

EVOLUCION GEOQUIMICA Y TEMPORAL DEL MAGMATISMO BASICO MESOZOICO EN LAS ZONAS EXTERNAS DE LAS CORDILLERAS BETICAS

M. Portugal-Ferreira *, D. Morata **, E. Puga ***, A. Demant **** y L. Aguirre *****

RESUMEN

El magmatismo básico mesozoico de las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas (ZECB) está representado por bloques tectónicos de pequeñas dimensiones («*ofitas*») intercalados entre los sedimentos arcilloso-yesíferos del Trías Keuper y por niveles de pillow-lavas intercalados entre los sedimentos jurásicos. El quimismo de estas rocas indica diferencias significativas entre ellos. Dentro de las «*ofitas*» se ha puesto de manifiesto la existencia de dos grupos con afinidades geoquímicas diferentes: a) con ortopiroxeno modal y afinidad toleítica, y b) con olivino modal y afinidad transicional-alcalina. El quimismo de este último grupo presenta rasgos composicionales similares a los de las rocas volcánicas presentes entre los sedimentos jurásicos.

Las relaciones de campo observadas en algunos afloramientos de «*ofitas*» permiten establecer que las de afinidad toleítica aparecen, mayoritariamente, como rocas extrusivas. Las dataciones K-Ar más antiguas obtenidas para estas rocas han dado edades de 182 ± 9 a 187 ± 4 M.a., que no coinciden exactamente con las edades del Trías Superior. Las «*ofitas*» de afinidad transicional-alcalina aparecen siempre como rocas subvolcánicas y la edad radiométrica más antigua obtenida es de 137 ± 4 M.a. Todas estas edades radiométricas obtenidas se deben interpretar como un resultado de la hibridación de las edades del magmatismo Triásico y del metamorfismo de grado bajo a muy bajo que presenta estas rocas. Este metamorfismo es el responsable de la formación de paragénesis secundarias constituidas por prehnita + pumpellyita + sericita + filosilicatos máficos. Las edades radiométricas obtenidas para las rocas volcánicas intercaladas entre los sedimentos jurásicos varían entre 155 ± 3 y 166 ± 4 M.a.

Estos nuevos datos permiten precisar la evolución del magmatismo durante el Mesozoico en las ZECB. Durante las primeras etapas distensivas del Triásico tiene lugar el magmatismo toleítico. Posteriormente, y en un proceso progresivo de distensión, con importante adelgazamiento cortical, tuvo lugar el magmatismo de afinidad transicional-alcalina. Este segundo evento magmático está representado por pillow-lavas intercaladas entre los sedimentos jurásicos, así como por cuerpos subvolcánicos intercalados entre los del Triásico.

Palabras clave: *Magmatismo básico mesozoico, dataciones, geocronología K-Ar, Zonas Externas, Cordilleras Béticas.*

ABSTRACT

The Mesozoic basic magmatism found in the External Zones of the Betic Cordilleras (ZECB) is represented either as «*ophites*» forming small dimension tectonic blocks intercalated in the Keuper gypsum-rich, clay sediments, or also as lava flow bodies, most of them with pillow structures, within the Jurassic sedimentary rocks. Geochemical characteristics of these rocks indicate some differences between these two magmatic series. Two different chemical affinities have been carried out within the «*ophites*»: a) with

* Departamento de Ciencias de la Terra. Universidade de Coimbra. Largo Marquez de Pombal. Apartado 3014. 3049 Coimbra, cedex (Portugal).

** Departamento de Cristalografía, Mineralogía, Estratigrafía, Geodinámica, Petrología y Geoquímica. Facultad de Ciencias del Mar. Universidad de Cádiz. Polígono Río San Pedro. 11510 Puerto Real, Cádiz.

*** Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra. CSIC-Universidad de Granada. Avda. Fuentenueva, s/n. 18002 Granada.

**** Laboratoire de Pérologie Magmatique. URA 1277 CNRS. Faculté des Sciences et Techniques de St. Jérôme. Université d'Aix-Marseille III. 13397 Marseille, cedex 20 (Francia).

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

modal orthopyroxene and tholeiitic affinity; and b) with modal olivine and transitional-alkaline affinity. Chemical characteristics of this last group are similar to those of the volcanic rocks from the Jurassic sediments.

The field relationships found in some «*ophite*» outcrops allow us to deduce that the tholeiitic rocks are mostly present as extrusive rocks. However, their older whole-rock K-Ar ages range between 182 ± 9 and 187 ± 4 M.a., and do not correctly represent Upper Triassic ages. Transitional-alkaline «*ophites*» occur as subvolcanic rocks and their older obtained radiometric age is 137 ± 4 M.a. All these radiometric ages obtained may be interpreted as a result of the hybridization between the age of the Triassic magmatism and the very low- to low-grade metamorphism present in these rocks. This metamorphism is responsible for the new formed secondary paragenesis, made of prehnite + pumpellyite + sericitite + mafic phyllosilicates. Radiometric age obtained in some intra-Jurassic volcanic rocks range between 155 ± 3 to 166 ± 4 M.a.

These new radiometric data and field relationships are used to define the Mesozoic magmatic evolution in the ZECB. Tholeiitic magmatism was generated during an initial Triassic distensive stage. After this magmatic event, and as a consequence of an increment of the distensive regime, with important continental crust thickening, transitional-alkaline magmatism occurs. This second magmatic event is present both as Jurassic pillow-lavas and also as some subvolcanic basic rocks intrusive in the Triassic sediments.

Key words: *Mesozoic basic magmatism, dating, K-Ar geochronology, External Zones, Betic Cordilleras.*

Introducción

Intercaladas entre los sedimentos Mesozoicos de las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas (ZECB) se observan diferentes manifestaciones ígneas de naturaleza básica. Este magmatismo mesozoico está ubicado espacialmente en dos niveles estratigráficos bien definidos. Por un lado, pequeños afloramientos, mayoritariamente subvolcánicos, que aparecen por lo general entre los sedimentos arcilloso-yesíferos del Trías Keuper, y son conocidos localmente como «*ofitas*»¹. Estas manifestaciones ígneas están espacialmente distribuidas desde la provincia de Cádiz (al Oeste) hasta la de Murcia (al Este) (fig. 1). Debido a su emplazamiento actual como bloques tectónicos, por lo general en estas rocas no se conservan los contactos ígneos primarios con los sedimentos triásicos. El segundo grupo de rocas ígneas lo constituyen manifestaciones extrusivas submarinas y, minoritariamente, sills y diques, intercalados entre los sedimentos jurásicos del Subbético Medio, dando lugar a lo que Comas *et al.* (1986) llamaron *Provincia Volcánica Jurásica*. Este magmatismo se observa en un área de al menos 200 km de longitud y unos 5 a 10 km de ancho, siguiendo una dirección SW-NE (fig. 1).

En el presente trabajo presentamos nuevos datos cronológicos del magmatismo mesozoico de las

ZECB (relaciones estratigráficas y dataciones radiométricas K-Ar), que complementan las dataciones radiométricas ya realizadas por Van der Fliert *et al.* (1979) y Puga *et al.* (1988). El objetivo de nuestro trabajo es precisar con mayor exactitud la evolución temporal del magmatismo básico mesozoico en las ZECB y, en particular, la edad de emplazamiento de las «*ofitas*». Estos nuevos datos, junto con los geoquímicos, permiten contrastar el modelo evolutivo para el magmatismo mesozoico de las ZECB, establecido por Puga *et al.* (1989b).

Características petrológicas del magmatismo básico mesozoico

En la zona de estudio, clásicamente se han puesto de manifiesto importantes diferencias geoquímicas entre las rocas básicas presentes en los sedimentos triásicos (que en la literatura se conocen como «*ofitas*») y las rocas volcánicas intercaladas entre los sedimentos jurásicos. Puga y Ruiz-Cruz (1980), Comas *et al.* (1986), Puga y Díaz de Federico (1988), Puga *et al.* (1989b) y Puga y Portugal (1989) interpretan las «*ofitas*» como rocas pertenecientes a una serie de afinidad geoquímica toleítica, y las rocas volcánicas jurásicas como de afinidad alcalino-sódica. Acosta *et al.* (1983) y Muñoz (1986) apuntan a una afinidad alcalina para los afloramientos de «*ofitas*» estudiados por ellos, en el sector centro-oriental de las ZECB.

Morata (1993) y Morata y Puga (1993) han puesto de manifiesto cómo entre las «*ofitas*» se pueden establecer dos grupos de características petrográfi-

¹ Utilizamos el término «*ofita*» para referirnos al conjunto de rocas ígneas básicas que aparecen a modo de pequeños afloramientos y bloques tectónicos dispersos entre los materiales del Trías Superior de las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas, independientemente de su modo de emplazamiento, edad o afinidad magmática.

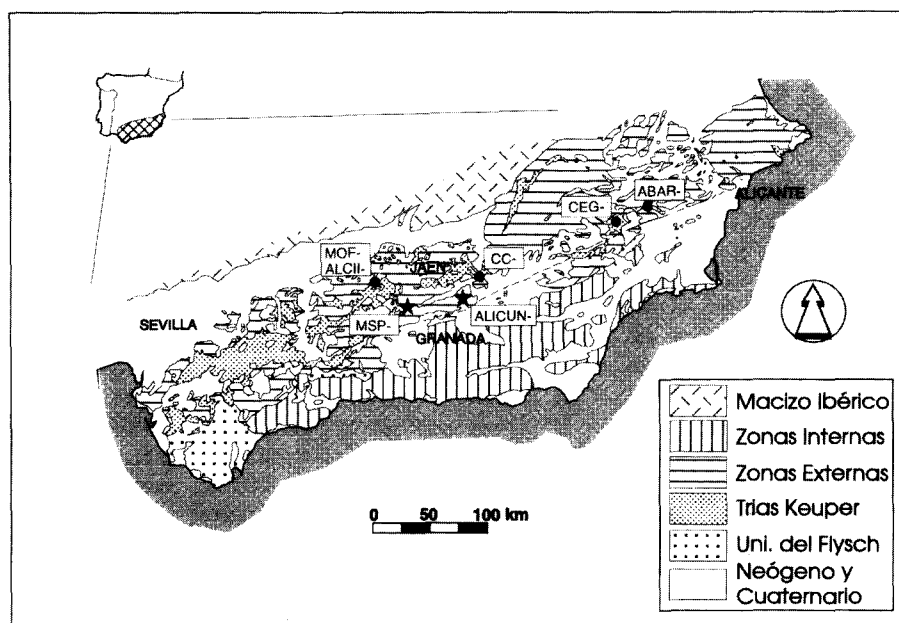


Fig. 1.—Localización de las muestras seleccionadas para datación mediante K-Ar. (●): «ofitas» en el Trias de facies Keuper. (★): rocas volcánicas intercaladas entre los sedimentos jurásicos del Subbético Medio. Esquema geológico de las Cordilleras Béticas tomado de Azema *et al.* (1979), modificado.

cas y geoquímicas diferentes. Uno de estos grupos presenta una paragénesis primaria formada mayoritariamente por *clinopiroxeno* y *plagioclasa*, con desarrollo de textura dolerítica en las facies holocristalinas, *pigeonita* como fase minoritaria, y presencia de *ortopiroxeno* en los términos menos diferenciados. Biotita, hornblenda, apatito (muy minoritario) y óxidos de Fe-Ti aparecen como fases accesorias. En los términos más evolucionados de este grupo es posible encontrar *cuarzo*, bien como cristales aislados, bien intercrecido con *plagioclasa* sódica. El otro grupo de «ofitas» presenta una paragénesis formada por *augita rica en Ti* y *plagioclasa*, con textura ofítica en las fases holocristalinas, y cristales de *olivino* incluidos en el *clinopiroxeno*, junto a biotita tipo flogopita, anfíbol rico en Ti, apatito y óxidos de Ti-Fe como fases accesorias. En los términos más diferenciados de este grupo nunca se ha observado la presencia de *cuarzo*.

Además de las diferencias petrográficas y mineralógicas enumeradas, el quimismo de las fases minerales primarias, y en particular el de los piroxenos (fig. 2), así como el quimismo de la roca (fig. 3), apuntan hacia una afinidad toleítica para el grupo con *ortopiroxeno*, caracterizado por la presencia de *Hy* y *Qtz* normativos, altos contenidos en SiO_2 y bajos valores en TiO_2 y P_2O_5 , y transicional-alcalina para el grupo con *olivino*, con presencia de *Nef* ($\leq 5\%$) y *Ol* normativos, bajos contenidos en SiO_2 y mayores valores de TiO_2 y P_2O_5 . Las caracte-

rísticas químicas, tanto de las fases minerales ígneas (fig. 2) como de roca total (fig. 3), hacen a este segundo grupo de «ofitas» totalmente comparable con el de las rocas volcánicas intercaladas entre los sedimentos jurásicos, cuyas principales características petrológicas han sido descritas por Puga y Ruiz-Cruz (1980), Puga *et al.* (1989b) y Morata (1993).

Edad del magmatismo

Las determinaciones cronológicas realizadas hasta la fecha sobre el magmatismo mesozoico han sido más fructíferas para el caso del volcanismo jurásico que para las «ofitas». En el caso de las rocas volcánicas presentes entre los sedimentos mesozoicos, la datación mediante criterios paleontológicos ha sido posible, al poder estimar la edad de los sedimentos en los que se intercalan los basaltos. Además, las dataciones radiométricas realizadas en estas rocas (método K-Ar) han concordado con las edades estimadas mediante criterios paleontológicos, concordancia que en algunos casos ha llegado a ser de hasta el 90 % (tabla 8 en Puga *et al.*, 1988). Según los datos disponibles hasta la fecha, se puede concluir que el volcanismo jurásico comenzó a partir del Lías inferior en el extremo SW del Subbético Medio, y a partir del Dogger en las zonas más centrales. Este magmatismo se desarrolló

durante todo el Jurásico, alcanzando su *climax* en el Titónico, y cesando de manera brusca a comienzos del Cretácico (Puga *et al.*, 1989b).

Sin embargo, en lo que respecta a las «*ofitas*», el hecho de que suelen aparecer como bloques tectónicos dispersos en las formaciones arcilloso-evaporíticas del Triás Keuper, junto a la escasez de fauna de estos sedimentos triásicos, ha impedido hasta la fecha poder establecer relaciones cronológicas similares a las de las rocas volcánicas jurásicas. No obstante, el hecho de presentarse sistemáticamente entre los sedimentos triásicos, y su homogénea manera de aflorar, han llevado a numerosos autores a considerarlas como de edad Triásica (Puga *et al.*, 1988, y referencias en él citadas). García-Cervigón *et al.* (1976) citan la presencia de estructuras fluidales en algunas «*ofitas*» del área de Cehegín. Para estos autores, estas estructuras serían indicativas de un volcanismo aéreo de edad triásica (límite Bundsanstein-Muschelkalk), e interpretan algunos de los afloramientos de magnetita presentes en la zona como productos de la desmantelación meteórica de antiguos edificios volcánicos.

Los resultados de las dataciones radiométricas llevadas a cabo en las «*ofitas*» no han sido muy precisas, obteniéndose edades radiométricas muy dispares. Los primeros intentos de datación radiométrica, realizados en el área de Cantar (prov. de Murcia), obtienen edades comprendidas entre los 100 y 118 M.a. (Van der Fliert *et al.*, 1979). Puga *et al.* (1988) obtienen una gran dispersión de edades analíticas (160 a 47 M.a.), incluso con variaciones de hasta 30 M.a. en muestras procedentes de un mismo

afloramiento. Puga *et al.* (1988) concluyeron que las pérdidas de Ar radiogénico (causante de los rejuvenecimientos de las edades analíticas observadas) son debidas a la existencia de transformaciones metamórficas de muy bajo grado. En cualquier caso, estos mismos autores apuntan hacia una edad «calculada» del orden de 190 M.a.

Crterios estratigráficos

Puga *et al.* (1989b) observaron en algunos afloramientos de «*ofitas*» texturas y estructuras primarias propias de la intrusión de magma en sedimentos someros, poco consolidados, indicativas de un rápido enfriamiento. Posteriormente, Morata (1990, 1993) ha puesto de manifiesto la existencia de estructuras propiamente extrusivas (*pillow-lavas*, arrugas de flujo, hialoclastitas, etc.) dentro de algunos afloramientos de «*ofitas*», así como otras indicativas de un emplazamiento en sedimentos someros poco consolidados (*pillow-sills*, microarrugas de flujo, etc.). Estas estructuras permiten clasificar los afloramientos de «*ofitas*», desde un punto de vista macroscópico, en tres tipos: 1) «*ofitas*» extrusivas, 2) «*ofitas*» subvolcánicas someras, y 3) «*ofitas*» subvolcánicas *s.str.* (Morata, 1993).

Es evidente que el hecho de haber podido caracterizar una serie de estructuras indicativas de emplazamientos extrusivos es de gran interés, ya que, conocida la edad de los sedimentos en los que aparecen, se puede precisar la edad del evento ígneo. Igual se podría decir para el caso de las

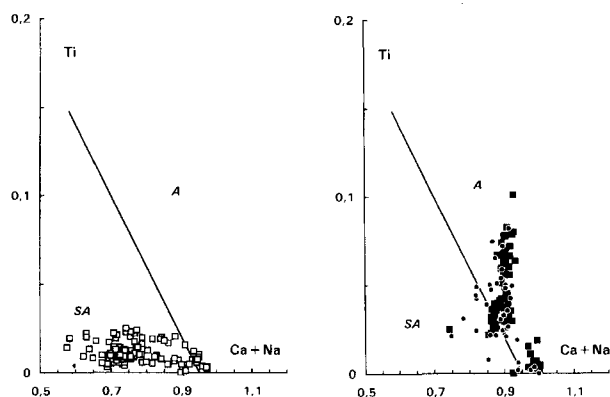


Fig. 2.—Diagrama Ca+Na vs. Ti (Leterrier *et al.*, 1982) para los piroxenos de los diferentes tipos de rocas básicas de las ZECB. Obsérvese cómo los piroxenos de las «*ofitas*» con ortopiroxeno (□) se proyectan en el campo de los piroxenos de basaltos subalcalinos (campo SA), mientras que los de las «*ofitas*» con olivino (●) y las rocas volcánicas intercaladas entre los sedimentos jurásicos (▲) lo hacen en el campo delimitado para los piroxenos de los basaltos alcalinos (campo A).

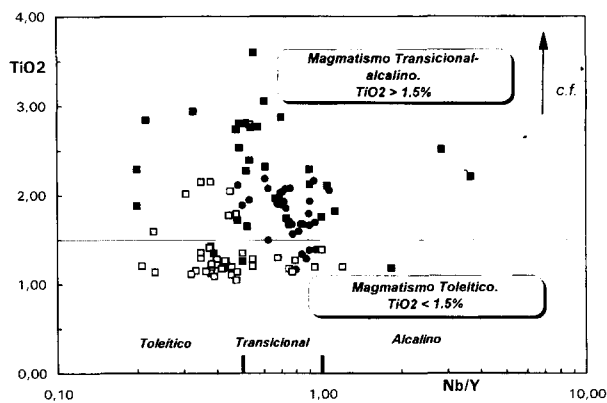


Fig. 3.—Diagrama Nb/Y vs. TiO₂ en el que se muestra cómo las «*ofitas*» con ortopiroxeno se proyectan principalmente en el campo delimitado para los basaltos de afinidad toleítica, mientras que las «*ofitas*» con olivino y las rocas volcánicas intercaladas entre los sedimentos jurásicos lo hacen mayoritariamente en el dominio delimitado para los basaltos de afinidad transicional. Límites entre toleítico-transicional-alcalino tomados de Pearce (1982). Las variaciones en TiO₂ para valores similares de la relación Nb/Y son consecuencia de procesos de cristalización (indicados con el vector *c.f.*). Símbolos como en la figura 2.

Tabla 1.—Principales características petrológicas y geoquímicas de las muestras seleccionadas para su datación mediante K-Ar.

Muestra	Coord. geogr.	Estruct. ígnea	Textura	Parag. ígnea	Parag. secunda.	Localidad
ALICUN6.....	VG855630	colada	porfídica	ol + pl + cpx	zeol + f.m.	Alicún de Ortega
MSP.....	VG110530	sill	ofítica	ol + pl + cpx	zeol + f.m.	Sierra de San Pedro (Los Chopos)
MOF-1a.....	VG105629	colada	pegmatóide (granofídica)	cpx + pl (+ bt + amph)	prh + ser + f.m. ± act	Ctra. Alcaudete-Las Casillas, km 18
MOF-2.....	VG105629	colada	porfídica	opx + cpx + pl	prh + ser + f.m. ± act	Ctra. Alcaudete-Las Casillas, km 18
MOF-3.....	VG105629	colada	porfídica	opx + cpx + pl	prh + ser + f.m. ± act	Ctra. Alcaudete-Las Casillas, km 18
ALCII-B1	VG105629	colada	porfídica	opx + cpx + pl	prh + ser + f.m. ± ± act ± pmp	Ctra. Alcaudete-Las Casillas, km 18
ABAR-2	XH408315	subvolc. somero	dolerítica	opx + cpx + pl	prh + f.m. (± ser)	Rambla del Moro (Abarán, Murcia)
CEG-3	XH078165	subacuático	porfídica	opx + cpx + pl	f.m. (± prh ± ser)	Cabezo Ródenas (Cehegín, Murcia)
CC-3	WG006664	subvolcánico	ofítica	ol + pl + cpx	f.m. + prh + ser + act	Río Guadiana Menor (C. del Campo)

act = actinolita; amph = anfíbol; bt = biotita; cpx = clinopiroxeno; f.m. = filosilicatos máficos; ol = olivino; opx = ortopiroxeno; pl = plagioclasa; pmp = pumpellyita; prh = prehnita; ser = sericita; zeol = ceolitas tipo analcita, natrolita, thomsonita.

manifestaciones subvolcánicas someras, en las que las estructuras internas y relaciones con los sedimentos encajantes permiten afirmar que la edad de emplazamiento debió ser ligeramente posterior a la de los sedimentos. En este sentido es destacable resaltar que todos los afloramientos de «ofitas» en los que se han descrito estructuras extrusivas, así como aquellos que se han clasificado como subvolcánicos someros, presentan afinidad toleítica, mientras que las «ofitas» cuya afinidad geoquímica es transicional-alcalina siempre se han observado como cuerpos subvolcánicos intrusivos *s.str.* Puesto que todas las «ofitas» extrusivas, y gran parte de las subvolcánicas someras, aparecen entre los sedimentos triásicos de edad Carniense (según las precisiones estratigráficas llevadas a cabo por Pérez-López, 1991), se podría atribuir a dicho magmatismo una edad Carniense-Noriense (200 a 220 M.a., aprox.). De este modo, los criterios estratigráficos, las estructuras internas presentes en las rocas (extrusivas y subvolcánicas), así como sus relaciones con los sedimentos encajantes, corroboran las diferencias observadas en cuanto al quimismo de las «ofitas», pudiéndose distinguir un grupo con afinidad toleítica y edad Triásico Superior, de otro de afinidad transicional-alcalina y edad post-triásica.

Dataciones radiométricas

Tras la subdivisión de las «ofitas» en dos grupos geoquímicamente diferenciables y con edades de emplazamiento diferentes, se realizaron nuevas dataciones K-Ar sobre muestras seleccionadas, pertenecientes a los dos grupos descritos. También se seleccionaron niveles de rocas volcánicas jurásicas para su datación radiométrica (fig. 1). En la tabla 1 se recopilan las principales características petrológicas de las muestras seleccionadas, indicando en cada caso las paragénesis ígneas y metamórficas dominantes. Las nuevas dataciones radiométricas se han realizado en el Laboratorio de Geocronología de la Universidad de Coimbra (Portugal), utilizando la técnica descrita en Costa *et al.* (1975). Los resultados analíticos obtenidos, así como las edades establecidas, están resumidos en la tabla 2, en donde además se precisa la afinidad geoquímica de cada una de las muestras estudiadas, puesta de manifiesto mediante el quimismo de los piroxenos y roca total. En cada caso se especifica si la datación se realizó sobre roca total o sobre separados de plagioclasa o biotita.

Es interesante destacar nuevamente la dispersión de edades obtenidas, incluso dentro de un mismo

Tabla 2.—Edades radiométricas obtenidas (método K-Ar) en muestras representativas de los diferentes tipos de manifestaciones ígneas mesozoicas de las ZECB.

Muestra	Afinidad geoquímica	K ₂ O (%)	⁴⁰ Ar _{rad} (ccSTP · g ⁻¹)	⁴⁰ Ar _{atm} / ⁴⁰ Ar _{tot} (%)	Edad analítica (M.a.)	Análisis de:
MSP-SN	trans/alcalina	4,591	31,71	7,88	169 ± 4	bt
MSP.....	trans/alcalina	0,780	5,30	8,98	167 ± 4	pl
MSP.....	trans/alcalina	0,739	4,65	12,9	155 ± 3	rt
ALICUN-6.....	trans/alcalina	0,374	2,54	25,66	166 ± 4	rt
MOF-1A.....	toleítica	0,512	10,17	19,09	183 ± 4	pl
MOF-2.....	toleítica	0,674	5,01	17,47	182 ± 4	rt
MOF-3.....	toleítica	0,412	2,97	26,42	157 ± 4	pl
ALCII-B1.....	toleítica	1,090	4,7	26	106 ± 3	rt
ABAR-2.....	toleítica	0,681	5,06	16	182 ± 9	rt
CEG-3.....	toleítica	0,581	4,43	26	187 ± 4	rt
CC-3.....	trans/alcalina	0,681	3,75	23	137 ± 4	rt

rt = datación de roca total; bt = datación con biotitas; pl = datación con plagioclasas.

afloramiento, si se considera roca total (muestra MOF-2) o separados de plagioclasa (muestras MOF-1 y MOF-3). Esta dispersión puede ser consecuencia de rejuvenecimientos postmagmáticos y, en particular, por procesos asociados al metamorfismo de grado bajo a muy bajo que presentan estas rocas. Dentro de este mismo afloramiento (de edad Triásica, estimada mediante criterios estratigráficos) es interesante discutir entre las diferencias de edad encontradas en las diferentes muestras en las que se han datado los separados de plagioclasa. En cualquiera de los dos casos, los datos de microsonda indican valores de K₂O del orden de 0,1 a 0,3 %, mientras que los contenidos de K₂O medidos considerando el conjunto de la plagioclasa dan valores de 0,41 a 0,67 %. Evidentemente, estas diferencias en el porcentaje de K₂O son debidas a las diferentes proporciones de sericita de neoformación que aparecen pseudomorfizando parcialmente los cristales de plagioclasa. La existencia de dos edades muy diferentes (183 ± 4 y 157 ± 4) obtenidas en plagioclasas sericitizadas provenientes de un mismo afloramiento podrían indicar dos etapas de sericitización distanciadas temporalmente. De este modo, podríamos hablar de una sericitización precoz, responsable de la datación 183 ± 4 M.a. La datación de 157 ± 4 M.a. (muestra MOF-3), acompañada de una importante pérdida de Ar_{rad} comparada con la MOF-1a (ver tabla 2) podría ser interpretada en relación con una sericitización más tardía.

En el caso de una muestra de basalto porfídico procedente de este mismo afloramiento (muestra ALCIIB1), la edad obtenida, próxima a los 100 M.a. (106 ± 3), es totalmente incongruente con la que cabría esperar al ser un afloramiento volcánico del Trías. Si observamos el contenido en K₂O (1,090 %) de esta roca, y teniendo en cuenta la

escasa sericitización de la plagioclasa, hay que admitir que esta alta concentración en K₂O debe responder a un proceso de alteración secundaria de la matriz de la lava porfídica. Así pues, si consideramos unos valores «reales» de K₂O, propios de toleítas continentales, del orden de 0,55 a 0,60 %, las edades radiométricas que se obtendrían serían de 210 a 193 M.a., lo que es totalmente coherente con las edades que se podrían esperar tras las observaciones de campo.

También son notables los resultados obtenidos en las muestras ABAR-2 y CEG-3, ambas pertenecientes a la zona de Cehegín (prov. de Murcia). En estas muestras, las edades radiométricas obtenidas corresponden al Jurásico inicial, próximas al límite con el Triásico (182 ± 9 a 187 ± 4 M.a.), aproximándose a las estimaciones establecidas a raíz de los criterios de campo. Estas edades son coincidentes, por otro lado, con los valores estimados por Hebeda (*in* Besens y Simons, 1982) en biotitas del afloramiento de «ofitas» de Abarán (similar a la muestra ABAR-2), en la que obtuvieron una edad de 200 ± 5 M.a. La diferencia de edad, de unos 20 M.a. con respecto al límite Triásico-Jurásico, puede deberse, una vez más, a la sericitización precoz de estas rocas. De hecho, las edades obtenidas en estas rocas están muy próximas a la establecida en las muestras MOF, tanto mediante separados de plagioclasa como mediante roca total.

La única nueva datación efectuada sobre «ofitas» de afinidad transicional-alcalina (muestra CC-3) da una edad próxima al límite Jurásico-Cretácico (137 ± 4 M.a.). Esta edad, que es congruente con la edad post-triásica establecida a partir de los criterios de campo, puede estar ligeramente rejuvenecida, debido a la sericitización desarrollada en la plagioclasa. En este magmatismo subvolcánico, intrusivo en el

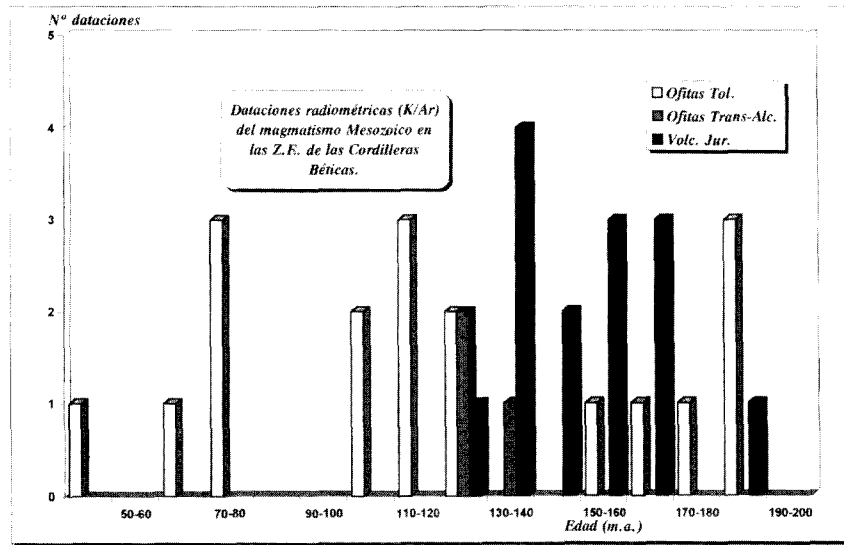


Fig. 4.—Histograma de las edades radiométricas obtenidas en el magmatismo mesozoico de las ZECB. Datos tomados de Puga *et al.* (1988) y este trabajo.

Trías arcilloso-yesífero, no se debe descartar la posible influencia de la interacción entre el magma y las formaciones yesíferas, lo que favorecería un metasomatismo de Na_2O , K_2O y Ar en las rocas intrusivas, y modificaría las edades radiométricas ígneas determinadas mediante el método K-Ar.

Respecto a las dataciones realizadas sobre muestras pertenecientes al magmatismo intercalado entre los sedimentos jurásicos, las edades obtenidas (169 ± 4 a 155 ± 3) son similares a las establecidas por Puga *et al.* (1988), coincidiendo con la edad que se podría estimar a partir de los criterios de campo y criterios paleontológicos. Mínimas diferencias se observan entre los separados de plagioclasa y biotita de la muestra MSP y el valor correspondiente a roca total, indicando el menor grado de alteración que sufrieron las rocas básicas intercaladas entre los sedimentos jurásicos respecto a las «ofitas».

Resultados y discusión

En la tabla 2 y figura 4 se han representado el total de las edades radiométricas obtenidas hasta la fecha, tanto en los dos grupos de «ofitas» diferenciados como en los basaltos intercalados entre los sedimentos jurásicos de la Zona Subbética. Dataciones previas realizadas por Puga *et al.* (1988) sobre «ofitas» han sido reinterpretadas en función de la afinidad geoquímica de las rocas, separándolas en los dos grupos geoquímicamente establecidos.

En la tabla 2 también se han incluido las relaciones $^{40}\text{Ar}_{\text{atm}}/^{40}\text{Ar}_{\text{tot}}$ para todas las rocas estudiadas.

En general, se observa que en los afloramientos volcánicos se obtienen mayores relaciones $^{40}\text{Ar}_{\text{atm}}/^{40}\text{Ar}_{\text{tot}}$ que en los subvolcánicos, aunque no se pueda hablar de una perfecta correlación entre las variaciones de esta relación y las diferentes modalidades de emplazamiento, ni tan siquiera con la edad del magmatismo.

El análisis de esta figura permite diferenciar varios grupos de edades analíticas. El primero comprende el intervalo desde 190 a 180 M.a. En este intervalo estarían las edades de emplazamiento de las «ofitas» extrusivas toleíticas, aunque edades próximas a los 180 M.a. deberían ser interpretadas como edades ya rejuvenecidas por transformaciones post-magmáticas (sericitización precoz), como se puso de manifiesto anteriormente. Edades ligeramente superiores a los 180 M.a. corresponden también a los primeros niveles de rocas volcánicas intercalados entre los sedimentos jurásicos. En este caso, el grado de transformación post-magmática ha sido muy bajo (son rocas apenas transformadas, o metamorfizadas en facies ceolitas), y las plagioclasas permanecen relativamente inalteradas o tan sólo parcialmente pseudomorfizadas por ceolitas sódicas o cálcicas (Morata *et al.*, 1995). En estas condiciones, el sistema K-Ar habría permanecido cerrado, dando edades radiométricas congruentes con las estimaciones realizadas mediante criterios estratigráficos-paleontológicos. Sin embargo, el mayor grado de transformación post-magmática presente en algunas de las rocas ígneas básicas intercaladas entre los sedimentos triásicos, con metamorfismo en facies prehnita-pumpellyita hasta pumpellyita-actinolita, y

neoformación de micas incoloras (con K_2O entre 8,49 y 11,87 %, según el afloramiento estudiado), pseudomorfizando plagioclasas ígneas (Morata, 1993, supondrán una mayor apertura del sistema K-Ar, dando edades radiométricas más rejuvenecidas.

Un segundo grupo de edades, entre 170 y 110 M.a., abarca posibles edades de emplazamiento de «*ofitas*» subvolcánicas de afinidad transicional-alcalina, edades rejuvenecidas de «*ofitas*» volcánicas toleíticas, y edades ígneas de los niveles de basaltos intercalados entre las series jurásicas. Sin embargo, edades para las «*ofitas*» transicional-alcalina comprendidas en el rango 110 a 140 M.a. deberían considerarse como edades rejuvenecidas. Por último, un tercer grupo comprende edades desde los 100 hasta los 47 M.a., correspondiendo claramente a edades radiométricas híbridas de «*ofitas*» debido a la pérdida de Ar originada por el metamorfismo de bajo grado presente en estas rocas. La edad de 47 M.a. (in Puga *et al.*, 1988), que indicaría una edad mínima de apertura del sistema K-Ar durante el metamorfismo, puede corresponder al acontecimiento metamórfico Meso-Alpino, de edad Terciaria, cuyos efectos han sido muy evidentes en puntos de las Zonas Internas de las Cordilleras Béticas (Portugal *et al.*, 1988; Puga y Torres-Roldán, 1989; Puga *et al.*, 1989a; Díaz de Federico *et al.*, 1990).

A la vista de estos resultados, todas las edades radiométricas obtenidas para las «*ofitas*» mediante el método K-Ar deben considerarse como edades «mezcla» entre tres términos extremos: edad de emplazamiento, edad de sericitización precoz y edad de metamorfismo alpino. La mayor o menor influencia de los dos componentes secundarios de la edad radiométrica harán que las edades analíticas se alejen más o menos de la edad primaria debido al emplazamiento y enfriamiento de los magmas. Por tal motivo, si se quiere establecer un modelo evolutivo temporal para el magmatismo mesozoico de las ZECB habrá que considerar los criterios estratigráficos como una fuente fiable de la cronología y, en este caso, las dataciones radiométricas K-Ar deberán ser consideradas como apoyo a las estimaciones realizadas estratigráficamente.

Conclusiones

En este trabajo se han presentado nuevos datos que permiten precisar la cronología del magmatismo básico mesozoico en las ZECB. A pesar de la menor cantidad de dataciones pertenecientes al grupo de «*ofitas*» de afinidad transicional-alcalina, los criterios mineralógicos (quimismo de piroxeno) y geoquímicos, permiten agrupar a éstas dentro del grupo de magmatismo de afinidad transicional-alcalino de las ZECB. Este magmatismo está representado mayori-

tariamente por manifestaciones extrusivas submarinas y subvolcánicas, intercaladas entre los sedimentos jurásicos y, en menor proporción, por cuerpos subvolcánicos que quedaron emplazados entre los niveles arcilloso-yesíferos del Trías Keuper.

De este modo, las primeras manifestaciones ígneas en las ZECB tuvieron lugar a finales del Trías Superior, estando representadas por una actividad extrusiva y subvolcánica, de afinidad toleítica. Este magmatismo Triásico toleítico es correlacionable con el de las toleítas continentales triásicas presentes a ambos lados del Atlántico Central, desarrolladas durante sus primeras etapas de apertura, tales como las doleritas del borde este de Norteamérica (McHone y Butler, 1984), el dique de Messejana-Plasencia en la Península Ibérica (Scoht *et al.*, 1981); coladas basálticas al Sur de Portugal (Portugal-Ferreira y Macedo, 1977); las ofitas de Pirineos (Montigny *et al.*, 1982) y las doleritas del borde NW de Africa (Westphal *et al.*, 1979; Bertrand, 1991), con una edad estimada en todos ellos de unos 180 a 200 M.a. En otras áreas de la Península Ibérica también se ha desarrollado un magmatismo triásico, aunque con afinidad alcalina, como es el descrito en Mallorca (Navidad y Alvaro, 1985), Cordillera Ibérica (Lago y Pocoví, 1984; Pocoví *et al.*, 1989; Lago *et al.*, 1992) y Sur de Cataluña (Mitjavila y Martí, 1986), así como diques triásicos en la Zona Centro-Ibérica de Portugal (Portugal-Ferreira y Macedo, 1979).

Posteriormente a este magmatismo toleítico, y como consecuencia de un progresivo proceso de distensión, tiene lugar a partir del Liásico un nuevo episodio magmático con afinidad transicional-alcalina. Este magmatismo está representado principalmente por la llamada *Provincia Volcánica Jurásica*, así como por rocas subvolcánicas intercaladas en los sedimentos del Trías. Un magmatismo alcalino, con características petrológicas similares, e igualmente intrusivo en los sedimentos del Trías, se desarrolló durante el período de 133 ± 3 a 145 ± 2 M.a. en el borde oeste de Portugal (Portugal-Ferreira y Regencio-Macedo, 1983).

Así pues, pese a la generalización de denominar como «*ofitas*» a las rocas ígneas básicas presentes entre los sedimentos del Trías Superior de las ZECB, los nuevos datos cronológicos y geoquímicos permiten diferenciar un grupo de «*ofitas*» triásicas, de afinidad toleítica, de otro grupo post-triásicas, de afinidad transicional-alcalina, comparable al magmatismo que aparece como pillow y sills entre los sedimentos jurásicos de las ZECB.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido subvencionado mediante el Proyecto de la CICYT PB89-0017, las ayudas económicas del Grupo de Investigación de la Junta de Andalucía n.º 4072 y la Acción

Integrada Hispano-Francesa HF-272. Las dataciones K-Ar de este trabajo se han realizado en el marco de la Acción Integrada Hispano-Portuguesa HP-93/064. Los autores agradecen la colaboración de los doctores J. T. Ferreira, C. R. Macedo, A. M. Nunes y F. G. da Silva (Universidade de Coimbra) en la estimación de las edades radiométricas de este trabajo. Las correcciones y sugerencias realizadas por el doctor J. Martí han ayudado a mejorar la calidad y comprensión de este trabajo.

Referencias

- Acosta-Echevarría, A., Pascual-Martínez, E., García-Cervigón, A., y Marín-Rubí, J. M. (1983). Las rocas subvolcánicas de Cuevas del Campo I. Datos petrológicos. *Estudios Geol.*, 39:261-269.
- Azema, J., Foucault, A., Fourcade, E., García-Hernández, M., González-Donoso, J. M., Linares, A., Linares, D., López-Garrido, A. C., Rivas, P., y Vera, J. A. (1979). Las microfacies del Jurásico y Cretácico de las Zonas Externas de la Cordillera Bética. *Secr. Pub. Univ. Granada*, 83 págs.
- Bertrand, H. (1991). The Mesozoic tholeiitic province of Northwest Africa: a volcanotectonic record of early opening of Central Atlantic. En: A. B. Kampunzu y R. T. Lubala (eds.), *Magmatism in Extensional Structural Settings. The Phanerozoic African Plate*, Springer-Verlag, 147-188.
- Besens, R. E., y Simons, O. J. (1982). Aspects of middle and late triassic palynology. 5. On the Triassic of the Subbetic Zone in the province of Murcia (Betic Cordilleras, Southeastern Spain). *Proceeding of the Korinlijke Nederlandae van Wetenschappen*, serie B, 85:29-51.
- Comas, M. C., Puga, E., Bargossi, G. M., Morten, L., y Rossi, P. L. (1986). Paleogeography, sedimentation and volcanism of the Central Subbetic Zone, Betic Cordilleras, Southeastern Spain. *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.*, H-7, 385-404.
- Costa, V., Ferreira, M. P., Macedo, C. R., y Reynolds, J. (1975). Rare gas dating. I. A demountable method system with low blanks. *Earth Planet. Sci. Letters*, 25:131-141.
- Díaz de Federico, A., Torres-Roldán, R. L., y Puga, E. (1990). The rock series of the Betic substratum. En: *Les basins Néogènes du domaine Bétique Oriental*, Documents et Travaux de l'IGAL, París, 12-13, 19-29.
- García-Cervigón, A., Estévez, A., y Fenoll Hach-Ali, P. (1976). Los yacimientos de magnetita del coto minero de Cehegín (Zona Subbética, provincia de Murcia). *Cuad. Geol. Univ. Granada*, 7:123-140.
- Lago, M., y Pocoví, A. (1984). Las espilitas del área del Moncayo (Zaragoza-Soria): caracteres geológicos y petrológicos. *I Congreso Español de Geología*, II, 161-176.
- Lago, M., Pocoví, A., Vaquer, R., Bastida, J., y Arranz, E. (1992). Petrología y geoquímica del magmatismo alcalino en zonas del antepaís mesozoico de la Cadena Pirenaica y áreas asociadas. *II Congreso Geológico de España*, Simposios, 2:107-116.
- Leterrier, J., Maury, R. C., Thonon, P., Girard, D., y Marchal, M. (1982). Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinities of paleovolcanic series. *Earth Planet. Sci. Letters*, 59:139-154.
- McHone, J. G., y Butler, J. R. (1984). Mesozoic igneous provinces of New England and the opening of the North Atlantic Ocean. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 95:757-765.
- Mitjavila, J., y Martí, J. (1986). El volcanismo triásico del sur de Catalunya. *Rev. Inv. Geol.*, 42/43:89-130.
- Montigny, R., Azambre, B., Rossy, M., y Thuizat, R. (1982). Etude K/Ar du magmatisme basique lié au Trias supérieur des Pyrénées. Conséquences méthodologiques et paléogéographiques. *Bull. Mineral.*, 105:673-680.
- Morata-Céspedes, D. (1990). Estructuras fluidales de las «ofitas» de la zona Subbética. *Bol. Soc. Esp. Min.*, 13-1:160.
- Morata, D. (1993). *Petrología y geoquímica de las ofitas de las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada, 342 págs.
- Morata, D., Aguirre, L., Puga, E., y Demant, A. (1995). Ceolitas en basaltos jurásicos de las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas. *Bol. Soc. Esp. Min.*, 18 (en prensa).
- Morata, D., y Puga, E. (1993). Los piroxenos de las doleritas triásicas de las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas como indicadores petrogenéticos. *Bol. Soc. Esp. Min.*, 15:175-187.
- Muñoz, M. (1986). Estudio comparativo de cuerpos intrusivos básicos asociados a los materiales de edad triásica de los dominios Subbético y Nevado-Filábride del sector centro-oriental de las Cordilleras Béticas. *Geogaceta*, 1:35-37.
- Navidad, M., y Alvaro, M. (1985). El vulcanismo alcalino del Triásico Superior de Mallorca (Mediterráneo Occidental). *Bol. Geol. Min.*, 95:10-22.
- Pearce, J. A. (1982). Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. En: R. S. Thorpe (ed.), *Andesites*, 525-548.
- Pérez-López, A. D. (1991). *El Triás de facies germánica del sector central de la Cordillera Bética*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada, 400 págs.
- Pocoví, A., Lago, M., Bastida, J., Enrique, P., Zachmann, D., y Vaquer, R. (1989). The Triassic-Liassic alkaline magmatism of the Iberian chain, Tarragona and Majorca (Spain): petrological and geochemical features and setting conditions. *Terra Abstracts*, 1:287.
- Portugal, M., Ferreira, J. D., Puga, E., y Díaz de Federico, A. (1988). Geochronological contribution to the petrogenetic picture of the Betic Chain (SE Spain). *II Congreso Geológico de España*, 2:55-58.
- Portugal Ferreira, M., y Macedo, C. A. R. (1977). Actividade basáltica Pérmico-Liásica no território português. Uma achega para a datação K-Ar. *Mem. Not. Mus. Lab. Min. Geol. Univ. Coimbra*, 83:39-52.
- Portugal Ferreira, M., y Macedo, C. A. R. (1979). Actividade basáltica durante o Mesozóico: I Achega para a datação K-Ar das rochas filonianas básicas intrusivas na Zona Centro-Ibérica (Portugal). *Mem. Not. Mus. Lab. Min. Geol. Univ. Coimbra*, 87:29-49.
- Portugal-Ferreira, M., y Macedo, C. A. R. (1983). Igneous rocks in the diapiric areas of the western Portuguese border: the K-Ar ages and settings of the Upper Jurassic suite. *Mem. Not. Mus. Lab. Min. Geol. Univ. Coimbra*, 96:159-181.
- Puga, E., y Ruiz-Cruz, M. D. (1980). Observaciones petrológicas y geoquímicas sobre el magmatismo básico mesozoico del sector central de la Cordillera Subbética. *Cuad. Geol. Univ. Granada*, 11:127-155.

- Puga, E., y Díaz de Federico, A. (1988). Ofitas versus eclogitas de las Cordilleras Béticas: manifestaciones de un magmatismo continental y oceánico respectivamente. *Rev. Soc. Geol. Esp.*, 1:113-127.
- Puga, E., Van de Fliert, J. R., Torres-Roldán, R. L., y Sanz de Galdeano, C. (1988). Attempts on whole-rock K/Ar dating of Mesozoic volcanic and hypabissal igneous rocks from the Central Subbetic (southern Spain): a case of differential argon loss related to very low-grade metamorphism. *Estudios Geol.*, 44:47-59.
- Puga, E., Díaz de Federico, A., Fediukova, E., Bondi, M., y Morten, L. (1989a). Petrology, geochemistry and metamorphic evolution of the ophiolitic eclogites and related rocks from the Sierra Nevada (Betic Cordilleras, Southeastern Spain). *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, 69:435-455.
- Puga, E., y Portugal, M. (1989). The recrystallization and partial melting of xenoliths of pelitic rocks and their bearing on the contaminated basalts (Subbetic Zone, Spain). En: Bonin *et al.* (ed.), *Geochemical and Geophysical aspects of the interactions and evolution of magmas and rocks of the crust*, Teophrastus Publications, S. A., Atenas, 115-159.
- Puga, E., Portugal, M., Díaz de Federico, A., Bargossi, G., y Morten, L. (1989b). The evolution of the magmatism in the external zones of the Betic Cordilleras during the Mesozoic. *Geodinamica Acta*, 3:253-266.
- Puga, E., y Torres-Roldán, R. L. (1989). Geochemistry and age relations of metamorphosed mafic sills from Sierra de Enmedio and Sierra de Carrascoy (eastern Betic Zone, Southern Spain). *Estudios Geol.*, 45:325-336.
- Scoht, J. J., Montigny, R., y Thuizat, R. (1981). Paleomagnetism and potassium-argon age of the Messejana dike (Portugal and Spain): angular limitation of the rotation of the Iberian Peninsula since Middle Jurassic. *Earth Planet. Sci. Letters*, 53:457-470.
- Van de Fliert, J. R., Hebeda, E. H., Priem, H. N. A., Smet, M. E. M., y Verdumen, E. A. T. (1979). Pillow lavas and basic intrusions of Early Cretaceous age in the Cantar area (prov. Murcia), Spain. *Estudios Geol.*, 35:605-608.
- Westphal, M., Montigny, R., Thuizat, R., Bardou, C., Bossert, A., y Hamzeh, R. (1979). Paléomagnétisme et datation du volcanisme permien, triassique et créacé du Maroc. *Can. J. Earth Sci.*, 16:2150-2164.

Recibido el 9 de mayo de 1995.
Aceptado el 30 de agosto de 1995.