M. A., Troll, V. y Hansteen, T.H. (2008). *Journal of Geophysical Research*, 113, B08203, doi: 10.1029/2007JB005422.
- Márquez, A., Herrera, R., Izquierdo, T., Martín-González, F., López, I. y Martín, S. (2010). En: *Cities on Volcanoes 6th*, Tenerife.
- Morimoto, N. C., Fabrie, J., Ferguson, A.K., Ginzburg, I.V., Ross, M., Seifert, F.A. y Zussman, J. (1988). *Bulletin of Mineralogy*, 111, 535-550.
- Nimis, P. (1999). *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 135, 62-74.
- Paris, R., Guillou, H., Carracedo, J. C. y Pérez Torrado, F. J. (2005). *Journal of the Geological Society of London*, 162, 501-512.