

# Geocronología $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ en cristal único de circón y Rb-Sr del plutón de la Cabrera (Sierra del Guadarrama).

*Single zircon  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  and Rb-Sr Geochronology of La Cabrera Pluton (Sierra del Guadarrama, Spain)*

C. Casquet <sup>(1)</sup>, P. Montero <sup>(2)</sup>, C. Galindo <sup>(1)</sup>, F. Bea <sup>(2)</sup> y R. Lozano <sup>(3)</sup>.

<sup>(1)</sup> Dpto. de Petrología y Geoquímica, Fac. de CC. Geológicas, Universidad Complutense, 28040 Madrid.

<sup>(2)</sup> Dpto. de Mineralogía y Petrología, Campus Fuentenueva, Universidad de Granada, 18002 Granada.

<sup>(3)</sup> Instituto Geológico y Minero de España, 28003 Madrid.

## ABSTRACT

A Pb-Pb crystallization age of  $302 \pm 3$  Ma was found for the La Cabrera granite by the single zircon Pb-evaporation technique. Moreover the whole rock Rb-Sr isotope systematics provided an isochron of  $303 \pm 24$  Ma (I.R. = 0.709275; MSWD = 23.4). This age is Upper Carboniferous and is close to the end of a stage of regional N-S extension subsequent to the climax of Variscan regional metamorphism. The high MSWD of the Rb-Sr systematics might be attributed to either an ubiquitous weak pervasive hydrothermal alteration or to the absence of initial isotopic equilibrium throughout the pluton. The second possibility is favored from Nd isotope composition considerations.

**Key words:** Granite, Pb-Pb Kober dating, Rb-Sr dating, Spanish Central System

Geogaceta, 35 (2004), 71-74  
ISSN:0213683X

## Introducción y objetivos

El plutón de La Cabrera, en la Sierra de Guadarrama, es el más oriental del Sistema Central Español (Fig.1). Se trata de un macizo granítico compuesto por dos intrusiones principales, una formada predominantemente por granitos biotíticos de grano medio a grueso y otra de leucogranitos de grano fino a medio también biotíticos, aunque estos últimos pueden llegar a presentar cantidades pequeñas de moscovita, cordierita y granate. Estos granitos son débilmente peraluminados. Una descripción detallada de la petrografía y geoquímica de este plutón se encuentra en Bellido et al. (1991) y Villaseca et al. (1993). Este plutón encaja discordantemente en gneises migmatíticos (orto y paragneises), en su parte centro y occidental, y concordantemente en metasedimentos de grado medio (zonas de estaurilita y de sillimanita), en la oriental. Las condiciones de emplazamiento corresponden a las de un nivel epizonal ( $P_1 \approx 1.7$  kbar; Bellido, 1980). El plutón de La Cabrera es una intrusión relativamente tardía, dentro del voluminoso magmatismo granítico del Sistema Central posterior al clímax metamórfico Variscico. Su emplazamiento se ha rela-

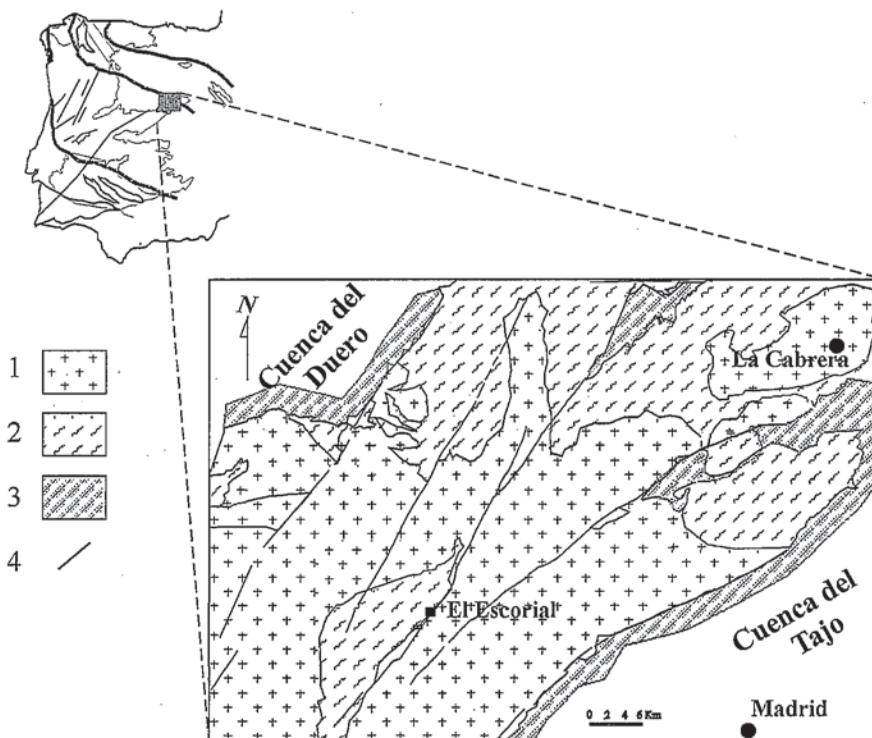


Fig. 1.- Esquema geológico de la parte oriental del Sistema Central y localización del plutón de La Cabrera: 1) Granitoides variscos, 2) Rocas metamórficas, 3) Rocas sedimentarias (cobertura mesozoica y cenozoica), y 4) Fallas.

Fig. 1.- Geological sketchy map of the eastern Central System and location of La Cabrera pluton: 1) Variscan granites, 2) Metamorphic rocks, 3) Mesozoic to Cenozoic sedimentary cover, and 4) Faults.

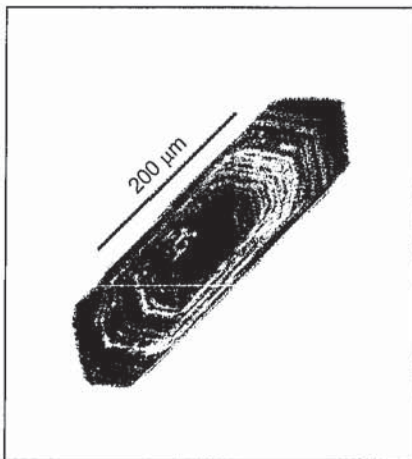


Fig. 2.- Zircon magmático idiomorfo del granito biotítico de La Cabrera. Es patente el zonado oscilatorio.

Fig. 2.- *Idiomorphic magmatic zircon from La Cabrera biotite granite. Oscillatory zoning is patent.*

cionado con estructuras extensionales de dirección aproximadamente E-O (Casquet et al., 1988).

Un rasgo interesante del plutón de La Cabrera, por sus posibles implicaciones en la datación, es la presencia de abundantes efectos de episodios de alteración hidrotermal superpuestos, desligados del magmatismo (González Laguna et al., 2000). Consisten en una alteración regional débil, que afecta a todas las rocas, y en tipos de alteración hidrotermal más localizados, en torno de fracturas, o como rellenos hidrotermales post-magmáticos de las cavidades miarolíticas (González del Tánago et al., 1986; González Laguna et al., 2000). La alteración regional débil preserva la mineralogía accesoria ígnea (citrón, torita, apatito, ilmenita, monacita y xenotima) y produce cloritización parcial de la biotita, una ligera sericitización-epidotización del núcleo más básico de la plagioclasa, pertitización del feldespato potásico y silicificación débil, más intensa en los leucogranitos.

Todas las dataciones publicadas de granitos de la Sierra del Guadarrama se han obtenido mediante el método Rb-Sr, bien mediante isocronas internas (Mendes et al., 1972) o, más a menudo, isocronas de rocas totales (p.ej., Ibarrola et al., 1987; Villaseca et al., 1995). Este es el caso del plutón de La Cabrera, en el que Vialette et al. (1981) llevaron a cabo una datación pionera de los dos tipos graníticos principales, obteniendo una edad de  $310 \pm 14$  Ma para el tipo biotítico de grano grueso y  $288 \pm 5$  Ma para el leucogranito. Sin embargo, casi todas estas dataciones presentan elevados valores

bien de la desviación ponderada (MSWD), del error en la edad, o de ambos, que invalidan su significado geocronológico. En otros casos los resultados son contradictorios con la evidencia geológica. Tal es el caso de La Cabrera, donde ambos granitos muestran contactos transicionales a pequeña escala que no parecen compatibles con la diferencia de edad que sugieren los resultados radiométricos. En este sentido, Villaseca et al. (1993) partiendo de los datos de Vialette et al. (1981), y un dato nuevo de calcita procedente de una cavidad miarolítica, obtuvieron una edad de  $279 \pm 1$  Ma, con una MSWD = 2.45, conjunta para las dos intrusiones

El objetivo de este trabajo es el de precisar la edad de cristalización del plutón de La Cabrera mediante el método la evaporación secuencial de Pb en monocristales de citrón (método de Kober), y compararla con la edad Rb-Sr obtenida a partir de un nuevo conjunto de muestras seleccionadas, y obtener a partir de ello información sobre el significado de esta última.

**Muestreo, métodos analíticos y resultados**

Para la datación Pb-Pb se seleccionó una muestra de granito biotítico con alteración regional débil (32-Ca-G, coord.:  $3^{\circ}35'10''$ -  $40^{\circ}52'20''$ ). Para la datación Rb-Sr se realizó un muestreo, controlado petrográficamente, de ocho granitos biotíticos de grano grueso y dos

leucogranitos. En todos los casos la única alteración reconocible es la regional débil.

Las determinaciones de la edad por  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  se realizaron por evaporación secuencial de Pb en cristal único de citrón (método de Kober) en el Centro de Instrumentación Científica de la Universidad de Granada, con un espectrómetro de masas Finnigan MAT 262 equipado con multicolelector, SEM y RPQ. El Pb se analiza en *steps* de evaporación, cada uno de los cuales es la media de 35 determinaciones realizadas en 5 bloques con 7 *scans* por bloque. La adquisición de datos se hizo en modo dinámico siendo la secuencia de masas 206-204-206-207 y usando como detector un SEM. Los factores para la corrección del Pb común se calcularon por iteración a partir de las relaciones  $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  y  $^{204}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  del modelo de Stacey & Kramers (1975). La fraccionación de masas se calculó multiplicando por  $\bar{A}(207/206)$ . Los errores standard para cada *step* de evaporación se calcularon según la fórmula  $SE = 2 \cdot \sigma / \bar{A}n$ . Los errores ( $2\sigma$ ) en la edad final se calcularon de acuerdo con la fórmula  $(X - t(0.025)\sigma/\bar{A}n, X + t(0.025)\sigma/\bar{A}n)$ , donde X y  $\sigma$  son la media y la desviación standard de los *steps* de evaporación medidos, n el número de *steps* y  $t(0.025)$  el punto (0.025) superior de la distribución de la t-de student para n-1 grados de libertad (ver Johnson and Bhattacharyya 1984).

Se analizaron por este método cinco circones idiomorfos (Fig. 2), de los cuales, cuatro han dado edades uniformes de

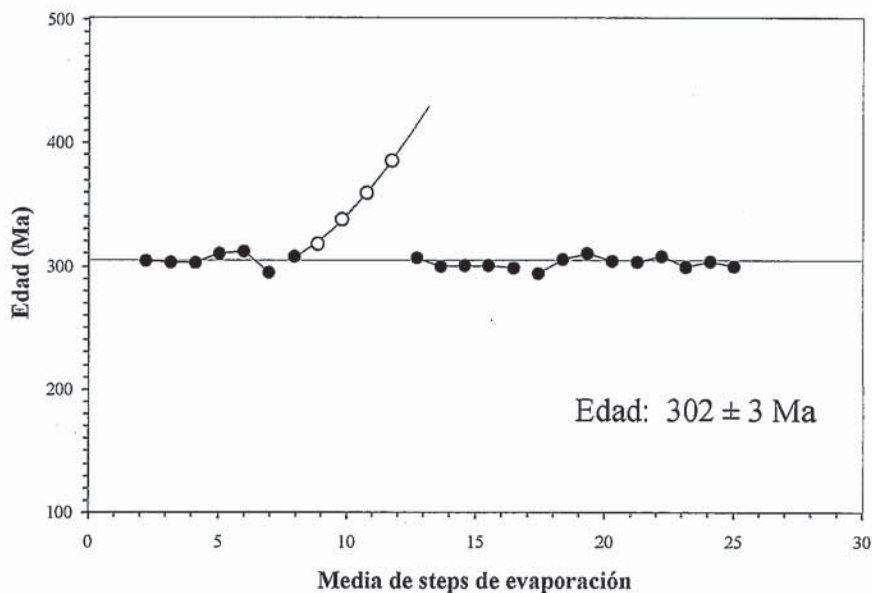


Fig. 3.- Edades  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  en cristal único de citrón del granito de la Cabrera. Los puntos blancos indican edades mezcla del borde con un núcleo restítico.

Fig. 3.- *Single-zircon  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  ages of the La Cabrera granite. White dots indicate mixing ages between the rim and an inherited core.*

borde a centro y otro ha dado una edad de borde coherente con el resto y edades progresivamente más altas debidas a mezcla con un núcleo restítico. En total se realizaron 25 *steps* de evaporación, de ellos 21 han dado una media de  $302 \pm 3$  Ma, que representa la edad de cristalización. Los otros *steps* representan edades mezcla y han sido excluidos del cálculo de edad, sin embargo se obtiene para el núcleo restítico una edad mínima de 390 Ma, (Tabla 1 y Fig. 3)

Las determinaciones Rb-Sr se llevaron a cabo en el Centro de Geocronología y Geoquímica Isotópica de la Universidad Complutense con un TIMS modelo Sector VG-54 multicolector. Los errores de los valores medidos o calculados se expresan a nivel  $2\sigma$ . Las concentraciones de Rb y de Sr se determinaron por fluorescencia de Rayos-X. La constante de desintegración empleada es  $\lambda^{87}\text{Rb} = 1.42 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$ , recomendada por la Subcomisión de Geocronología de la IUGS (Steiger and Jager 1977). Los errores analíticos empleados en los cálculos son 0.01 % en la relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  y 1.0 % en la relación  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ . El análisis repetido del estándar NBS-987 ha arrojado un valor de la relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  de  $0.710247 \pm 0.000024$  ( $n = 215$ ). Los resultados analíticos se recogen en la Tabla 2. El cálculo de la edad con ISOPLOT (Ludwig 2000), a partir de los ocho granitos biotíticos, arroja una edad "errocróna" de  $303 \pm 20$  Ma, con una MSWD de 23.4 y una relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  inicial de 0.709275 (Fig. 4). Si se incluyen los dos leucogranitos, se obtiene una edad algo más antigua:  $313 \pm 14$  Ma, con una MSWD de 26.3 y una relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  inicial de 0.708622

Muestra	Roca	Rb	Sr	Rb/Sr	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(303\text{Ma})}$
		ppm	ppm				
1-Lo-G	Granito biotítico	153	139	1.1007	3.1896	0.723540	0.709787
5-Si-G	idem	169	84	2.0119	5.8361	0.734362	0.709198
9-Ca-G	idem	155	106	1.4623	4.2389	0.727565	0.709288
14-Si-G	idem	169	86	1.9651	5.7001	0.733796	0.709218
15-Ca-G	idem	151	89	1.6966	4.9199	0.730801	0.709587
31-Va-G	idem	170	78	2.1795	6.3234	0.736229	0.708963
14.61-Na-G	idem	200	66	3.0303	8.8019	0.747932	0.709979
2-Lo-G	idem	162	116	1.3966	4.0478	0.725933	0.708479
22-59-Be-G	Leucogranito	196	31	6.3226	18.4463	0.793474	0.712094
3-Lo-G	Leucogranito	169	49	3.4490	10.0227	0.752657	0.708440

Tabla II.- Composición isotópica Rb-Sr de granitos de La Cabrera.

Table II.- Rb-Sr isotope composition of La Cabrera granites

Ref	Step	$^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}_{\text{c}}$	SD( $2\sigma$ )	Edad	error
32-Ca	(2)-1	0.0000184	0.0525386	0.0523984	0.33	303	11
32-Ca	(2)-2	0.0000185	0.0524993	0.0523565	0.13	301	4
32-Ca	(2)-3	0.0000197	0.0525364	0.0523768	0.24	302	7
32-Ca	(2)-4	0.0000261	0.0528255	0.0525736	0.17	310	6
32-Ca	(2)-5	0.0000185	0.0527756	0.0526341	0.38	313	10
32-Ca	(2)-6	0.0000144	0.0523216	0.0522391	0.12	296	4
32-Ca	(1)-1	0.0000398	0.0529834	0.0525368	0.23	309	8
32-Ca	(1)-2	0.0000214	0.0529175	0.0527335	0.37	317(*)	10
32-Ca	(1)-3	0.0000311	0.0534513	0.0531277	0.30	334(*)	9
32-Ca	(1)-4	0.0000149	0.0538246	0.0537383	0.39	360(*)	10
32-Ca	(1)-5	0.0000156	0.0546316	0.0545366	0.36	390(*)	9
32-Ca	(3)-1	0.0001527	0.0545587	0.0524648	0.48	306	18
32-Ca	(3)-2	0.0000641	0.0530910	0.0522849	0.6	298	18
32-Ca	(3)-3	0.0000142	0.0524119	0.0523318	0.3	300	7
32-Ca	(3)-4	0.0000206	0.0524969	0.0523229	0.19	300	6
32-Ca	(3)-5	0.0000173	0.0523530	0.0522275	0.17	295	5
32-Ca	(4)-1	0.0000257	0.0523370	0.0520894	0.32	289	8
32-Ca	(4)-2	0.0000191	0.0526178	0.0524663	0.26	306	7
32-Ca	(4)-3	0.0002617	0.0563124	0.0526367	0.86	313	34
32-Ca	(4)-4	0.0000262	0.0526445	0.0523899	0.30	303	7
32-Ca	(5)-1	0.0001854	0.0549256	0.0523567	0.23	301	8
32-Ca	(5)-2	0.0001848	0.0550681	0.0525080	0.48	307	11
32-Ca	(5)-3	0.0000810	0.0533283	0.0522764	0.15	298	6
32-Ca	(5)-4	0.0000813	0.0534579	0.0524024	0.21	303	7
32-Ca	(5)-5	0.0000866	0.0533907	0.0522582	0.16	297	5

Tabla I.- Resultados  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  en cinco circones del granito de La Cabrera.  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}_{\text{c}}$  es el valor de la relación  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  corregido de Pb común. Las edades con (\*) han sido excluidas del cálculo de la edad.

Table I.-  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  results of five zircons from La Cabrera granite.  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}_{\text{c}}$  means  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  corrected for common lead. Ages with (\*) were excluded from age calculations.

### Discusión

La edad de  $302 \pm 3$  Ma obtenida por el método de Kober representa la primera datación fidedigna de un plutón granítico en la sierra de Guadarrama. Este valor corresponde al Carbonífero Superior, próximo al límite Wesfaliense-Estefaniense en

la escala de la IUGS de 2002. El valor medio de la edad Rb-Sr coincide, en este caso, con la edad Pb-Pb, aunque el error de  $\pm 20$  Ma es demasiado grande, y el ajuste no satisface los requerimientos estadísticos de isocronía al ser la MSWD muy elevada. La razón de esta desviación podría imputarse a la alteración regional débil del macizo granítico, o a cierta heterogeneidad isotópica inicial de los magmas. La existencia de diferencias significativas en la composición isotópica del Nd de los granitos ( $\epsilon\text{Nd}_{302} = -5.7$  a  $-10.1$ ; datos inéditos) a la edad de cristalización, apunta hacia la segunda de las posibilidades, ya que la alteración regional débil no afecta a los minerales accesorios, donde se ubican la mayor parte de las Tierras Raras.

La edad de 390 Ma obtenida para el núcleo de uno de los circones sugiere que algunos cristales contienen una herencia del protolito del magma granítico. Los ortogneises graníticos de edad Ordovícico Inferior (Viale et al., 1987), que forman parte del encajante del plutón, son muy abundantes en la Sierra del Guadarrama y probablemente continúan siéndolo hasta cierta profundidad

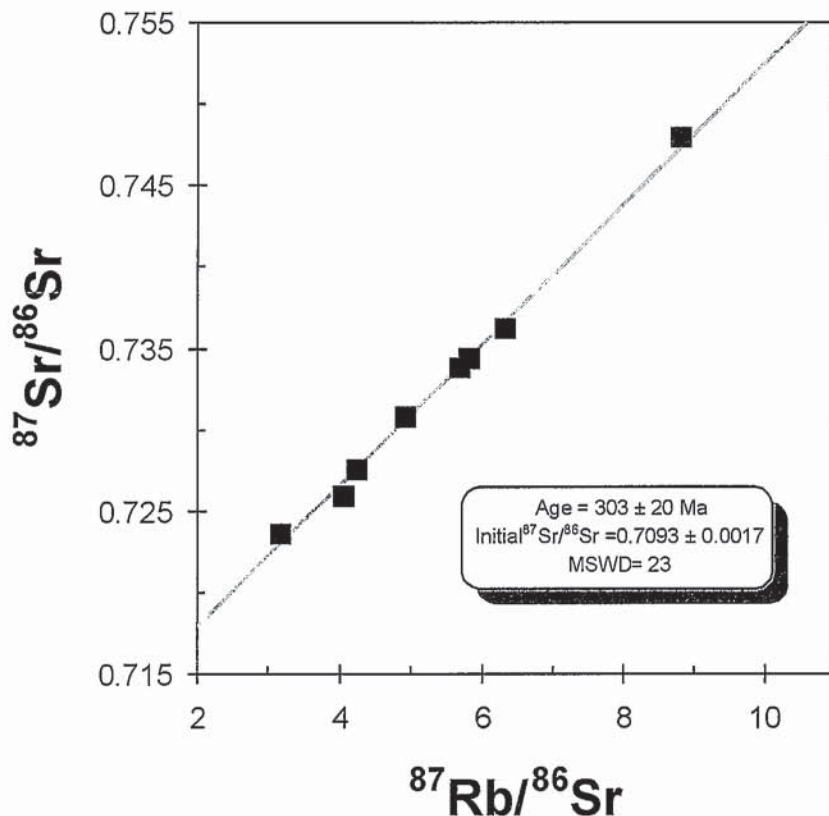


Fig. 4.- Diagrama  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  vs.  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  de rocas totales y edad de regresión calculada según Ludwig (2000).

Fig. 4.-  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  vs.  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  plot for whole rocks and regression age calculated after Ludwig (2000).

como componentes de la corteza superior. Estas rocas podrían ser una de las fuentes de los granitos de La Cabrera; de hecho, la relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  inicial ( $=0.709275$ ) del granito biotítico, sugiere la participación de una fuente cortical en su origen. Sin embargo la composición isotópica de los ortogneises a los 302 Ma ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{302} = 0.7233 - 1.3086$ ; 33 muestras; datos en Vialette et al., 1987), es muy superior a la de los granitos de la Cabrera (tanto a la del tipo biotítico como a la de los leucogranitos), por lo que no pueden ser considerados como la fuente única de los magmas graníticos. El mismo argumento es aplicable al caso de los metasedimentos regionales, que son aún más radiogénicos que los propios ortogneises ordovícicos. Ello sugiere que la fuente de los magmas podría radicar, en buena parte al menos, en la corteza inferior.

La edad del granito de La Cabrera es, además, compatible con la isocrona Rb-Sr de  $296 \pm 3$  Ma (Galindo et al., 1994), obtenida para un dique de pórfido de los que forman los enjambres tardíos, de dirección E-O, que recorren toda la sierra del Guadarrama. Estos diques se emplazaron en estructuras extensionales, en un contexto de deformación regional mediante grandes desgarres, y representan el final del ciclo Variscico (González-Casado et al., 1995).

#### Agradecimientos

Este trabajo es resultado del proyecto PB96-0575.

#### Referencias

Bellido, F. (1980): *Estudios Geol.*, 36, 85-92-  
Bellido, F., Casquet, C., Escuder, J.,

- Klein, E., Navidad, M., del Olmo, A. y Peinado, M. (1991): Mapa Geológico de España (E., 1:50.000). Hoja 484 (Buitrago del Lozoya). Memoria explicativa, 105 p.  
Casquet, C., Fuster, J.M., González-casado, J.M., Peinado, M. y Villaseca, C. (1988): European Science Foundation (Special Volume). *Proceedings of the 5<sup>th</sup> Workshop*, 65-68.  
Galindo, C., Huertas, M.J. y Casquet, C. (1994): *Geogaceta*, 16, 23-26.  
González-Casado, J.M., Caballero, J.M., Casquet, C., Galindo, C. y Tornos, F. (1996): *Tectonophysics*, 262, 213-229.  
González-Laguna, R., Lozano, R. y Casquet, C. (2000): *Bol. Soc. Esp. Min.*, 23, 135-151.  
González del Tánago, J., Bellido, F. y García-Cacho, L. (1986): *Bol. Inst. Geol. Min. España*, 97, 103-121.  
Ibarrola, E., Villaseca, C., Vialette, Y., Fuster, J.M., Navidad, M., Peinado, M. y Casquet, C. (1987): In *Geología de los granitoides y rocas asociadas del Macizo Hespérico*. Ed. Rueda, Madrid, 377-383.  
Johnson, R. y Bhattacharyya, G. (1984). *Statistics. Principles and methods*. Wiley, NY. 578 pp.  
Kober, B. (1986): *Contrib. Mineral. Petrol.*, 96, 63-71.  
Ludwig, K.R. (2000): Berkeley Geochronology Center. Special Publication, n° 1a, 53 pp  
Mendes, F., Fuster, J.M., Ibarrola, E. y Fernández-Santín, S. (1972): *Rev. Fac. Ci., Lisboa*, 17, 345-365.  
Stacey, J.S. y Kramers, J.D. (1975): *Earth Planet. Sci. Letters*, 26, 207-221  
Vialette, Y., Bellido, F., Fuster, J.M. e Ibarrola, E. (1981): *Cuad. Geol. Ibérica*, 7, 327-335.  
Vialette, Y., Casquet, C., Fuster, J.M., Ibarrola, E., Navidad, M., Peinado, M. y Villaseca, C. (1987): *N. Jb. Mineral. M.*, 10, 465-479.  
Villaseca, C., Barbero, L., Huertas, M.J., Andonaegui, P. y Bellido, F. (1993): A Cross-section Through Hercynian Granites of Central Iberian Zone. Excursion Guide. Servicio de publicaciones del C.S.I.C., Madrid, 122 p.  
Villaseca, C., Eugercios, L., Snelling, N., Huertas, M.J. y Castellón, T. (1995): *Rev. Soc. Geol. España*, 8, 137-148.