

Nuevos avances experimentales en procesos de diferenciación magmática

/ CARMEN RODRÍGUEZ (1*), ANTONIO CASTRO (1) Y ANTONIO SÁNCHEZ-NAVAS (2)

(1) Unidad Asociada de Petrología Experimental, CSIC-Universidad de Huelva, Campus El Carmen, 21071 Huelva.

(2) Departamento de Mineralogía y Petrología de la Universidad de Granada, Campus de Fuentenueva, 18071 Granada.

INTRODUCCIÓN

Las andesitas son magmas silíceos altamente viscosos ($\text{SiO}_2 > 53 \text{ wt}\%$) que, de acuerdo a sus limitaciones físicas intrínsecas, no se pueden diferenciar por separación gravitacional. La diferenciación magmática que implica separación de líquidos y cristales, es conocida como un mecanismo efectivo en sistemas de composición silícea. La generación, emplazamiento y solidificación de magmas silíceos con agua son procesos esenciales en la formación de la corteza continental terrestre, la concentración en depósitos de menas y en el volcanismo explosivo. La separación gravitacional de cristales puede ser considerada como despreciable en estos magmas con elevada viscosidad.

Sin embargo, la presencia de agua disuelta, junto con otros componentes volátiles, puede contribuir a la fraccionación de magmas mediante la sobrepresión local ejercida por fases fluidas y la consecuente vesiculación a través de la ebullición secundaria.

Sisson y Bacon (1999) propusieron un mecanismo llamado *gas-driven filter pressing* para explicar de la separación requerida de líquidos y cristales en series magmáticas fraccionadas. Ellos concluyeron que dicho mecanismo se desarrolla preferentemente a bajas presiones (<200 MPa).

La simulación experimental de cristalización en cámaras magmáticas puede ser estudiada a través del uso de gradientes térmicos intrínsecos en las celdas experimentales de piston-cylinder. Este gradiente comprende temperaturas desde el liquidus al solidus (1200-700 °C) a lo largo de la longitud de la cápsula (Huang et al., 2009, Masotta et al., 2012).

Nosotros presentamos experimentos de laboratorio de cristalización de magmas en un gradiente térmico. Los resultados revelan procesos de diferenciación

conducidos por fases fluidas como un mecanismo fundamental en magmas silíceos. Los resultados experimentales destacan por los cambios composicionales, resultantes de factores intrínsecos relacionados a gradientes de presión de fluidos generados por saturación en agua (*second boiling*). La zonación composicional de los cuerpos plutónicos se desvela como intrínseca a la cristalización de los magmas. Las únicas condiciones restrictivas para que se lleve a cabo el proceso es que: (1) exista agua disuelta y, (2) que siendo emplazado en la corteza superficial, cristalice desde los contactos con la roca encajante hacia el interior dentro de un gradiente térmico. Estas son condiciones comunes en plutones calcoalcalinos superficiales.

TÉCNICAS EXPERIMENTALES

Para este estudio, hemos usado un aparato piston-cylinder, modificado mediante una estructura que lo establece en una posición horizontal. Este diseño se ha creado con el fin de eliminar cualquier efecto no deseado de caída gravitacional de cristales, lo cual es común en experimentos de larga duración. Este efecto de caída de los cristales por efecto de la gravedad es mínimo en cámaras magmáticas de tamaño kilométrico.

Las cápsulas experimentales de $\text{Au}_{70}\text{Pd}_{30}$ tienen 10 mm de longitud, 3 mm de diámetro. Una vez soldadas, son rellenas con polvo del estándar de la USGS de andesita AGV-2 (Flanagan, 1967).

Las condiciones de ejecución de los experimentos fueron fijadas para asegurar que el intervalo de temperatura entre el solidus y el liquidus esté incluido dentro de la longitud de la cápsula experimental. Los experimentos fueron llevados a cabo en aparatos piston-cylinder de tipo Boyd-England en la Universidad de Huelva.

La presión aplicada fue de 5 kbar y se fijaron distintas rampas de enfriamiento para alcanzar la temperatura de equilibrio (1016°C y 950°C, dependiendo del experimento).

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Los resultados analíticos de elementos mayores para la composición total (*bulk composition*) a lo largo de la cápsula vienen dadas en la Fig. 1. Los contenidos en SiO_2 y K_2O para los vidrios aumentan a medida que la temperatura disminuye, mientras que el CaO y el MgO muestran el comportamiento opuesto. Se observa un pico en la fracción cristalina a una distancia del termopar de 4mm, coincidente con cambios relevantes en la composición de elementos mayores (Fig. 1).

Se han estudiado los equilibrios de fases en diferentes zonas de la cápsula delimitadas en relación al cambio de temperatura, para asegurar la estabilidad de los vidrios y las fases minerales. La formación de grandes cristales elongados y esqueletales de anfíbol, biotita y plagioclasa, por delante del frente de saturación en agua, es la evidencia de la migración de agua hacia zonas menos cristalinas de la cápsula. La zonación observada en elementos mayores sigue los cambios composicionales de plutones zonados centrípetamente. Esta zonación se caracteriza por facies graníticas centrales, ricas en Si, K, P y agua y pobres en Ca y Mg, en comparación a las zonas marginales.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Nuestros resultados experimentales sostienen que la exsolución de fluidos por ebullición secundaria desempeña un papel fundamental en la promoción de la auto-diferenciación en magmas silíceos con agua. Los cambios composicionales aparecen a lo largo del gradiente térmico dentro del intervalo de temperatura entre solidus y liquidus. Podemos interpretar estos cambios

palabras clave: magmatismo silíceo, ebullición secundaria, frente de saturación en agua

key words: silicic magmatism, second boiling, water saturation front

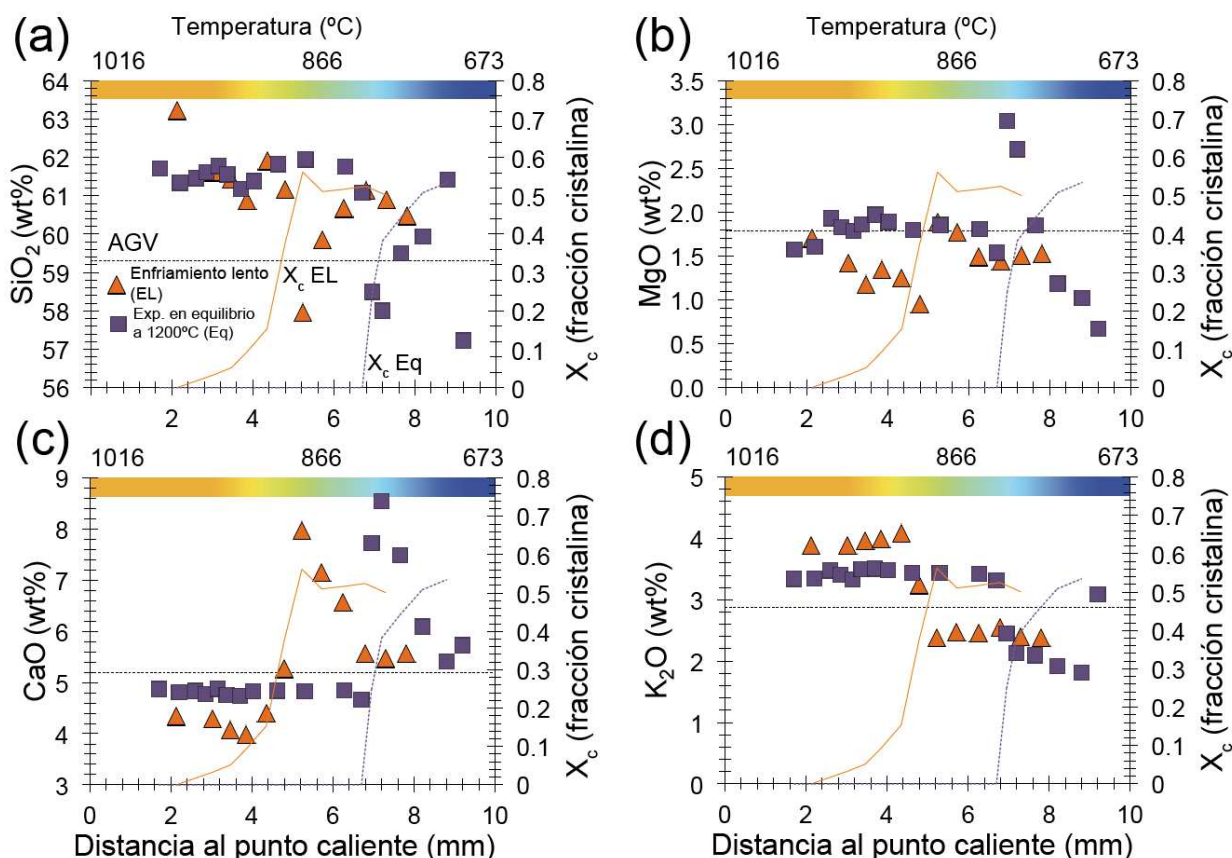


Figura 1. Perfiles composicionales para las composiciones totales, referidas a la distancia al punto caliente. Los códigos de color representan el gradiente térmico impuesto por el diseño de los experimentos de alta presión, con respecto a la distancia al centro del horno. Las líneas discontinuas señalan la composición del material de partida (AGV-2).

como debidos a un proceso de partición de elementos incompatibles hacia el líquido saturado en agua.

La advección de una fase fluida es evidente por cambios en la distribución del contenido en agua total según zonas de la cápsula delimitadas en función de la temperatura. La fuerza conductora para la advección de fluidos es el gradiente de presión de fluidos, generado como consecuencia de la ebullición a un cierto punto dentro del frente de solidificación. En este punto la fracción líquida es suficientemente baja para llegar a la saturación en agua (Sisson & Bacon, 1999). La formación de una zona "cumulada" (zona donde la fracción cristalina alcanza un máximo) es interpretada como el resultado de la expulsión de líquido desde un agregado cristalino y la advección hacia la zona más caliente.

Debido a que el salto en el contenido de agua total coincide con un salto en el contenido de K y P, interpretamos dichos cambios composicionales como íntimamente relacionados a la advección de fluidos que acompañan el avance de un frente de saturación en agua. El motor de este mecanismo es el enfriamiento y la ebullición debida a la cristalización de fases minerales (*second boiling*).

Una implicación esperada de estos resultados experimentales es que los líquidos que están siendo fraccionados, por delante del frente de saturación en agua, se mezclarán con el líquido del núcleo de la cámara magmática, por un mecanismo similar a la cristalización *in situ* (Langmuir, 1989). Este proceso contribuirá a una fraccionación progresiva del sistema en su conjunto. La parte de la cámara magmática que queda por detrás del frente de solidificación resultará empobrecida en líquido y, en consecuencia, en elementos extraídos mediante la advección de un fluido fraccionado rico en volátiles. El resultado final es un cuerpo plutónico zonado que muestra cambios transicionales desde las facies periféricas más máficas, empobrecidas en líquido, hasta las facies centrales más silíceas y leucocráticas.

Los plutones zonados con estas características son muy comunes en batolitos de composición granítica-granodiorítica-tonalítica. La zonación concéntrica no relacionada con la gravedad de rocas graníticas en plutones soporta la extrapolación de estos resultados a cámaras magmáticas. Las cúpulas leucograníticas, a menudo, forman parte de estos plutones zonados con concentraciones particulares de depósitos metálicos con Sn, W, Nb, Ta, Li

y Be, entre otros. Tanto la transferencia de masa como la difusión y la extracción de líquido en un frente de solidificación son mecanismo que también contribuye a la generación de depósitos de tipo pórfido de Au-Cu-Mo. Estas concentraciones se generan en relación a intrusiones calcoalcalinas en condiciones superficiales de la corteza, donde la generación de un frente de saturación en agua se ve favorecida.

REFERENCIAS

Flanagan, F. J. (1967): U.S. Geological Survey silicate rock standards. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **31**, 289-308.
 Huang, F., Lundstrom, C. C., Glessner, J., Ianno, A., Boudreau, A., Li, J., Ferré, E. C., Marshak, S. & DeFrates, J. (2009): Chemical and isotopic fractionation of wet andesite in a temperature gradient: Experiments and models suggesting a new mechanism of magma differentiation. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **73**, 729-749.
 Langmuir, C. H. (1989): Geochemical consequences of *In situ* crystallization. *Nature* **340**, 199-205.
 Masotta, M., Freda, C. & Gaeta, M. (2012): Origin of crystal-poor, differentiated magmas: Insights from thermal gradient experiments. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **163**.
 Sisson, T. W. & Bacon, C. R. (1999): Gas-driven filter pressing in magmas. *Geology* **27**, 613-616.