

El volcanismo de la base del Paleozoico Inferior del macizo del Canigó (Pirineos Orientales). Evidencias geoquímicas de la apertura de una cuenca continental.

Lower-Paleozoic volcanism in the Canigó Massif (Eastern Pyrenees). Geochemical insights of the continental basin ouverture

M. Navidad ⁽¹⁾ y J. Carreras ⁽²⁾

⁽¹⁾ Dpto Petrología y Geoquímica. Fac. Geológicas. UCM. email: navidad@geo.ucm.es

⁽²⁾ Dpto. Geología. Unidad Geotectónica. Fac. Ciencias. UAB. Email: j.carreras@geologia.uab.es

ABSTRACT

In the Hercynian Canigó Massif exist a basic-acid volcanism interbedded between the azoic metasediments characteristics of lower Paleozoic subsident basins. It define a low grade metamorphosed volcanic sequence of toleitic-calc-alkaline affinity. The more basic toleitic terms are located at the lower part of the metasedimentary sequence ("Canaveilles Group"), and they are constitute by meta-andesitic basalts and meta-andesitic terms that appear essentially how flow-laves. Pyroclastic beds formed by meta-ignimbritic andesitic flow-laves and rhyodacitic meta-tuffs and rhyolitic meta-ash of calc-alkaline affinity are located at the top of metasedimentary sequence. A geochemical and petrologic polarity is show by the metavolcanic serie into the metasedimentary Canaveilles Group.

These volcanism is characterized by an important subductive component and geochemical anomalies ascribed to continental settings. It is related with the ouverture of a marginal subsident basin or a continental back-arc basin.

Key words: lower Cambrien, ancient volcanism, geochemistry, continental subsident basin, eastern Pyrenees.

Geogaceta, 32 (2002), 91-94
ISSN:0213683X

Introducción

El macizo del Canigó es el más importante de los macizos metamórficos Hercínicos del Pirineo Oriental (Fig 1). Se caracteriza por una tectónica polifásica (Guitard, 1970; Zwart, 1986; Carreras & Debat, 1996) que ha dado lugar a un domo antiformal cuyo núcleo metamórfico está constituido por una secuencia metasedimentaria ("Grupo de Canaveilles", Laumonier, 1998) que incluye láminas de ortogneises peraluminicos ("Gneises del Canigou") para los que se han obtenido edades cadomienses (580 ± 20 Ma por Rb/Sr Vitrac-Michard & Allegre, 1975 y 570 ± 12 Ma por U/Pb sobre circones Barnolas y Chiron 1996) y Ordovícico Inferior (entre 446 ± 20 Ma y 467 ± 7 Ma, en circones mediante U/Pb Barnolas y Chiron opus cit.) y ortogneises meta-alumínicos («Gneis de Casemí», Guitard, 1970) de edad Silúrica (425 ± 18 Ma en monozircón, Delapérière et Soliva, 1992). Todo este conjunto de materiales se encuentra afectado por un metamorfismo de baja presión y alto gradiente metamórfico dentro de las facies de los esquistos verdes y de las anfibolitas (Guitard

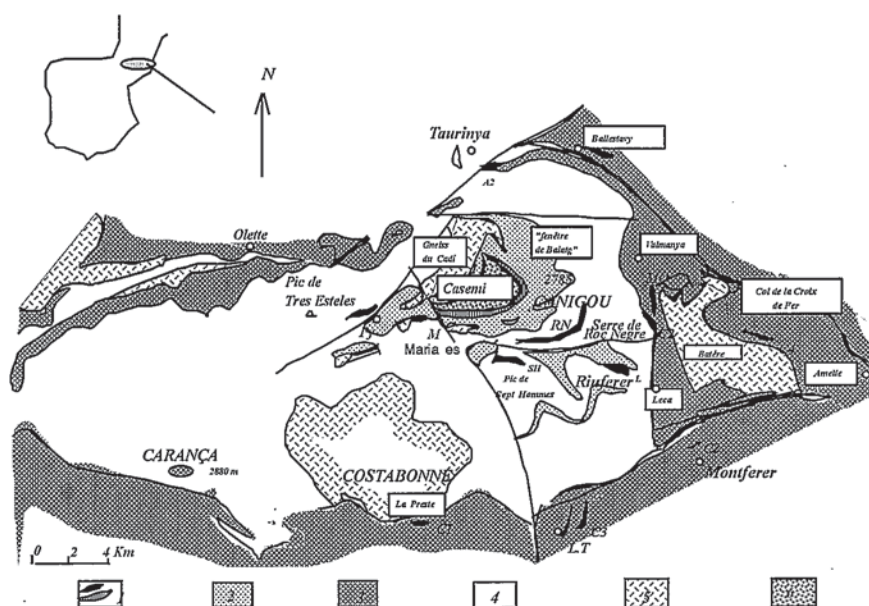


Fig 1.- Esquema geológico del macizo del Canigó. Tomado de Guitard, 1970. Leyenda: 1. Metabasites; 2. Micasquistos de Balatg; 3. Micasquistos de la série de Canaveilles; 4. Gneis del Canigó; 5. Granitoides; 6. Gneis de Casemí

Fig. 1.- Geological sketch of the Canigó Massif. From Guitard, 1970. Legende: 1. Metabasites; 2. Balatg micaschists; 3. Canaveilles micaschists; 4. Canigó orthogneisses; 5. Granitoids; 6. Casemí gneisses

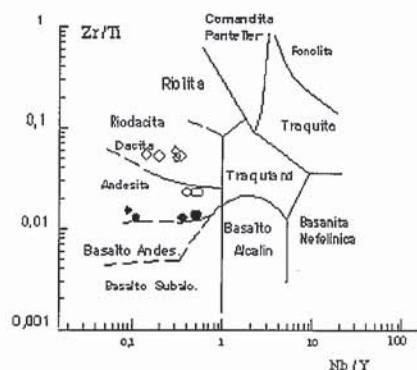


Fig. 2.- Clasificación química de las rocas del macizo del Canigó a partir de Winchester & Floyd, (1977). Símbolos: círculos negros: metabasaltos de Balatg; rombos negros: metabasaltos de Canavelles; círculos blancos: metaignimbritas de Canavelles; rombos blancos: porfiroides ácidos; triángulo: diques ácidos.

Fig. 2.- Chemical classification of the Canigó massif after Winchester & Floyd, 1977. Symbols: black circles: Balatg meta-basalts; black diamond: Canavelles basalts; White circles: meta-ignimbrites; white diamonds: acid porphyroids; white triangle: acid dykes

opus cit, Gibson, 1991). El magmatismo Varisco comprende un importante volumen de granitoides que se emplazan en diferentes niveles estructurales y que producen un metamorfismo de contacto que enmascara las características del metamorfismo regional. El ciclo Alpino deforma el basamento mediante importantes fallas y cabalgamientos pero no borra las anteriores estructuras variscas.

En ausencia de datos geocronológicos, en este trabajo nos referiremos exclusivamente a los niveles de metabasitas lávicas y porfiroides ácidos que aparecen intercalados entre los metasedimentos del Paleozoico Inferior. Se exceptúan los sills y boudens de edad incierta ya que tan solo se conoce una edad similar a la de los ortogneises peraluminicos del Canigó obtenida por Gebauer, D. 1993 en sills metabásicos análogos del macizo metamórfico de Las Guilleras en la Cordillera Costero Catalana.

Emplazamiento geológico del volcanismo del Paleozoico Inferior

Los niveles más profundos de la secuencia metasedimentaria del Grupo de Canavelles (Cavet, 1957; Laumonier et Guitard, 1986) afloran en una ventana tectónica situada en el flanco inverso de la antiforma definida por los ortogneises del Canigó; corresponden a una serie grauvaco-pelítica («Serie de Balatg» Fig 1) formada esencialmente por micaesquistos con intercalaciones de cuarcitas y niveles carbonatados a techo entre los que se intercalan los primeros niveles de me-

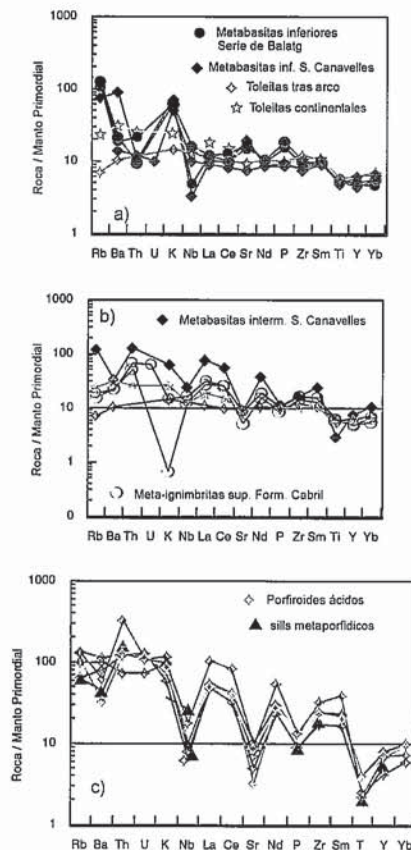


Fig. 3.- Diagramas de Multielementos de las metabasitas y porfiroides ácidos normalizados al manto primordial según Wood et al, 1979

Fig. 3.- Spiderdiagrams of metabasites and acid porphyroids. Normalisation after Wood et al, 1979

tabasitas (metabasitas de Balatg) que forman brechas eruptivas y niveles masivos.

Por encima de esta serie, y a techo de la lámina de ortogneises, aflora la «Serie de Canavelles» formada por esquistos plateados y diferentes niveles de mármoles entre los que se intercalan niveles de metabasitas de carácter lávico. Estos niveles atribuidos al Cámbrico Inferior (Laumonier, 1998) por comparación con otros sectores del Pirineo oriental datados con archeocytos (Perejón et al, 1992) encierran la mejor representación del volcanismo pre-Varisco del Pirineo Oriental, ya que se asocian con niveles de porfiroides ácidos representantes de tobas y cineritas («Gneises Granulés», Guitard, opus cit).

A techo de esta serie aparece la «Formación Cabril» formada por pizarras ampelíticas entre las que se intercalan niveles de porfiroides ácidos asociados a tobas básicas con estructuras ignimbriticas. El volcanismo pre-varisco termina en este macizo con esta formación, ya que por encima de ella no se conoce ningún otro nivel de metavulcanitas en las series de Evol y Jujols.

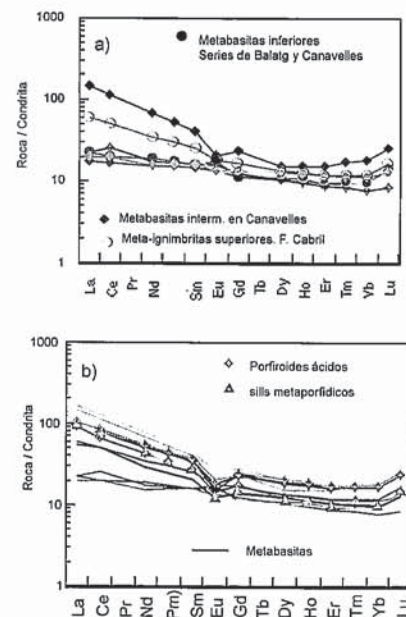


Fig. 4.- Perfiles de Tierras raras de metabasitas y porfiroides ácidos normalizados según Taylor y Mac Lennan, 1985

Fig. 4.- REE profiles of metabasites and acid porphyroids. Normalisation after Taylor and Mac Lennan, 1985

Resultados petrológicos y geoquímicos

Metabasitas

Los términos menos diferenciados de la secuencia magmática afloran muy próximos a la localidad de Leca en el contacto entre los ortogneises del Canigó y los micaesquistos de Balatg (Fig 1) y dentro de la zona metamórfica de la andalucita regional. Corresponden a niveles subvolcánicos y lavas masivas con vesículas bien visibles que disminuyen en tamaño y proporción hacia el techo de la capa que muestra un espesor entre 1 y 2 metros. Al microscopio, conservan texturas diabásicas y sub-órficas residuales al igual que pequeños enclaves microgranudos. Sus vesículas se encuentran recristalizadas por un agregado típico de la facies de los esquistos verdes y su asociación mineral está formada por magnesio-hornblenda, plagioclasa (An_{30}) e ilmenita desestabilizada a esfena. Geoquímicamente (Tabla 1, anal C1B, C2B), definen los términos menos diferenciados de este volcanismo (SiO_2 47-48%), su clasificación respecto a los elementos menos móviles corresponde a basaltos (Fig 3, Winchester & Floyd, 1977), de afinidad toleítica ($1,13 < FeO/MgO < 2,57$, $1,24 < TiO_2 < 1,73$, Miyashiro, 1975) con alto contenido en Cr y Ni (338-377 y 116-142 respectivamente). Se caracterizan al igual que el resto de las rocas metavolcánicas de esta secuencia por su bajo contenido en Nb (<10 ppm), Th (<4 ppm), Zr (<100 ppm) y REE (STR= 62 ppm).

Las metabasitas que aparecen intercaladas entre los esquistos y niveles carbonatados de la

	Meta-ignimb. Calc. calc.				C5	
	C1B	C2B	C3C	C4C	C5	C6
SiO ₂	48,04	47,37	45,97	51,15	54,67	53,69
TiO ₂	1,41	1,36	1,33	1,24	1,58	1,45
Al ₂ O ₃	17,20	17,47	15,76	12,05	14,81	14,60
Fe ₂ O ₃	9,15	10,03	11,95	13,28	8,85	8,87
MnO	0,17	0,16	0,17	0,20	0,08	0,12
MgO	7,21	7,01	8,53	5,74	7,50	8,68
CaO	11,07	10,93	6,91	8,44	3,44	2,72
Na ₂ O	0,88	1,08	1,92	3,45	4,40	2,73
K ₂ O	1,84	1,86	1,53	2,16	0,44	0,02
P ₂ O ₅	0,31	0,38	0,19	0,18	0,22	0,18
H ₂ O	1,47	2,12	4,86	1,36	3,78	6,40
Total	98,749	99,77	99,13	99,249	99,77	99,459
Ba	139	158	106	678	161	169
Be	2	1	2	1	1	1
Co	52	38	48	51	27	50
Cr	377	338	255	194	621	477
Cu	25	10	58	64	100	119
Ga	24	25	16	20	16	17
Nb	2	10	6	2	10	8
Ni	142	116	179	48	151	314
Rb	87	109	94	64	16	13
Sc	43	27	55	26	26	28
Sr	392	351	167	438	201	120
Th	4	1	1	4	6	4
V	240	222	213	322	167	197
Y	23	24	21	29	23	24
Zn	72	81	195	96	71	77
Zr	98	107	80	88	176	160
Hf						
La	8,30	8,26	6,28	7,10	21,94	19,74
Ce	24,00	18,53	15,71	18,67	47,97	48,63
Nd	3,72	3,63	3,40	3,68	5,96	4,76
Sm	12,45	13,59	10,88	10,99	24,64	20,10
Eu	1,38	1,51	1,15	1,17	1,54	1,08
Gd	3,82	3,53	3,42	4,05	5,03	4,36
Dy	4,01	4,13	3,93	4,94	5,22	4,72
Er	2,18	2,27	2,33	2,90	2,27	2,63
Yb	1,95	2,33	2,34	2,75	2,88	2,33
Lu	0,21	0,35	0,36	0,32	0,43	0,33

Tabla I.- Análisis químicos de la Metabasitas del Macizo del Canigó

Table I.- Chemical Analyses of the Canigó Massif metabasites

serie de Canavelles (localidades de Valmanya, Montferrer y Llo), presentan una morfología de sill y lavas vesiculares asociadas a un importante volumen de tobas y cineritas básicas. Estas metabasitas están estrechamente asociadas a niveles de porfíroides ácidos («Gneises granulés», Guitard, opus cit.). Los niveles masivos de lavas contienen abundantes vesículas deformadas y orientadas definiendo la esquistosidad principal. Su asociación metamórfica corresponde a la facies de las anfibolitas (zona de la andalucita) y está formada por: hornblenda, plagioclasa, biotita e ilmenita retrogradada a una asociación típica de los esquistos verdes (clorita, actinolita, albíta, epidota, clinozoisita y esfena). Los niveles de tobas piroclásticas y cineritas contienen pequeños clastos de albíta rodeados por una matriz esquistosa de actinolita acicular. Geoquímicamente, a excepción de los niveles situados hacia la base de la serie de Canavelles que son similares a los descritos anteriormente (Tabla I, C3C) las metabasitas que se intercalan entre los mármoles en la parte media de la serie (Tabla I. C4C), se diferencian de las lavas basales por ser más diferenciadas con contenidos más elevados en SiO₂ (51%) y álcalis e inferiores en cromo (194 ppm) y níquel (48 ppm).

A techo de la serie de Canavelles se encuentra la formación Cabril formada por pizarras negras grafitosas entre las que se intercalan niveles piroclásticos formados por meta-andesitas con texturas ignimbríticas y porfíroides ácidos. Las primeras se encuentran

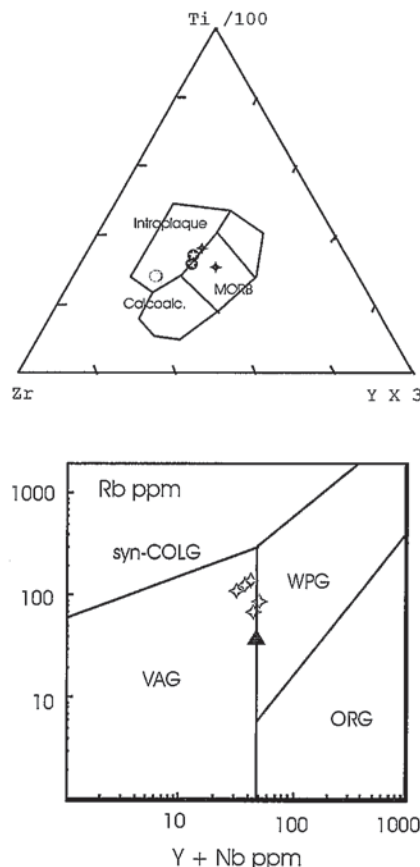


Fig. 5.- Emplazamiento orogénico de las metabasitas y porfíroides ácidos según los diagramas de Pearce and Cann, 1973 and Pearce et al, 1984. Simbolos como en Fig 2

Fig. 5.- Geodinamical setting of metabasites and porphyroids after Pearce and Cann, 1973 and Pearce et al, 1984 diagrams. Symbols how Fig 2

al oeste del col de la Croix de Fèr y representan los últimos niveles de metavolcanicas básicas del Paleozoico Inferior. Presentan un espesor métrico a decimétrico con una extensión aproximada de 300 metros; los niveles masivos están formados por meta-andesitas vesiculares y plagioclásicas con texturas ignimbríticas residuales. Su asociación metamórfica corresponde a los esquistos verdes con albíta, actinolita, clinozoisita, clorita y leucoxeno-ilmenita. La matriz está formada por un agregado microcristalino diablastico con vesículas alargadas conforme a la esquistosidad regional y recrystalizadas por clinozoisita, cuarzo y albíta. Los niveles de meta-tobas epiclásticas presentan una textura pizarrosa que encierra porfiroclastos de albíta y clinozoisita con inclusiones de anfíbol. Geoquímicamente (Tabla 1 anal C5, C6), se clasifican como andesitas (Fig 2) caracterizándose por su alto contenido Cr (477 y 621 ppm) y Ni (151 y 314) que las asimila a los basaltos situados en la base de la serie paleozoica. Sin embargo, sus contenidos más elevados en SiO₂ (53-54%), álcalis (2,75-4,8%) y Zr (160-

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
SiO ₂	43,62	72,84	64,93	64,34	63,67	71,11
TiO ₂	1,02	0,65	0,96	1,01	0,96	0,52
Al ₂ O ₃	14,63	12,1	14,46	14,66	14,42	15,2
Fe ₂ O ₃	6,91	4	6,74	7,28	6,75	2,7
MnO	0,06	0,03	0,11	0,04	0,05	0,04
MgO	2,75	1,56	2,49	3,02	2,59	1,1
CaO	1,18	0,93	1,82	0,64	1,01	1,36
Na ₂ O	3,62	2,37	3,9	2,79	3,2	4,83
K ₂ O	3,47	2,92	1,82	2,24	2,62	1,11
P ₂ O ₅	0,27	0,19	0,28	0,28	0,29	0,18
H ₂ O	2,13	2,07	2,18	3,47	2,91	1,65
Total	99,66	99,66	99,69	99,77	98,87	99,81
Ba	852	755	595	248	1059	335
Be	1,7	1,29	1,79	1,7	1,7	2,92
Co	60	92	71	34	58	1,04
Cr	236	146	215	242	383	36,5
Cu	20	23	27	37	29	6,45
Ga	4	4	4	12	14	20,8
Nb	6	5	4	9	9	16
Ni	35	31	31	49	39	0,45
Rb	116	86	55	90	67	53,3
Sc	16,2	9,1	15,6	16	15,6	
Sr	164	114	236	74	198	
Th	12,3	8,67	11,85	11,98	12,14	15,3
U	2,93	2,01	3,4	3,19	3,2	
V	111	69	109	114	106	46,7
Y	38	20	35	32	35	25,8
Zn	227	58	125	59	71	44,4
Zr	263	186	251	257	252	294
Hf						
La	37,78	33,44	37,76	37,51	35,13	35,28
Ce	79,77	42,14	78,73	78,44	73,77	72,25
Nd	38,06	30,32	37,8	37,47	35,82	30,73
Sm	8,73	6,36	8,53	8,24	7,96	6,32
Eu	1,65	1,29	1,63	1,33	1,6	1,07
Gd	7,52	5,23	7,25	7	6,65	4,66
Dy	7,71	4,63	7,22	6,95	7,08	4,25
Er	4,34	2,6	4,04	4,17	4,2	2,39
Yb	4,31	2,5	4,09	4,14	4,09	2,49
Lu	0,62	0,37	0,59	0,59	0,61	0,39

Tabla II. Análisis Químicos de los Porfíroides ácidos del Macizo del Canigó

Table II.- Chemical Analyses of the Canigó Massif acid porphyroids

170 ppm) son análogos a los de las lavas situadas en la parte intermedia de la serie y al igual que el resto de los niveles, sus contenidos en Nb son bajos (<10 ppm).

Respecto al contenido en elementos trazas, los modelos que se deducen a partir de los diagramas de multielementos procedentes de su normalización al manto primordial (Wood et al, 1979) implican diferencias entre las metabasitas situadas en los diferentes tramos del Grupo de Canavelles. Las lavas inferiores presentan espectros verticalizados para los elementos móviles con una fuerte pendiente negativa en relación con los elementos de transición y los menos móviles muy próximos al manto primordial (Fig 3a). Hay que destacar las anomalías negativas en Nb (componente subductiva) y Th y positivas en los elementos móviles (K, Rb) en relación con procesos hidrotermales; por otra parte, su analogía con los espectros procedentes de toleitas de trasarco y continentales es notable. En comparación con estos niveles, las lavas que ocupan los tramos intermedios y superiores de la serie metasedimentaria, presentan un enriquecimiento importante en elementos móviles y de transición (componente cortical), conservando el bajo contenido en elementos inmóviles (Fig. 3b); al mismo tiempo, se suavizan las anomalías en Nb y Th sugiriendo una probable diferenciación y contaminación cortical de éstas últimas respecto a aquellas. En relación a las tierras raras (Fig. 4a), los metabasaltos inferiores presentan espectros aplanados, muy poco fraccionados (La/Yb)_N=1,7-1,8 en algún caso con una pequeña anomalía positiva en europio (Eu/Eu*=1,03). Las meta-ignimbríticas superiores y alguna de las intermedias aparecen relativamente enriquecidas en tierras raras ligeras y

sus espectros aparecen fraccionados respecto a los metabasaltos inferiores sin embargo, coinciden respecto a las tierras raras pesadas. Esto sugiere que en su origen hayan intervenido de manera importante procesos de contaminación cortical además de los procesos de fraccionación.

Porfiroides ácidos

Guitard (1970) los describe como un complejo de antiguas lavas de carácter explosivo formado por tobas, tobas cineríticas y cenizas con niveles de tipo chert que aparecen interestratificados con metabasitas entre niveles de mármoles. Su extensión es variable (100 a 200 m) y los afloramientos más representativos se encuentran en el sector oriental del Canigó. Son rocas esquistosas con una matriz fina que encierra granos de feldespato y lentillas biotítico-cloríticas aplastadas conforme la esquistosidad regional, pasan transicionalmente a niveles félsicos feldespáticos. Al microscopio están formados por una matriz fina clorítica sericitica con cuarzo y albíta que engloba clastos de albíta fragmentados, cuarzos corroídos y antiguos cristales de ortosa reemplazados por albíta en damero y sericitita, cubos de piritita, leucóxeno y turmalina. Son frecuentes en las facies ignimbríticas agregados sericiticos fusiformes que engloban clastos de albíta corroídos. Accidentalmente se observan agregados micropegmatíticos.

Sus análisis químicos (Tabla 2) corresponden a riódacitas con un alto contenido en álcalis (5-7%) y corindón normativo (3,5-7%). Respecto a los elementos traza (Fig. 3c), sus contenidos en Nb (<9 ppm), Th (8-12 ppm) y Cr (140-380 ppm) son muy similares a los de las meta-ignimbríticas superiores, sin embargo, su elevado contenido en Zr (180-260 ppm) y el perfil que presentan sus espectros de multielementos enriquecidos en elementos móviles y de transición y con marcadas anomalías negativas en Nb, Sr, Ti y P indican su analogía con magmas de procedencia crustal (Thompson et al, 1984). Su contenido en tierras raras es alto (STR=150-190) y sus espectros son fraccionados Eu ($La/Yb = 5,8-9$) y con una anomalía negativa en Eu (Fig 4b).

Interpretación de los resultados

El vulcanismo de la base del Paleozoico Inferior en el Macizo del Canigó está formado por términos básicos-intermedios de afinidad toleítica-calcoalcalina y por términos ácidos aluminicos de afinidad calcoalcalina. Los términos menos diferenciados toleíticos se dis-

ponen en la base de la secuencia paleozoica mientras que los más diferenciados de carácter explosivo y calcoalcalinos aparecen en la parte superior lo que define una polaridad dentro del Grupo de Canavellas. Los diagramas de correlación binaria (Mg-óxidos/trazas) ponen de manifiesto la ausencia de correlación entre los términos básicos, incluyendo también los intermedios ignimbríticos y los términos ácidos; es decir, aparentemente no existe un proceso de diferenciación magmática entre ambos miembros de la secuencia volcánica. Las analogías geoquímicas encontradas entre los términos ácidos y los magmas de procedencia cortical, su aluminosidad y el progresivo y marcado enriquecimiento en elementos de transición y determinados elementos inmóviles (Nd, Zr, Sm) sugieren una fuente cortical para ellos. Los términos más básicos proceden por el contrario de magmas muy poco diferenciados próximos a los E-MORB; procesos de diferenciación y de contaminación cortical progresiva habrían generado probablemente los términos intermedios de afinidad calcoalcalina. Se estima por tanto una doble fuente para este vulcanismo, mantelica para los términos toleíticos basales y cortical para los más ácidos calcoalcalinos.

En lo que se refiere a su marco geodinámico, la proyección de todas estas rocas en los diagramas clásicos (Pearce and Cann, 1973; Pearce et al, 1984), sugieren para las rocas básicas ámbitos transicionales arco-continente y una importante analogía con los E-MORB (Fig 5a) y para las ácidas ámbitos post-colisionales (Fig 5b). Por otra parte, la generalizada componente subductiva que presentan, reflejada por la marcada anomalía en niobio y el estrecho parentesco geoquímico encontrado entre las rocas toleíticas y las procedentes de ámbitos continentales y de trasarco así como su estrecha asociación con sedimentos grauvacopelíticos y ampelíticos indican su emplazamiento en una cuenca continental subsidente en apertura.

Conclusiones

El vulcanismo básico-ácido del Macizo metamórfico del Canigó está formado por andesitas basálticas de afinidad toleítica y tobas andesíticas ignimbríticas de afinidad calcoalcalina. Los términos ácidos están formados por tobas riódacíticas y riolitas calcoalcalinas.

Definen una polaridad dentro de la serie del Paleozoico Inferior "Grupo de Canavellas" con una actividad explosiva importante hacia el techo de la secuencia paleozoica.

Este vulcanismo tiene doble procedencia mantelica y cortical. Su emplazamiento tuvo lugar en una cuenca continental subsidente ligada a un margen de placa o de trasera de arco.

Agradecimientos

M. Navidad agradece al Profesor G. Guitard su introducción en esta temática y su ayuda. Este trabajo ha sido financiado por los Proyectos DGICYT (PB 880240 y PB 910477) y una Accion Integrada Franco-Española (18A)

Bibliografía

- Barnolas A. y Chiron J. C. (1996). *Édition BRGM-ITGE*. Vol 1. 729 pp
- Carreras, J. y Debat, P (coord) (1996).). In: Barnolas, A., Chiron, J.C. *Edition BRGM-ITGE* vol 1 pp 585-693
- Cavet, P. (1957). *Bull. Serv. Carte Géol. Fr.*, t. 55, 254
- Delapérière, E et Soliva, E (1992). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 314, II, 345-350 pp
- Gebauer, D (1993). In: *XII Reuniao de Geologia do Oeste Peninsular*. Evora. 41-46
- Gibson, R.L (1991). *Geology*, 19 pp 380-383
- Guitard, G (1970). *Mém BRGM*, nº 63, 117 p
- Guitard, G., Autran, A. et Fontelles, M.(coord). (1996). In: Barnolas, A., Chiron, J.C. *Edition BRGM-ITGE* vol 1 pp 137-155
- Laumonier, B. (1998). *Geodinamica Acta* 11 (1), 1-11
- Laumonier, B et Guitard, G (1986). *C. R. Acad. Sci. Paris. T 302. Sér II*, 7, 473-478
- Miyashiro, A y Shido, F. (1975). *Amer. Journ of Sci.* vol 275 pp 265-277
- Perejon, A., Moreno-Eiris, E y Abad, A (1992). *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Sec. Geol.)*, 89 (1-49), 55-95
- Pearce, J. A y Cann J. R (1973). *Earth Planet. Sci. Lett.*, 12, 339-349
- Pearce, J.A., Harris, N.B., Tindle A. G. (1984). *Journal of Petrology*, 21, 956-983
- Taylor, S. R and Mac Lennan, S. H. (1985). *Blackwell Sci. Publ.* 311 pp
- Thompson, R. N., Morrison M. A., Hendry G. L and Parry. (1984). *Phil. Trans. R. Soc.*, A310, 549-590
- Vitrac-Michard, A et Allegre, C. J. (1975 a). *C. R. Acad. Sci. Paris* 27, 2411-2413
- Winchester, J.A and Floyd, P.A. (1977). *Earth Planet. Sci. Lett* 28, 459-469
- Wood, D.A., Joron, J. L. et Treuil, M (1979). *Earth and Planet Sci. Lett.*, 45, 326-336
- Zwart, H. J. (1986). *Tectonophysics* 129, 9-27