

# Enclaves en granitos peraluminicos alóctonos: El caso del Batolito de Cabeza de Araya (Cáceres, España)

*Enclaves in peraluminous allochthonous granites: The case study of Cabeza de Araya Batholith (Cáceres, Spain)*

O. García-Moreno, L. G. Corretgé

Dpto. de Geología. Universidad de Oviedo. C/ Jesús Arias de Velasco s/n. 33005. Oviedo. España.

## ABSTRACT

*This paper deals with the preliminar study of the petrography and geochemistry of the scarce enclaves of the peraluminous granites of Cabeza de Araya. Three types of enclaves have been distinguished: xenolithic enclaves, leucocratic igneous enclaves and tonalitic igneous enclaves. From geochemical diagrams and mass balance procedures, the different hypothesis have been tested. The main conclusion is that in absence of water-saturated melting processes of crustal rocks (pelites and graywackes metasediments CXG) the most plausible model is the reaction zone in which a contribution of some 25% of gabbroic rocks should be necessary to account the composition of the most mafic tonalitic enclaves.*

**Key words:** enclaves, petrography, geochemistry, mass balance, peraluminous granites, Cáceres, Spain.

*Geogaceta*, 27 (1999), 67-70  
ISSN: 0213683X

## Introducción

El objetivo de este trabajo es el estudio de los enclaves en uno de los tipos graníticos hercínicos ibéricos más deficitarios en enclaves. Se trata del Batolito de Cabeza de Araya, que se encuentra situado al oeste de la provincia de Cáceres y que ha sido estudiado desde diversas perspectivas (Corretgé, 1971; Corretgé *et al.* 1985; Pérez del Villar, 1988; Vigne-resse y Bouchez, 1997; etc).

Geológicamente, este batolito pertenece a lo que Castro (1984) definió como Batolito de Extremadura Central en la zona Centroibérica, siendo el de Cabeza de Araya el extremo más occidental del mismo.

No existe ningún precedente en el estudio de los enclaves en este batolito, por lo que este trabajo cobra mayor importancia, ya que es precisamente el Batolito de Cabeza de Araya, el que define una de las tipologías graníticas del Macizo Ibérico y por tanto era necesario un estudio petro-gráfico y geoquímico de sus enclaves, con el fin de aportar nuevos datos para la posible interpretación cortical (Villaseca *et al.*, 1998; Bea *et al.*, 1999) o híbrida (Castro *et al.*, 1999) de los granitoides peraluminicos alóctonos del Macizo Ibérico. Para ello hemos estudiado en detalle 20 enclaves tipo y efectuado 50 análisis (XRF) de elementos mayores y traza y 200 análisis puntuales (EPMA) de minerales (Ser-

vicios Comunes de Investigación de la Universidad de Oviedo).

Como antecedentes de trabajos sobre enclaves en áreas geológicas colindantes, pueden encontrarse en la literatura estudios sobre enclaves microgranudos en granodioritas de la serie calcoalcalina (Castro, 1990; Castro *et al.*, 1994). También se han estudiado enclaves microgranudos máficos de los granitoides tardihercínicos del Sistema Central (Barrera *et al.*, 1981), y Donaire (1995) describió la petrología y geoquímica de los enclaves asociados del Batolito de Los Pedroches.

## El Batolito de cabeza de Araya y sus enclaves

El batolito de Cabeza de Araya es un batolito zonado, bastante complejo petrográficamente. Corretgé (1971) y Corretgé *et al.* (1985) distinguen tres facies principales en este batolito, que constituyen la llamada serie de diferenciación: A) Granitos y granodioritas biotítico-moscovítico-cordieríticas con megacrístales de feldespato potásico; B) Granitos de dos micas de grano grueso no porfídicos y C) Granitos aplíticos y leucogranitos de grano medio. En estas facies, especialmente en las A y B, se pueden distinguir dos tipos fundamentales de enclaves:

- **Enclaves ígneos:** Son enclaves microgranudos con texturas claramente ígneas. Sus tamaños modales no suelen

superar los 25 cm. Tienen formas redondeadas y elipsoidales, los contactos son generalmente netos con el encajante granítico, pero también pueden ser graduales. Hemos distinguido dos subtipos, teniendo en cuenta su composición y aspecto macroscópico:

- Enclaves tonalíticos. Es el tipo de enclaves más frecuente entre las muestras estudiadas. Son enclaves oscuros, con abundante biotita. En algunos de los enclaves puede observarse una textura microporfídica con fenocristales de feldespato y biotita. Se trata de rocas de composición tonalítica a granodiorítica con texturas granudas de grano fino e incluso microgranuda, e hipidiomórficas. Su mineralogía es sencilla: plagioclasa (An20-45) (Fig. 1), cuarzo de distintas generaciones, feldespato potásico (Fig. 1), biotita, moscovita y cordierita. Como accesorios: apatito, ilmenita y circón.

- Enclaves félsicos. Son enclaves microgranudos cuya coloración es similar a la del granito donde se encuentran incluidos y sólo destacan en él por la diferencia granulométrica, ya que son de grano mucho más fino. También se han encontrado enclaves con textura microporfídica en este grupo. Son monzogranitos y granodioritas leucocráticas con biotita ± moscovita. Su textura es microgranuda, hipidiomórfica e inequigranular. La paragénesis de este tipo de enclaves es muy similar a la de los enclaves tonalíticos descritos anteriormente, lo

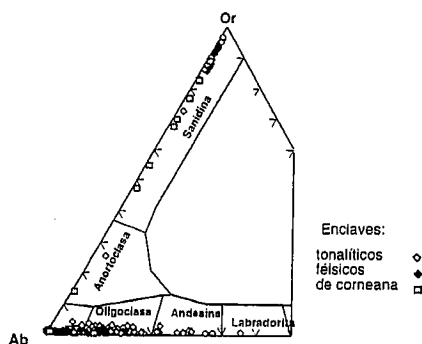


Figura 1. Clasificación de los feldespatos de los enclaves.

Figure 1. Enclave feldspars classification.

que varían son las proporciones en las que se encuentran las fases minerales, la composición de las plagioclasas, más ácidas (Fig. 1) y las texturas.

- **Enclaves metamórficos:** Aparecen con menor frecuencia que los enclaves ígneos. Sus tamaños y sus formas son similares a las de los enclaves microgranudos ígneos antes descritos. Las características que los distinguen son: texturas metamórficas, bandeado composicional y tamaño de grano muy fino. Su textura es microgranoblástica y microgranolepidoblástica, con tamaño de grano muy fino, en ocasiones equigranular pero también micropoiquiloblástica en algún enclave. Composicionalmente son corneanas con la siguientes paragénesis: And+ Cord+Bio+(Q,Pg,Fto K), Cord±Bio+(Q,Pg,Fto K), Cord+Bio+Pg+(Q,Pg,Fto K).

También se han observado algunos en-

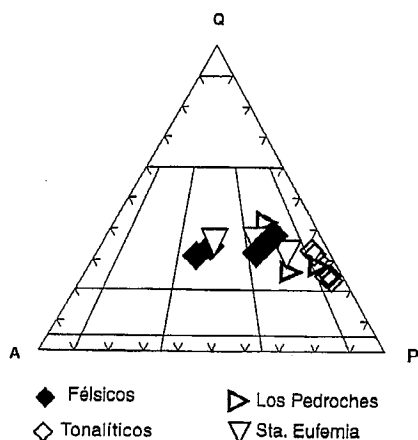


Figura 2. Proyección QAP de los enclaves.

Figure 2. QAP projection of the enclaves.

claves constituidos por tumalina y cuarzo.

**Geoquímica**

En la tabla 1 se representan los valores promedios de los análisis químicos para elementos mayores y trazas, de enclaves y facies principales del batolito.

Los análisis de elementos mayores en los **enclaves ígneos** muestran diferencias entre los dos tipos de enclaves que hemos definido en este trabajo. Así, los contenidos en TiO<sub>2</sub>, MgO y CaO son obviamente superiores para los enclaves tonalíticos, mientras que los contenidos en SiO<sub>2</sub> y K<sub>2</sub>O son menores para estos enclaves. También existen diferencias entre los dos grupos en cuanto a los contenidos en elementos traza: V, Ni, Cu y Zn.

Para la representación de los enclaves en el triángulo **QAP** (Fig. 2) se ha calculado la composición modal (Tab. 1) a partir de los análisis químicos de elementos mayores, mediante resolución por mínimos cuadrados de sistemas vectoriales sobredimensionados con algoritmos del programa Matlab. En la figura 3, además de los enclaves ígneos del Batolito de Cabeza de Araya, se han representado los enclaves del Batolito de Los Pedroches de Donaire (1995) (enclaves denominados «Los Pedroches») y García-Casco et al (1989) (enclaves denominados «Sta. Eufemia»). Los enclaves tonalíticos son las únicas rocas que se proyectan en el campo de las tonalitas entre todas las litologías definidas en el Batolito de Cabeza de Araya.

Los enclaves ígneos, así como los análisis de la tres principales facies A, B

	tonal	félsi	xenol	turma	Facies A	Facies B	Facies C
SiO <sub>2</sub>	64,56	70,78	64,67	43,84	71,49	73,52	74,32
TiO <sub>2</sub>	1,15	0,37	0,86	1,34	0,32	0,23	0,15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,82	14,82	15,39	24,02	15,19	14,03	14,51
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,83	2,25	8,25	14,89	0,30	0,57	0,13
MgO	1,39	0,49	2,07	3,28	0,50	0,53	0,26
MnO	0,05	0,02	0,09	0,12	0,04	0,03	0,02
CaO	2,10	0,88	0,18	0,66	0,84	0,66	0,36
Na <sub>2</sub> O	4,49	3,91	1,56	1,22	3,37	3,41	3,86
K <sub>2</sub> O	2,39	5,04	3,78	1,83	4,62	4,11	4,11
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,51	0,29	0,14	0,48	0,23	0,18	0,30
LOI	1,10	0,61	2,22	2,65	0,97	1,18	0,74
TOTAL	99,38	99,47	99,17	94,33	99,77	99,80	99,77
V	93	20	149	257	18,02	15,12	11,46
Cr	37	24	126	226	37,45	33,60	29,29
Co	10	5	12	18	3,18	3,27	1,20
Ni	15	6	45	26	17,03	36,70	15,03
Cu	16	4	93	11	15,72	125,59	7,84
Zn	148	62	216	475	62,81	58,26	49,91
Rb	240	241	359	243	266,96	323,13	257,97
Sr	69	48	17	10	65,48	53,68	29,43
Y	35	21	21	43	3,05	2,83	0,68
Zr	311	212	227	322	93,66	67,97	59,52
Nb	35	18	34	58	22,49	22,93	12,66
Ba	157	262	154	83	309,85	210,98	169,58
U	6	5	7	9			
Th	18	18	15	179			
Pb	18	29	12	11	31,23	24,45	22,43
ASI	1,77	1,51	3,15	6,47			
Q	23,80	28,31	33,15	-			
Pg	56,51	34,10	8,20	-			
FtoK	<4	21,65	12,96	-			
Bio	26,69	8,38	23,52	-			
Cord	-	2,47	21,80	-			
Mosc	-	6,39	11,73	-			

Tabla 1. Análisis promedios de enclaves y granitos encajantes.

Table 1. Mean analysis from enclaves and host granites.

y C de Cabeza de Araya, se han representado en los diagramas multicatiónicos de Debon y LeFort (1983), (figuras 3 y 4). Los enclaves tonalíticos se proyectan, según el diagrama P-Q, en los campos de las tonalitas, las granodioritas y las adamellitas, y los félsicos comparten el campo de las adamellitas con ellos y también ocupan el campo de los granitos.

Respecto a los elementos traza, se han construido varios diagramas «spider», uno de los cuales compara la composición en elementos traza de los enclaves con respecto a la corteza continental (Taylor y McLennan, 1985). En este diagrama (Fig. 5a) podemos observar como los enclaves ígneos están empobrecidos en Sr y Ba con respecto a la corteza continental, efecto muy ligado al quimismo de la plagioclasa, y muy enriquecidos en K<sub>2</sub>O y Th, y en menor medida, en el resto de los elementos. El diagrama «spider» que compara la composición de los enclaves ígneos con los datos de las Pizarras de la Serie Superior (Ugidos, 1997) (Fig. 5b) muestra una tendencia similar al anterior diagrama, con respecto al empobrecimiento en Sr y Ba, mientras que para el resto de elementos las tendencias son más dispersas.

Los enclaves metamórficos muestran, como es lógico, diferencias en los contenidos de elementos mayores y trazas con respecto a los enclaves ígneos: destaca su alto contenido en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, V, Cr, Ni, Cu, Zn y Rb, y contenido más bajo en CaO, Na<sub>2</sub>O y Sr.

**4. Discusión y conclusiones: posible origen de los enclaves**

**Enclaves metamórficos:** Parece obvio pensar que los enclaves metamórficos distinguidos en este trabajo, son de origen xenolítico, es decir, son fragmentos de rocas derivadas del encajante, transformadas en corneanas, que han sufrido algunas modificaciones en su composición y textura.

**Enclaves félsicos:** para los enclaves félsicos, cuya similitud con algunos granitos de este batolito (Facies C) es muy destacable, la hipótesis que mejor parece explicar su origen es la que se refiere a los «márgenes de enfriamiento» del plutón. Los enclaves microgranudos félsicos son generalmente interpretados como fragmentos de bordes de enfriamiento tempranos que se han incluido en la masa granítica durante el proceso de emplazamiento (Didier, 1973; Chen et al. 1989).

**Enclaves tonalíticos:** El origen de estos enclaves no está tan claro. Se pueden considerar las siguientes hipótesis:

1) La primera hipótesis que podemos considerar es la de «líquidos primarios». Parece sencillo pensar que un magma primario de composición tonalítica pudo coexistir con los magmas graníticos de

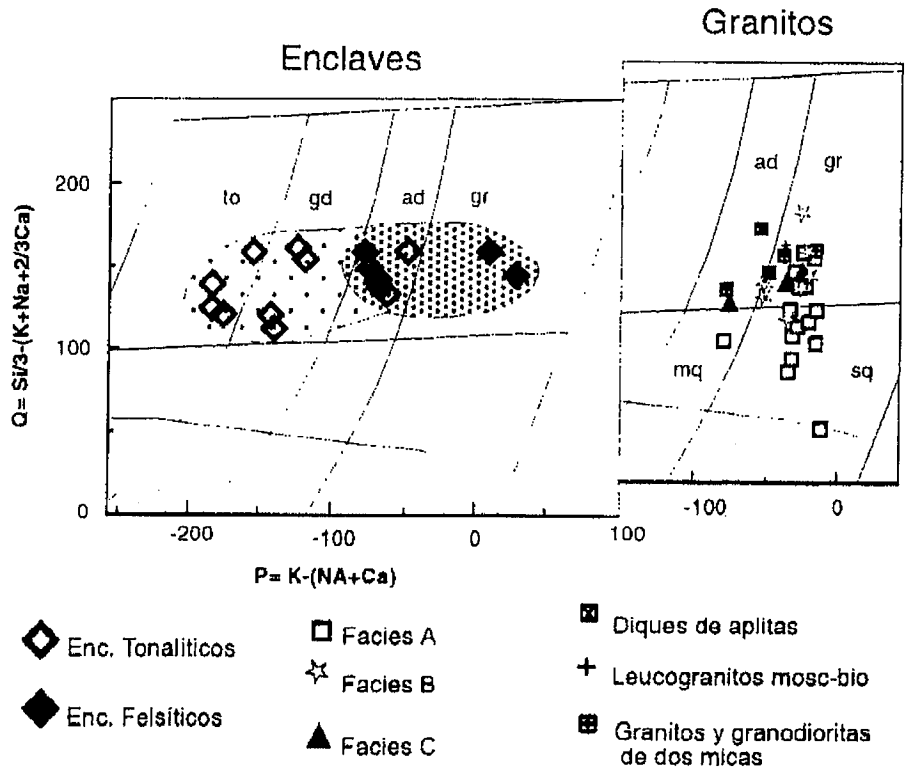


Figura 3. Diagramas de clasificación multicatiónicos de enclaves y rocas encajantes.

Figure 3. Enclaves and host granites rocks multicationic classification diagrams.

Cabeza de Araya. Las diferencias composicionales entre los diferentes enclaves se pueden explicar por procesos posteriores de cristalización fraccionada. Para apoyar la validez de este modelo genético se ha elegido la composición del enclave tonalítico más básico, y se ha calculado el líquidus para un posible magma primario con esta composición (software PELE de Duke University) (Ghiorso, 1985 y Ghiorso y Shack, 1995). Las temperaturas extremadamente altas (1115-1120°C a presiones entre 2 y 5 kbar) hacen pensar que esta hipótesis no es aplicable, ya que en sí mismo, el magma tonalítico, al estar posiblemente algo evolucionado, precisaría todavía de una procedencia de un líquidus de temperatura aún más alta.

2) **Hipótesis restítica:** Se ha recurrido a la relación existente entre la composición (química y mineralógica) de enclaves y granitos encajantes para corroborar esta hipótesis (Chappel y White, 1987).

Si suponemos que la fuente de fusión está constituida por rocas del Complejo Esquisto-Grauváquico (CXG), hecho que parece razonable, el balance de masas, que puede efectuarse con un elemental procedimiento gráfico, requiere que los residuos de fusión, a partir de las pizarras del CXG, sean ricos en biotita y cordierita. Esto se puede observar en el

diagrama A-B (Fig. 4), donde la geoquímica de las rocas fuente y los enclaves no cumplen relaciones apropiadas de balance de masas para los elementos mayores con respecto a los fundidos gra-

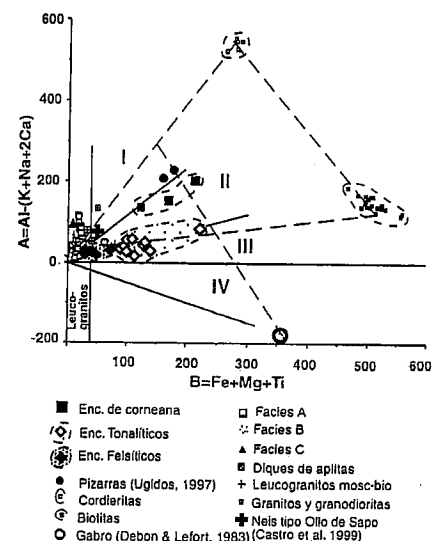


Figura 4. Diagrama A-B multicatiónico: las líneas unen los minerales y rocas necesarios para los balances gráficos de masas.

Figure 4. Multicationic A-B diagram: tie lines between minerals and rocks to account for the graphic mass balance.

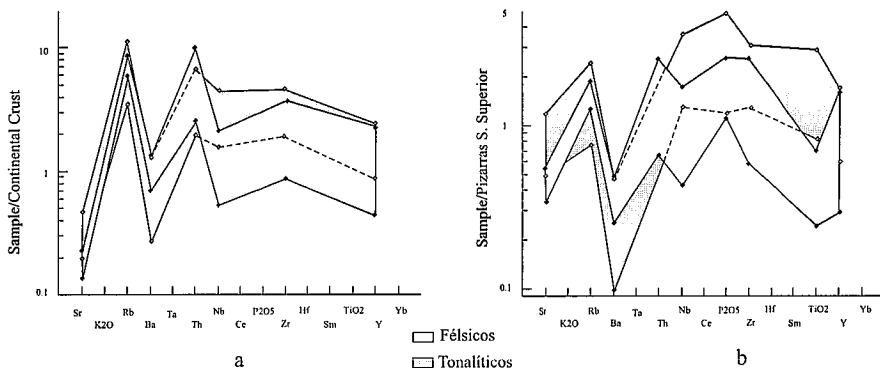


Figura 5. Diagramas multielementales normalizados.

Figure 5. Spider diagrams.

níticos, representados por las litologías de Cabeza de Araya. Respecto a los elementos menores y trazas, basándose en los coeficientes de reparto (Bea et al., 1994), podemos añadir que, si los enclaves tonalíticos fuesen un residuo del CXG parcialmente fundido, las relaciones tonalita/pizarra deberían crecer mucho para los elementos: Sr, Rb, Ba,  $P_2O_5$  y Nb, pero en nuestro caso esto no se cumple para el Sr y Ba (Fig 5). Si consideramos que el control geoquímico de estos elementos fuese casi exclusivo de la biotita, es decir, que la proporción  $Bi/Pg+FK+Bi$ , fuese mucho mayor en los enclaves que en las rocas del CXG, de las que presuntamente derivarían, en la relación tonalita/pizarra disminuirían el Sr y el Ba, mientras que aumentarían el Rb,  $P_2O_5$  y Nb, cosa que en realidad ocurre, (Fig. 5). Esto permitiría explicar las tonalitas como restitas ricas en biotita, sin embargo, como se ha dicho anteriormente, el balance de masas para los elementos mayores (Fig. 4) impide tal posibilidad. Sólo existe una posibilidad factible y es que la fusión del CXG produjese residuos cordieríticos y «fundidos» primarios tonalíticos ricos en biotita, en cuyo caso los enclaves cumplirían las exigencias de balance de masas y las exigencias impuestas por el comportamiento de los elementos trazas anteriormente citados. Las evidencias experimentales (Castro et al. 1999) no permiten por ahora justificar esta posibilidad, salvo en el caso de fusión en condiciones hidratadas (saturación de  $H_2O$ ).

Si suponemos, una fuente nefésica (por ejemplo litologías tipo «Ollo de Sapo»), su proyección en el diagrama A-B estaría a medio camino entre los granitos y la tonalita más básica (coincidiendo con la proyección de algunos de nuestros enclaves). La fusión de rocas fuente de este tipo ha sido estudiada (Castro et al.,

1999) y se ha establecido que bajo condiciones anhidras los magmas que se generan son graníticos, y en este caso, los enclaves, más tonalíticos, podrían representar el residuo de esta fusión. Pero si las condiciones son distintas y la fusión se produce bajo condiciones hidratadas o con abundancia de filosilicatos, los fundidos que se generarían tienen carácter granodiorítico y tonalítico, y no podrían dejar un residuo tonalítico a su vez.

3) «Mezcla de magmas»: Es la hipótesis para el origen de los enclaves ígneos microgranulares que más aceptación ha conseguido en los últimos trabajos (Vernon, 1990; Castro, 1994, 1990; Moreno-Ventas et al., 1995; Sergi, 1997; etc). Las características texturales y mineralógicas de tal proceso parecen concordar con las observaciones texturales que se han realizado en estos enclaves, sin embargo hay otros hechos que hacen débil esta hipótesis. Para que la hibridación de un magma básico con los magmas del granito de Cabeza de Araya, diera como resultado la composición del magma de los enclaves, por balance de masas (Fig. 4), el magma máfico debería tener una composición melanotonalítica-trondjemítica muy rica en biotita, rocas no conocidas en el entorno petrogenético de este batolito, aunque no en otros dominios con granitos calcoalcalinos (García de los Ríos, 1981; Gallastegui, 1993), en donde se observan vaugneritas hipermicáceas susceptibles de soportar este modelo de mezcla.

4) Zona de reacción: Recientemente se ha barajado esta hipótesis, que no estaría en desacuerdo con las evidencias propuestas para la hipótesis de mezcla de magmas, y que está basada en datos de petrología experimental e isotópicos. Castro et al. (1999) proponen esta zona de reacción para explicar el origen de gran par-

te de los granitoides del Macizo Ibérico. Este mecanismo se basa en la reacción en zonas de profundidad de rocas fuente (posiblemente del CXG) con un magma gabroico, formándose un magma híbrido por la asimilación de dichas rocas fuente. Si consideramos esta hipótesis, y por balance de masas, vemos que es factible la formación de los enclaves tonalíticos más máficos con una mezcla de 75% de CXG y un 25% de magma gabroico.

## Referencias

- Barrera, J. L., Bellido, F. y Peinado, M. (1981). *Cuad. Geol. Ibérica*. 7: 235-253.
- Bea, F.; Montero, P. y Molina, J. F. (1999). *Jour. Geol.* 107, 399-419.
- Bea, F.; Pereira, M.D. y Stroh, A. 1994. *Chemical Geology*. 117: 291-312.
- Castro, A. (1984). *Tesis Doctoral*. Univ. Salamanca.
- Castro, A. (1990). *Rev. Soc. Geol. España*, 3(1-2):7-21.
- Castro, A.; Moreno-Ventas, I. y De la Rosa, J. D. (1994): *Bol. Geol. Min.* 105-3: 285-305.
- Castro, A.; Patiño Douce, A. E.; Corretgé, L. G.; de la Rosa, J. D.; El-Biad, M. y El-Hmidi, H. (1999): *Contrib. Mineral. Petrol.* 135, 255-276.
- Corretgé, L.G., (1971): *Tesis Doctoral*. Universidad de Salamanca. 453 pp.
- Corretgé, L. G., Bea, F. y Suárez, O. (1985): *Trabajos Geol. Univ. Oviedo*. 15: 219-238.
- Chappel, B.W.; White, J. R. y Wyborn, D. (1987): *Jour. Petrol.* 28: 1111-1138.
- Chen, Y.D.; Price, R.C. y White, J. R. (1989): *Jour. Petrol.* 30: 1181-1218.
- Debon, F. y LeFort, P. (1983): *Trans. Roy. Soc. Edin.* 73: 135-149.
- Didier, J. y Barbarin, B. (1991): Elsevier, Amsterdam, 625pp.
- Donaire, T. (1995): *Tesis Doctoral*. Universidad de Huelva.
- Gallastegui, G. (1993): *Tesis Doctoral*. Universidad de Oviedo.
- García-Casco, A., Pascual, E. y Fenoll Hach-Alf, P. (1989): *Estudios Geol.* 45: 3-20.
- García de los Ríos, J. I. (1981): *Tesis de Licenciatura*. Universidad de Salamanca.
- Ghiorso, M. (1985): *Contrib. Mineral. Petrol.* 90: 107-120.
- Ghiorso, M. y Shack, R.O. (1995): 119: 197-212.
- Moreno-Ventas, I., Rogers, G. y Castro, A. (1995): *Contrib. Mineral. Petrol.* 120: 137-149.
- Pérez del Villar, L. (1988): *Tesis Doctoral*. Universidad de Salamanca.
- Sergi, A. (1997): *Mineral. Petrol. Acta*, 61: 91-117.
- Vernon, R. H. (1990): *Jour. Geophys. Res.* 95: 17849-17859.
- Vignerresse, J. L. y Bouchez, J. L. (1997): *Jour. Petrol.* 38, 1767-1776.
- Villaseca, C.; Barbero, L. y Roger, G. (1998): *Lithos.* 43, 55-79.