

# Las rocas básicas alcalinas intrusivas del Norte de Mallorca (Islas Baleares): características geoquímicas

*The intrusive alkaline basic rocks from Northern Mallorca (Balearic Islands): geochemical features*

Pere Enrique

Departament de Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica, Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona. C/ Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona, España.  
pere.enrique@ub.edu

## ABSTRACT

The olivine diabases and teschenites that intruded into the Triassic sediments from the Serra de Tramuntana of Mallorca, belong, at least, to two different undersaturated alkaline series. The most undersaturated series evolves from K-rich basanitic magmas up to phonotephritic. These magmas are similar to those of some series found in continental rift environments. The less undersaturated series comes from less alkaline magmas and does not show differentiated terms. The trace element and REE composition suggest low degrees of melting of modified mantle peridotites, in equilibrium with garnet. The two series are equally distributed along the mountain range in different tectonic units.

**Palabras clave:** alkali basalts, teschenite, REE, Triassic, Mallorca.

## RESUMEN

Las diabasas olivínicas y teschenitas, intruídas esencialmente en los sedimentos del Triásico de la Serra de Tramuntana de Mallorca, forman parte, al menos, de dos series alcalinas con distinto grado de subsaturación en sílice. La más subsaturada evoluciona desde magmas basaníticos hasta fonotefríticos ricos en potasio, similares a los de algunas series de rift continental. La menos subsaturada proviene de magmas basálticos menos alcalinos de los que no se han encontrado términos diferenciados hasta la fecha. La composición en elementos traza y Tierras Raras sugieren bajos grados de fusión de peridotitas mantélicas modificadas y en equilibrio con granate. Las dos series se hallan distribuidas indistintamente a lo largo de la sierra en diferentes unidades tectónicas.

**Key-words:** basaltos alcalinos, teschenita, tierras raras, Triásico, Mallorca.

Geogaceta, 59 (2016), 71-74  
ISSN (versión impresa): 0213-683X  
ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 24 de julio de 2015  
Fecha de revisión: 20 de octubre de 2015  
Fecha de aceptación: 27 de noviembre de 2015

## Introducción

Los sedimentos triásicos de la isla de Mallorca contienen numerosas intercalaciones de rocas volcánicas y subvolcánicas localizadas casi en su totalidad a lo largo de la Serra de Tramuntana. Estas rocas fueron descritas y cartografiadas por primera vez por Fallot en 1922. En los mapas a escala 1:50.000 del IGME (1ª Serie) se hallan representados unos 60 de estos afloramientos que, en cambio, no aparecen en la 2ª Serie. El mayor de estos afloramientos volcánicos se sitúa en el fondo del Torrent de Lluc (Escandell y Colom, 1962) y alcanza unas dimensiones de 1650 x 650 m, aunque la mayoría de ellos no suelen pasar de unos 300 m de longitud. A pesar de su elevado número la superficie total cartografiada no supera los 3 km<sup>2</sup>. La observación sistemática de estos afloramientos (Enrique, 1986, 1990, 2012) ha permitido comprobar que más del 99% de las rocas volcánicas pre-

sentan un alto grado de alteración hidrotermal probablemente producida por procesos de espilitización (Fallot, 1922; Navidad y Álvaro, 1985). Esta alteración ha modificado notablemente la mineralogía original de las rocas dando lugar a la formación de minerales secundarios (como clorita, albita, serpentina, óxidos e hidróxidos de hierro, calcita, calcedonia, etc.) y a una importante variación en su composición química. Sólo una proporción muy pequeña de afloramientos, en puntos muy concretos localizados en los conductos de alimentación magmática o próximos a ellos, han podido preservar la mineralogía y textura primaria originales sin modificaciones significativas.

El número de yacimientos de rocas inalteradas conocido en la actualidad sigue siendo muy reducido. Hasta 1986 se tenía constancia bien documentada de dos de ellos 1) microgabro de Son Bunyola, en Banyalbufar (Fallot, 1922) y 2) basalto olivínico del Port

de Sóller, (San Miguel de la Cámara, 1936). Mataillet y Péchoux (1978) describen y analizan una roca inalterada cerca de Banyalbu-

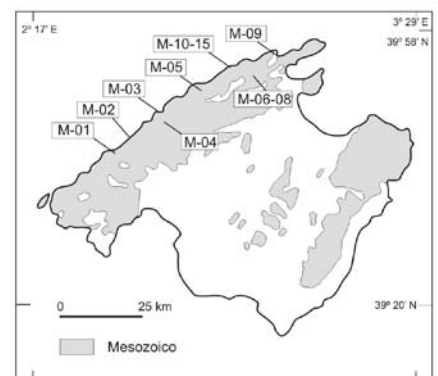


Fig. 1.- Localización geográfica y geológica de las muestras estudiadas (mapa modificado de Del Olmo et al., 1981).

Fig. 1.- Geographic and geological setting of the studied samples (map modified from Del Olmo et al., 1981).

far pero no precisan su situación cartográfica. En el trabajo de Enrique (1986) se aporta la localización y el estudio petrológico de tres nuevos afloramientos de rocas inalteradas *in situ*: 3) dique de diabasa olivínica del SW del Port de Valldemossa; 4) *sill* o dique de los Binis, Sóller; 5) *sill* o dique de diabasa olivínica de Son Grua, Pollença. El descubrimiento de un *sill* de teschenita en el Rafal d'Ariant en el término de Escorca (Enrique, 1990), amplía a seis los yacimientos de rocas básicas alcalinas inalteradas de Mallorca y expande considerablemente su espectro composicional.

En este trabajo se presentan tres nuevos yacimientos: 7) un segundo *sill* de teschenita en el Coll de la Caleta (Pollença); 8) un dique o *sill* de mela-diabasa en la Cala de Sant Vicenç; y 9) un *sill* o dique de diabasa olivínica en Muleta (Sóller). Asimismo se mues-

tran las características geoquímicas del conjunto de las rocas hipoabisales intrusivas (diabasas olivínicas y teschenitas) con nuevos análisis de elementos mayores, trazas y tierras raras.

Las rocas volcánicas y subvolcánicas esplitizadas y meteorizadas, aún constituyendo la inmensa mayoría de los afloramientos, son mucho menos adecuados para los estudios petrológicos y geoquímicos y presentan más limitaciones y ambigüedades interpretativas. No obstante, su estudio también es necesario ya que no siempre es posible encontrar muestras con la mineralogía primaria que las represente. Navidad y Álvaro (1985) describen un buen afloramiento volcánico y volcánoclastico claramente interstratificado y realizan un estudio geoquímico representativo de elementos mayores y trazas.

## Muestras y métodos analíticos

Las muestras estudiadas pertenecen a dos grupos de rocas intrusivas de composiciones y características petrológicas claramente diferenciadas. Las diabasas olivínicas (muestras M-01 a M-09) forman la tipología más común. Son rocas básicas, equivalentes a basaltos olivínicos y basanitas. Consisten esencialmente en plagioclasa cálcica, clinopiroxeno y olivino y presentan texturas intergranulares a microgranulares. En general son poco porfídicas con predominio de pequeños fenocristales de olivino pero algunas de ellas pueden llegar a ser muy porfídicas con grandes fenocristales de clinopiroxeno. Las teschenitas (Enrique, 1990, 2012) (muestras M-10 a M-15) son foidomonzogabros (compuestos por labradorita,

muestra	Diabasas olivínicas									Teschenitas					
	M-01	M-02	M-03	M-04	M-05	M-06	M-07	M-08	M-09	M-10	M-11	M-12	M-13	M-14	M-15
SiO <sub>2</sub>	44,31	46,36	42,39	44,95	43,30	46,48	45,21	44,28	38,63	43,98	43,72	43,42	44,19	44,40	43,92
TiO <sub>2</sub>	2,45	1,81	1,96	2,08	2,90	1,82	1,63	1,97	2,79	2,94	2,93	2,79	3,04	3,13	3,24
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,86	13,74	11,93	12,95	12,64	13,32	12,37	12,85	11,41	16,21	16,09	17,16	16,14	17,39	15,57
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	12,21	12,62	11,44	12,54	12,96	12,96	12,11	12,43	14,09	10,55	10,49	9,73	10,57	10,15	10,54
MnO	0,17	0,17	0,17	0,18	0,17	0,17	0,17	0,18	0,21	0,18	0,18	0,18	0,17	0,16	0,16
MgO	10,22	9,30	11,35	10,50	10,57	11,75	11,67	8,78	10,09	4,82	4,65	3,93	5,79	4,53	4,52
CaO	9,13	8,16	11,93	9,56	9,23	8,97	8,97	8,23	10,29	8,76	8,58	9,22	9,13	8,35	8,28
Na <sub>2</sub> O	2,79	2,74	3,05	2,85	2,75	2,75	2,69	3,04	2,38	4,29	4,39	3,90	2,47	3,21	2,27
K <sub>2</sub> O	2,44	1,80	0,53	1,18	0,92	1,69	1,39	2,81	0,78	3,30	3,33	3,60	3,98	3,82	4,44
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	-	0,77	0,38	0,52	-	0,38	0,85	1,53	0,77	0,75	0,84	0,72	0,90	1,14
P.F.	2,56	2,50	1,85	0,71	2,15	1,48	1,45	1,85	4,80	2,76	2,69	2,75	2,96	2,96	3,00
Total	99,13	99,19	97,37	97,88	98,11	101,39	98,04	97,27	97,00	98,56	97,80	97,52	99,16	99,00	97,08
Ni	212	-	245	205	-	-	286	-	144	26	25	7	43	11	-
Cu	48	-	41	39	-	-	41	-	26	33	34	18	35	15	-
Pb	8	-	4	8	-	-	3	-	-	10	12	6	-	3	-
Zn	111	-	97	95	-	-	94	-	147	93	94	73	76	85	-
Rb	37	-	7	26	-	-	32	-	8	77	76	82	85	82	-
Ba	736	-	586	315	-	-	356	-	692	897	815	962	955	1060	-
Sr	887	-	827	506	-	-	599	-	1234	1152	1184	1105	1058	1388	-
Ga	18	-	15	18	-	-	17	-	18	21	21	21	20	20	-
Nb	77	-	57	32	-	-	37	-	106	99	96	104	91	104	-
Zr	249	-	201	178	-	-	129	-	398	299	292	296	280	300	-
Y	26	-	25	22	-	-	17	-	36	26	25	25	23	30	-
Th	12	-	14	4	-	-	5	-	7	11	11	14	8	11	-
La	61,4	29,8	69,1	25,5	-	-	29,6	82,1	97,5	71,1	73,0	-	-	-	83,4
Ce	113,28	53,69	121,13	50,64	-	-	54,91	151,62	191,54	125,18	128,11	-	153	122	152,53
Nd	51,58	25,98	50,98	26,68	-	-	26,08	66,66	90,94	52,24	53,11	-	-	-	64,74
Sm	10,16	5,85	9,73	6,07	-	-	5,85	12,70	17,54	9,33	9,41	-	-	-	11,76
Eu	3,14	1,84	2,84	1,89	-	-	1,88	3,82	5,19	2,84	2,90	-	-	-	3,54
Gd	8,54	5,32	8,12	5,67	-	-	5,61	10,28	13,15	7,65	7,54	-	-	-	9,37
Dy	5,6	4,0	5,5	4,1	-	-	3,7	6,1	8,8	4,9	5,0	-	-	-	5,9
Er	2,09	1,70	2,16	1,67	-	-	1,56	2,02	2,99	1,96	1,94	-	-	-	2,42
Yb	1,69	1,46	1,88	1,38	-	-	1,24	1,25	2,30	1,73	1,80	-	-	-	2,05
Lu	0,3	0,3	0,3	0,2	-	-	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	-	-	-	0,3

Tabla I.- Composición química de las rocas intrusivas de Mallorca en elementos mayores (%) y trazas (ppm). Se incluyen los análisis de lantánidos de 10 muestras representativas.

Table I.- Major (%) and trace element (ppm) composition of the intrusive rocks from Mallorca. 10 analyses of lanthanides from representative samples are included.

kaersutita, salita, analcima, sanidina, apatito, ilmenita y titanita) con una composición equivalente a las tefritas y fonotefritas.

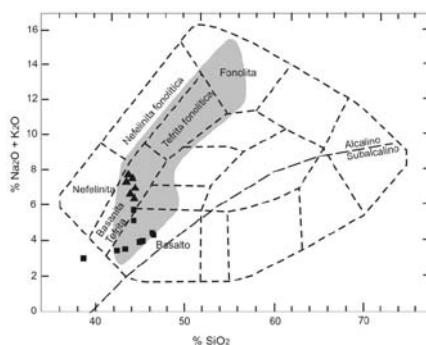
La localización de las muestras (Fig. 1) es la siguiente: M-01, Son Bunyola; M-02, Oeste del Port de Valldemossa; M-03, Port de Sóller; M-04, Muleta (Sóller); M-05, Els Binis; M-06, M-07 y M-08, Son Grua; M-09, Cala Sant Vicenç (Pollença); M-10, M-11 y M-12, Rafal d'Ariant; M-13, M-14 y M-15, Rafal d'Ariant, *sill* oriental. La localización detallada y la petrografía de las muestras se encuentra en Enrique (1986, 2012).

Los análisis químicos de elementos mayores y trazas se han realizado mediante fluorescencia de rayos-X en els Serveis Científic-Tècnics de la Universidad de Barcelona, con la excepción de los lantánidos que se han analizado por ICP (con normalización respecto al condrito CI) en el Service d'Analyses des Roches du CNRS de Vandoeuvre (Francia).

### Resultados y discusión

Los análisis obtenidos (Tabla 1) ponen de manifiesto que todas las muestras estudiadas son muy pobres en sílice, algunas de ellas proyectándose en el campo de las rocas ultrabásicas. Si se representan gráficamente en el diagrama de TAS de Cox *et al.* (1979) con los análisis reales (sin excluir el agua de composición) se observa una gran coincidencia con las series más básicas y alcalinas de las zonas de *rift* continental (Wilson, 1989) (Fig. 2). La relación  $K_2O/Na_2O$  (Fig. 3) pone en evidencia la existencia de subseries tanto sódicas como potásicas (Middelmost, 1975) lo que podría indicar una heterogeneidad del protolito mantélico y la generación de tendencias evolutivas distintas en los magmas parentales. El diagrama R1R2 de De la Roche (1980) utiliza no sólo los elementos alcalinos y la sílice sino también el resto de los elementos mayoritarios, lo cual permite determinar con mayor precisión algunas características geoquímicas de las rocas ígneas y de las series a las que pertenecen. La distribución en el diagrama de las muestras de Mallorca (Fig. 4) pone de manifiesto la existencia de, al menos, dos series ígneas con un diferente grado de subsaturación. La más subsaturada evoluciona desde magmas basaníticos hacia términos tefríticos y fonotefríticos (diabasas olivínicas moderadamente subsaturadas del Port de Sóller, Son Bunyola y un afloramiento de Son Grua, hasta las teschenitas del Rafal d'Ariant).

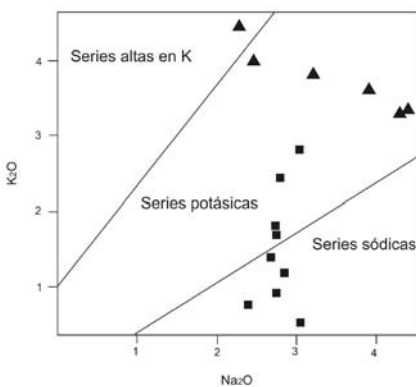
La otra es significativamente menos subsaturada y se halla representada por magmas basálticos alcalinos (diabasas olivínicas de Son



**Fig. 2.- Diagrama TAS (Cox *et al.*, 1979). Las muestras de Mallorca se sitúan en la misma tendencia composicional que las rocas volcánicas subsaturadas alcalinas del Rift Oriental Africano (área sombreada, Wilson, 1989). Leyenda: cuadrados, diabasas olivínicas; triángulos, teschenitas.**

*Fig. 2.- TAS diagram (Cox *et al.*, 1979). Samples from Mallorca plot in the same compositional trend of the alkaline undersaturated volcanic rocks from the Eastern Africa Rift (shaded area, Wilson, 1989). Legend: squares, olivine diabasas; triangles, teschenitas.*

Grua y Muleta) o incluso hiperstena-normativos (dique diabasa olivínica del suroeste del Port de Valldemossa) (Fig. 4). El bajo contenido en  $SiO_2$  de las teschenitas podría dar lugar a la hipótesis de que fueran magmas originados a partir de un grado de fusión muy bajo de las peridotitas del manto. Sin embargo, la observación de su composición sugiere que es más probable que se trate de magmas resultantes de la cristalización fraccionada de magmas basaníticos. La caída muy notable en el contenido de  $MgO$  (desde el 12% en las diabasas hasta el 4% en

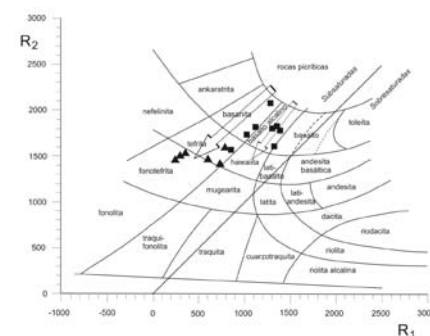


**Fig. 3.- Clasificación de las series magmáticas alcalinas según la proporción de  $K_2O$  y  $Na_2O$  (Middelmost, 1975). Una parte de las rocas intrusivas de Mallorca pertenecen a subseries sódicas aunque la mayoría son series potásicas. Leyenda: cuadrados, diabasas olivínicas; triángulos, teschenitas**

*Fig. 3.- Subdivision of the alkalic magma series in the  $K_2O$  versus  $Na_2O$  diagram (Middelmost, 1975). Some of the intrusive rocks from Mallorca belong to the Na-subseries but most of them are potassic. Legend: squares, olivine diabasas; triangles, teschenitas.*

las teschenitas), sin variación apreciable en la sílice, sugiere un proceso de cristalización fraccionada controlado principalmente por la precipitación de olivino (Wilson, 1979). La misma conclusión se deriva del incremento en Nb en función del Zr siguiendo aproximadamente una relación  $Nb/Zr = 3,5$  coherente con la que presentan las series basanítico-fonolíticas del Rift Africano (Wilson, 1989). Asimismo se observa un fuerte decrecimiento en elementos compatibles (el Ni baja desde unas 200 ppm a unas 20), y un fuerte enriquecimiento en incompatibles como el Rb, Ba, Sr, Nb y Zr.

Los espectros de las tierras raras nos indican claramente su tipología basáltica alcalina (Fig. 5) con un marcado enriquecimiento en tierras raras ligeras y un empobrecimiento en los elementos más pesados con una relación  $La_N/Yb_N$  comprendida entre 13,77 y 44,26. La anomalía del europio es nula (la relación  $Eu/Eu^*$  se halla entre 0,99 y 1,05) lo que sugiere una ausencia de fraccionación de plagioclasa tanto en las diabasas olivínicas como en las teschenitas. A pesar de la uniformidad morfológica de los patrones de Tierras Raras (TTRR) se observa una distribución que se expande y se aproxima al espectro de las nefelinitas (Fig. 5) lo que probablemente supone un grado de fusión muy bajo de las rocas del manto. Por otra parte, el fuerte déficit en elementos de las TTRR pesadas (mayor que en el patrón usado de referencia para los basaltos alcalinos) puede estar causado por una fusión en equilibrio con granate en un manto peridotítico no empobrecido bastante profundo (50-60 km, O'Hara *et al.*, 1971). Las



**Fig. 4.-Diagrama R1R2 de De la Roche *et al.* (1980). Se definen dos tendencias con distinto grado de subsaturación (ver texto principal). Leyenda: cuadrados, diabasas olivínicas; triángulos, teschenitas.**

*Fig. 4.- R1R2 diagram from De La Roche *et al.* (1980). Two trends with different degree of undersaturation are defined (see the main text). Legend: squares, olivine diabasas; triangles, teschenitas.*

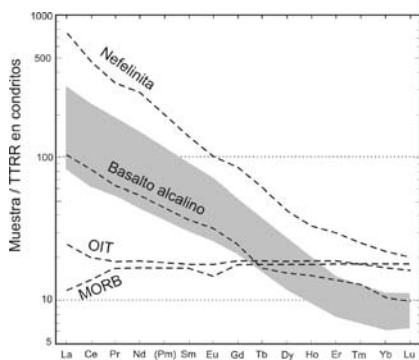


Fig. 5.- Representación de las rocas intrusivas de Mallorca (zona sombreada) en el diagrama de tierras raras normalizado en relación a los condritos (Boynton, 1984). La distribución de los patrones se ajusta a la de los basaltos alcalinos.

Fig. 5.- Plot of the intrusive rocks from Mallorca (shaded area) on the chondrite-normalized REE diagram (Boynton, 1984). The patterns are similar to alkali basalts.

teschenitas muestran las concentraciones de TTRR más elevadas (Fig. 6) pero las diabasas olivínicas tienen contenidos distintos y algunas se superponen con ellas. En la figura 6 sólo se han representado los valores más bajos de las diabasas.

Los diagramas de aproximación geotectónica basados en elementos traza inmóviles no ofrecen dudas sobre las características alcalinas y sugieren un contexto claro de intraplaca como observaron Navidad y Álvaro (1985) en las rocas volcánicas espilitizadas de Cala Tuent. En el diagrama Th-Zr/117-Nb/16 de Wood (1980) tanto las diabasas olivínicas como las teschenitas se sitúan en el campo de las rocas básicas alcalinas de intraplaca (Fig. 7). Dos diabasas se extienden fuera del campo por su riqueza inhabitual en Th. Este hecho podría indicar una contaminación por la corteza conti-

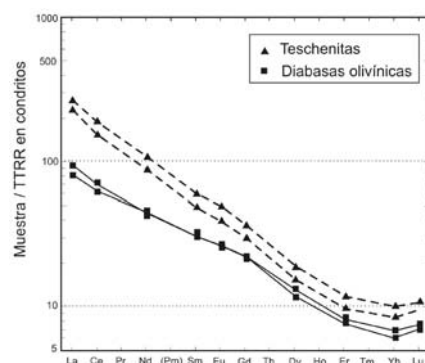


Fig. 6.- Abundancias de TTRR normalizadas respecto a los condritos de las teschenitas y las diabasas olivínicas de las series de bajo grado de subsaturación (ver figura 4).

Fig. 6.- Chondrite-normalized REE abundances in teschenites and olivine diabasas of low undersaturated series (see figure 4).

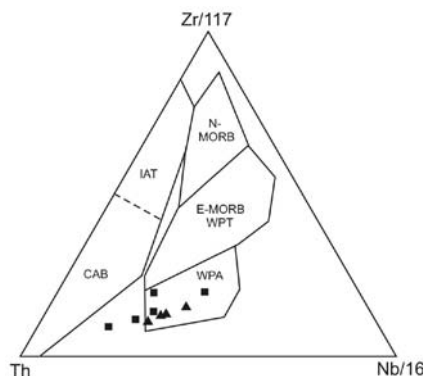


Fig. 7.- Geotectonic classification of basic rocks from Wood (1980). CAB: calc-alkali basalts; IAT: island arc tholeiites; MORB: mid-ocean ridge basalts; WPT: within-plate tholeiites; WPA: within-plate alkali basalts. Legend: squares, olivine diabasas; triangles, teschenites.

Fig. 7.- Geotectonic classification of basic rocks from Wood (1980). CAB: calc-alkali basalts; IAT: island arc tholeiites; MORB: mid-ocean ridge basalts; WPT: within-plate tholeiites; WPA: within-plate alkali basalts. Legend: squares, olivine diabasas; triangles, teschenites.

mental durante el ascenso del magma o la posible fusión de un manto anómalo, enriquecido en componentes corticales.

**Conclusiones**

1) El estudio geoquímico de las rocas ígneas básicas inalteradas, y obtenidas *in situ*, de Mallorca pone de manifiesto que todas ellas comparten una clara tipología alcalina de intraplaca.

2) Sin embargo, sus composiciones distan mucho de ser homogéneas y pueden distinguirse, al menos, dos tendencias diferentes. Una, fuertemente subsaturada que se halla parcialmente diferenciada (diabasas olivínicas ricas en álcalis y teschenitas) que evoluciona desde magmas basaníticos a fonotefríticos. La otra, mucho menos subsaturada está constituida por diabasas olivínicas que pueden llegar a ser hiperstena-normativas y procede de magmas basálticos alcalinos o incluso transicionales. De esta serie o series no se han hallado por el momento términos diferenciados.

3) Se ha observado una heterogeneidad composicional en la relación K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O y en algunos elementos traza (por ejemplo el Th) que sugiere que los magmas parentales pueden proceder de un manto modificado y haber tenido una contaminación cortical durante el ascenso.

4) En cambio, no se aprecia una correlación de los magmas con las diferentes unidades tectónicas (como se sugiere en Sanz *et al.*, 2013) ya que las distintas tendencias coexisten en toda la Serra de Tramuntana.

**Agradecimientos**

El autor agradece a los Dres. Carlos Villaseca y Ramón Casillas sus contribuciones especializadas en la revisión de este trabajo.

**Referencias**

Boynton, W.V. (1984). En: *Rare Earth Element Geochemistry. Developments in Geochemistry 2* (R. Henderson, Ed.), Elsevier, Amsterdam, 89-92.

Cox, K.G., Bell, J.D. y Pankhurst, R.J. (1979). *The Interpretation of Igneous Rocks*. George Allen & Unwin, London, 450 p.

De la Roche, H., Leterrier, J., Grandclaude, P. y Marchal, M. (1980). *Chemical Geology* 29, 183-210.

Del Olmo, P., Álvaro, M., Batlle, A. y Ramírez, J. (1981). *Mapa Geológico de España 1:50.000 (2ª Serie), hoja nº 644 (Pollensa) y memoria*. IGME, Madrid.

Enrique, P. (1986). *Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Balears* 30, 19-50.

Enrique, P. (1990). In: *The Valencia Trough: Geology and Geophysics Abstracts*, Blackwell Scientific Publications, 3-4.

Enrique, P. (2012). *Geogaceta* 51, 11-14.

Escandell, B. y Colom, G. (1962). *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 671 (Inca) y memoria*. IGME, Madrid.

Fallot, P. (1922). *Étude géologique de la Sierra de Majorque*. Tesis Doctoral, Univ. de Paris y Lieja. 480 p.

Mataillet, R. y Péchoux, J. (1978). *Étude géologique de l'extrémité occidentale de la Serra Nord de Majorque (Balears, Espagne)*. Tesis Doctoral. Faculté des Sciences et Techniques, Univ. Franché-Comté, 161 p.

Middlemost, E.A.K. (1975). *Earth Sciences Review* 11, 337-364.

Navidad, M. y Alvaro, M. (1985). *Boletín Geológico y Minero* 96, 10-22.

O'Hara, M.J., Richardson, S.W. y Wilson, G. (1971). *Contributions to Mineralogy and Petrology* 32, 48-68.

San Miguel de la Cámara, M. (1936). *Estudio de las rocas eruptivas de España*. Memoria de la Academia de Ciencias de Madrid. Serie Ciencias Naturales, Tomo VI, 660 p.

Sanz, T., Lago, M. Galé, C., Ubide, T., Pocoví, A. y Gil, A. (2013). *Geogaceta* 54, 39-42.

Wilson, M. (1989). *Igneous Petrogenesis*. Unwin Hyman, London, 466 p.

Wood, D.A. (1980). *Earth and Planetary Science Letters* 50, 11-30.