

# Caracterización petrológica y geoquímica de los granitos metaluminosos tardíos del dominio continental de la banda metamórfica de Aracena (Macizo Ibérico meridional)

*Petrological and geochemical characterization of the late metaluminous granites from the continental domain of the Aracena metamorphic belt (southern Iberian Massif)*

M. Díaz Azpiroz<sup>(\*)</sup>, A. Castro<sup>(\*\*)</sup> y C. Fernández<sup>(\*)</sup>

(\*) Departamento de Geodinámica y Paleontología (U. Huelva). Campus La Rábida, Palos de la Frontera, 21819 Huelva

(\*\*) Departamento de Geología (U. Huelva). Campus La Rábida, Palos de la Frontera, 21819 Huelva

## ABSTRACT

Several late leucogranite small plutons appear in the high grade zone of the continental domain (CD), in the Aracena metamorphic belt (AMB). These leucogranites cross-cut the structures due to the main tectono-metamorphic events. The main ferromagnesian minerals in these granites are clinopyroxene and amphibole, the geochemical patterns are characteristics of metaluminous granites. Multielement and tectono-magmatic discrimination diagrams suggest that these metaluminous granites were intruded in the last stages or after a continental collision event.

**Key words:** Iberian Massif, metaluminous granite, multielement diagram, tectono-magmatic discrimination diagram.

*Geogaceta*, 30 (2001), 43-46  
ISSN:0213683X

## Introducción

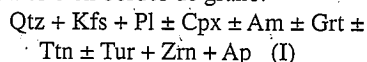
En el límite que separa las zonas de Ossa-Morena (ZOM) y Surportuguesa (ZSP), en el extremo suroccidental del Macizo Ibérico, se encuentra la banda metamórfica de Aracena (BMA), en la que se han definido dos dominios tectónicamente independientes (Castro *et al.*, 1999): uno meridional con características oceánicas, y otro constituido por rocas mayoritariamente continentales al norte. Este último, que ha sido denominado dominio continental (DC), presenta dos zonas diferenciadas en función de su grado metamórfico. Así, se encuentra una zona meridional de alto grado, y una de grado bajo a medio al norte.

En la zona de alto grado del DC afloran una serie de pequeños plutones de granitos leucocráticos (la proporción modal de minerales ferromagnesianos es bastante baja, cuyas extensiones no superan los 25000 m<sup>2</sup>. Estos plutones graníticos cortan claramente a las estructuras principales del encajante, el cual está constituido por las rocas metamorizadas y deformadas del DC (Fig. 1a). Este hecho implica que los mencionados granitos presentan una relación post-cinemática

respecto a los eventos tectono-metamórficos principales que afectaron a esta zona de la BMA (e.g., Díaz Azpiroz, 2001). En este trabajo se presentan las principales características petrológicas y geoquímicas de estos granitos tardíos.

## Petrografía

Los granitos tardíos del DC de la BMA suelen presentar un tamaño de grano grueso, pudiendo aparecer incluso con textura pegmatítica. Por lo general, son bastante leucocráticos, predominando la porción cuarzofeldespática. De entre los feldespatos presentes son más abundantes el feldespato potásico y la oligoclasa. De hecho, se han encontrado leucogranitos formados exclusivamente por cuarzo y feldespatos alcalinos. Por lo que respecta a sus minerales característicos, los más abundantes son el clinopyroxeno, el anfíbol, el granate y la titanita. De forma muy ocasional, estas rocas pueden tener biotita verde, la cual aparece en cristales individuales o en bordes de grano.



El feldespato potásico aparece en grandes cristales an-/subhedrales perfiti-

cos con exsoluciones de albita. Puede encontrarse también intercrecido con cuarzo, definiendo una textura simplectítica, o bien en grandes megacristales poikiliticos con inclusiones de cuarzo. Cuando la plagioclasa aparece en cristales individuales presenta una composición correspondiente a una oligoclasa sódica (An<sub>11-22</sub>), y suele aparecer con maclas de albita, Carlsbad, albita + Carlsbad y albita + periclina (Fig. 1b). Es común encontrar cristales euhedrales zonados, con un núcleo alterado (probablemente más cálcico) bien marcado. Los megacristales sub-/euhedrales de feldespato suelen aparecer en equilibrio con un líquido, como se deduce de la presencia de cuarzo rellenando los huecos (Fig. 1b). La extinción ondulante que presenta el cuarzo indica la poca deformación a la que ha sido sometida la roca. El clinopyroxeno aparece en cristales con pleocroísmo débil, de un color verde azulado oscuro que evidencia un cierto enriquecimiento en sodio, y que presentan un hábito subhedral, prismático corto (Fig. 1c). Es habitual que el clinopyroxeno presente inclusiones de titanita con un hábito rómbico alargado y, en ocasiones, puede encontrarse parcialmente pseudo-morfizado por un anfíbol verde.

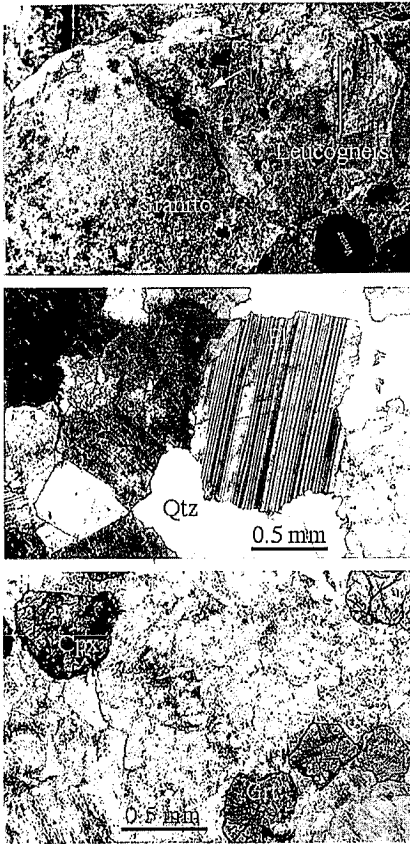


Fig. 1.- a) Granito intruido en leucogneiss. La flecha señala el contacto, el cual es discordante respecto a la foliación del leucogneiss (S). b) Textura ígnea definida por un megacristal subhedral de plagioclase rodeado por cuarzo indeformado. c) Granito metaluminoso con clinopiroxeno y granate.

Fig. 1.- a) Granite intruded in leucogneiss. The arrow points to the contact, which is discordant to the leucogneiss foliation (S). b) Igneous texture defined by a subhedral plagioclase megacryst surrounded by undeformed quartz. c) Metaluminous granite with clinopyroxene and garnet.

El anfíbol primario suele aparecer en cristales subhedrales de hornblenda con pleocroísmo moderado en colores marrones y cremas, y puede estar parcialmenteseudomorfizado por un anfíbol actinolítico de color verde. No es muy habitual encontrar granate en los granitos del dominio de alto grado. Sin embargo, en aquellos en los que aparece tiene una proporción modal de cierta importancia. Se presenta en cristales subhedrales con un color amarillo verdoso (Fig. 1c), típico de andraditas. Además de incluida en los clinopiroxenos, es habitual encontrar titanita en la matriz. En ambos casos, suele presentar un hábito rómbico euhedral perfecto.

**Geoquímica**

Se han llevado a cabo análisis de roca total en cinco muestras de granitos tardíos

del DC de la BMA. La localización de las muestras y la metodología seguida para la preparación y realización de los análisis se encuentran en Díaz Azpiroz (2001). Los análisis completos se muestran en la tabla 1.

Los granitos tardíos del DC muestran un contenido en sílice que varía entre 67.4 y 76.9 %. Para estudiar el carácter geoquímico de estas rocas se han utilizado los índices de alcalinidad (A/NK) y aluminosidad (A/CNK) de Shand (1927). Ambos índices presentan valores relativamente constantes, de manera que A/NK se sitúa entre 1 y 2, y A/CNK entre 0.75 y 1.00. Esta observación indica que estos granitos son metaluminosos y no peralcalinos, lo cual es coherente con la ausencia de micas en estas rocas. El carácter metaluminoso de los granitos estudiados se confirma mediante el diagrama de «minerales característicos» A/B (La Roche, 1964; Debon y Le Fort, 1983) que se muestra en la figura 2, donde, por otra parte, se comprueba que la mayoría de estos granitos se proyectan en el campo de los leucogranitoides, de acuerdo con la baja proporción modal de minerales ferromagnesianos. El hecho de que las muestras estudiadas se representen en el campo V del diagrama A/B es coherente con la paragénesis observada en los granitos tardíos del DC, en la que los minerales característicos son anfíbol, clinopiroxeno, granate y titanita.

Los datos de elementos traza de los granitos tardíos del DC han sido representados en un diagrama multielemental normalizado a granitos asociados a dorsales oceánicas (ORG: Oceanic Ridge Granite). Esta normalización la propusieron Pearce *et al.* (1984) para indentificar el contexto tectónico en el que se generan las rocas graníticas. Por su parte, los datos obtenidos a partir de los análisis de REE han sido normalizados a condrito, de acuerdo con los valores propuestos por Nakamura (1974). Los resultados se muestran en la figura 3. En ambos diagramas, las pautas de variación que definen las muestras son similares entre ellas.

En el diagrama normalizado a ORG (Fig. 3a), los granitos tardíos del DC muestran un claro enriquecimiento en LILE más Th, con enriquecimientos relativos característicos en Rb y Th (entre 10 x ORG y 300 x ORG) y un empobrecimiento relativo (entre 3 x ORG y 7 x ORG) en Ba (excepto la muestra MA49814). Entre el Th y el Ta se produce un descenso brusco y a partir de ese punto, el patrón desciende paulatinamente hasta el Y, con valores iguales o ligeramente inferiores a los de normalización.

Referencia	MA89516	MA29626	MA29627	MA29628	MA49814
SiO <sub>2</sub>	67.36	76.90	69.70	76.00	73.98
TiO <sub>2</sub>	0.73	0.15	0.09	0.02	0.21
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.72	12.30	14.30	12.70	13.70
FeO*	4.34	0.89	1.91	0.74	0.37
MgO	1.92	0.08	0.07	-	0.36
MnO	0.16	-	0.03	-	0.01
CaO	3.84	0.61	1.84	0.63	1.77
Na <sub>2</sub> O	2.27	4.44	4.81	4.25	4.30
K <sub>2</sub> O	4.59	4.21	5.74	4.66	3.91
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.11	-	-	-	0.07
TOTAL	99.17	99.78	98.91	99.33	99.10
Sr	77	106	127	77	202
Rb	104	128	247	246	62
Ba	236	328	386	163	2697
Cr	84	120	95	98	32
Co	14	-	-	-	18
Ni	16	3	2	2	2.7
Zn	15	-	23.5	-	12
V	92	8	32	3	11
Sc	11	2	4	-	3.3
Y	25	27	108	30	19
Hf	4.4	0.3	1.9	13	4.7
Zr	119	-	51	270	128
Nb	13	17	10	11	6.3
Ta	2.2	1.1	n.a.	n.a.	0.53
Th	7.6	230	36	50	9.4
La	36	14	15.3	5.1	11
Ce	73	34.7	20.4	8	22
Pr	8.3	4.3	4.4	1.4	3.5
Nd	30	15.7	20.1	6.5	12
Sm	6	3.7	6.5	2.1	2.8
Eu	1.08	0.29	0.7	0.21	0.71
Gd	5.6	2.9	5.9	1.7	3
Tb	0.92	0.6	1.7	0.4	0.58
Dy	4.8	4.3	14.2	3.1	3.4
Ho	0.94	1.07	4.49	0.94	0.74
Er	2.8	2.3	11.5	2.3	2.3
Tm	0.42	0.5	2.8	0.6	0.4
Yb	2.4	2.5	16.8	3.8	2.3
Lu	0.37	0.34	2.29	0.53	0.37

Tabla 1.- Análisis de roca total de los granitos tardíos del DC de la BMA. Las cantidades de los óxidos de elementos mayores se expresan en tantos por ciento en peso. Las de los elementos traza y REE en partes por millón. FeO\* es el hierro total, expresado como hierro ferroso, calculado multiplicando por 0.899 el contenido en hierro total expresado como hierro férrico que es el obtenido en los análisis.

Table 1.- Whole rock chemical analyses of the late granites from the CD of the AMB. Proportions of major element oxides are expressed in weight per cent. Trace element and REE are in parts per million. FeO\* corresponds to the total iron, expressed as ferrous iron, which has been calculated by multiplying 0.899 by the total iron content expressed as ferric iron (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\*) that is obtained in the analysis.

Entre el Y y el Yb se observa un descenso brusco de un orden de magnitud aproximadamente (desde 0.3 - 2 x ORG hasta 0.03 - 0.2 x ORG). La muestra MA89516 y, en menor medida, la MA29627, muestran dos pequeños enriquecimientos relativos en Ce y Sm respecto al resto de HFSE. El patrón descrito se asemeja a los obtenidos para granitos asociados a un contexto de colisión continental. En éstos se incluyen tanto los que son sincolisionales como los de Yunnan, al SO de China y Gabug (Tibet), en el cinturón del Himalaya (Pearce, *et al.*, 1984), o los Variscos del SO de Inglaterra (Alderton *et al.*, 1980), como aquellos que son tardi-/post-colisionales, como los de Querigut, en el orógeno Varisco pirenaico (Fourcade y Allegre, 1981) o los alpinos de Vedrette di Ries, al E de los Alpes

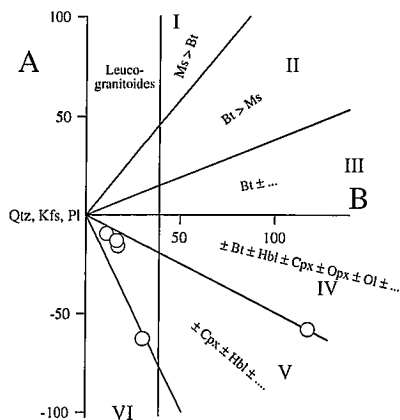


Fig. 2.- Diagrama de «minerales característicos» A/B (La Roche, 1964; Debon y Le Fort, 1983) en el que se representan los granitos tardíos del DC de la BMA.

Fig. 2.- «Characteristic mineral» A/B diagram (La Roche, 1964; Debon and Le Fort, 1983) with the representation of the late granites from the CD of the AMB.

(Bellieni *et al.*, 1981) y Novate, en Italia (Pearce *et al.*, 1984).

Respecto al diagrama de REE normalizado a condrito (Fig 3b), el enriquecimiento en REE de estos granitos es muy variable, desde 10 x condrito de MA29628 a 100 x condrito de las LREE de MA89516 y las HREE de MA29627. Todas las muestras presentan una anomalía negativa de Eu. Las anomalías de las muestras MA89516 y MA49814 son leves ( $Eu/Eu^* = 0.57$  y  $0.75$  respectivamente), debido a la alta proporción de feldespatos en estas rocas. Por su parte, los granitos del castillo de Cortegana (muestras MA29626, MA29627 y MA29628) tienen una anomalía de Eu mucho más acusada ( $Eu/Eu^* = 0.27 - 0.35$ ), la cual puede deberse a la ausencia de plagioclasa en el fundido y la alta proporción de fases portadoras de REE como Zrn o Ttn (e.g., Watt y Harley, 1993). También las pautas de variación de REE varían de unos granitos a otros. Las muestras MA89516, MA29626 y MA49814 tienen patrones similares, con un ligero enriquecimiento en LREE respecto a HREE ( $La_n/Yb_n = 3.2 - 10.0$ ). Los análisis de los diques del castillo de Cortegana muestran pautas distintas al resto. La de uno de ellos (MA29628) es relativamente plana salvo por la anomalía de Eu, con un ligero enriquecimiento en Yb y Lu, ( $La_n/Yb_n = 0.9$ ). El dique correspondiente a MA29627, por su parte, está claramente enriquecido en HREE respecto LREE ( $La_n/Yb_n = 0.6$ ). Todos los granitos analizados tienen anfibol y/o clinopiroxeno pero en reducidas proporciones, por lo

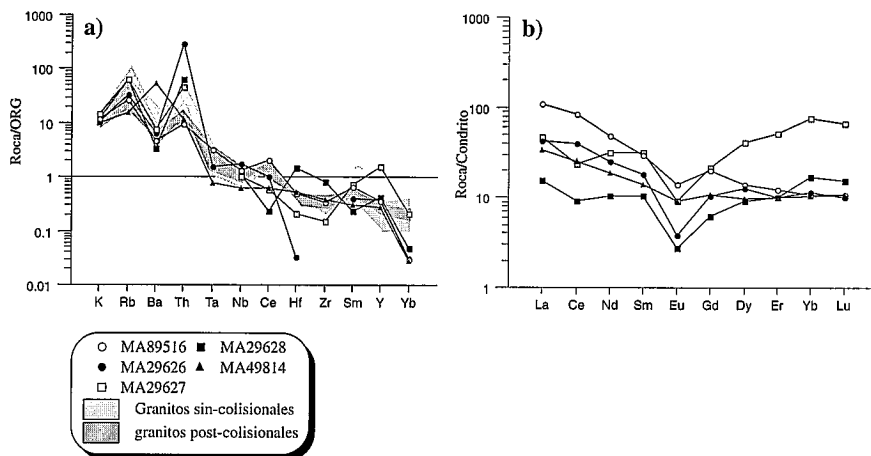


Fig. 3.- Diagramas multielementales de los granitos metaluminosos del DC. a) Diagrama multielemental normalizado a granitos de dorsal oceánica (ORG) según valores de Pearce *et al.* (1984). Como referencia se muestran campos de granitos formados en contextos de colisión continental. Los datos de granitos sin-colisionales son de: Yunnan, SO de China (Pearce, 1984); Gabug, Tibet, en el cinturón del Himalaya (Pearce *et al.*, 1984) y SO de Inglaterra, en el orógeno Varisco (Alderton *et al.*, 1980). Los datos de granitos tardi- y post-colisionales son de: Querigut, Pirineos, en el orógeno Varisco (Fourcade y Allegre, 1981) y dentro del Cinturón Alpino, Vedrette di Ries, E de los Alpes (Bellieni *et al.*, 1981) y Novate, Italia (Pearce *et al.*, 1984). b) Diagrama de REE normalizado a condrito según datos de Nakamura (1974).

Fig. 3.- Multielemental diagrams of metaluminous granites from the CD. a) Multielement diagram normalized to oceanic ridge granites (ORG) according to data from Pearce *et al.* (1984).

Fields of granites related to continental collision environments are showed. Syn-collisional granites data are from Yunnan, SO China (Pearce, 1984); Gabug, Tibet, in the Himalayan belt (Pearce *et al.*, 1984) and SO England, in the Variscan orogen (Alderton *et al.*, 1980). Late- and post-collisional granites data are from Querigut, Pirinees, in the Variscan orogen (Fourcade y Allegre, 1981) and inside the Alpine belt, Vedrette di Ries, E Alps (Bellieni *et al.*, 1981) and Novate, Italy (Pearce *et al.*, 1984).

que las pautas de variación de estos minerales, ligeramente enriquecidas en HREE, no se reflejan en el análisis de roca total, en el que predomina la porción cuarzofeldespática. Sin embargo, la presencia de granate, cuyo enriquecimiento en HREE es mucho más acusado, en MA29627 y, en menor proporción, en MA29628, produce el enriquecimiento en HREE observado en ambas muestras.

Los diagramas multielementales normalizados a ORG sugieren que los granitos metaluminosos del DC de la BMA están relacionados con un contexto de colisión continental. Representando las muestras en el diagrama R1-R2 (La Roche y Leterrier, 1973; La Roche *et al.*, 1980), al que se le han añadido los campos definidos por Batchelor y Bowden (1985) (Fig. 4), se comprueba cómo éstas se representan dentro del campo de los granitos tardi-orogénicos.

Conclusiones

En la zona de alto grado del DC de la BMA aparecen una serie de pequeños plutones de leucogranitos metaluminosos de grano grueso. Los minerales característicos de estas rocas, en las que no se encuentran micas, son el clinopiroxeno,

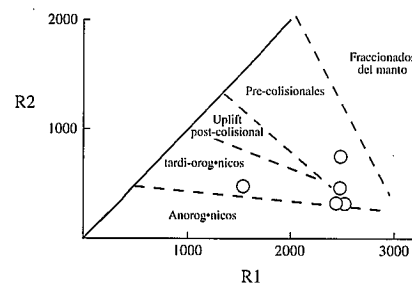


Fig. 4.- Diagrama de discriminación tectono-magmática R1-R2 en el que se representan los granitos metaluminosos del DC. Los parámetros R1 y R2 han sido calculados, en función de la formulación propuesta por La Roche y Leterrier (1973) y La Roche *et al.* (1980), a partir de proporciones moleculares:  $R1 = 4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti)$ .  $R2 = 6Ca + 2Mg + Al$ . Los campos que definen los distintos ambientes tectónicos están tomados de Batchelor y Bowden (1985).

Fig. 4.- Tectono-magmatic discrimination R1-R2 diagram with data from the metaluminous granites of the CD. Parameters R1 and R2 have been calculated based in the formulation proposed by La Roche and Leterrier (1973) and La Roche *et al.* (1980), using molecular proportions:  $R1 = 4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti)$ .  $R2 = 6Ca + 2Mg + Al$ . The fields representing the different tectonic environments are from Batchelor y Bowden (1985).

el anfíbol, el granate y la titanita. La presencia o ausencia de granate condiciona el patrón de variación de REE que muestran estos granitos.

Los patrones de variación de elementos traza de estos granitos metaluminosos se asemejan a los de granitos asociados a contextos de colisión continental. Otras características geoquímicas permiten considerarlos granitos tardi-orogénicos. Estas observaciones, sumadas a la relación que muestran estas rocas con el encajante, parecen demostrar que la intrusión de estos granitos se produjo con posterioridad a los eventos tectono-metamórficos principales registrados en el DC de la BMA, los cuales estuvieron producidos por un episodio de colisión continental.

#### Agradecimientos

Este trabajo es parte de la Tesis Doctoral de Manuel Díaz Azpiroz, la cual

ha sido financiada con una beca FPI del MEC (FP94-52263949), por el proyecto PB94-1085 y por la Universidad de Huelva. Gracias también al Dr. Jesús de la Rosa (U. Huelva) por sus sugerencias sobre geoquímica.

#### Referencias

- Alderton, D.H.A., Pearce, J.A. y Potts, J.A. (1980): *Earth Planet. Sci. Letters*, 40: 149-165.
- Batchelor, R.A. y Bowden, P. (1985): *Chem. Geol.*, 48: 43-55.
- Bellieni, G., Peccerillo, A. y Poli, G. (1981): *Contrib. Mineral. Petrol.*, 78: 145-156.
- Castro, A., Fernández, C., El-Hmidi, H., El-Biad, M., Díaz, M., de la Rosa, J.D. y Stuart, F. (1999): *Inter. Jour. Earth Sci.*, 88: 26-37.
- Debon, F. y Le Fort, P. (1983): *Trans. Roy. Soc. Edin.*, 0 73: 135-149.
- Díaz Azpiroz, M. (2001): *Tesis Doctoral*, U. Huelva. 556p.
- Fourcade, S. y Allegre, C.J. (1981): *Contrib. Mineral. Petrol.*, 76: 177-195.
- La Roche, H.de (1964): *Sci. de la Terre*, 9: 293-337.
- La Roche, H. de y Leterrier, J. (1973): *C.R. Acad. Sci. Paris*, D276: 3115-3118.
- La Roche, H. de, Leterrier, J., Grande Claude, P. y Marchal, M. (1980): *Chem. Geol.*, 29: 183-210.
- Nakamura, N. (1974): *Geochim. Cosmochim. Acta*, 38: 757-775.
- Pearce, J.A., Harris, N. y Tindle, A.G. (1984): *Jour. Petrol.*, 25: 956-983.
- Shand, S.J. (1927): Wiley & Sons, 488 p.
- Watt, G.R. y Harley, S.L. (1993): *Contrib. Mineral. Petrol.*, 114: 550-566.