



Fenómenos de alcalinización en granitoides hercínicos de la Sierra de Guadarrama (Sistema Central)

Alkaline metasomatism in Hercynian granitoids from the Sierra de Guadarrama (Spanish Central Range)

VILLASECA, C. & PEREZ-SOBA, C.

Se describen dos casos particulares de granitos decuarcificados y alcalinizados a favor de planos de fractura. Los afloramientos son pequeños lentejones (menos de 5 m de potencia) de escasa continuidad longitudinal (menos de 200 m) y tránsitos centimétricos con el granito sin transformar.

En el plutón de Villacastín estos tipos episieníticos aparecen en fracturas N50E, definiendo afloramientos con un complejo bandeo composicional cuyos tipos más transformados están constituidos por plagioclasa albitizada, clinopiroxeno ferroaugítico y ferrohornblenda normalmente asociada a microclina intersticial. Las episienitas del complejo plutónico de La Pedriza se alinean según fracturas N85E, y son transformación hidrotermal del plutón de granito porfídico con cordierita, de la zona intermedia de dicho complejo. Estas rocas llegan a presentar una mineralogía de composición peralcalina, con albita, microclina residual, egirina, riebeckita y escaso cuarzo como fases principales.

Las episienitas de Villacastín tienen una paragénesis de grado medio metamórfico y baja presión (se estima una temperatura aproximadamente 450°-500°C y una presión menor de 0.6 kb), mientras que las de La Pedriza serían de menor temperatura, en condiciones de grado bajo metamórfico (temperaturas de aproximadamente 250°-450°C y una presión menor de 0.5 kb). Estos tipos de episienitas anfíbólico-piroxénicas no son conocidos en otras áreas del Hercínico ibérico.

Palabras clave: metasomatismo alcalino, episienitas de alta y baja temperatura, granitoides hercínicos, Sierra de Guadarrama.

This paper describes two particular cases of granites which are dequartzified and alkalified along their fractures planes. The outcrops are small and lenticular.

shaped (< 5 m width) with scarce longitudinal continuity (< 200 m length) and centimetrical transits with the not transformed granite.

In the pluton of Villacastín this epiesienite types appear in fractures N50E defining outcrops with a complex compositional banding whose more transformed varieties are composed by albitized plagioclase, ferroaugite and ferrohornblende, usually associated with interstitial microcline.

The epiesienites of the plutonic complex of La Pedriza are aligned in N85E fractures, and they are an hydrothermal transformation of the porphyritic cordierite granites of the intermediate zone of this complex. These rocks reach a peralkaline mineralogy with albite, residual microcline, aegirine, riebeckite and limited quartz as main phases.

The epiesienites of the Villacastín have a middle metamorphic grade paragenesis of low pressure (an estimated temperatures of 450°-500°C and pressures less than 0.6 kb), whereas the ones of La Pedriza are of lower temperature, i. e. low metamorphic grade (temperatures of 250°-450°C and a pressure less than 0.5 kb). These pyroxenic-amphibolitic epiesienites have not been described in others areas of the Iberian Hercynian Belt.

Key words: alkaline metasomatism, epiesienites of low and high temperature, hercynian granitoids, Sierra de Guadarrama.

VILLASECA, C. & PEREZ-SOBA, C. (Dpto. de Petrología y Geoquímica. Universidad Complutense. Madrid, 28040).

INTRODUCCION

Las rocas graníticas afectadas por los procesos postmagmáticos que aquí se estudian pertenecen al plutón de Villacastín y al macizo de La Pedriza, situados respectivamente en los sectores occidental y centrooriental de la Sierra de Guadarrama (Fig. 1).

El granito de Villacastín es tardihercínico y el de edad más antigua de los dados en la Sierra (344 ± 8 m. a., según IBARROLA, E. *et al.*, 1987). Se trata de una adamellita con afinidades granodioríticas, con abundantes gabarros (enclaves microgranulares) y sin estructuras u orientaciones apreciables en el área de estudio.

El complejo plutónico de La Pedriza tiene carácter aparentemente centrado, con facies marginales, más antiguas, de granitos porfídicos con típico flujo ígneo, y granitos porfídicos con cordierita, donde se localizan estos fenómenos postmagmáticos. Ambos

granitos están intruidos por el característico granito leucocrático de grano grueso. Esta facies central más diferenciada está también datada por métodos geocronológicos de Rb-Sr en 305 ± 6 m. a. (IBARROLA, E. *et al.*, op. cit.).

En ambos plutones aparecen fenómenos claros de decuarcificación o epiesienitización del granito a favor de bandas y microfracturas, cuya descripción es el objeto de este estudio. Estos fenómenos de disolución de cuarzo se observan en bandas o en afloramientos alargados de reducido tamaño ($6 \text{ m} \times 200 \text{ m}$, como dimensiones máximas de estos cuerpos), en general paralelos a direcciones de fracturación de la zona en la que se inscriben, con lo que su origen metasomático parece evidente. El interés de las transformaciones que se estudian en este trabajo se centran en la mineralogía peculiar que presentan estas rocas. En estos procesos se neoforman diversos tipos de anfíboles y

piroxenos, algunos de carácter peralcalino, de los que no se han encontrado referencias bibliográficas sobre su existencia como fenómenos postmagmáticos en complejos plutónicos aluminicos, salvo en aquellos ligados a actividades magmáticas alcalinas o peralcalinas próximas (fenómenos de fenitización o de alteración hidrotermal ligadas a estas intrusiones, p. e. KINNAIRD, J. A., 1985 y MOROGAN, V. & WOOLLEY, A. R., 1988). No obstante, riodacitas decuarcificadas y albitizadas, con neoformación de hedenbergita-hornblenda (y mineralizaciones de U acompañantes), se citan ligadas a movimientos de soluciones hidrotermales activadas durante etapas metamórficas o de intrusión granítica y controladas por fracturas diversas del macizo rocoso, sin relación alguna con magmatismo alcalino o peralcalino en las proximidades (SMELLIE, J. A. T. & LAURIKKO, J., 1984).

DESCRIPCION PETROGRAFICA

Epimonzonitas y episienitas del plutón de Villacastín

Sin duda son los afloramientos mayores encontrados, alineándose como bandas de dirección media N50E, de buzamiento hacia el este variable (50° a subvertical), paralelos a numerosas microfracturas rellenas de anfíbol (1-5 cm de ancho) existentes en este sector. A estas bandas epimonzoníticas las atraviesan diquecillos de cuarzo y fracturas N20E, muy penetrativas en este área (Fig. 1) y que forman parte del denominado conjunto de sierros del Sistema Central por GARCIA DE FIGUEROLA, L. C. y PARGA, J. R. (1971). Las epimonzonitas aparecen como un conjunto de rocas alcalinizadas con bandeado muy irregular y heterogéneo, no sólo composicional sino también textural (Fig. 2) y con límites difusos y graduales con el granito sin transformar.

El granito encajante está fuertemente decuarcificado en la facies de transición ha-

cia la banda epimonzonítica (Cuadro 1a). Esta roca de apariencia granítica, que conserva los típicos enclaves microgranudos oscuros, se presenta sin embargo, con texturas protocataclásticas y de anfibolitización marcada, como síntomas visibles de transformación. Este granito alterado es microscópicamente de aspecto granoblástico, por los contactos muy lobulados e irregulares entre los minerales, inequigranular por el destacado tamaño de la plagioclasa, que conserva palinsépticamente zonados muy imprecisos y borrados (Fig. 4), y a veces con microfracturación acompañante a la alcalinización y anfibolitización del granito. La composición es episienítica-epimonzonítica (puede llegar a estar ausente la microclina), con dos máficos característicos: biotita y anfíbol. La biotita es lepidoblástica en agregados, que pueden ser intersticiales a favor de microfisuras, y el clinofanfíbol acompañante es de tipo hornbléndico.

Esta banda externa transita hacia tipos epimonzoníticos más internos, sucesivamente más pobres en biotita, con aparición variable de venas más o menos netas, prácticamente monominerales, de hornblenda (Fig. 2).

Las facies internas de estas bandas epimonzoníticas, normalmente con potencias superiores al metro (Fig. 2), son unas facies masivas de epimonzonitas con máficos claramente intersticiales que confieren un aspecto grumoso a la roca (Fig. 2 y 3), y con variedades leucomelanocratas, según el contenido en anfíboles de la misma (Fig. 3). Son rocas plagioclásticas, con microclina en sectores que parece acompañante a la anfibolitización y piroxenización de la misma (Fig. 5). El clinopiroxeno es de composición ferroaugítica ($2V_x = 60^\circ \pm 5^\circ$) y el clinofanfíbol es, probablemente, ferrohornblenda ($2V_z = 70^\circ \pm 5^\circ$).

Es característica la profusión de accesorios titanados: biotita residual, esfena y opacos exsuetos en los inosilicatos; son también abundantes el apatito, circón, alanita y opacos idioblásticos, neoformados

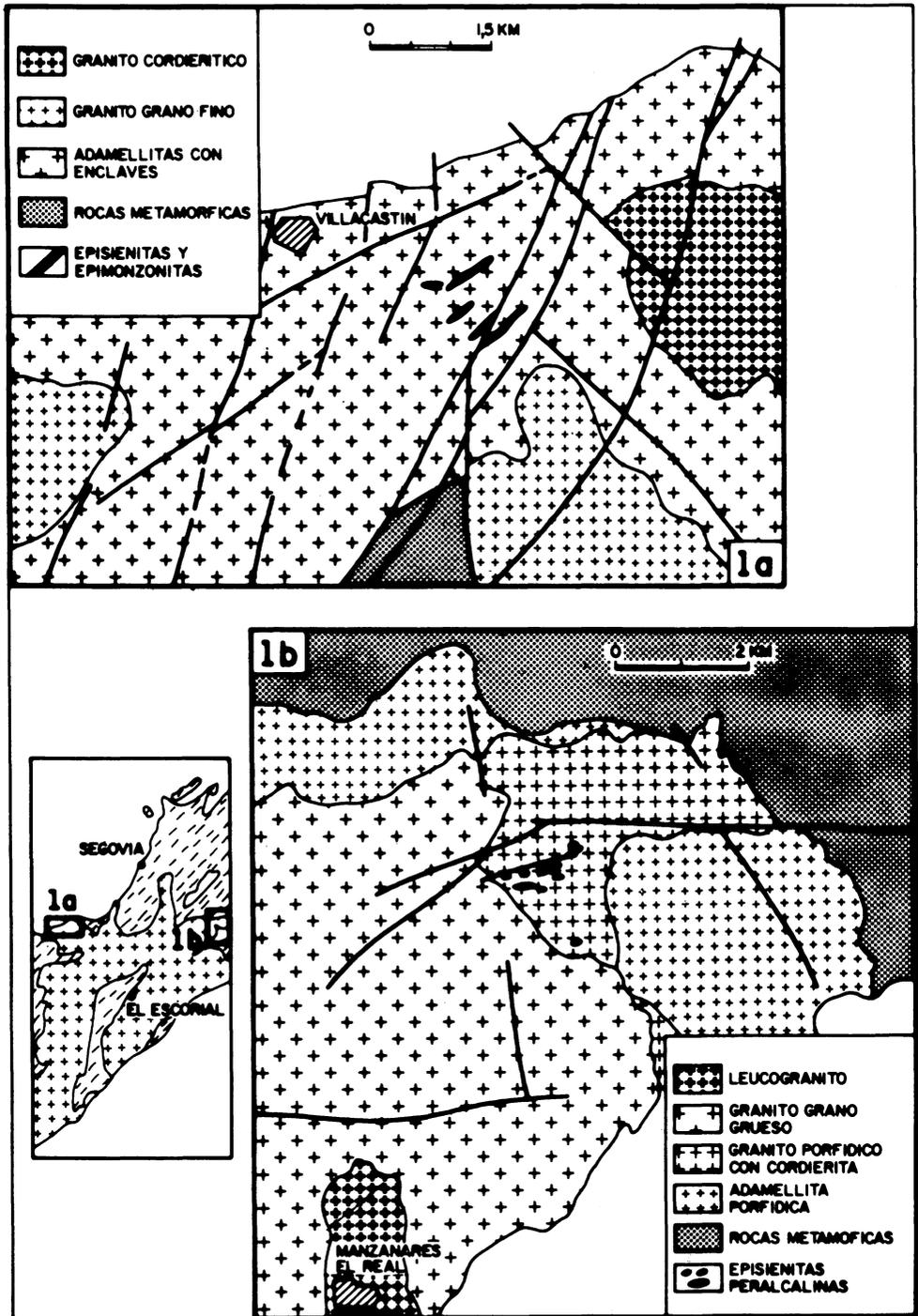
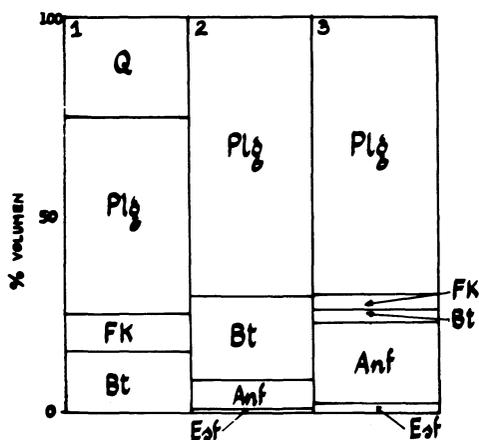


Fig. 1. Esquema geológico de situación de los afloramientos estudiados. 1a) Área granítica de Villacastín. 1b) Complejo plutónico de La Pedriza. Se incluye un mapa general de situación en la Sierra de Guadarrama.

CUADRO 1a. Análisis modales de epimonzonitas de Villacastín

	1	2	3	4
Q	25	---	---	---
Fk	9	---	3.5	23
Plag	50	67	71	54
Bt	16	20	3	3
Anf	---	4,5	21	1
Clpx	---	---	---	12,5
Esf	---	---	1,5	2,5
Op	---	---	---	3,5
Acc	---	0,5	---	0,5

1.—Adamellitas con gabarros. 2.—Adamellitas anfibolitizada (Facies de transición). 3.—Epimonzonita anfibólica. 4.—Epimonzonita anfibólica - piroxénica. (Número aproximado de puntos medidos por lámina: 1250).



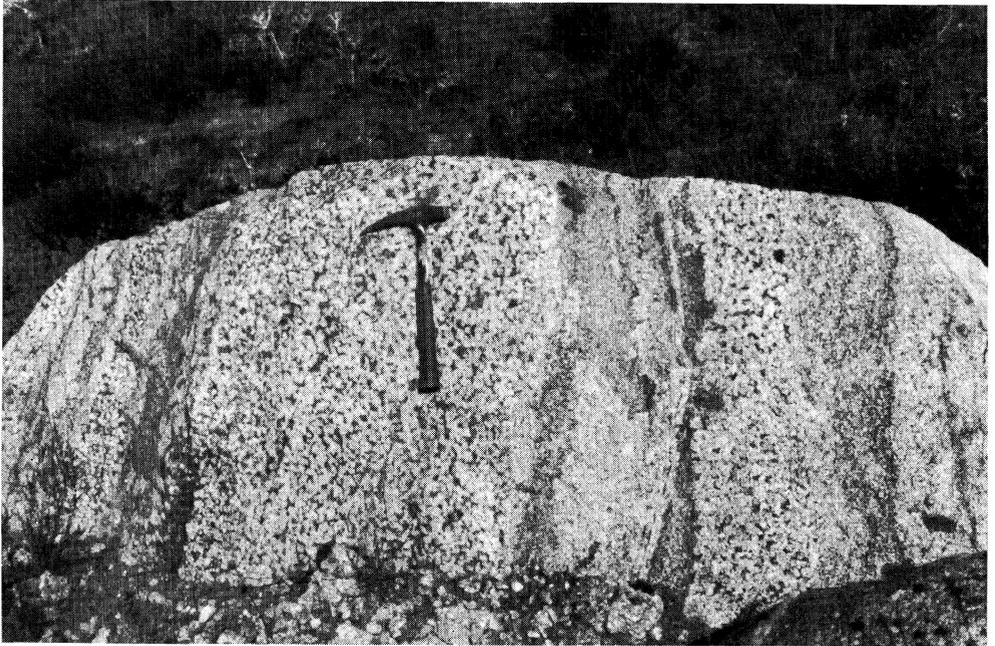


Fig. 2. Epimonzonitas bandeadas. Hacia la derecha el granito transformado (facies de transición) y hacia el centro (con martillo) las facies de aspecto grumoso en el sector más alcalinizado. Se observan, al menos, cuatro recurrencias separadas por bandas cataclásticas anfibolitizadas oscuras (Villacastín).



Fig. 3. Variaciones modales de anfíbol - plagioclasas en las facies epimonzoníticas internas (Villacastín).

durante la alcalinización del granitoide. Hay crecimientos tardíos muy intersticiales y accesorios de epidota, clorita y probable hematites o limonita coloforme.

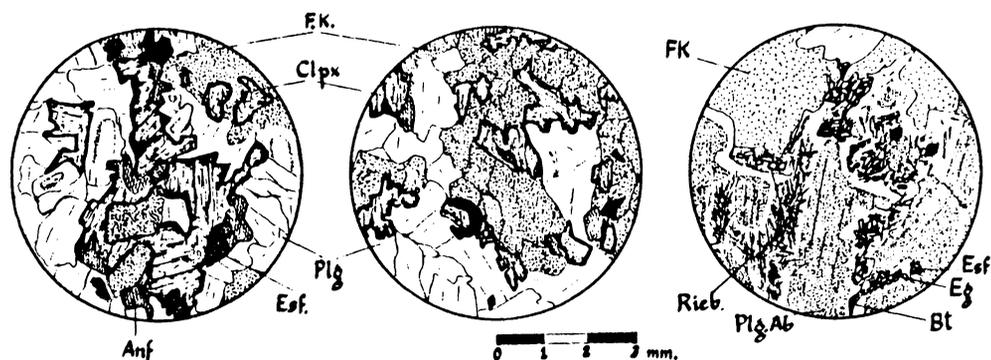


Fig. 4. Aspectos petrográficos de las episenitas. a) Blastesis intersticial de ferroaugita, parcialmente anfibolitizada, en episenitas con restos de plagioclasa zonada. b) Asociación de los máficos a los sectores de microclinización de la roca (Villacastín). c) Neoformación de egerina y riebeckita fibrosa en los sectores de albitización intergranular (La Pedriza).

Estas facies internas incluyen agregados de aspecto pegmatítico (Fig. 5), donde puede haber cuarzo segregado abundante. Estos pegmatitoides son ricos en hornblenda y plagioclasa intermedia (ande-

sina), ambos muy idioblásticos y con texturas en roseta, aunque el anfíbol es intersticial. Cuando hay cuarzo es claramente invasor y tardío, en típicas texturas poiquilíticas.



Fig. 5. Pegmatitoides anfibólicos en las facies centrales de las epimonzonitas.

Episienitas del complejo de La Pedriza

Estas rocas afloran como pequeñas bandas métricas (2 m de potencia) elongadas según direcciones predominantes N85E, sub-verticales al sur, dando pequeños resaltes sobre las facies peraluminicas del borde del complejo plutónico (Fig. 1). El contacto con el granitoide es bastante más neto que en los tipos de Villacastín (< 5 cm de indeterminación), aunque tal vez más irregular y sinuoso a mesoescala.

Al microscopio se diferencian dos tipos de transformaciones del granito con cordierita. Una de ellas es de menor intensidad, con anfibolitizaciones intergranulares (actinolita) y albitizaciones del feldespato potásico (microclina), acompañados de procesos de desilicificación. Hay también epidota y clorita como producto de transformación de la biotita, y apatito, circón y fluorita accesorios. Se podría clasificar como episienitas alcalinas con epidota, clorita y actinolita que, salvo por el anfíbol, suelen ser episienitas comunes en la Sierra de Guadarrama.

Las bandas episieníticas con mayor grado de transformación presentan un tránsito al granito cordierítico que al microscopio se observa por la transformación de la biotita en anfíbol riebeckita, acompañado por numerosos opacos de tamaño muy pequeño. La episienita tiene mineralogía peralcalina, ya que sus máficos principales son un anfíbol sódico tipo riebeckita ($2Vx = 66^\circ \pm 5^\circ$) y un piroxeno tipo egirina ($2Vz = 80^\circ \pm 5^\circ$). Desarrolla una textura granoblástica de grano medio a grueso (Fig. 6), con la riebeckita y la egirina ligadas a la albita intersticial y a escaso cuarzo acompañante (Fig. 4). La riebeckita se presenta en la mayoría de los casos en su forma fibrosa (crocidolita de tonos azules) y junto a la egirina pueden crecer también a favor de cataclasis y microfracturas de los feldespatos (Fig. 7). Los accesorios frecuentes en estas episienitas peralcalinas son: biotita verdosa; apatito, circón, fluorita, esfena, opacos y casiterita (Cuadro 1b). Ocasionalmente, en algunas de estas

bandas episieníticas peralcalinas, aparecen sectores de albititas de grano fino, con cantidades accesorias de microclina, riebeckita, biotita y esfena, con límites irregulares de tránsito rápido a la episienita. Otras veces son nódulos o enclaves albitíticos, de centímetros, dentro de la episienita.

CONSIDERACIONES PETROGENÉTICAS

Estimaciones de las condiciones de formación

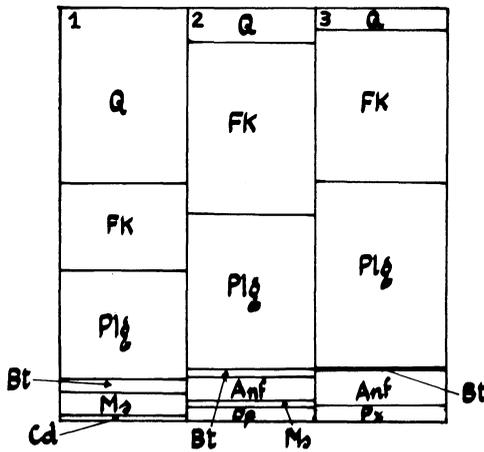
Las episienitas de Villacastín muestran una paragénesis de grado medio metamórfico, compuesta por: andesina (-oligoclasa), microclina de alta temperatura ($2Vx = 65^\circ \pm 5^\circ$, es decir, $2Vx < 76^\circ$, límite de variedades de microclina de alta y baja temperatura según BERNOTAT, W. H. & MORTEANI, G., 1982), ferroaugita y ferrohornblenda como minerales principales. La temperatura de formación podría haber sido superior a 500°C , límite térmico superior estimado para la microclina de baja temperatura. Estos datos serían coherentes con la aparición de ferrohornblenda y de ferroaugita (que aparece a partir de 400°C en rocas carbonatadas, KANCK, S. H., 1961). El intervalo de temperatura de formación de estas episienitas debe situarse entre $450^\circ\text{-}550^\circ\text{C}$, muy alejadas de las condiciones de solidificación de los granitoides, emplazados a temperaturas próximas a los 700°C y presiones de unos 2 kb (RODRIGUEZ SALAN, A. *et al.*, 1987), llevando un tiempo indeterminado de levantamiento y enfriamiento progresivo. El carácter eminentemente frágil de la microfisuración acompañante del macizo granítico indica un ambiente de formación epizonal, nunca superior a los 600 bars, para que la SiO_2 tenga un marcado cambio de solubilidad en fluidos hidrotermales tan calientes (HOLLAND, H. D. & MALININ, S. D., 1979).

Las episienitas de La Pedriza muestran

CUADRO Ib. Análisis de episenitas de La Pedriza

	1	2	3	4
Q	43	8	5	2
FK	21	43	3	3
Plag	27	37	45,5	56
Bt	3	1,5	0,5	2,5
Ms	4	1	---	---
Cord	1,5	---	---	---
Rieb	---	6	8,5	4
Egir	---	---	0,5	0,5
Op	---	3	---	1
Acc	0,5	0,5	0,5	0,5

1.—Granito porfídico cordierítico. 2.—Granito anfibolitizado (facies de transición). 3 y 4.—Episenitas peralcalinas. (Número aproximado de puntos medidos por lámina: 1250).



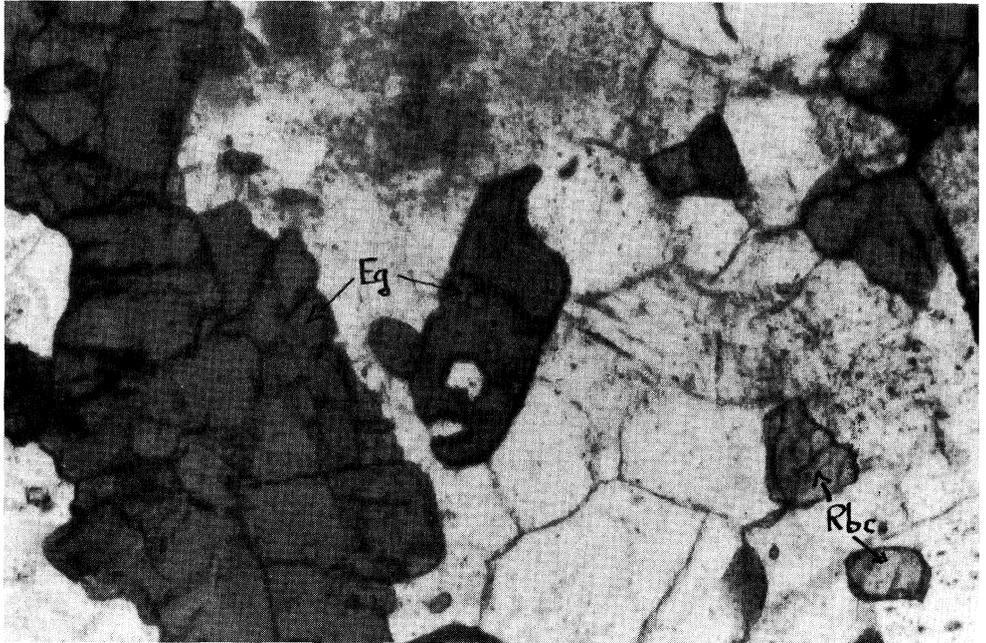


Fig. 6. Episenita granoblástica de albita, eginina (Eg.) y riebeckita (Rbc.) (La Pedriza). Escla aproximada de la foto: 0,15 mm. Luz natural.

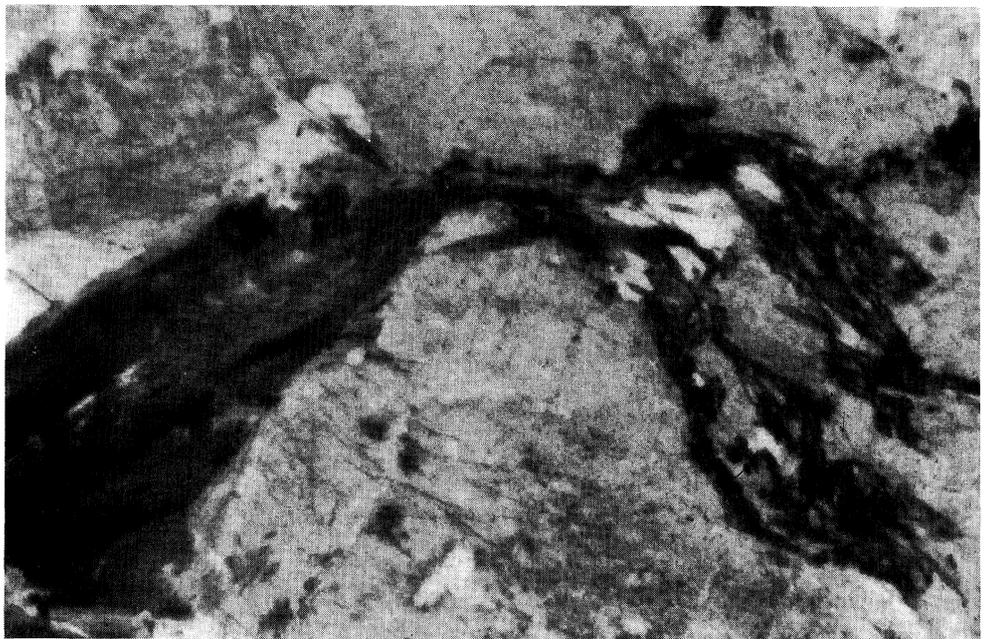


Fig. 7. Blastesis de la riebeckita fibrosa (crocidolita) asociada a la albitización intergranular entre microlinas residuales (La Pedriza). Escala aproximada de la foto: 0,15 mm. Luz natural.

una paragénesis de menor temperatura compuesta por: albita, microclina de más baja temperatura (el 2Vx medio es de $75^\circ \pm 10^\circ$), egirina y riebeckita. De hecho el límite superior térmico de estabilidad de la riebeckita, en condiciones oxidantes, es de 495°C (ERNST, W. G. 1976). El rango de condiciones posibles de formación de estas episienitas sería de $250^\circ\text{-}450^\circ\text{C}$, por aproximación a valores normales de formación de rocas decuarcificadas a partir de granitos (CATHALINEAU, M., 1986), sin poder precisar más las condiciones de presión confinante ($P < 0.5 \text{ kb}$).

En ambos tipos de episienitas parece probable que el fluido hidrotermal sea fundamentalmente acuoso, pues no se ha encontrado precipitación de carbonatos. No obstante, otros volátiles (halógenos, fundamentalmente) y fósforo han participado subordinadamente.

Naturaleza de los cambios mineralógicos

Los fenómenos de metasomatismo alcalino estudiados en este trabajo pueden considerarse ligados a actividad hidrotermal a favor de planos de fractura o de debilidad estructural de los macizos rocosos graníticos. La reacción entre estos fluidos hidrotermales percolantes y el granito provoca una serie de cambios mineralógicos que pueden esquematizarse en:

- a) Disolución del cuarzo.
- b) Destrucción parcial del feldespato potásico.
- c) Destrucción de la biotita (y otros máficos del granito, p. e., cordierita en La Pedriza).
- d) Introducción metasomática de Na (Ca).

Estos procesos han sido más operativos en el caso de Villacastín que en el de las episienitas de La Pedriza, donde siempre se observa cuarzo y biotita (neoformada) accesorios, y microclina residual fuertemente albi-

tizada (véase cuadro I y II). Hay, pues, desilicificación y una variable depotasificación del granito (junto a pérdidas probables de Fe^{2+} , Mg y Ti por destrucción de la biotita).

Posteriormente a la etapa de soluciones hidrotermales ricas en Na (y Ca), se superpone una introducción de fluidos ricos en K, Ti, Fe^{3+} y REE en el caso de Villacastín (carácter intesticial de la microclinización con esfena, máficos y accesorios asociados), y una introducción de fluidos ricos en Ti, Fe^{3+} , F (y tal vez Sn), en el caso de La Pedriza, con ocasional silicificación tardía de la episienita.

En ambos tipos de episienitas hay transformaciones argilíticas y propilíticas, en grado variable, que se superponen a los cambios mineralógicos anteriores.

CONSIDERACIONES FINALES

Las rocas decuarcificadas encontradas en los macizos graníticos estudiados podrían ser consecuencia de un metasomatismo alcalino generado por circulación de fluidos hidrotermales a favor de fracturas. Las paragénesis minerales encontradas en estos tipos de episienitas corresponden a distintas condiciones de temperatura y tal vez a diferentes niveles de profundidad de los fluidos percolantes, fundamentalmente acuosos, sin poder precisar posibles cambios en la composición y naturaleza de la fase volátil entre ellos.

Los granitos transformados de Villacastín pueden originarse como reacción metasomática con unos fluidos hidrotermales de alta temperatura ($450^\circ\text{-}550^\circ\text{C}$), circulando en niveles epizonales del macizo. En el caso de La Pedriza estos fluidos serían de menor temperatura ($250^\circ\text{-}450^\circ\text{C}$) y más ricos en halógenos. Un estudio geoquímico y petrogenético detallado de estas transformaciones ayudarían al conocimiento de la movilidad de algunos elementos (Na, Ca, REE, Sn, Th, U, etc.), que pueden ser de interés económico.

La formación de estas rocas episieníticas alcalinas y peralcalinas, de mineralogía algo exótica, sucede en etapas de relajamiento tectónico y térmico del orógeno hercínico, despegadas en el tiempo respecto de la actividad magmática tardiorogénica que origina el conjunto granítico de la Sierra de Guadarrama. El carácter previo de la episienitas de Villacastín con respecto a los diques de cuarzo N20E (sierros) podría situarlas temporalmente en el Mesozoico medio, si son correctas las deducciones de UBANELL, A. (1982) sobre la anterioridad de los «sierros» respecto al dique de Alentejo-Plasencia, de edad Jurásico medio (SCHERMERHORN, L. G. J. *et alters*, 1978). De cualquier forma, la existencia de diversas etapas de episienitización/precipitación de cuarzo

que se observan en la Sierra de Guadarrama, así como las variaciones en las directrices estructurales de estos fenómenos de metasomatismo hidrotermal, conducen a un complejo sistema de transformaciones de los macizos rocosos desde tiempos tardihercínicos hasta los alpinos, aún no precisados.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro reconocimiento a F. Tornos por los comentarios realizados en la sesión de «posters» los cuales han contribuido a la mejora del texto. También queremos agradecer a J. M. Angulo la delimitación de los mapas.

BIBLIOGRAFIA

- BERNOTAT, W. H. & MORTEANI, G. (1982). The microcline/sanidine transformation isograd in metamorphic regions: Western Tauern window and Merano-Mules-Anterselva complex (Eastern Alps). *Amer. Miner.* 67: 43-53.
- CATHALINEAU, M. (1986). The hydrothermal alkali metasomatism effects on granitic rocks: quartz dissolution and related subsolidus changes. *Jour. Petrol.* 27: 945-965.
- ERNST, W. G. (1976). Petrologic phase equilibria. *Ed. Freeman*. San Francisco. 333 pp.
- GARCIA DE FIGUEROA, L. C. & PARGA, J. R. (1971). Características fundamentales de los sierros de la provincia de Salamanca. *Bol. Geol. y Min.* 82 (3-4): 287-290.
- HOLLAND, H. D., MALININ, S. D. (1979). The solubility and occurrence of non ore minerals. En «Geochemistry of hydrothermal ore deposits» (BARNES, ed.); segunda edición. Ed. *John Wiley & sons*: 461-508.
- IBARROLA, E., VILLASECA, C., VIALETTE, Y., FUSTER, J. M., NAVIDAD, M., PEINADO, M. & CASQUET, C. (1987). Dating of hercynian granites in the «Sierra de Guadarrama» (Spanish Central System). En «Geología de los granitoides y rocas asociadas del Macizo Hespérico», editado por BEA, F., CARNICERO, A., GONZALO, J. C., LOPEZ PLAZA, M. & RODRIGUEZ ALONSO, M. D.. *Ediciones Rueda*, 377-383.
- KINNAIRD, J. A. (1985). Hydrothermal alteration and mineralization of the alkaline anorogenic ring complex of Nigeria. *Jour. Afric. Earth. Sci.*, 3: 229-251.
- KRANCK, S. H. (1961). A study of phase equilibria in a metamorphic iron formation. *Jour. Petrol.*, 2: 137-184.
- MOROGAN, V. & WOOLLEY, A. R. (1988). Fenitization at the Alnö carbonitite complex, Sweden: distribution, mineralogy and genesis. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 100: 169-182.
- RODRIGUEZ SALAN, A., VILLASECA, C. & FUSTER, J. M. (1987). El metamorfismo de contacto en la Sierra de Ojos Albos. *Mem. Mus. Labor. miner. geol. Fac. Ciências do Porto*, n.º 1, 67-83.
- SCHERMERHORN, L. J. G., PRIEM, H. N. A., BOELRIJK, N. A. J. M., HEBEDA, E. H., VERDURMEN, E. A. Th. & VERSCLURE, R. H. (1978). Age and origin of the Messejana dolerite fault dike system (Portugal and Spain) in the light of the opening of the North Atlantic Ocean. *Jour. Geol.* 86: 299-309.
- SMELLIE, J. A. T. & LAURIKKOS, J. (1984). Skuppesavon, Northern Sweden: a uranium mineralisation associated with alkali metasomatism. *Mineral. Deposita*, 19: 183-192.
- UBANELL, A. (1982). Estudio de la fracturación en un segmento del Sistema Central Español. Tesis doctoral. *Ed. Universidad Complutense*: 216 pp.