

El Sistema Granito-Pegmatita de Tres Arroyos (Alburquerque, Badajoz): Petrografía, Mineralogía y Modelo Petrogenético

/ IDOIA GARATE-OLAVE (1*), ENCARNACIÓN RODA-ROBLES (1) PEDRO PABLO GIL-CRESPO (1), AXEL MÜLLER (2,3) ALFONSO PESQUERA (1)

(1) Departamento de Mineralogía y Petrología. Universidad del País Vasco UPV/EHU, Apdo 644, 48080 Bilbao (España)

2) Natural History Museum, University of Oslo, PO Box 1172, Blindern, Oslo 0318 (Norway)

3) Natural History Museum, Cromwell Road, London SW7 5BD, (United Kingdom)

INTRODUCCIÓN

El sistema granito-pegmatita de Tres Arroyos se sitúa al suroeste de la Zona Centro-Ibérica. Los cuerpos pegmatíticos se localizan en las proximidades del batolito de Nisa-Alburquerque (NA). Este batolito tardivarisco está constituido principalmente por monzogranitos peraluminicos, y por cuerpos menores de leucogranitos. Además, el conjunto presenta una facies granítica marginal en contacto con el campo pegmatítico de Tres Arroyos. Las pegmatitas de la zona de estudio encajan en metasedimentos precámbricos del Complejo Esquisto-Grauváquico (CEG).

De acuerdo con la mineralogía y las características petrográficas y geoquímicas, se han distinguido tres grupos de mineralizaciones: pegmatitas estériles, pegmatitas intermedias, y pegmatitas enriquecidas en Li y F. En este trabajo presentamos una descripción petrográfica general de las dos facies graníticas y de los tres tipos de pegmatitas, aportamos los datos más relevantes sobre la química mineral de estas rocas y discutimos sobre su petrogénesis y su relación con el batolito de Nisa-Alburquerque, con el objetivo de proponer un modelo de evolución del sistema granito-pegmatita, altamente fraccionado de Tres Arroyos.

LOCALIZACIÓN GEOLÓGICA

La zona de Tres Arroyos se localiza al suroeste del sector oriental del batolito de NA. Este batolito se extiende desde el noroeste de la provincia de Badajoz, hasta Portugal. El contacto sur del

batolito coincide con el límite entre la zona Centro-ibérica y la zona de Ossa-Morena del Macizo Ibérico (González Meléndez, 1998). Las mineralizaciones, al igual que los cuerpos graníticos, se encuentran encajadas en materiales metamórficos pertenecientes al CEG. Estos materiales muestran un metamorfismo de grado bajo alcanzando la facies de esquistos verdes (Gallego, 1992). A pesar de que dentro del batolito se diferencian tres facies graníticas (González-Meléndez 1998), volumétricamente la más importante corresponde a un monzogranito porfídico de dos micas (1) (ver Tabla 1). Los megacristales de feldespato potásico del monzogranito pueden presentar una orientación preferente en algunas zonas. A pesar de que esta orientación es variable a lo largo del batolito, la fábrica del dominio cetro-oriental se caracteriza por direcciones constantes de N 100-120 E y los buzamientos son variables predominando los de componente N (González-Meléndez, 1998). Sus constituyentes mayoritarios son cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, moscovita y biotita, con andalucita, cordierita, turmalina, apatito, circón y óxidos como accesorios. En el borde suroeste del batolito se encuentra una facies leucogranítica marginal (2) con una mineralogía similar a la del monzogranito pero con un tamaño de grano muy fino y menor proporción de biotita. Esta facies marginal se localiza próxima a los cuerpos pegmatíticos de Tres Arroyos. Teniendo en cuenta su mineralogía, composición química y la relación espacial con las otras litologías presentes, este leucogranito podría considerarse como una facies intermedia entre el monzogranito y los

cuerpos mineralizados.

DESCRIPCIÓN DE LOS CUERPOS PEGMATÍTICOS

Los tres tipos de diques pegmatíticos muestran un tamaño de grano muy variable, dominando las facies aplíticas sobre las pegmatíticas, con cristales que raramente sobrepasan los 10 cm de longitud (principalmente, megacristales de feldespato "en peine"). Teniendo en cuenta su asociación mineral, y sus características petrográficas y geoquímicas, los cuerpos aplopegmatíticos de Tres Arroyos se pueden clasificar en tres tipos (Tabla 1), modificado de Gallego (1992): (3) cuerpos estériles con mineralogía simple, que se localizan cerca del plutón. En ocasiones puede resultar difícil diferenciarlos de la facies marginal, siendo la desaparición de la biotita y la aparición de topacio y fosfatos de Fe-Mn las características distintivas entre ambas facies. La alteración de los fosfatos da lugar a un color verde-marrón, característico en muestra de mano, que suele facilitar su reconocimiento en el campo; (4) el segundo tipo aflora, a mayor distancia del batolito, en forma de diques leucocráticos, subhorizontales, de hasta 7m de potencia, discordantes con las rocas metamórficas encajantes. La mineralogía de estos cuerpos consiste en cuarzo, feldespatos, moscovita, topacio, fosfatos de Li-Al, apatito y óxidos de Sn-Nb-Ta. Algunos diques contienen fosfatos de Fe-Mn de manera accesorio; y (5) diques enriquecidos en "elementos raros", principalmente Li y F, lo que se ve reflejado en una mineralogía más compleja, que incluye lepidolita, topacio, montebrasita,

palabras clave: Aplopegmatitas, Micas, Cuarzo, Tres Arroyos.

key words: Aplite-pegmatites, Micas, Quartz, Tres Arroyos.

fluorapatito y óxidos de Sn-Nb-Ta. Todas las mineralizaciones presentan, localmente, bandeados rítmicos de muy diversa complejidad. Los cuerpos pegmatíticos intermedios pueden presentar patrones relativamente simples, donde bandas ricas en albita alternan con bandas mayoritariamente constituidas por cuarzo. Otro ejemplo de bandeados con patrón simple es el que se observa en los diques enriquecidos en Li, donde se puede dar una alternancia entre lechos formados principalmente por lepidolita con otros de albita. Por el contrario, algunos cuerpos pegmatíticos intermedios (4), o enriquecidos en Li (5), también pueden mostrar patrones más complejos, con más de dos tipos diferentes de bandas, que muestran variaciones en la asociación mineral, en el porcentaje modal y en la textura en cada banda.

Teniendo en cuenta la distribución espacial de los diques pegmatíticos en relación con el batolito de Nisa-Albuquerque, en la zona de Tres Arroyos se observa cierta zonación. Esta se manifiesta como un incremento en el grado de fraccionamiento de los diques hacia el suroeste, al aumentar la distancia al granito. Por otro lado, y a excepción de los cuerpos bandeados, no se observa una zonación interna en los diques pegmatíticos, que, además, no presentan el núcleo de cuarzo masivo característico de muchas pegmatitas.

MÉTODOS ANALÍTICOS

Se han seleccionado micas representativas, de las dos facies del batolito consideradas (monzogranito y marginal), y de los tres tipos de diques

pegmatíticos. La composición química de las micas se ha determinado mediante microsonda electrónica. Se han realizado alrededor de 800 análisis de microsonda en el Centro Nacional de Microscopía Electrónica "Luis Brú" de la Universidad Complutense de Madrid, en la Universidad de Granada y en la Universidad Paul Sabatier de Toulouse (Francia).

Algunas de las micas analizadas contienen litio, en ocasiones en cantidades importantes. Teniendo en cuenta que existe una buena correlación positiva entre los contenidos en F y Li, se ha utilizado la ecuación empírica ($Li = 0.3112 \cdot F^{1.3414}$) determinada por Roda et al., (2006) para estimar el contenido en Li en las micas.

También se han seleccionado muestras de cuarzo, de las cinco facies, para analizar los elementos traza de este mineral. Dichos análisis se han realizado en el Geological Survey de Noruega (Trondheim), mediante ablación láser (LA-ICP-MS).

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE MICAS Y CUARZO Y DISCUSIÓN

Son numerosos los estudios publicados que muestran la utilidad de la mica y del feldespato como excelentes indicadores del grado de fraccionamiento de los cuerpos pegmatíticos (Roda-Robles et al., 2012, Vieira et al., 2011). Gracias a los avances tecnológicos de las últimas décadas, a estos dos minerales se les ha sumado el cuarzo (Müller et al., 2015). El estudio de la concentración de elementos traza en el cuarzo asociado a

granitos y pegmatitas y sus variaciones se ha convertido en un método fiable, a la vez que novedoso, para determinar la naturaleza de estas rocas y su grado de evolución.

Las micas presentes en las cinco facies descritas en la zona de Tres Arroyos varían de composición dependiendo de la facies a la que pertenecen. Únicamente las facies graníticas contienen biotita. El resto de las micas analizadas se clasifican dentro de dos series: moscovita-zinnwaldita y moscovita-polilitionita. Las micas pertenecientes a la primera serie se encuentran únicamente en la facies granítica marginal y en los cuerpos pegmatíticos estériles. Son generalmente incoloras al microscopio, aunque también pueden presentar un ligero tono marrón. Los contenidos en F que presentan las micas de las pegmatitas son superiores a los observados en la facies marginal, con contenidos en F que en ocasiones pueden alcanzar hasta el 8% en peso, lo que situaría a estas micas cerca del término zinnwaldita, según la clasificación de Tischendorf et al., (1997). Por el contrario, las micas pertenecientes a la serie moscovita-polilitionita se localizan en los diques pegmatíticos intermedios y en los enriquecidos en Li, presentando valores de F de hasta un 8-9% en peso. Estos valores tan elevados de F (y por lo tanto de Li) son indicativos del elevado grado de fraccionamiento que presentan los cuerpos que las albergan.

En cuanto a la composición química del cuarzo, hay que destacar las variaciones observadas para los elementos traza más significativos en este mineral (aumento del Li, Ge, Al, y descenso del Ti), además del ascenso de los ratios Al/Ti y Ge/Ti, desde el monzogranito, pasando por el granito marginal y las pegmatitas menos fraccionadas, hasta los diques enriquecidos en Li. Estas variaciones indican que el grado de fraccionamiento va aumentando, en el mismo sentido, desde el granito hasta las pegmatitas enriquecidas en Li. Por lo tanto, teniendo en cuenta las relaciones de campo y la química mineral, el sistema granito-pegmatitas de Tres Arroyos parece estar constituido por litologías formadas según una única línea de fraccionamiento. Esta línea de fraccionamiento partiría del magma granítico que dio lugar al batolito de Nisa-Albuquerque, al menos en su

Litología	Minerales principales	Tamaño de grano	Características petrográficas
(1) Monzogranito porfídico	Qtz, Kfs, Plg, Bt, Ms, Crd, And, Tur, Zrn, Ap, óxidos	Muy Fino-Gruoso 0.1-7cm	Halos de zircón metamórfico en Bt Cloritización y sericitización Al-silicatos
(2) Facies granítica marginal	Qtz, Kfs, Plg, Ms, Fe-Li-Ms, Tur, Bt, Crd, And, óxidos	Muy Fino 0.1-0.3cm	Bt en bandas Intercrecimiento Bt- Ms Cloritización y sericitización Al-silicatos
(3) Alopegmatitas estériles	Qtz, Kfs, Plg, Tur, Ms, Znw, Tpz, Ap, óxidos Nb-Ta, fosfatos de Fe-Mn	Muy Fino - Medio 0.1-3cm	Localmente, color verdoso en muestra de mano Bandeados alterando, bandas de grano grueso con otras más finas.
(4) Alopegmatitas intermedias	Qtz, Kfs, Plg, Ms, Tpz, fosfatos de Li-Al y Fe-Mg, óxidos de Sn-Nb-Ta, Ap	Muy Fino-Medio 0.1-2.5cm	Bandeados con un patrón simple, alternancia entre bandas de albita con otras compuestas por cuarzo
(5) Alopegmatitas enriquecidas en Li	Qtz, Plg, Kfs, Ms-Li, Tpz, fosfatos de Li-Al, Ap, óxidos de Sn-Nb-Ta	Muy Fino-Medio 0.1-2cm	Las micas tienen texturas en abanico o radiales y texturas "patchy-zoning" Bandeados con un patrón más complejo

facies más común (monzogranito) y también a la facies marginal que aflora en la zona de estudio. Los tres tipos de diques pegmatíticos representan distintos grados de fraccionamiento del magma original, de manera que el magma residual fue enriqueciéndose paulatinamente en los elementos incompatibles Li y F, además de Rb y Cs, entre otros. Para explicar el origen de estos fundidos altamente evolucionados se han propuesto varios modelos, siendo el mecanismo de cristalización fraccionada el más ampliamente aceptado en la actualidad. Para establecer las relaciones petrogenéticas entre el monzogranito y los cuerpos pegmatíticos, se ha llevado a cabo una modelización geoquímica con la aplicación de la ecuación Rayleigh correspondiente a la cristalización fraccionada. Teniendo en cuenta los coeficientes de distribución del elemento compatible Ba, y de los incompatibles Li y Rb, además de las proporciones modales del granito y los valores de roca total de las cinco facies, se ha comprobado que con distintos grados de fraccionamiento a partir de una composición inicial similar a la del monzogranito de Nisa-Alburquerque, se pueden alcanzar composiciones como las que presentan los tres tipos de mineralizaciones de la zona de Tres Arroyos, descartándose así mecanismos como la anatexia o una combinación de ambos.

Por otra parte, las distintas texturas observadas dentro de los diques (p.ej. cristales de feldespatos "en peine" y bandeados) indican que la cristalización de estos tuvo lugar desde la zona de pared hacia el interior de los cuerpos. La falta de variaciones composicionales en los elementos mayores y traza dentro de los diques, reflejada a su vez en la ausencia de una zonación interna, indican que el fraccionamiento del fundido pegmatítico fue insignificante una vez comenzada la cristalización de los diques pegmatíticos. Esto puede deberse a una alta razón de cristalización asociada al fuerte subenfriamiento que pudo sufrir el magma pegmatítico en contacto con la roca de caja más fría, y por la posible exsolución de una fase fluida debida a la pérdida de presión sufrida por el fundido al inyectarse en las fracturas en las que aparecen encajados los diques. Dicho subenfriamiento ha sido también relacionado con el desarrollo de bandeados y texturas aplíticas en otros

campos pegmatíticos (Webber et al., 1999).

AGRADECIMIENTOS

La financiación de esta investigación corre a cargo del proyecto de investigación CGL2012-31356 (con subvención de fondos FEDER) y cuenta con la ayuda para grupos de investigación de la UPV/EHU, GIU/1216. Además, Idoia Garate-Olave disfruta de una beca financiada por el Gobierno Vasco/Eusko Jaurlaritza.

REFERENCIAS

- Gallego M., (1992): *Las mineralizaciones de Litio asociadas a magmatismo ácido en extremadura y su encuadre en la Zona Centro-Iberica. Tesis doctoral. Universidad Complutense, España 328pp.*
- González-Meléndez L., (1998): *Petrología y geoquímica del batolito Nisa-Alburquerque. Tesis doctoral. Universidad de Granada, España.*
- Muller, A., Ihlen, P.M., Snook, B., Larsen, R.B., Flem, B., Bingen, B., Williamson, B.J. (2015): *The Chemistry of Quartz in Granitic Pegmatites of Southern Norway: Petrogenetic and Economic Implications. Econ. Geol., 110, 1737-1757.*
- Roda, E., Pesquera, A., Gil, P.P., Torres-Ruiz, J., de Parseval, P. (2006): *Mineralogy and geochemistry of micas from the Pinilla de Famoselle pegmatite (Zamora, Spain). Europ. J. Mineral., 18, 369-377.*
- Roda Robles, E., Pesquera, A., Gil-Crespo, P., Torres-Ruiz, J. (2012): *From granite to highly evolved pegmatite: A case study of the Pinilla de Famoselle granite-pegmatite sistema (Zamora, Spain). Lithos, 153, 192-207.*
- Tischendorf, G., Gottesmann, B., Foersters, H.J., Trumbull, R.B. (1997): *On Li-bearing micas; estimating Li from electron microprobe analyses and an improved diagram for graphical representation. Min. Mag., 61, 809-834.*
- Vieira, R., Roda-Robles, E., Pesquera, A., Lima, A. (2011): *Chemical variation and significance of micas from the Fregeneda-Almendra pegmatitic field (Central-Iberian Zone, Spain and Portugal). Am. Mineral., 96, 637-645*
- Webber, K. L., Simmons, W. B., Falster, A. U., Foord, E. E. (1999): *Cooling rates and crystallization dynamics of shallow level pegmatite-aplite dikes, San Diego County, California. Am. Mineral., 84, 708-717.*