

Procesos de hibridación mantelico-cortical implicados en la génesis del plutón granodiorítico de Los Pedroches (batolito de Los Pedroches, España)

Mantle-crust hybridization processes implicated in the Los Pedroches granodioritic pluton origin (The Los Pedroches batholith, Spain)

F.J. Larrea (*), M. Carracedo (*), L.A. Ortega (*), J.I. Gil Iburguchi (*) y A. Alonso Olazábal (*)

(*)Dpto. de Mineralogía y Petrología. Universidad del País Vasco (U.P.V.-E.H.U.). Aptdo. 644. 48080-BILBAO.

ABSTRACT

The Los Pedroches granodiorite pluton is located within the late-Hercynian Los Pedroches batholith in the southern part of the Central-Iberian Zone of the Hesperian Massif. The granodiorite shows petrological features consistent with an origin by mixing at depth of mantle and crustal derived magmas. Geochemical data have been used to derive a model of mixing of basic magmas of subalkaline or monzonitic (shoshonitic) affinity with anatectic silicic melts to yield granodiorite rocks. Potassium-rich calcalkaline melts of similar geochemical features to those of the Los Pedroches granodiorite are thus obtained for specific degrees of mixing of the assumed end-members.

Key words: magma mixing, shoshonitic melts, anatectic melts, granodiorite, Pedroches batholith.

Geogaceta, 20 (3) (1996), 582-585
ISSN: 0213683X

Introducción

Durante la última década se han publicado numerosos trabajos cuya temática se centra en la petrogénesis de granitoides calco-alcálinos. Una buena parte de ellos aboga por la mezcla de magmas mantélicos y corticales para el origen de dichos granitoides, constituyendo la omnipresencia de enclaves microgranulares máficos uno de los argumentos petrogenéticos más aceptados a favor de la hipótesis de la mezcla de magmas. En este sentido, los enclaves microgranulares se interpretan como porciones de un magma máfico enfriadas en ambiente plutónico, implicando la simultánea coincidencia espacio-temporal de magmas máficos y félsicos (Vernon, 1984; ...).

El plutón granodiorítico de Los Pedroches es uno de los granitoides hercínicos que condensa las típicas características petrológicas acordes con un origen híbrido por implicación de magmas de filiación mantélica y cortical (Castro, 1990; Fernández *et al.*, 1990; Carracedo, 1991; Defalque *et al.*, 1992; De la Rosa y Quintero, 1995).

En este trabajo se modela, en base a datos geoquímicos, un hipotético proceso de hibridación entre magmas mantélicos y corticales que permite explicar la composición del magma que formó este plutón.

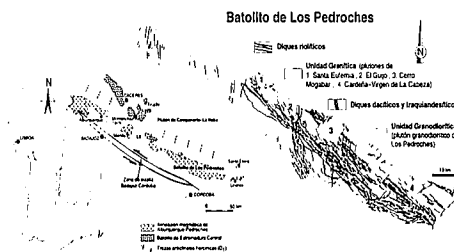


Fig. 1.- Encuadre y esquema geológico del batolito de Los Pedroches.

Fig. 1.- Geological sketch map of the Los Pedroches batholith.

El batolito de Los Pedroches

El batolito tardihercínico de Los Pedroches, situado en el sector meridional de la Zona Centro Ibérica, está compuesto básicamente por el plutón granodiorítico de Los Pedroches (unidad granodiorítica) y por varios plutones más ácidos que forman la unidad granítica de Los Pedroches (Fig. 1).

El plutón granodiorítico está formado por granodioritas biotíticas que exhiben una textura hipidiomórfica inequigranular de grano fino a medio, con presencia de apatito, circón, ilmenita, \pm anfíbol (actinolita-hornblenda actinolítica), \pm titanita, \pm allanita como minerales accesorios. Engloban enclaves microgranulares cuya composición varía desde dioritas con

hornblenda hasta granodioritas biotíticas, con todo tipo de términos transicionales. Asociado a esta unidad se desarrolla un complejo filoniano de dirección N-S de composición dacítica y traquiandesítica. Tipológicamente estas rocas son semejantes a los granitoides calco-alcálinos potásicos (high K-low Ca o H_{LO} type; Barbarin, 1990). Su relación isotópica inicial de Sr (0.7048; Cueto *et al.*, 1991) es sin embargo menor que los valores normales en este tipo de granitoides de origen híbrido mantélico cortical ($Sr_i = 0.706-0.712$; Barbarin, 1990), aproximándose más a valores propios de magmas manto derivados ($Sr_i = 0.704$; Barbarin, 1990).

La unidad granítica, integrada por los plutones de Santa Eufemia, El Guijo Mogabar, Cabeza Virgen de la Cabeza y Linares-Arquillos, se compone de adamellitas biotíticas, monzogranitos biotíticos porfídicos y leucogranitos. Asociada a esta unidad se desarrolla una importante red filoniana de dirección N120-130E y composición riolítica. Los monzogranitos biotíticos porfídicos -litotipos volumétricamente más importantes de la unidad- se caracterizan por presentar megacristales de feldespato potásico englobados en una matriz granítica de grano medio a grueso. Apatito, circón, ilmenita y, esporádicamente, cordierita son minerales accesorios. Su tipolo-

gía es asimilable a los granitoides peraluminosos intrusivos de origen crustal (CCI type; Barbarin, 1990), aunque sus relaciones isotópicas iniciales ($Sr = 0.7043-0.7060$; Fernández *et al.*, 1990; Defalque *et al.*, 1992) se sitúan también más próximas a las composiciones magmáticas manto derivadas o híbridas (mantelico-corticales) que a las exclusivamente crustales.

Ambas unidades, granodiorítica y granítica, pueden conformar una única asociación aluminico-caférmica, alta en K (high-K calc-alkaline; Peccerillo & Taylor, 1976) en la que los granitos son las rocas más ácidas y aluminosas.

El plutón de Campanario-La Haba, próximo al sector noroccidental de la alineación magmática de los Pedroches, ha sido considerado como parte integrante de la unidad granítica (García Casco *et al.*, 1987; Carracedo *et al.*, 1989). Recientes trabajos (Alonso Olazábal *et al.*, en prensa) señalan que está constituido fundamentalmente por granitos porfídicos caracterizados por la omnipresencia de megacristales idiomorfos de feldespato potásico, cuarzo y cordierita (> 1% volumen; cristales prismáticos de 4 cm de altura), además de sillimanita y andalucita como minerales accesorios y ocasionales. Tipológicamente es comparable a los granitoides de tipo S con cordierita abundante (Barbarin, 1992), a diferencia del resto de los plutones graníticos de Los Pedroches en los que la cordierita es un mineral raro y generalmente discreto. Por tanto, según las consideraciones previas, no procede considerar al plutón de Campanario-La Haba como integrante de la unidad granítica de Los Pedroches. Dentro del contexto regional inmediato, las facies que forman este plutón son equiparables a las del complejo granítico aluminoso de origen crustal (tipo S) de Cabeza de Araya (batolito de Extremadura Central; Corretgé *et al.*, 1985; Castro, 1985, 1986).

Génesis de la granodiorita de los Pedroches: mezcla de magmas

El origen de la granodiorita de Los Pedroches es controvertido. Numerosas características de campo (presencia de enclaves microgranulares), petrográficas (heterogeneidades mineralógicas indicativas de desequilibrio) y geoquímicas (tanto de roca total como de fases minerales) conducen a diferentes investigadores a proponer un origen híbrido mantelico-cortical para el magma granodiorítico (Castro, 1990; Fernández *et al.*, 1990; Carracedo, 1991; Defalque *et al.*, 1992; De la Rosa y Quintero, 1995). Otros sin embargo proponen la fusión parcial de protolitos ígneos manto-derivados (Defalque *et al.*, 1992; Donaire, 1995). El objeto de este trabajo es la modelación, en base a datos geoquímicos, de un hipotético proceso de mezcla entre fundidos mantelícos y corticales que permita una aproximación a la composición del magma granodiorítico de Los Pedroches.

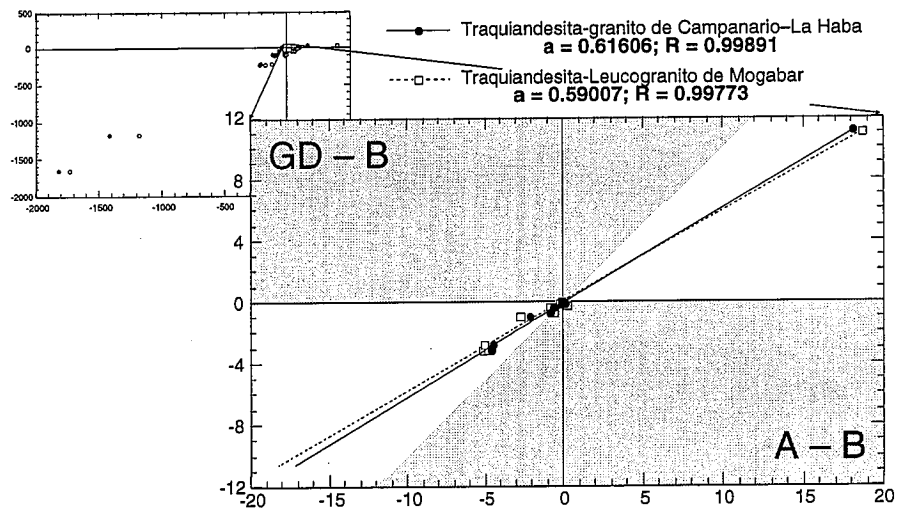


Fig. 2.- Test de mezcla en base al contenido en elementos mayores. «a»: grado de participación del polo ácido en la mezcla; «R»: coeficiente de correlación; B: Polo básico (Traquiandesita PA99; Carracedo *et al.* 1993); A: Polos ácidos (Granito de Campanario-La Haba CP-4; Donaire, 1995. Leucogranito del plutón de Mogabar PA-45; Carracedo, 1991); GD: Granodiorita de Los Pedroches (PA-16; Carracedo, 1991)

Fig. 2.- Mixing-test based on major element composition. «a»: proportion of acid end-member in the mixing process; «R»: correlation coefficient; B: Basic end member (Traquiandesite PA99; Carracedo *et al.* 1993); A: Acid end-members (Campanario-La Haba granite CP-4; Donaire, 1995. Leucogranite of Mogabar pluton PA-45; Carracedo, 1991); GD: The Los Pedroches granodiorite (PA-16; Carracedo, 1991)

a) Elección de los polos de la mezcla Polo básico

En el batolito de Los Pedroches —de carácter eminentemente ácido— las únicas rocas de composición básica-intermedia, y por tanto candidatos a ocupar el polo más básico, que afloran son: gabros y dioritas (Eguiguren, 1983), enclaves microgranulares máficos (Castro, 1990; Carracedo, 1991; Donaire, 1995) y diques traquiandesíticos (Carracedo *et al.*, 1993).

Los gabros y dioritas han sido descartados por: 1) son de aparición muy local (sector de Zalamea al SO del batolito), 2) las paragénesis primarias se presentan muy alteradas, 3) muestran numerosas fracturas rellenas de minerales secundarios, 4) su emplazamiento es probablemente anterior a la fase principal de deformación hercínica en la región (Eguiguren, 1983) y por tanto pueden ser anteriores a la intrusión del magma granodiorítico, emplazado con posterioridad a dicha fase. También se han desechado los enclaves microgranulares máficos porque: 1) algunos enclaves son considerados como híbridos entre un magma granítico y un magma máfico más o menos diferenciado (tipos PT y TR; Castro, 1990) y 2) otros constituyen "cumulates" transformados (tipo HP; Castro, 1990).

Se han seleccionado los diques traquiandesíticos como representantes del polo básico manto-derivado para evaluar la mezcla porque: 1) son, a excepción de los gabros, las rocas más básicas

del batolito, 2) exhiben menos signos de alteración o transformación que las facies básicas, 3) sus relaciones espacio-temporales con la granodiorita son evidentes: se distribuyen por todo el plutón granodiorítico presentando un cierto carácter simplutónico con el magma granodiorítico que los engloba, 4) geoquímicamente muestran una filiación caférmica subcalina o monzonítica (shoshonítica) acorde con una probable derivación mantelica y 5) en la cadena hercínica, este tipo de magmas es característico de situaciones transtensionales posteriores a los eventos colisionales (Bonin, 1990; Barbarin, 1990; Lagarde *et al.*, 1992) como la propuesta para ubicar el emplazamiento del batolito de Los Pedroches (Aranguren *et al.*, 1995; Aranguren *et al.*, en prensa).

Polo ácido

Como constituyentes del polo ácido de origen cortical han sido excluidos los monzogranitos que integran la unidad granítica de Los Pedroches por presentar razones isotópicas iniciales del Sr ($Sr = 0.7043-0.7060$; Fernández *et al.*, 1990; Defalque *et al.*, 1992) muy bajas para fundidos de procedencia crustal, semejantes a las relaciones de Sr de las granodioritas y próximas a las típicas en granitoides manto derivados o híbridos (mantelico-corticales).

Excluidos los monzogranitos, los únicos litotipos locales composicionalmente próximos a los de los fundidos de origen crustal y que potencialmente pueden constituir el polo ácido en el proceso de mezcla quedan reducidos a:

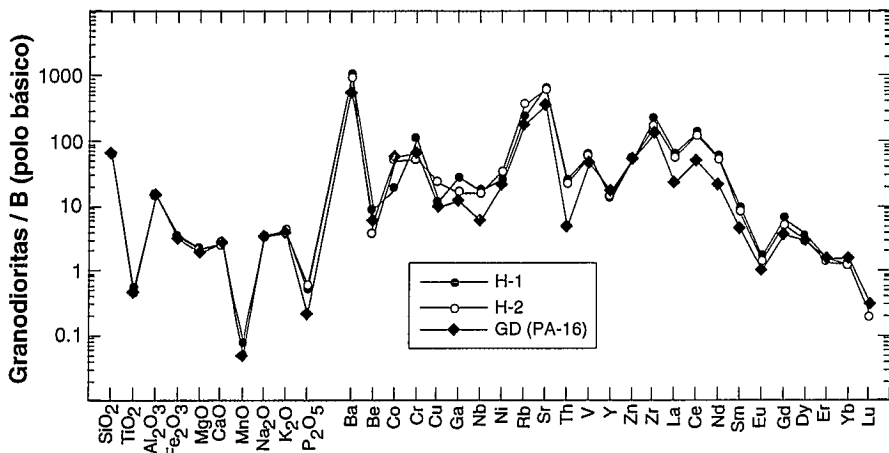


Fig. 3.- Diagrama normalizado en el que se comparan las composiciones químicas obtenidas en el modelo (H-1 y H-2) con la granodiorita de Los Pedroches (GD PA-16).

Fig. 3.- Spiderdiagram normalized to basic end-member composition showing the chemical compositions of models (H-1 y H-2) and that of the Los Pedroches granodiorite (GD PA-16).

- los granitos del plutón de Campanario-La Haba con características de granitoides de tipo S de origen crustal (Alonso Olazábal *et al.*, en prensa).

- los leucogranitos asociados al plutón del Cerro Mogábar, asociación aluminosa no integrada en la unidad granítica de Los Pedroches y cuyo origen puede estar relacionado con la fusión de materiales metapelíticos (Carracedo, 1991).

b) El test de mezcla

Se ha examinado la contribución de los componentes -ácido y básico- en la hipotética mezcla. Para ello se han utilizado los métodos propuestos por Langmuir *et al.*, (1978) y Fourcade & Allègre (1981) para elementos mayores, basados en las ecuaciones de mezcla de Vollmer (1976, in Fourcade & Allègre, op. cit.).

Los resultados conseguidos son satisfactorios (Fig. 2, Tabla 1), obteniendo coeficientes de

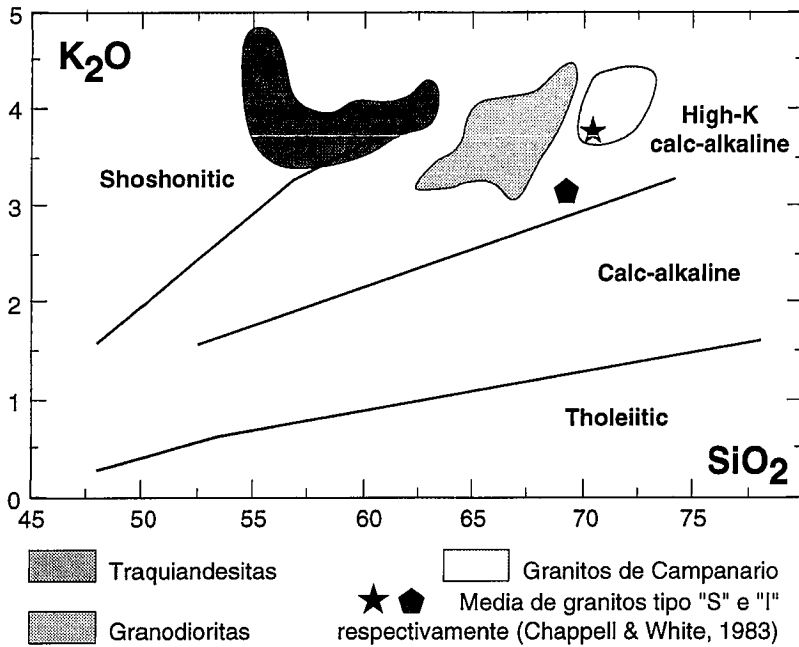


Fig. 4.- Diagrama K₂O-SiO₂ (con los campos de Peccerillo & Taylor, 1976) sobre el que se sitúan los campos de los polos de la hipotética mezcla y de la granodiorita de Los Pedroches.

Fig. 4.- K₂O vs. SiO₂ diagram (Peccerillo & Taylor, 1976) showing compositional fields for the mixing end members and the Los Pedroches garnodiorite.

regresión lineal > 0.99 y grados de participación variables entre 59 y 61.6 % (valores de las pendientes de las rectas de regresión) del magma ácido en la mezcla. La Figura 3 muestra como las pautas de variación entre los fundidos modelados y la granodiorita de Los Pedroches son coincidentes.

Conclusiones

La modelación efectuada sugiere que la granodiorita de Los Pedroches puede tener un origen híbrido mantelico-cortical. Fracturas de escala litosférica y/o crustal (Abalos & Cusí, 1995; Aranguren *et al.*, 1995; Aranguren *et al.*, en prensa) generadas o reactivadas en una situación de tipo «post-collisional uplift» pueden canalizar fundidos mantélicos, representados en nuestro modelo por los diques traquiandesíticos de afinidad monzonítica, hasta emplazarlos en niveles corticales. La intrusión genera calor y volátiles que pueden provocar la fusión parcial de rocas crustales metasedimentarias (Vielzeuf y Holloway, 1988) o metaígneas (Patiño Duce & Beard, 1995). La potencial mezcla de los fundidos mantélicos y los magmas silíceos anatéticos peraluminosos inducidos, representados en nuestro modelo por los granitos del plutón de Campanario-La Haba o los leucogranitos del plutón del Cerro Mogábar, en diferentes grados (mixing-mingling) produce los granitoides calcoalcalinos híbridos, ricos en K, representados por la granodiorita de Los Pedroches y los enclaves microgranulares máficos (Fig. 4). Con la progresiva solidificación de los fundidos granodioríticos en su nivel de emplazamiento final, va disminuyendo el aporte de material mantélico de afinidad monzonítica preservado y materializado en los diques traquiandesíticos.

Aunque la modelación obtenida es calificable como buena, es preciso tener en cuenta que la bondad en un modelo no certifica que el proceso analizado haya tenido lugar; por el contrario, resultados negativos invalidarían completamente la posibilidad de que ése sea el proceso que haya operado. El modelo de hibridación magmática propuesto está sustentado en un amplio espectro de datos y es una alternativa química viable frente a los modelos que asumen que los granitoides calco-alcalinos ricos en K₂O sólo pueden proceder de la fusión parcial de rocas metaígneas crustales de composición intermedia a máfica, con afinidad calco-alcalina transicional, o altas en K (Roberts & Clemens, 1993). Puesto que la composición de los magmas depende inicialmente de la naturaleza de los protolitos implicados en su generación, sería necesario avanzar en el conocimiento de la naturaleza de los materiales integrantes de la corteza inferior del sector meridional de la cadena hercínica, para progresar en la petrogénesis del batolito de Los Pedroches y, por extensión, de todo el magmatismo tardihercínico del sector meridional de la Zona Centro Ibérica.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido elaborado en el marco de los Proyectos de Investigación EB-033/93, EA-125/94 y EA-090/95 financiados por la Universidad del País Vasco.

Referencias

- Abalos, B. y Díaz Cusí, J. (1995): *Tectonics*, 14-4, 1021-1040.
- Alonso Olazábal, A.; Aranguren, A.; Carracedo, M.; Larrea, F.J. (en prensa): *Cuad. Lab. Xeol. Laxe*.
- Aranguren, A.; Carracedo, M.; Larrea, F.J.; Cuevas, J. y Tubía, J.M. (1995): *Terra Abstracts*, 7, 138.
- Aranguren, A.; Larrea, F.J.; Carracedo, M.; Cuevas, J. y Tubía, J.M. (in press): Bouchez, J.L., Hutton, D. y Stephens, W.E. (Eds). *Kluwer Academic Publishers*
- Barbarin, B. (1990): *Geol. Jour.*, 25, 227-238.
- Barbarin, B. (1992): *C.R. Acad.Sci.Paris, t. 314 (Serie II)*, 595-601.
- Bonin, B. (1990): *Geol. Jour.*, 25, 261-270.
- Carracedo, M. (1991): *Tesis Doctoral* (Univ. del País Vasco), 427 pp.
- Carracedo, M.; Ortega Cuesta, L.A.; Gil Ibarguchi, J.I. y Sánchez Carretero, R. (1989): *Stud. Geol. Salmanticensis*, Vol. Esp., 4, 93-104.
- Carracedo, M.; Larrea, F.J.; Ortega, L.A. y Gil Ibarguchi, J.I. (1993): *Terra Abstracts*, 6, 9.
- Castro, A. (1985): *Tectonophysics*, 120, 58-68.
- Castro, A. (1986): *J. Struct. Geol.*, 8-6, 633-645.
- Castro, A. (1990): *Rev. Soc. Geol. España*, 3, 7-21.
- Chappell, B.W. & White, A.J.R. (1974): *Pacific Geol.*, 8, 173-174
- Corretgé, G.; Bea, A. y Suárez, O. (1985): *Trabajos de Geología* (Univ. Oviedo), 15, 219-238.
- Cueto, L.A.; Fernández, F.J.; Larrea, F.J.; Lasala, M.J.; Quesada, C. y Reyes, J. (1991): *IV Congreso Geoquím. España*.
- Defalque, G.; Démaiffe, D.; Dumont, P. y Lalieux, Ph. (1992): *Ann. Soc. Géol. Belgique*, 115-1, 77-89.
- DeLa Rosa, J.D. y Quintero, M. (1995): *Geogaceta*, 18, 165-168
- Donaire, T. (1995): *Tesis Doctoral* (Univ. Huelva), 232 pp.
- Eguiguren, E. (1983): *Tesis de Licenciatura* (Univ País Vasco), 75 pp.
- Fernández, F.J.; Cueto, L.A.; Larrea, F.J. y Quesada, C. (1990): *Cuad. Lab. Xeol. Laxe.*, 15, 89-103.
- Fourcade, S. y Allègre, C.J. (1981): *Contrib.*

	B	A-1	A-2	GD	H-1	H-2
SiO ₂	54.89	73.10	73.55	65.90	66.11	65.90
TiO ₂	0.91	0.33	0.13	0.48	0.55	0.45
Al ₂ O ₃	16.50	14.40	13.85	15.46	15.21	14.94
Fe ₂ O _{3t}	6.33	1.80	1.18	3.13	3.54	3.29
MgO	5.05	0.55	0.25	1.92	2.28	2.22
CaO	5.55	1.15	0.48	2.75	2.84	2.56
MnO	0.10	0.06	0.02	0.05	0.08	0.05
Na ₂ O	3.57	3.71	3.29	3.44	3.66	3.40
K ₂ O	4.20	4.19	4.41	3.97	4.19	4.32
P ₂ O ₅	0.98	0.22	0.35	0.22	0.51	0.61
Ba	2197.00	378.00	21.00	542.00	1076.39	913.01
Be	6.09	11.00	2.00	5.80	9.11	3.68
Co	45.00	3.00	55.00	58.00	19.13	50.90
Cr	109.00	110.00	13.00	68.00	109.62	52.35
Cu	26.00	3.00	22.00	10.00	11.83	23.64
Ga	33.00	24.00	5.00	12.00	27.46	16.48
Nb	22.00	15.00	12.00	6.00	17.69	16.10
Ni	65.00	1.00	13.00	21.00	25.57	34.32
Rb	138.00	302.00	519.00	177.00	239.03	362.82
Sr	1526.00	113.00	14.00	359.00	655.51	633.81
Th	38.00	18.00	11.00	5.00	25.68	22.07
V	132.00	20.00	6.00	47.00	63.00	57.65
Y	20.00	9.00	11.00	17.00	13.22	14.69
Zn	63.00	48.80	49.00	54.00	54.25	54.74
Zr	361.00	145.00	51.00	135.00	227.93	178.08
La	125.27	26.60	9.73	22.22	64.48	57.09
Ce	266.05	56.00	24.27	48.00	136.65	123.38
Nd	111.34	26.10	10.43	20.76	58.83	51.80
Sm	16.37	5.50	2.43	4.58	9.67	8.14
Eu	3.34	0.69	0.08	1.02	1.71	1.42
Gd	9.77	4.60	1.94	3.57	6.58	5.15
Dy	4.74	2.90	1.72	2.92	3.61	2.96
Er	2.10	1.20	0.87	1.56	1.55	1.37
Yb	1.61	1.10	0.95	1.54	1.30	1.22
Lu	0.28	0.15	0.15	0.30	0.20	0.20

Tabla 1.- Datos químicos utilizados en la modelación de mezcla de magmas para la granodiorita de Los Pedroches. B: Polo básico (Traquiandesita PA99; Carracedo et al 1993); A-1, A-2: Polos ácidos (Granito de Campanario-La Haba CP-4; Donaire, 1995. Leucogranito del plutón de Mogabar PA-45; Carracedo, 1991); GD: Granodiorita de Los Pedroches (PA-16; Carracedo, 1991); H-1, H-2: composiciones obtenidas resultado de la aplicación del test de mezcla.

Table 1.- Geochemical data used in the magma mixing modeling for the Los Pedroches granodiorite. B: Basic end-member (Trachyandesite PA99; Carracedo et al 1993); A-1, A-2: Acid end-members (Campanario-La Haba granite CP-4; Donaire, 1995. Leucogranite of Mogabar pluton PA-45; Carracedo, 1991); GD: The Los Pedroches granodiorite (PA-16; Carracedo, 1991); H-1, H-2: compositions obtained with the mixing-test application.

- Mineral. Petrol.*, 76, 177-195.
- García Casco, A.; Pascual, E. y Castro, A. (1987): *Geogaceta*, 2, 56-59.
- Lagarde, J.L., Capdevila, R. y Fourcade, S. (1992): *Bull. Soc. Geol. France*, 5, 596-610.
- Langmuir, C. H., Vocke, R.D., Hanson, G.N. (1978): *Earth Planet. Sci. Letters*, 37, 380-392.
- Patiño Douce, A.E. y Beard, J.S. (1995): *J. Petrology*, 36, 707-738.
- Peccerillo, A. y Taylor, S.R. (1976): *Contrib. Mineral. Petrol.*, 58, 63-81
- Roberts, M.P. & Clemens, J.D. (1993): *Geology*, 21, 825-828
- Vernon, R.H. (1984): *Nature*, 309, 438-439.
- Vielzeuf, D. y Holloway, J.R. (1988): *Contrib. Mineral. Petrol.*, 98, 257-276.