

Miarolas del plutón de La Cabrera (Madrid). Clasificación y geocronología de los rellenos hidrotermales

R.P. Lozano¹, C. Casquet², C. Galindo² y R. González Laguna³

¹ Museo Geominero (IGME), Ríos Rosas 23, 28003 Madrid. r.lozano@igme.es

² Dpto. Petrología y Geoquímica, Universidad Complutense de Madrid, Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid. casquet@geo.ucm.es, cgalindo@geo.ucm.es

³ C.A.I. de Geocronología y Geoquímica Isotópica, Universidad Complutense de Madrid, Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid. ruthgon@geo.ucm.es

ABSTRACT

A large part of the hydrothermal processes that took place in the Sierra of Guadarrama in the last 300 Ma, are recorded in the infillings of miarolitic cavities that are common in the La Cabrera granitic pluton. Ca-rich minerals such as epidote, prehnite, laumontite, and hexagonal calcite, and to a smaller extent K minerals (muscovite, microcline and apophyllite) are abundant in these cavities and resulted from protracted hydrothermal activity. The miarolitic cavities have been classified in four types: a) cavities with calcic minerals (epidote, prehnite, laumontite and hexagonal calcite), b) cavities with K minerals (muscovite and microcline), c) mixed cavities and d) cavities with quartz, chlorite (Mg) and pyrite. Model ages ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) of epidote, microcline and apophyllite are 278 ± 18 , 143 ± 0.5 and 8.47 Ma, respectively. K/Ar ages of four microclines are 141 ± 4 , 142 ± 4 , 119 ± 3 and 102 ± 9 Ma, and one apophyllite has given 10 ± 2.0 Ma. Epidote model ages are coincident with the age of episyenites and that of some barren quartz veins. Microcline ages match those of some F-Pb-Ba lodes and of younger barren quartz veins. Apophyllite formation is correlated with the recent uplift of the Sierra of Guadarrama.

Key words: miarolitic cavities, Sierra of Guadarrama, geochronology, hydrothermal minerals, granite.

INTRODUCCIÓN

El plutón de La Cabrera (Sierra del Guadarrama, figura 1) está formado por granitos biotíticos y leucogranitos. El granito biotítico tiene 302 ± 3 Ma (edad $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ en circones; Casquet *et al.*, 2003) y contiene abundantes cuerpos pegmatíticos con cavidades miarolíticas rellenas, a su vez, por minerales hidrotermales cálcicos y, en menor medida, potásicos. Estos rellenos constituyen una rareza a nivel mundial (Lozano, 2003). Los minerales hidrotermales se estructuran con una disposición concéntrica. Estos tienen composiciones isotópicas $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ diferentes, lo que sugiere que se depositaron en momentos distintos (Lozano *et al.*, 1998). Las muestras utilizadas para las dataciones de este trabajo se encuentran depositadas en el Museo Geominero (IGME, Madrid).

CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES Y CLASIFICACIÓN DE LAS MIAROLAS

Las pegmatitas se asocian a estructuras de flujo magmático de tipo *schlieren* (Fig. 2). El contacto pegmatita - granito puede ser gradual o neto, y suele ir acompañado de ribetes aplíticos y concentraciones de biotita. Hacia el interior de las pegmatitas, son corrientes las texturas gráficas. Las miarolas oscilan desde unos pocos centímetros hasta varios metros y su forma suele ser irregular.

El esquema general de una pegmatita con cavidad miarolítica, desde el propio granito huésped, hasta la parte más interna de la cavidad, consiste en (Fig. 2): a) Halo de enrojecimiento del granito, alrededor de la pegmatita. b) Zona pegmatítica (cuarzo, biotita, feldespatos, moscovita, \pm granate \pm turmalina y minerales accesorios) y c) Relleno de la cavidad miarolítica por minerales hidrotermales.

En función del relleno hidrotermal, se han clasificado las miarolas de La Cabrera en cuatro tipos (Lozano, 2003):

Cavidades con minerales cálcicos (Fig. 2a)

Son las más abundantes y peculiares. La secuencia hacia el núcleo es: epidota \rightarrow prehnita \rightarrow laumontita \rightarrow calcita hexagonal. La epidota crece sobre los minerales de la etapa pegmatítica, aislada o bien acompañada por cuarzo, clorita, allanita y albita. La prehnita nuclea preferentemente sobre la epidota o sobre los propios minerales pegmatíticos. La laumontita recubre a los anteriores. Finalmente la calcita hexagonal ocupa el núcleo de las cavidades, rellenándolas total o parcialmente.

Cavidades con minerales potásicos

Son menos frecuentes y en ningún caso el relleno hidrotermal parece haber sido completo. Lo constituyen mosco-

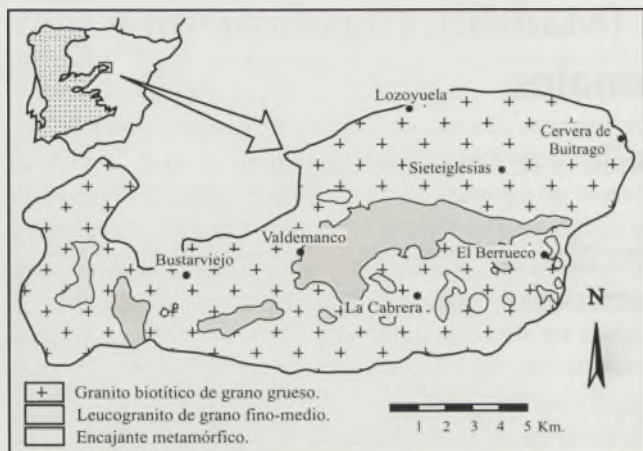


FIGURA 1. Esquema geológico del plutón de La Cabrera.

vita y microclina, en ese orden y albita, siempre posterior a la moscovita.

Cavidades mixtas (Fig. 2b)

Contienen los dos tipos de rellenos anteriores, predominando en unos casos los cálcicos y en otros los potásicos. La microclina es posterior a la epidota, y la prehnita puede recubrir a la microclina o ser recubierta por ella. También se encuentra apofilita recubriendo a prehnita o laumontita, y recubierta por calcita hexagonal.

En estos tres tipos de cavidades, el cuarzo crece de manera recurrente, acompañando a la mayoría de los minerales cálcicos y potásicos.

Cavidades con cuarzo, clorita (Mg) y piritita

Son las menos frecuentes y nunca muestran relleno completo. La clorita (Mg) recubre a los minerales pegmatíticos y contiene cristales cúbicos de piritita completamente oxidados.

Son frecuentes las brechas de fragmentos de las capas de minerales hidrotermales y de la propia pegmatita, en el interior de las miarolas (Fig. 2a). La brechificación es debida al colapso parcial de la cavidad, probablemente por procesos implosivos. Los fragmentos desprendidos están cementados por calcita hexagonal y, esporádicamente, por apofilita, clorita o moscovita (Lozano, 2003).

GEOCRONOLOGÍA DE LOS RELLENOS

Debido al diacronismo de los minerales hidrotermales y a las restricciones que impone su propia composición química, la datación de los rellenos se ha basado en dos métodos (medidas efectuadas en el CAI de Geoquímica Isotópica y Geocronología de la UCM; métodos en Lozano, 2003):

a) K-Ar (edades aparentes) en microclina y apofilita. Se han datado cuatro rellenos de microclina, dos procedentes de El Berrueco y dos de La Cabrera (Tabla 1). En cada loca-

lidad se han obtenido dos edades diferentes: en El Berrueco, 102 ± 9 y 141 ± 4 Ma, y en La Cabrera, 119 ± 3 y 142 ± 4 Ma. Una apofilita de La Cabrera (muestra 112-Ca) ha dado $10 \pm 2,0$ Ma.

b) Intersección de las rectas de evolución radiogénica (variación con el tiempo, de la composición isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ del mineral hidrotermal y del granito fresco próximo a la cavidad (edad modelo Rb-Sr). Este último método se ve facilitado, en el caso de los minerales cálcicos, por la muy baja relación Rb/Sr de los mismos, lo que equivale a decir que la relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ se mantiene prácticamente constante. El método implica dos premisas: 1) que el Sr contenido en los minerales hidrotermales procede del granito, y 2) que la composición isotópica del mineral en el momento de su formación coincide con la del granito próximo. Las edades modelo Rb-Sr significativas solo se han obtenido en epidota, microclina y apofilita (Lozano, 2003) (Tabla 1). Se han utilizado cuatro muestras de epidota, dos de Lozoyuela, una de La Cabrera y otra de Sieteiglesias, así como dos muestras de granito de cada localidad. Considerando los valores extremos de la barras de error de cada

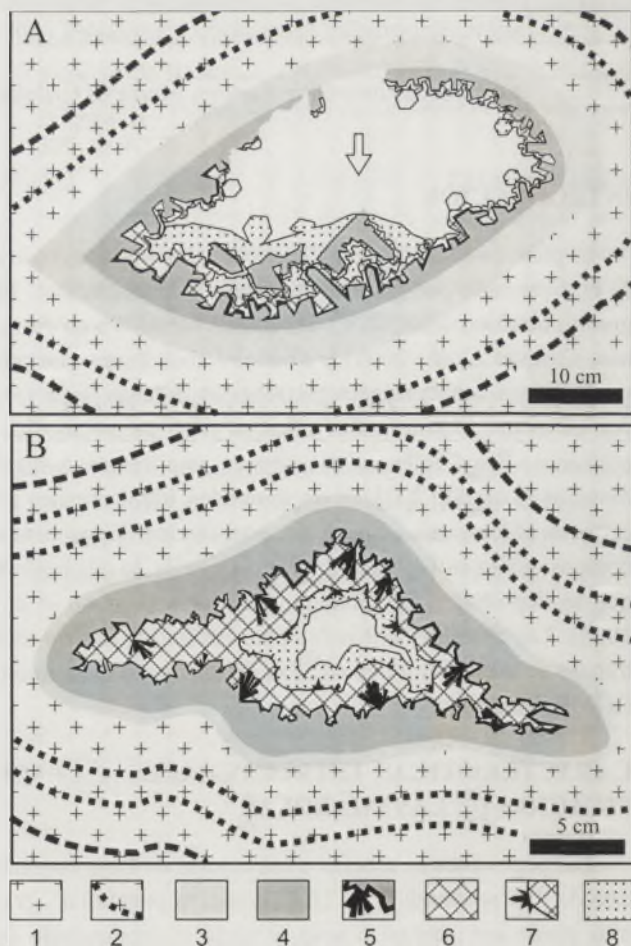


FIGURA 2. a) Esquema de un relleno cálcico con brecha en la base de la cavidad. b) Esquema de un relleno mixto. 1: Granito; 2: Schlierens; 3: Halo; 4: Pegmatita; 5: Epidota; 6: Prehnita; 7: Apofilita; 8: Calcita hexagonal.

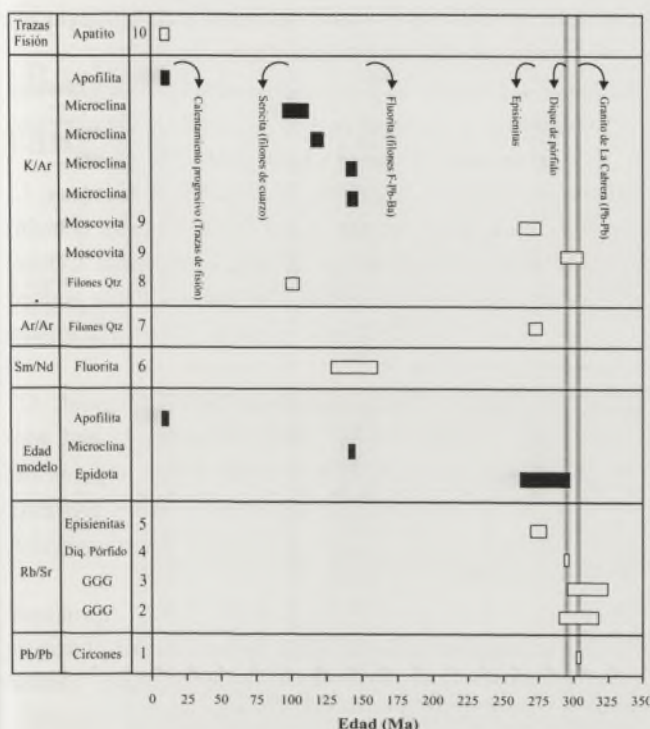


FIGURA 3. Edades obtenidas en este trabajo (barras rellenas), comparadas con otras de la Sierra de Guadarrama (barras sin relleno). Las franjas verticales corresponden a procesos ígneos (gris oscuro) y a los principales eventos hidrotermales (gris claro). 1 y 2μ: Casquet et al. (2003); 3μ: Vialette et al. (1981); 4: Galindo et al. (1994a); 5: Caballero (1993); 6: Galindo et al. (1994b); 7: Martín Crespo et al. (2002); 8: en Tornos et al. (2000); 9: Lozano et al. (1998); 10: Sell et al. (1995).

determinación, se obtiene una edad para la epidota de 278 ± 18 Ma. Una microclina del Berrueco ha dado $143 \pm 0,5$ Ma. Para la datación modelo de la apofilita, se han utilizado dos muestras de La Cabrera. Ya que ambas se han formado probablemente a partir de un mismo fluido, la edad del mineral será aquella a la que se igualan las composiciones isotópicas de las dos apofilitas. Esta edad es aproximadamente 8,5 Ma.

DISCUSIÓN Y COMPARACIÓN CON LOS EVENTOS HIDROTERMALES DATADOS EN LA SIERRA DE GUADARRAMA

Las edades de la epidota, microclina y apofilita, son coherentes con la posición textural relativa de cada mineral dentro de la secuencia de relleno de las miarolas mixtas.

La epidota se forma durante los primeros episodios hidrotermales posteriores al enfriamiento del plutón. La edad modelo (278 ± 18 Ma) coincide, dentro del margen de error, con la edad de los diques de pórfido (295 ± 3 Ma; Galindo et al., 1994a) y, sobre todo, con la de las episienitas (274 ± 6 Ma; Caballero, 1993) (Fig. 3). La diferencia con las episienitas radica en que en éstas hay disolución complementaria del cuarzo, mientras que en las miarolas de La Cabrera el cuarzo precipita junto con la epidota. Ello se explica por los límites restringidos del valor de la profundidad y de las temperaturas requeribles para la disolución retrógrada del cuarzo (Caballero, 1993). Fuera de las zonas de la corteza donde se combinan estas circunstancias, hay

TABLA 1. Resultados K-Ar y Rb-Sr de rellenos hidrotermales y granitos adyacentes.

Muestras	Coordenadas	K %	⁴⁰ Ar _{rag} ml/g	⁴⁰ Ar _{atm} %	Edad Ma
11-Be microclina	3°33'00" 40°53'30"	10,20	41,4691	86,13	102±9,0
41-Be microclina	3°32'55" 40°55'10"	12,10	69,0066	18,68	141±3,6
55-Ca microclina	3°35'10" 40°52'20"	11,90	56,8414	31,18	119±3,2
33-Ca microclina	3°35'00" 40°52'40"	12,00	68,9823	14,07	142±3,5
112-Ca apofilita	3°35'10" 40°52'20"	3,08	1,1881	22,63	10±2,0
Muestras	Coordenadas	Rb/Sr	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	Ed. modelo Ma
11-Be microclina	3°33'00" 40°53'30"	43,520	129,2000	0,985425	143±0,5
134-Ca apofilita	3°35'10" 40°52'20"	216,000	632,0543	0,824412	8,47
5-Lo epidota	3°36'45" 40°55'25"	0,006	0,0164	0,710183	286±10
10-Lo epidota	3°36'45" 40°55'25"	0,002	0,0047	0,710079	286±10
146-Ca epidota	3°35'10" 40°52'20"	0,001	0,0031	0,711912	265±5
98-Si epidota	3°34'50" 40°54'10"	0,001	0,0041	0,711208	279±0,5
1-Lo-G granito	3°36'45" 40°55'25"	1,101	3,1896	0,723540	
2-Lo-G granito	3°36'45" 40°55'25"	1,397	4,0478	0,725933	
15-Ca-Ggranito	3°35'10" 40°52'20"	1,697	4,9199	0,730801	
9-Ca-Ggranito	3°35'10" 40°52'20"	1,462	4,2389	0,727565	
5-Si-Ggranito	3°34'50" 40°54'10"	2,012	5,8361	0,734362	
14-Si-Ggranito	3°34'50" 40°54'10"	1,965	5,7001	0,733796	

que esperar precipitación de epidota y cuarzo. La formación de las episienitas tuvo lugar a una profundidad distinta a la del relleno de las miarolas. La escasez de episienitas en el plutón de La Cabrera refuerza esta interpretación. Durante este evento hidrotermal, también hay evidencia de re-equilibrio isotópico de moscovita pegmatítica en La Cabrera (270 ± 5 Ma; Lozano *et al.*, 1998) y de alteración sericitica asociada a algunos filones estériles de cuarzo (274 ± 5 Ma; Martín Crespo *et al.*, 2002). Este evento hidrotermal de edad Pérmico Inferior (evento II; Tornos *et al.*, 2000), corresponde a un episodio tectónico extensional correlacionable con el inicio del *rifting* alpino (González Casado *et al.*, 1996).

La edad modelo Rb-Sr de una de las microclinas (143 ± 0.5 Ma; 11-Be), es distinta a la edad K-Ar de la misma muestra (102 ± 9 Ma), pero coincide dentro de los límites de error, con la edad K-Ar de otras dos de las muestras analizadas: 141 ± 4 Ma (41-Be) y 142 ± 4 Ma (33-Ca). Esta edad, coincide también con la edad de los filones F-Pb-Ba del borde sur de la Sierra de Guadarrama (145 ± 18 Ma; Galindo *et al.*, 1994b) (Fig. 3). La edad *anómala* de 102 ± 9 Ma de la microclina 11-Be es probablemente el resultado de un *resetting* de la sistemática K/Ar del mineral, durante el evento hidrotermal de 100 ± 6 Ma, formador de filones estériles de cuarzo (evento IV de Tornos *et al.*, 2000).

Los rellenos de apofilita son sorprendentemente mucho más recientes (Fig. 3): la edad modelo Rb-Sr (8,47 Ma) y la edad aparente K-Ar ($10 \pm 2,0$ Ma) corresponden al Mioceno. Estos valores son prácticamente coincidentes con la edad de aproximadamente 10 Ma, obtenida por Trazas de Fisión en apatito, que corresponde a la fase tectónica Guadarrama, durante la cual, el bloque morfotectónico Pedriza-La Cabrera, experimenta un levantamiento importante (Sell *et al.*, 1995).

REFERENCIAS

- Caballero, J.M. (1993): *Las episienitas de la Sierra de Guadarrama: un caso singular de alteración hidrotermal de edad posthercínica*. Tesis Doctoral. Univ. Complutense de Madrid, 313 p.
- Casquet, C., Montero, P., Galindo, C., Bea, F. y Lozano, R.P. (2003): Geocronología $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ en cristal único de circón y Rb-Sr del plutón de La Cabrera (Sierra del Guadarrama). *Geogaceta*, 35: 71-74
- Galindo, C., Huertas, M.J. y Casquet, C. (1994a): Cronología Rb-Sr y K-Ar de diques de la Sierra de Guadarrama (Sistema Central Español). *Geogaceta*, 16: 23-26.
- Galindo, C., Tornos, F., Darbyshire D.P.F. y Casquet, C. (1994b): The age origin of the barite-fluorite (Pb-Zn) veins of the Sierra del Guadarrama (Spanish Central System, Spain): a radiogenic (Nd,Sr) and stable isotope study. *Chemical Geology. (Isotopic Geoscience Section)*, 112: 351-364.
- González Casado, J.M., Caballero, J.M., Casquet, C., Galindo, C. y Tornos, F. (1996): Palaeostress and geotectonic interpretation of the Alpine Cycle onset in the Sierra de Guadarrama (eastern Iberian Central System), based on evidence from episyenites. *Tectonophysics*, 262: 213-229.
- Lozano, R.P., Galindo, C. y Casquet, C. (1998): Aproximación a la geocronología de las pegmatitas del plutón de la Cabrera (Sierra de Guadarrama, Sistema Central Español). *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 21(A): 134-136.
- Lozano, R.P. (2003): *Petrología de los rellenos cálcicos hidrotermales de las cavidades miarolíticas del plutón de La Cabrera*. Tesis Doctoral. Univ. Complutense de Madrid, 373 p.
- Martín Crespo, T., Delgado A., Vindel, E., Lopez, J.A. y Fabre, C. (2002): The latest Post-Variscan fluids in the Spanish Central System: evidence from fluid inclusion and stable isotope data. *Marine and Petroleum Geology*, 19: 323-337.
- Sell, I., Poupeau, G., Casquet, C., Galindo, C. y Gonzalez-Casado, J.M. (1995): Exhumación alpina del bloque morfotectónico Pedriza-La Cabrera (Sierra del Guadarrama, Sistema Central Español): potencialidad de la termocronometría por trazas de fisión en apatitos. *Geogaceta*, 18: 23-26.
- Tornos, F., Delgado, A., Casquet, C. y Galindo, C. (2000): 300 million years of episodic hydrothermal activity: stable isotope evidence from hydrothermal rocks of the Eastern Iberian Central System. *Mineralium Deposita*, 35: 551-569.