

# Evolución petrogenética del magmatismo básico mesozoico en las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas (S. España)

*Petrogenetic evolution of the Mesozoic basic magmatism in the External Zones of the Betic Cordilleras (S. Spain)*

D. Morata (\*), E. Puga (\*\*), A. Demant (\*\*\*) y L. Aguirre (\*\*\*\*)

(\*)Departamento de Cristalografía, Mineralogía, Estratigrafía, Geodinámica y Petrología y Geoquímica. Facultad de Ciencias del Mar. Universidad de Cádiz. 11510 Puerto Real, Cádiz (España).

(\*\*)Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra y Departamento de Mineralogía-Petrología. C.S.I.C.-Universidad de Granada. Facultad de Ciencias. c/ Fuentenueva s.n. 18002 Granada (España).

(\*\*\*)Laboratoire de Pétrologie Magmatique. URA CNRS 1277 et FU 17, CEREGE BP 80, 13545 Aix-en-Provence. Cedex 04. (Francia)

(\*\*\*\*)Departamento de Geología. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile. Casilla 13518, correo 21. Santiago de Chile (Chile).

## ABSTRACT

*Mesozoic basic magmatism from the External Zones of the Betic Cordilleras consisted of two magmatic events. The first one began at the end of the Triassic and the second developed during the Jurassic. Whole-rock geochemical characteristics and primary mineralogical compositions allow to define a tholeiitic affinity for the Triassic magmatism and a transitional to alkaline affinity for the Jurassic magmatism. Trace element ratios evidence an incompatible element enriched source ( $(La/Ce)_n > 1$ ,  $La/Nb < 1.5$ ) for both the Triassic and Jurassic magmatisms. Moreover, differences in other trace element ratios (Th/Nb, Th/Yb, Zr/Nb, Zr/Y, Ba/Zr, etc.) indicate a higher influence of a lithospheric component for the Triassic magmatism regarding to the Jurassic magmatism. This temporal evolution of the magmatism, is related with the distensive events which affected the Sudiberic margin during the Mesozoic, in relation with the opening of the Central Atlantic ocean.*

**Key words:** Geochemistry; petrogenesis; continental magmatism; External Zones; Betic Cordilleras; Spain.

*Geogaceta*, 20 (3) (1996), 576-578  
ISSN:023683X

## Introducción

Los contenidos y relaciones de elementos traza pueden ayudar a deducir los diferentes procesos petrogenéticos que han participado en la génesis de los fundidos en ambientes continentales (naturaleza del área fuente, tasas de fusión parcial, procesos de contaminación por el manto litosférico o por la corteza continental suprayacentes, etc.). En este trabajo se presenta un modelo petrogenético para el magmatismo Mesozoico de las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas (ZECB) basado en las concentraciones y relaciones de elementos en traza. Este modelo petrogenético se enmarca en el proceso evolutivo del margen Sudibérico durante el Triásico-Jurásico, relacionado con los procesos de apertura del Atlántico Central.

## Características petrológicas y geoquímicas del magmatismo Mesozoico

En la evolución mesozoica del margen Sudibérico es posible diferenciar dos eventos magmáticos separados temporal-

mente. El primero tuvo lugar a finales del Triásico, mientras que el segundo se desarrolló a lo largo del Jurásico (Portugal-Ferreira *et al.*, 1995). Las características petrológicas y geoquímicas de este magmatismo Mesozoico han sido abordadas en sus diferentes aspectos por Puga y Ruiz-Cruz (1980), Comas *et al.*, (1986), Puga (1987), Puga y Díaz de Federico (1988), Puga y Portugal (1989), Puga *et al.*, (1988, 1989), Morata y Puga (1992, 1993), Morata (1993) y Portugal *et al.*, (1995), y están resumidas en la Tabla 1.

Tanto los productos resultantes del magmatismo Triásico como del Jurásico han sufrido transformaciones metamórficas en condiciones de grado bajo a muy bajo, por lo que sus contenidos iniciales de elementos químicos móviles han sido modificados durante estos procesos. Sin embargo, los contenidos de determinados elementos traza, así como de  $TiO_2$  y  $P_2O_5$  y, sobre todo, las razones entre estos elementos (Tabla 1), pueden ser considerados constantes durante los procesos secundarios, por lo que podrán ser utilizados para obtener información sobre la afinidad geoquímica de estos magmas, así

como sobre los diferentes procesos petrogenéticos experimentados. Utilizando este tipo de datos se puede deducir una afinidad toleítica para el magmatismo Triásico y una afinidad transicional-alkalina para el Jurásico.

## Modelo petrogenético evolutivo

Las características geoquímicas del magmatismo básico de las ZECB son propias de un magmatismo generado en ambiente de intraplaca continental y, al igual que en otras áreas donde se desarrolla este tipo de magmatismo, los modelos petrogenéticos aplicables deben considerar la posibilidad de la influencia de contaminación por la corteza continental así como la naturaleza de la fuente mantélica (litosférica vs astenosférica).

La presencia de xenolitos y xenocristales procedentes de metapelitas en algunos basaltos y doleritas jurásicos (Puga y Portugal, 1989; Puga *et al.*, 1989; Morata y Puga, 1992) induce a pensar en la influencia, al menos, de un componente cortical en la petrogénesis de estas rocas. De hecho, en el diagrama Th/Yb vs Ta/Yb (Figura 1) las rocas triásicas se proyectan

fuera del *trend* mantélico, probablemente debido al enriquecimiento en Th durante los procesos de asimilación de materiales corticales, mientras que las rocas jurásicas se proyectan plenamente según dicho *trend*, con una evolución geoquímica coherente con la de los basaltos de intraplaca. En este diagrama se ha indicado además la evolución observada entre niveles sin presencia de xenolitos y aquellos en los cuales estos aparecen, observándose cómo, efectivamente, la asimilación de pelitas supone, al menos, un aumento en la relación Th/Yb. Según esto, en la génesis del magmatismo Triásico (con mayores relaciones Th/Yb) participó un componente cortical, mientras que en la del magmatismo Jurásico este componente cortical estaría limitado a algunos niveles concretos.

Por otro lado, si consideramos el comportamiento de algunas relaciones entre elementos traza con similar grado de incompatibilidad, podremos deducir las abundancias de estas relaciones en la fuente mantélica. En este sentido, las rocas toleíticas están caracterizadas por mayores valores de la razón Th/Nb y valores de Zr/Sm menores que las jurásicas (tabla 1). Además, ambos magmatismos presentan valores de  $(La/Ce)_n > 1$  (Tabla 1), lo que es indicativo de una génesis a partir de una fuente mantélica enriquecida en elementos incompatibles, aunque con diferencias entre el Triásico y el Jurásico. En este sentido, en la Figura 2 se proyectan las relaciones de Zr/Nb vs Zr/Y de ambos magmatismos, poniéndose de manifiesto cómo los dos muestran características composicionales intermedias entre los polos extremos de los OIB y E-MORB, con una mayor similitud hacia los OIB en el caso del magmatismo Jurásico. Análogamente, los valores de  $(La/Nb) < 1.5$  indicarían, según Thompson & Morrison (1988), la génesis de estos magmas a partir de una fuente astenosférica, aunque los mayores valores de la razón La/Nb para el magmatismo Triásico pueden indicar un mayor componente litosférico en su génesis. Fitton *et al.*, (1995) han mostrado cómo la razón Ba/Zr es un buen indicador de la influencia de la contaminación de magmas de procedencia astenosférica por componentes litosféricos. En este sentido, los mayores valores de Ba/Zr para el magmatismo Triásico corroboran, a pesar de la movilidad del Ba, el mayor componente litosférico en la génesis de los magmas triásicos que en la de los jurásicos.

### Conclusiones

El modelo petrogenético propuesto para el magmatismo Mesozoico de las

	Magmatismo Triásico	Magmatismo Jurásico
Mineralogía primaria	opx + pl + aug ± pig. bt + hb + apat + óxidos Fe-Ti como accesorios Qtz en facies diferenciadas	ol + aug-Ti + pl bt + hb-Ti + apat + óxidos Fe-Ti como accesorios
Quimismo piroxenos	toleítico	alcalino
Paragénesis secundaria	facies Pr-A, Pr-P, P-A	facies Zeol, Pr-A, Pr-P, P-A
Norma CIPW	Hy ± Qtz	Ol ± Nef
<i>Valores calculados a partir de valores medios de rocas no diferenciadas</i>		
SiO <sub>2</sub>	52.47	48.66
TiO <sub>2</sub>	1.22	2.29
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.16	0.40
[mg]	0.55	0.59
Th	2.40	1.40
Zr	107	188
Cr	152	167
Clasificación TAS	andesitas basálticas	hawaitas-basaltos
Nb/Y	0.44	0.52
Ba/La	17.55	9.03
Zr/Nb	9.54	11.02
Zr/Y	4.19	5.76
Ba/Nb	20.15	7.89
Rb/Nb	2.90	1.09
Zr/Hf	35.46	44.41
La/Nb	1.15	0.87
Ti/V	26.19	62.14
Ti/Zr	68.43	72.93
Th/Nb	0.33	0.13
Zr/Sm	34.85	38.67
<i>valores normalizados al manto primitivo</i>		
$(La/Ce)_n$	1.30	1.51
$(La/Nd)_n$	1.88	2.83
$(Sm/Yb)_n$	2.79	3.08
$(La/Yb)_n$	6.65	10.76
<b>AFINIDAD GEOQUIMICA</b>	<b>TOLEITICA</b>	<b>TRANSICIONAL A ALCALINA</b>

Tabla 1.- Características petrológicas y geoquímicas del magmatismo Mesozoico en las ZECB. Abreviaturas de minerales: apat = apatito; aug = augita; bt = biotita; hb = hornblenda; hy = hiperstena normativa; opx = ortopiroxeno; pig = pigeonita; pl = plagioclasa; qtz = cuarzo. Valores de normalización referidos al manto primordial de Sun & McDonough (1989). Zeol = facies ceolita, Pr-A = facies prehnita-actinolita, Pr-P = facies prehnita-pumpellyita, P-A = facies pumpellyita-actinolita.

Table 1.- Petrological and geochemical characteristics of the Mesozoic magmatism from the ZECB. Minerals abbreviations: apat = apatite; aug = augite; bt = biotite; hb = hornblende; hy = normative hyperstene; opx = orthopyroxene; pig = pigeonite; pl = plagioclase; qtz = quartz. Primordial mantle normalizations values are from Sun & McDonough (1989). Zeol = zeolite facies, Pr-A = prehnite-actinolite facies, Pr-P = prehnite-pumpellyite facies, P-A = pumpellyite-actinolite facies.

ZECB supone la génesis a partir de una fuente mantélica enriquecida en elementos incompatibles con mayor componente litosférico durante el Triásico, evolucionando hacia una fuente mantélica más

astenosférica en el Jurásico. Además, la presencia de xenolitos y xenocristales implica la presencia de un componente cortical en la petrogénesis de estos magmas. Este magmatismo está relacionado con la evolu-

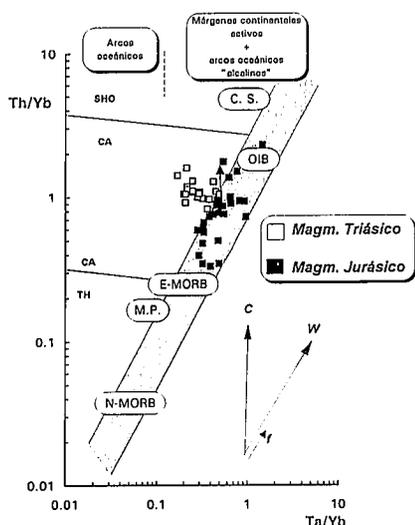


Fig. 1.- Diagrama Th/Yb vs Ta/Yb (Pearce, 1983). El vector C indica el enriquecimiento producido durante los procesos de contaminación cortical, W el enriquecimiento propio de la diferenciación ígnea en ambientes de intraplaca y f el enriquecimiento según procesos de cristalización fraccionada. La flecha une niveles de rocas volcánicas jurásicas conteniendo xenolitos de rocas pelíticas con otros sin xenolitos, dentro de la misma columna estratigráfica. Valores del manto primordial (M.P.), E-MORB, N-MORB y OIB tomados de Sun & McDonough (1989). Valores de la corteza superior (C.S.) según Taylor & MacLeaman (1985).

Fig. 1.- Th/Yb vs Ta/Yb diagram (Pearce, 1983). Vector C indicates the crustal contamination enrichment, vector W indicates the within plate igneous differentiation trend and vector f the crystal fractionation enrichment. Arrows link Jurassic volcanic rocks, from the same stratigraphic profile, with pelitic xenoliths and levels without them. Primordial mantle (P.M.), E-MORB, N-MORB and OIB values are from Sun & McDonough (1989); Upper crust (U.C.) values from Taylor & MacLeaman (1985).

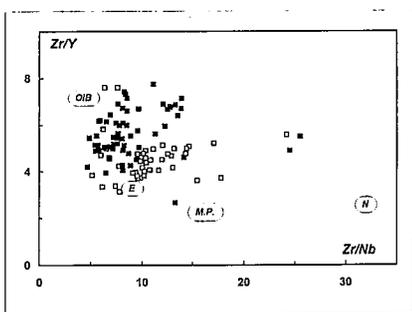


Fig. 2.- Diagrama Zr/Y vs Zr/Nb. E = E-MORB, N = N-MORB, M.P. = manto primordial y OIB tomados de Sun & McDonough (1989). Símbolos como en la figura 1.

Fig. 2.- Zr/Y vs Zr/Nb diagram. E = E-MORB, N = N-MORB, M.P. = primordial mantle and OIB values from Sun & McDonough (1989). Symbols as in figure 1.

ción geodinámica del margen Sudibérico en conexión con la apertura del Atlántico Central. Sus características geoquímicas responden a una distensión progresiva de la corteza continental desde el Triásico hasta el Jurásico, caracterizada por un adelgazamiento cortical y un magmatismo básico asociado que evoluciona de toleítico en el Triásico a transicional-alcalino el Jurásico. En estas condiciones, la contaminación cortical sería la responsable de la generación de fundidos más enriquecidos en SiO<sub>2</sub> y Th con menores concentraciones de Nb, a partir de los cuales se podrá producir la cristalización de ortopiroxeno y pigeonita (magmatismo toleítico Triásico). Por el contrario, en el caso del magmatismo transicional-alcalino Jurásico, la mayor distensión sería responsable de la producción de magmas basálticos menos contaminados, con mayor signatura astenosférica, en los que es posible la cristalización de olivino. Según este modelo, el carácter toleítico del magmatismo Triásico habría sido originado, principalmente, por la mayor contaminación litosférica de estos magmas. Un proceso evolutivo similar, con paso de fuente mantélica con mayor componente litosférico a mayor componente astenosférico ha sido recientemente descrito por Fitton *et al.*, (1995) para la génesis de basaltos relacionados con los primeros estadios de apertura del Atlántico Norte.

**Agradecimientos**

Este trabajo ha sido realizado en el marco del Proyecto de Investigación de la C.I.C.Y.T. PB92-0952, Grupo de Investigación de la Junta de Andalucía 4072 y Acción Integrada hispano-francesa HF-221B. Este trabajo es una contribución al PICG nº 336.

**Referencias**

Comas, M.; Puga, E.; Bargossi, G.M.; Morten, L. & Rossi, P.L. (1986). *N. Jb.*

*Min. Geol. Pal. Mh.*, H-7, 385-404.  
 Fitton, J.G.; Saunders, A.D.; Larsen, L.M.; Fram, M.S.; Demant, A.; Sinton, C. & Leg 152 shipboard scientific party. (1995). *J. Geol. Soc. London*, 152, 985-990.  
 Morata, D. (1993). *Tesis Doctoral, Universidad de Granada*, 342 pp.  
 Morata, D. y Puga, E. (1992). *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, 72, 379-387.  
 Morata, D. y Puga, E. (1993). *Bol. Soc. Esp. Min.*, 15, 175-187.  
 Pearce, J.A. (1983). *in*: C.J. Hawkesworth & M.J. Norry (eds.). *Continental basalts and mantle xenoliths. Shiva, Cheshire, UK*, 230-249.  
 Portugal-Ferreira, M.; Morata, D.; Puga, E.; Demant, A. & Aguirre, L. (1995). *Estudios geol.*, 51, 109-118.  
 Puga, E. (1987). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 305, série II, 1503-1506.  
 Puga, E. & Díaz de Federico, A. (1988). *Rev. Soc. Esp. Geol.*, 1, 113-127.  
 Puga, E. & Portugal, M. (1989). *in*: Bonin *et al.* (eds.). *Geochemical and geophysical aspects of the interactions and evolution of magmas and rocks on the crust. Teophrastus Publications, Atenas*, 115-159.  
 Puga, E.; Portugal, M.; Díaz de Federico, A.; Bargossi, G. & Morten, L. (1989). *Geodinamica Acta*, 3, 235-266.  
 Puga, E. y Ruiz-Cruz, M.D. (1980). *Cuad. Geol. Univ. Granada*, 11, 127-155.  
 Puga, E.; Van de Fliert, J.R.; Torres-Roldán, R.L. & Sanz de Galdeano, C. (1988). *Estudios geol.*, 44, 47-59.  
 Sun, S.S. y McDonough, W.F. (1989). *in*: A.D. Saunderson & M.J. Norry (eds.), *Magmatism in the Ocean Basins. Geol. Soc. London, Sp. Pub.*, 42, 313-345.  
 Taylor, S.R. y MacLeaman, S.M. (1985). *The continental crust: its composition and evolution. Oxford, Blackwell Scientific Publication*. 312 p.  
 Thompson, R.N. & Morrison, M.A. (1988). *Chem. Geol.*, 68, 1-15.