

# Consideraciones petrogenéticas sobre el plutón de Cardeña–Virgen de La Cabeza (batolito de Los Pedroches, España) a la luz de los datos experimentales

*Petrogenetic considerations of the Cardeña–Virgen de La Cabeza pluton (Los Pedroches Batholith, Spain) under experimental results*

F. J. Larrea y M. Carracedo

Dpto. de Mineralogía y Petrología. Fac. Ciencias. EHU-UPV. P.O.Box 644. 48080-Bilbao (Basque Country, Spain). E-mail: npplabif@lg.ehu.es.

## ABSTRACT

*The Cardeña–Virgen de La Cabeza pluton is an high-K peraluminous granitoid wich forms a part of the Los Pedroches batholith (Central Iberian Zone). Taking account the chemical features of its major elements and comparing with some experimental melts, we conclude that its origin is comparable with mantle-crustal interaction processes. This aspect seems to be confirmed by the petrologic features of the pluton, its isotopic filiation, and also by the geodynamic enviroment where is emplaced.*

**Key words:** major elements, experimental melts, mantle-crust interaction, Cardeña–Virgen de La Cabeza pluton, Los Pedroches batholith.

*Geogaceta, 30 (2001), 67-70  
ISSN:0213683X*

## Introducción

Los avances registrados en la última década en Petrología Experimental han permitido formular diferentes mecanismos en la génesis de granitoides. Así, procesos como la diferenciación de magmas básicos e intermedios, la fusión de protolitos crustales diversos o las numerosas modalidades de interacción entre materiales de naturaleza contrastada (hibridación magmática), son barajados en la elaboración de modelos petrogenéticos.

El propósito del presente trabajo consiste en tratar de establecer la génesis del plutón de Cardeña–Virgen de La Cabeza, un granitoide peraluminoso integrante del batolito de los Pedroches (Zona Centroibérica, Macizo Hercínico; figura 1), emplazado en situación transtensiva (Aranguren *et al.*, 1997). Para ello, inicialmente se considerarán las características petrologico-químicas de las litologías principales que lo componen, con el objeto de contrastarlas con datos experimentales de potenciales fuentes de granitoides peraluminosos tomados de la bibliografía. Finalmente, en función de las deducciones extraídas, se tratará de precisar un modelo petrogenético que integre los diversos aspectos barajados.

## Rasgos generales del plutón de Cardeña–Virgen de la Cabeza

El plutón de Cardeña–Virgen de La Cabeza es un granitoide de morfología alargada en dirección NO-SE que ocupa un área aproximada de 600 km<sup>2</sup> en la parte oriental del batolito de los Pedroches (figura 1). Contacta al N y al S con metasedimentos detríticos del Carbonífero inferior a los que infiere un metamorfismo de contacto en el que muy localmente se alcanzan condiciones de corneanas piroxénicas. Hacia el O, las relaciones con el contiguo plutón granodiorítico de los Pedroches son tanto graduales –en la parte central y meridional del plutón– como netas –en el tercio septentrional– (Larrea *et al.*, 1992). En tanto que al E contacta mecánicamente con los materiales postpaleozoicos que rellenan la fosa tectónica del Guadalquivir.

El macizo estudiado está constituido principalmente por monzogranitos porfídicos dentro de los cuales, en base a variaciones de índole textural o modal o de ambas, se han individualizado diversas facies ígneas. Habitualmente estas rocas son portadoras de escasos enclaves micro-granudos biotíticos; sin embargo, se ha constatado la presencia de locales pero importantes volúmenes de enclaves

microgranulares máficos, presumiblemente de origen mantélico, y con relaciones de simplutonismo (mingling) con los monzogranitos huéspedes (Larrea, 1998). Dispersas en las facies plutónicas porfídicas, se disponen pequeñas masas de leucogranitos (figura 1).

Cortando a los monzogranitos se emplaza una espectacular red de diques de dirección N120-140E, de composición riolítico-riodacítica (químicamente comparable con las facies plutónicas principales), conformando uno de los rasgos cartográficos más distintivos tanto en el plutón como en el conjunto del batolito (Carracedo *et al.*, 1997). Aplpegmatoides, algunos diques básicos y filones de cuarzo hidrotermal totalizan el complejo filoniano (figura 1).

## Los monzogranitos del plutón de Cardeña–Virgen de la Cabeza

### *Petrografía*

Son rocas masivas con fábrica aparentemente isótropa y/o planar y/o planolinear y textura porfídica, constituidas por feno-megacristales de feldespato alcalino (1.5-12 cm) y fenocristales de plagioclasa (< 2 cm; en ocasiones < 5 cm) y cuarzo (< 1.5 cm) inmersos en una matriz granítica de tamaño de grano variable

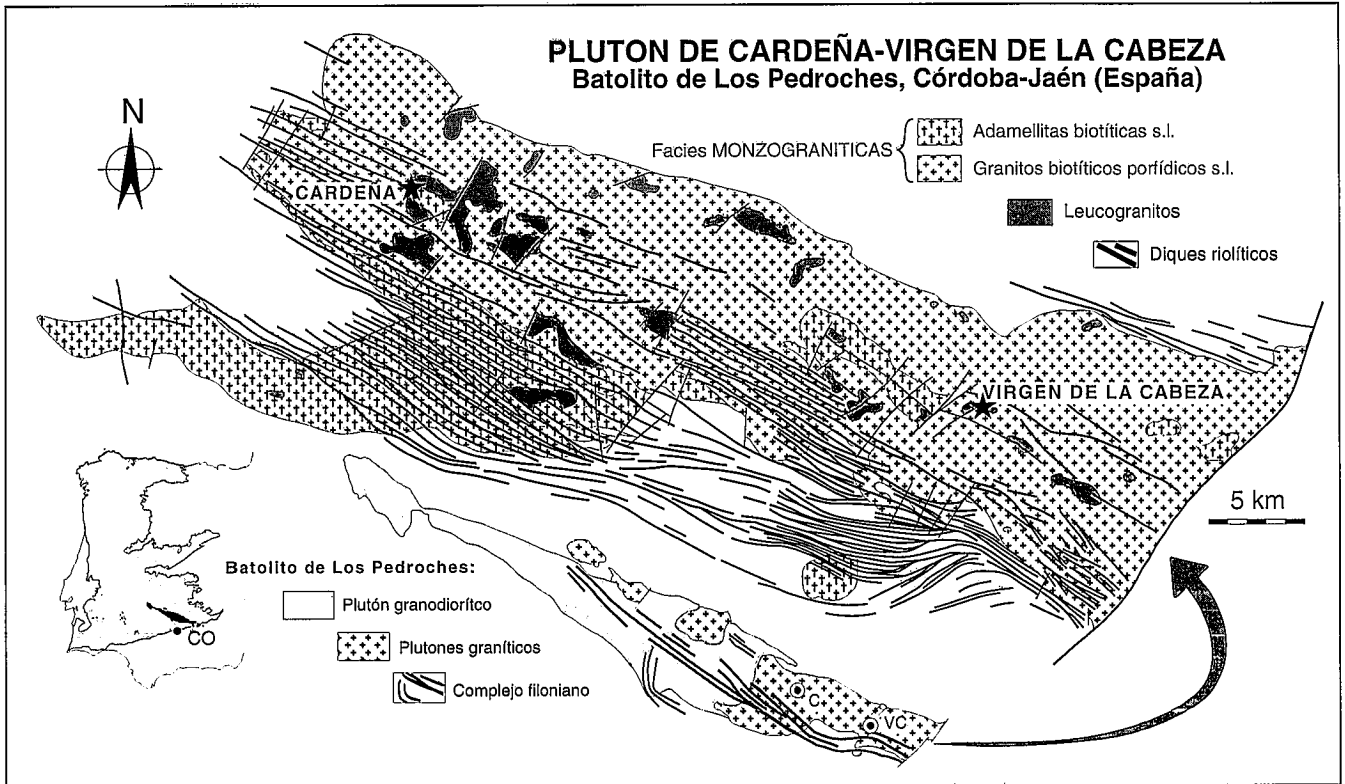


Fig. 1.- Esquema cartográfico del plutón de Cardena-Virgen de la Cabeza

Fig. 1.- Geological sketch map of the Cardena-Virgen de La Cabeza pluton.

(gruesa a fina) y biotítica. Apatito, circón, ilmenita y, esporádicamente, cordierita son accesorios. Si bien la mineralogía es cualitativamente uniforme, se constatan algunas diferencias modales reflejadas en el índice de color de las rocas. Además, aun manteniendo el carácter porfídico, exhiben una diversidad textural materializada en la variación en la proporción y talla de los fenocristales y en el tamaño de grano de la matriz. Estas heterogeneidades se han plasmado en la cartografía a través de la individualización de diversas facies ígneas (figura 1).

*Características químicas*

Los monzogranitos constituyen un conjunto de rocas ácidas ( $SiO_2 = 68-74.5\%$ ), peraluminosas ( $\bar{x}_{AlCNK} = 1.1$ ), desde moderadamente aluminosas a muy aluminosas, con valores medios en corindón normativo de 1.8 %. Habitualmente muestran contenidos moderadamente bajos en CaO ( $\bar{x}_{CaO} = 1.25\%$ ) y elementos ferromagnesianos, ( $\bar{x}_{Fe+Mg+Ti} \approx 50$ ), con una relación  $MgO/(MgO+FeO)$  de 0.22; sin embargo, localmente, cuando hospedan importantes volúmenes de enclaves microgranulares máficos las concentraciones en cal y ferromagnesianos se ven sensiblemente incrementadas ( $\bar{x}_{CaO} \approx 1.7\%$ ;  $\bar{x}_B \approx 75$ ;  $MgO/(MgO+FeO) =$

0.33). Exhiben importantes contenidos en álcalis ( $\bar{x}_{Na_2O+K_2O} \approx 8.0\%$ ), con una relación  $K_2O/(Na_2O+K_2O)$  media de 0.57 (algo menor, 0.5, cuando albergan enclaves máficos). Las concentraciones en elementos traza ofrecen cierta variabilidad y sus espectros de ETR, además de un notable grado de fraccionación ( $La/Yb_N = 14$ ), presentan anomalía negativa en Eu ( $Eu/Eu^* = 0.4$ ) (Larrea, 1998). Las pautas de variación química denotan un sistemático empobrecimiento en  $TiO_2$ ,  $Al_2O_3$ , FeO, MgO y CaO, y enriquecimiento en álcalis con el incremento en  $SiO_2$ . En lo que respecta a elementos traza, se constata el comportamiento compatible de Ba, Cr, Ni, Sc, Sr, V, Zr, tierras raras ligeras y Eu e incompatible de Rb y tierras raras pesadas con la diferenciación. Estas tendencias pueden explicarse atendiendo a la variable contribución de plagioclasa, biotita y feldespato potásico en un proceso de cristalización fraccionada (Larrea, 1998).

A efectos de tipificación geoquímica constituyen términos peraluminosos (próximos a leucogranitos) de una asociación aluminosa (Debon y Le Fort, 1983) y calcoalcalina rica en potasio (Peccerillo y Taylor, 1976) (figura 2).

*Filiación isotópica*

Los datos radiométricos (Rb-Sr y Sm-Nd) sobre seis muestras de monzogranito,

permiten obtener una edad Rb-Sr de  $310 \pm 12$  Ma (M.S.W.D. = 2.1), con  $(^{87}Sr/^{86}Sr)_0 = 0.7051 \pm 0.0013$  (Larrea *et al.*, 1999). Al considerar las referencias isotópicas como  $^{143}Nd$  y  $^{87}Sr$  a la edad de 310 Ma (figura 2) se observa que, además de presentar una escasa variación, se proyectan en el dominio crustal en el diagrama, aunque con valores relativamente bajos. Este hecho podría descartar un origen exclusivamente cortical para estas rocas, apuntando la posible participación de un componente mantélico en la génesis del granitoide.

**Discusión: petrogénesis del plutón de Cardena-Virgen de La Cabeza**

La profusión de recientes trabajos sobre petrología experimental está contribuyendo a la determinación de potenciales fuentes en el origen de diversos magmas graníticos, así como al establecimiento de los procesos que intervienen en su génesis. Precisamente en base a estas experiencias, comparando las características químicas de elementos mayores de diversos fundidos experimentales con las del granitoide que nos ocupa, se pueden extraer importantes consideraciones acerca de su petrogénesis.

Como ya se ha apuntado, el plutón de Cardena-Virgen de La Cabeza integra

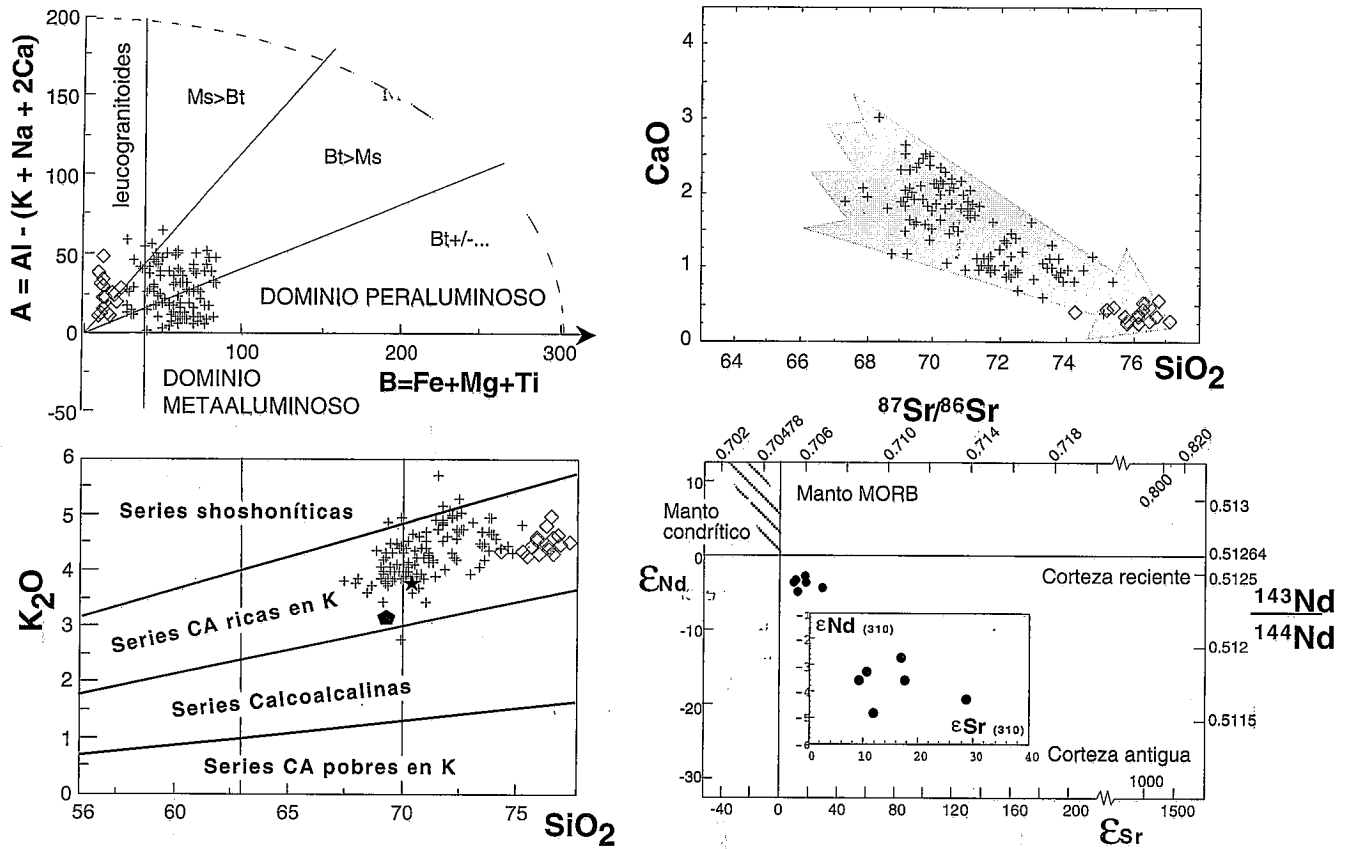


Fig. 2.- Diagramas de caracterización geoquímica con las muestras del plutón de Cardaña-Virgen de La Cabeza.

Fig. 2.- Geochemical characterization plots of the Cardaña-Virgen de La Cabeza pluton.

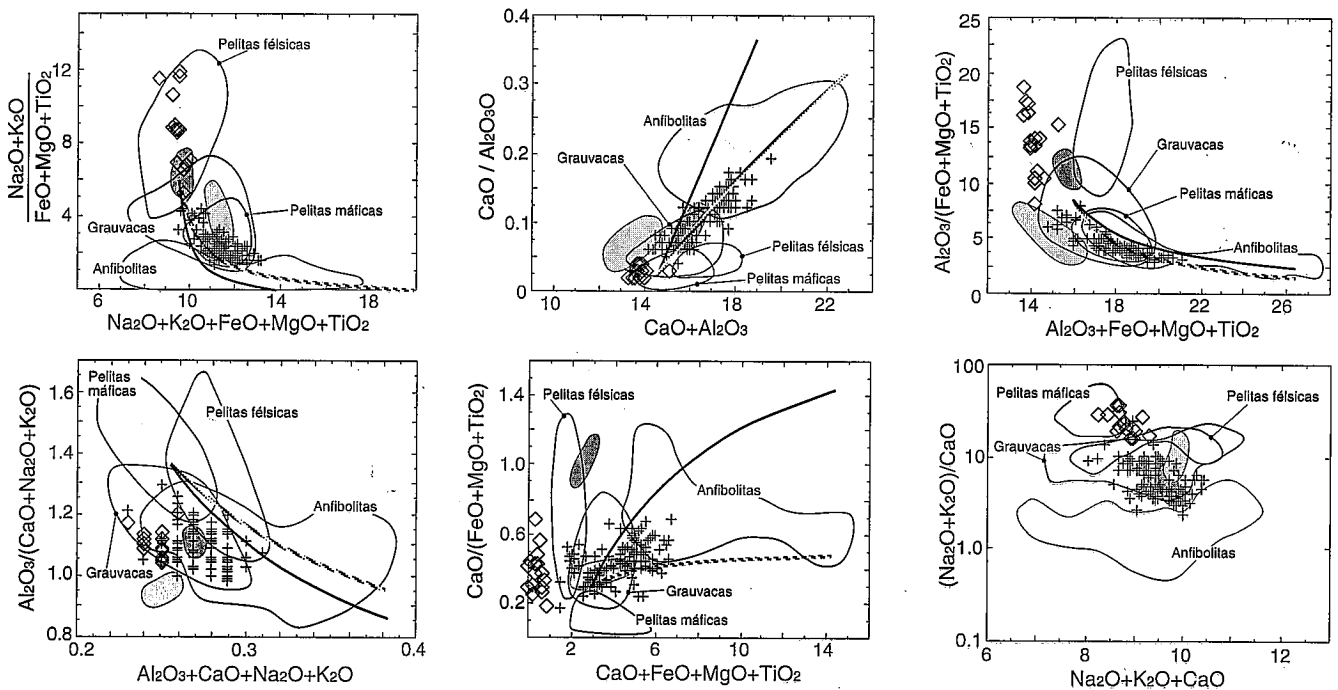


Fig. 3.- Datos químicos del plutón de Cardaña-Virgen de La Cabeza (cruces: monzogranitos; cuadrados: leucogranitos) y composiciones de diversos fundidos experimentales según Patiño Douce (1999) (áreas grises oscura y clara: fundidos obtenidos a 4 y 8 kbar, respectivamente, a partir de granitoides calcoalcalinos. Las líneas continua y discontinua representan curvas de reacción de fundidos producidos, respectivamente, a altas (12-15 kbar) y bajas (=5 kbar) presiones por hibridación de una toleita olivínica rica en Al con metapelitas.

Fig. 3.- Chemical dates of the Cardaña-Virgen de La Cabeza pluton (crosses: monzogranites; squares: leucogranites) and composition of experimental melts Patiño Douce (1999) (dark and light grey area: melt of calc-alkaline granites at 4 and 8 kbar respectively), Solid and dashed lines represent melts compositions produced by hybridization of high-Al olivine tholeiite with metapelite at high (12-15 kbar) and low (=5 kbar) pressure, respectively.

litologías de carácter peraluminoso, ricas en  $K_2O$ , y con contenidos moderadamente pobres en elementos ferromagnesianos y  $CaO$ , rocas por tanto composicionalmente próximas a leucogranitos (Debon y Le Fort, 1983). Estas características permiten encuadrar al plutón estudiado dentro de los granitoides cuyo origen tradicionalmente se ha considerado como producto de la fusión parcial de protolitos crustales tanto metasedimentarios (Holtz y Johannes, 1991; Patiño Douce y Beard, 1995) como metaígneos (Beard y Lofgren, 1991; Patiño Douce y Beard, 1996). Sin embargo, tal y como se señala en diversos trabajos (Patiño Douce, 1995, 1999; McCarthy y Patiño Douce, 1997), fundidos silíceos peraluminosos pueden generarse igualmente por reacción de magmas basálticos con rocas cuarzo-feldespáticas corticales por procesos de fusión-asimilación (Patiño Douce, 1999; Castro *et al.*, 1999). Incluso la mezcla de magmas máficos y félsicos ha sido barajada como hipótesis en la génesis de granitoides como el estudiado (Larrea, 1998), aunque este mecanismo ha sido relegado a un ámbito muy local (Castro *et al.*, 1999), dado el enorme contraste físico-químico de los fundidos involucrados.

La figura 3 permite comparar algunos datos químicos del plutón de Cardeña-Virgen de La Cabeza con los de las composiciones de fundidos experimentales obtenidos por Patiño Douce (1999) mediante la fusión de diversas fuentes crustales. Igualmente pueden cotejarse mecanismos de hibridación mantélico-cortical, al representarse en los diagramas hipotéticas curvas de reacción entre una toleita olivínica rica en Al con metapelitas en diferentes condiciones de presión. Una de las primeras observaciones que puede realizarse es que las litologías que integran el granitoide de Cardeña-Virgen de La Cabeza presentan diversas restricciones químicas que impiden el ajuste a las composiciones de fundidos generados a partir de fuentes crustales metasedimentarias (grauvacas y rocas pelíticas félsicas y máficas). Además las bajas relaciones isotópicas ( $Sr_i$ ) obtenidas, excluyen un origen puramente metasedimentario. Algo semejante ocurre al considerar composi-

ciones de fundidos a partir de protolitos metaígneos. En este caso, aunque eventualmente los datos isotópicos se adecuen a este tipo de fuentes, resulta que las rocas estudiadas se apartan de las composiciones experimentales, particularmente en álcalis y cal.

Sin embargo, los datos químicos proyectados se adaptan en gran medida a las líneas de "mezcla" antes citadas en la mayor parte de los diagramas, sugiriendo el origen presumiblemente híbrido del granitoide. Además la signatura isotópica del plutón es adecuada para un ámbito de interacción mantélico-cortical, en el que la presencia de enclaves de naturaleza básica advierte la comparecencia de fundidos mantélicos.

El marco geodinámico en el que se emplaza el plutón, asociado a un accidente de cizalla de escala crustal desarrollado en régimen transtensivo (Aranguren *et al.*, 1997), constituye una excelente vía de ascenso de fundidos mantélicos que al interactuar con material cortical propiciaría la formación, presumiblemente mediante mecanismos de fusión-asimilación, de magmas silíceos peraluminosos ricos en potasio como el que da lugar al plutón estudiado.

### Conclusiones

El plutón de Cardeña-Virgen de La Cabeza, integrante del batolito de Los Pedroches es un granitoide tardiorogénico (edad Rb-Sr de  $310 \pm 12$  Ma) emplazado en situación transtensional. Está compuesto principalmente por monzogranitos peraluminosos ricos en potasio, cuya variación química evidencia una evolución magmática controlada por cristalización fraccionada. Su origen, atendiendo a las comparaciones realizadas con el quimismo de diversos fundidos silíceos peraluminosos experimentales y con las restricciones que los datos isotópicos imponen, parece ser híbrido. Considerando las características petrológicas del plutón y el ámbito geodinámico en el que se produce la intrusión, la interacción de fundidos mantélicos con materiales crustales a través de mecanismos de fusión-asimilación se baraja como proceso genético.

### Agradecimientos

P. I.: UPV130310-EB 207-96 y MEC130310-0612/97.

### Referencias

- Aranguren, A.; Larrea, F. J.; Carracedo, M.; Cuevas, J. y Tubía, J. M. (1997 b): J. L. Bouchez *et al.* (Eds.). Kluwer Academic Publishers (Netherlands): 215-229.
- Beard, J.S. y Lofgren, G.E. (1991): J. Petrol., 32: 365-401.
- Carracedo, M.; Larrea, F.J.; Alonso, A.; Gil Ibarguchi, J.I. (1997): Cad. Lab. Xeol. Laxe, 22: 229-246.
- Castro, A.; Patiño Douce, A.E.; Corretgé, L.G.; de la Rosa, J.D.; El-Biad, M.; El-Hmidi, H. (1999): Contrib. Mineral. Petrol., 135: 255-276.
- Debon, F. y Le Fort, P. (1983): Trans. Roy. Soc. Edim., 73: 135-149.
- Evensen, M. M.; Hamilton, P. J. y O'Nions, R. K. (1978): Geochim. Cosmochim. Acta, 42: 1199-1212.
- Holtz, F. y Johannes, W. (1991): J. Petrol., 32: 909-934.
- Larrea, F.J.; Carracedo, M.; Cueto, L.A.; Quesada, C.; Gil Ibarguchi, J.I.; Ortega, L.A.; Fernández, F.J. (1992): Cad. Lab. Xeol. Laxe, 17: 209-222.
- Larrea, F.J., Carracedo, M., Alonso, A., Ortega, L.A.; Menéndez, M. (1999): Gámez, J. A., Eguíluz, L. y Palacios, T. (Eds.). International Meeting on Cadomian Orogens, Extended Abstracts: 159-169.
- Larrea, F. J. (1998): Tesis Doctoral, Univ. País Vasco: 1-459 + anexos (inédita).
- McCarthy, T.C. y Patiño, A.E. (1997). Geology, 25: 463-466.
- Patiño Douce, A.E. (1995): J. of Geophys. Res., 100: 15623-15639.
- Patiño Douce, A.E. (1999): Castro, A.; Fernández, C.; Vigneresse, J.L. (Eds.). Geol. Soc. London, Special Publications, 168: 55-75.
- Patiño Douce, A.E. y Beard, J.S. (1995): J. Petrol., 36: 707-738.
- Patiño Douce, A.E. y Beard, J.S. (1996): J. Petrol., 37: 999-1024.
- Peccerillo, A y Taylor, S.R. (1976): Contrib. Mineral. Petrol., 58: 63-81.