

Control composicional sobre el polimorfismo orden-desorden en feldespatos potásicos de rocas plutónicas del domo del Tormes (España)

López-Moro, F.J. (1*)

(1) CN-IGME-CSIC, Oficina de Salamanca, Plaza de la Constitución 1, 37001, Salamanca (España)

* Corresponding author: fj.lopez@igme.es

Palabras Clave: Orden-desorden, Microclina, Solvus coherente, Domo del Tormes. **Key Words:** Order-disorder, Microcline, Coherent solvus, Tormes Dome.

INTRODUCCIÓN

Clásicamente, los feldespatos potásicos presentan polimorfismo de orden-desorden. Existen variantes donde los átomos de Al y Si ocupan posiciones estadísticas fijas y específicas (feldespatos ordenados, como la microclina máxima, que es triclinica), y variantes donde el Al y el Si ocupan posiciones aleatorias (feldespatos desordenados, como la sanidina, que es monoclinica). También existen casos intermedios, como la ortosa (monoclinica), donde el ordenamiento de los átomos de Al en los sitios tetraédricos es solo parcial. Tradicionalmente, se ha asumido que la distribución de los átomos de Al está controlada de manera casi exclusiva por la temperatura y la tasa de enfriamiento. Bajo este paradigma clásico, la microclina máxima representaría un enfriamiento plutónico muy lento, mientras que la sanidina y la ortosa reflejarían enfriamientos rápidos o intermedios, asumiendo que el cristal no dispone de la energía térmica sostenida para superar las barreras de activación. Sin embargo, este modelo puramente térmico a menudo resulta insuficiente para explicar las variaciones estructurales observadas en rocas que han compartido historias de enfriamiento similares. Cada vez hay más evidencias de que el estado de orden-desorden está fuertemente condicionado por factores termodinámicos y cinéticos intrínsecos. Entre ellos destacan la composición química original del feldespato potásico (especialmente su contenido en Na) y el desarrollo subsolidus de microestructuras de exsolución, así como factores extrínsecos como la deformación y la acción catalizadora de fluidos. Este estudio evalúa el peso real de estos controles frente al modelo térmico clásico, analizando el polimorfismo en los feldespatos potásicos de diversas rocas ígneas del domo del Tormes (Salamanca y Zamora).

MÉTODOS

El estado estructural de los feldespatos potásicos fue determinado siguiendo las siguientes técnicas: (i) a partir del ángulo $2V_x$ y la simetría del cristal, utilizando una platina universal de 4 ejes; (ii) a partir del diagrama de Su et al. (1986), para el que son necesarios el ángulo $2V_x$ y el contenido en ortoclasa (%Or) del feldespato potásico; y (iii) difracción de rayos X (DRX) a partir de concentrados minerales y utilizando el método de polvo. Una vez obtenidos los difractogramas, se determinó el índice de triclinicidad (Δ) a partir de las reflexiones 131 y $\bar{1}\bar{3}1$ y las ecuaciones de Goldsmith y Laves (1954). Se llevó a cabo también el refinamiento de la celdilla unidad, que permitió determinar las dimensiones de los ejes a , b y c , los ángulos α , β , y γ , así como el volumen de la celdilla. Estos datos permitieron el cálculo de los parámetros $\sum t_1$, Δt_1 , t_{1O} , y t_{1m} a partir de las fórmulas empíricas de Kroll y Ribbe (1987). La composición global de los feldespatos potásicos se obtuvo, primeramente, mediante un proceso de homogeneización (eliminación de pertitas). Para ello se siguió la metodología de Jones et al. (1969), consistente en calentar tacos de roca en un horno mufla a 1050 °C durante 48 horas. Una vez que las pertitas fueron incorporadas al feldespato potásico como una solución sólida homogénea se elaboraron láminas delgadas pulidas a partir de las cuales se analizaron los feldespatos por microsonda electrónica (EPMA).

RESULTADOS

Los feldespatos potásicos en las rocas básicas e intermedias son sistemáticamente monoclinicos, con ángulos $2V_x$ que varían entre 50° y 61°; estos presentan los contenidos en sodio más bajos (10-15% Ab) y los valores más bajos de $\sum t_1$ (0,77-0,87). En cuanto a las granodioritas, su simetría es siempre monoclinica, con ángulos $2V_x$ entre 54° y

70°, un $\sum t_1$ de 0,90 y un contenido en sodio del 16% Ab. Los granitos biotíticos porfídicos muestran una amplia variación en el ángulo $2V_x$ (60°-102°), presentando simetría monoclinica cuando el $2V_x$ es bajo (60°-69°) y simetría triclinica en el resto de los casos. Su contenido en Na varía entre el 12% y el 24% Ab, con valores de $\sum t_1$ entre 0,83 y 0,99. Cabe destacar que, en estos granitos, el estado estructural es más ordenado y el contenido en Na es mayor en las muestras que contienen moscovita, mientras que se observa lo contrario en las muestras sin moscovita. Las facies de granito de dos micas \pm cordierita porfídico presentan cristales que son siempre triclinicos, exhibiendo maclas en enrejado (maclas en tartán), ángulos $2V_x$ entre 80° y 102°, valores de $\sum t_1$ de 0,97 a 1,00 y contenidos bajos en sodio (<10% Ab). Los granitos de dos micas \pm sillimanita porfídicos son triclinicos, con altos ángulos $2V_x$ (84°–102°), valores de $\sum t_1$ entre 0,92 y 1, y contenidos en Na que oscilan entre el 7% y el 20% Ab. Finalmente, los leucogranitos de dos micas equigranulares, que varían de grano fino a grueso, son siempre triclinicos, con ángulos $2V_x$ entre 70° y 96°, un $\sum t_1$ de 0,97 y altos contenidos en sodio (hasta un 23% Ab).

DISCUSIÓN Y COCLUSIONES

Los resultados ponen de manifiesto que, salvo alguna muestra, existe una muy buena correlación entre el contenido en sodio en el feldespato potásico y su estado estructural $\sum t_1$ para la totalidad de los tipos graníticos, lo que sugiere un control composicional sobre la evolución del orden Al–Si. Esta relación se interpreta como el resultado de un enfriamiento subsolidus en condiciones de sistema cerrado, siguiendo un campo de miscibilidad definido por el solvus Or–Ab y bajo condiciones de coherencia microestructural. Las composiciones iniciales más sódicas presentarían una mayor tendencia a la exsolución, lo que conduce al desarrollo de intercrecimientos peritéticos. En el caso de perititas coherentes, la acumulación de tensión elástica (strain), junto con el incremento de la densidad de interfaces y la generación de dislocaciones, produce una elevación local de la energía interna del cristal y una modificación del campo de esfuerzos en la red. Este incremento energético y microestructural favorece la difusión intracrystalina del Al dentro del armazón aluminosilicatado, facilitando su redistribución hacia configuraciones de menor energía libre de Gibbs y promoviendo así el reordenamiento Al–Si. Adicionalmente, las composiciones más sódicas tienden a experimentar la desmezcla a temperaturas relativamente más altas dentro del intervalo subsolidus, lo que permite una ventana térmica más amplia para la reorganización estructural. Por el contrario, aquellos feldespatos menos sódicos pueden exsolver a temperaturas más bajas, donde la movilidad atómica es más limitada (menos energía térmica), restringiendo parcialmente la cinética del ordenamiento. La buena correlación obtenida pone de manifiesto, que, en conjunto, el grado de orden observado no se debe a un efecto composicional directo, sino que esa composición controla la historia de exsolución, la evolución de la microestructura peritética y su control sobre la cinética de difusión del Al–Si durante el enfriamiento. El modelo térmico clásico (basado en la tasa de enfriamiento) resulta insuficiente. Aunque explicaría el desorden en los pequeños stocks de rocas básicas e intermedias, falla en el batolito de Sayago: su núcleo (enfriamiento lento) presenta feldespatos ordenados y desordenados, mientras que sus márgenes (enfriamiento rápido) están paradójicamente dominados por microclinas máximas.

En conclusión, un mayor contenido inicial en Na gobierna la exsolución, la cual proporciona el motor microestructural y energético necesario para el ordenamiento Al–Si. En composiciones pobres en Na, este mecanismo no opera, preservando el desorden independientemente del tamaño de la intrusión. Factores extrínsecos, como la deformación o la interacción con fluidos externos, probablemente modifiquen la composición o el estado estructural, rompiendo la correlación identificada en este trabajo para un solvus coherente.

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento a José María Martín Pozas (DEP) y Miguel López Plaza por haber sido la semilla de este trabajo.

REFERENCIAS

- Goldsmith, J.R., Laves, F. (1954): The microcline-sanidine stability relations. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **5**, 1-19.
- Jones, J.B., Nesbitt R.W., Slade, P.G. (1969): The determination of the orthoclase content of homogenized alkali feldspar using the -201 X-ray method. *Min. Mag.*, **37**, 489-496.
- Kroll, H., Ribbe, P.H. (1987): Determining (Al, Si) distribution and strain in alkali feldspars using lattice parameters and diffraction-peak positions: A review. *Am. Mineral.*, **72**, 491-506.
- Su, S.C., Ribbe, P.H., Bloss, F.D. (1986): Alkali feldspars: Structural states determined from composition and optic axial angle $2V$. *Am. Mineral.*, **71**, 1285-1296.