

Basaltos subalcalinos en las coladas de la cuenca del Ser (Zona Volcánica de Olot)

Subalkali basalt flows from the Ser basin (Olot Volcanic Field)

Pere Enrique ⁽¹⁾ y Vanesa Toribio ⁽²⁾

⁽¹⁾ Departament de Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica. Facultat de Geologia. Universitat de Barcelona. C/. Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona. pere.enrique@ub.edu.

⁽²⁾ C/Batista, 12-14 4^o 1^a 08005 Barcelona. toribv@mapfre.com.

ABSTRACT

The geochemical study of pyroclastic cones and flows of the Ser basin (Olot Volcanic Field, NE Spain) shows significant compositional differences among the volcanic centers and flows. The seven cones sampled are typically alkaline (basanite, alkali olivine basalt and potassic trachybasalt). By contrast, the eastern part of the flows (farthest from the emission centers) contains hy-normative olivine basalts (subalkali olivine basalts, no ne-normative). This flows seems to be covered by younger alkali flows and pyroclasts. Two of the cones are made of rocks coming from slightly evolved alkaline basaltic magmas (close to phonolitic basanites). The olivine basalts from the eastern flows are not in the alkaline trend of differentiation observed. On the contrary, its origin may be related to a higher degree of melting in the mantle.

Key words: Olot, subalkali basalt, potassic trachybasalt, basanite, phonolitic basanite.

Geogaceta, 47 (2009), 129-132

ISSN: 0213683X

Introducción

Los estudios geoquímicos de la zona volcánica de Olot (o de la Garrotxa), se remontan a principios del siglo pasado (Washington, 1907) con la publicación de algunos análisis de elementos mayores de los volcanes y coladas. El primer trabajo petrológico sistemático se debe a Tournon (1968) en el que se realizan diversos análisis de coladas e incluso de xenolitos de rocas granudas procedentes de cámaras magmáticas subyacentes. En estudios más modernos se hacen diversos muestreos y se caracteriza el magmatismo tanto a partir de su composición mayoritaria como a partir de la de elementos traza (Araña *et al.*, 1983; López Ruiz *et al.*, 1986; Neumann *et al.*, 1999). Recientemente se han realizado nuevos estudios geoquímicos que completan diversas unidades menos conocidas (Toribio, 2008; Gisbert *et al.*, 2009; Díaz, 2009) en los que se aportan numerosos análisis y se hace una extensa recopilación bibliográfica (Gisbert, 2009). La mayor parte de los datos analíticos disponibles se refieren a las rocas masivas de las coladas pero hay pocos datos sistemáticos relativos a la composición de los distintos edificios volcánicos y su relación con las coladas supuestamente asociadas. Con el objeto

de establecer un criterio petrológico y geoquímico sobre el área fuente de las coladas se ha delimitado una única cuenca de recepción (el valle del río Ser, en la Garrotxa) en cuya cuenca se hallan numerosos conos volcánicos estrombolianos que constituyen potenciales centros de emisión (Fig. 1). Hasta el momento han podido ser analizadas las rocas de siete de los diez o doce que podrían haber contribuido con sus erupciones a formar las coladas del Ser.

No se conoce con seguridad el número de coladas superpuestas ya que: a) pueden encontrarse parcial o totalmente erosionadas; b) las coladas no han alcanzado en cada caso las mismas distancias; c) algunas coladas tienen características petrográficas muy similares y pueden confundirse fácilmente y d) hasta la fecha no se ha realizado un estudio detallado de la composición química de las coladas que permita delimitarlas con mayor precisión.

Descripción de las muestras y metodología

Se han obtenido y analizado 17 muestras correspondientes a 7 edificios volcánicos y 5 muestras de rocas masivas de las coladas. Las muestras de los

edificios consisten en fragmentos escoriáceos y bombas de más de 10 cm de diámetro, siempre altamente vesiculares y con un escaso grado de meteorización. Las muestras de las coladas son poco vesiculares. Los conos estudiados corresponden a los volcanes siguientes: Puig Martinyà (eVT-21, eVT-22 y eVT-23), Cruscat (eVT-24), Santa Margarida (eVT-19), Puig de Mar (eVT-10 y eVT-16), Simó (eVT-9), Roca Negra (eVT-6 y eVT-7) y Sa Ribera (eVT-26 i eVT-30). Las muestras masivas corresponden al menos a 2 coladas, descritas en el mapa geológico a escala 1:25.000 del IGC (Losantos *et al.*, 2007) como Qbc-s (la más oriental: eVT-1, eVT1a y eVT-33) y Qbc-sp1 (en una situación más centrada y recubriendo a la anterior: eVT-2 y eVT-5) (Fig. 2). Cabe destacar que la muestra eVT-2 corresponde probablemente a un nuevo afloramiento de la colada Qbc-sp1 no representado en el mapa de Losantos *et al.* (2007). Los análisis de elementos mayores y trazas han sido obtenidos mediante fluorescencia de rayos X a partir de perlas de tetraborato de litio (dilución 1:20) y pastillas prensadas con soporte de ácido bórico y elvacite en los laboratorios de los SCT de la Universitat de Barcelona.

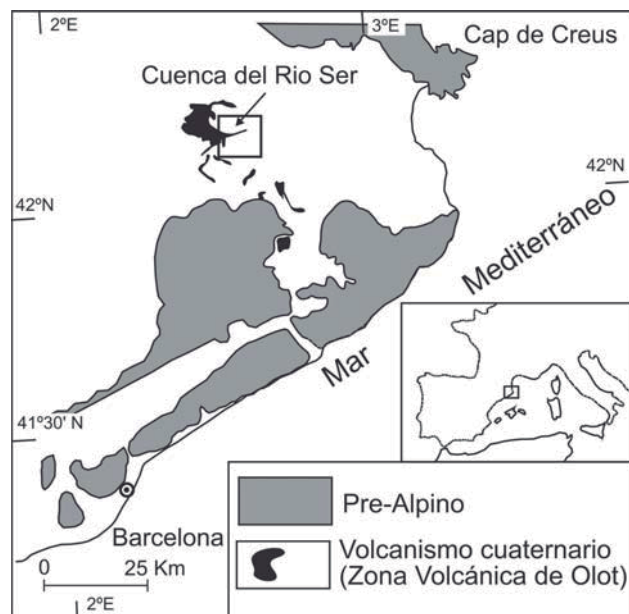


Fig. 1.- Situación geológica de las rocas volcánicas estudiadas.

Fig. 1.- Geological setting of the studied volcanic rocks.

Geoquímica

Los resultados de los análisis (Tabla I) se han representado en primer lugar en el diagrama de clasificación TAS (álcali-silíce) (en base anhidra) de Le Maître (1989) recomendado por la IUGS. Este diagrama utiliza únicamente 3 elementos mayores por lo que tiene diversas limitaciones. No obstante se obtienen algunos de los rasgos principales de la tipología de las muestras representadas. En las muestras estudiadas se observa de forma evidente, la existencia de dos grupos diferenciados, uno de los cuales puede, a su vez, subdividirse en otros dos (Fig. 3). El grupo principal se sitúa en las composiciones más alcalinas y corresponde a las lavas escoriáceas de los conos volcánicos (campos: B, basalto; U1, basanita/tefrita y S1.: traquibasalto, (Le Maître, 1989) en el diagrama) Todas ellas son nefelina-normativas y, por ello, pertenecen a las series basálticas alcalinas definidas por Yoder y Tilley (1962). Las muestras del campo U1 se clasifican finalmente como basanitas, debido a su contenido en olivino normativo superior al 10% (Le Maître, 1989), excepto la muestra del Cruscat, que con un contenido en olivino del 6,5% se clasifica como tefrita. Se destaca un subgrupo de 3 muestras, bastante más alcalinas y algo más ricas en sílice, que señalan una tendencia de diferenciación hacia términos fonolíticos o traquíticos (corresponden a los volcanes Simó y Puig de Mar). Debido a su alto contenido en olivino normativo y a su mayor contenido en ortosa normativa estas rocas corresponderían a

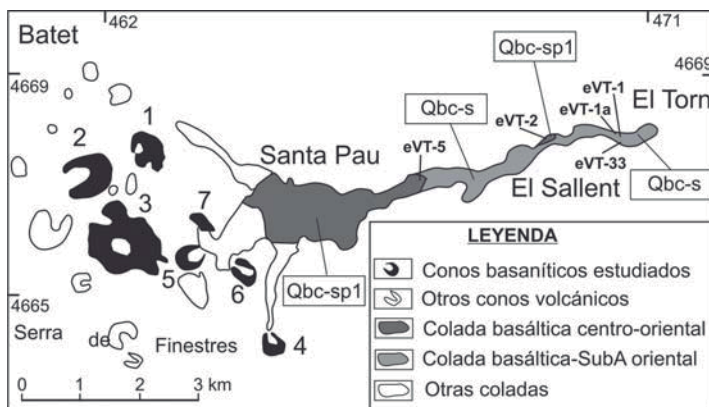


Fig. 2.- Localización de las muestras de las coladas del valle del río Ser y de los edificios volcánicos: 1) Puig Martinyà, 2) Cruscat, 3) Santa Margarida, 4) Sa Ribera, 5) Roca Negra, 6) Simó, 7) Puig de Mar. Qbc-sp1 i Qbc-s se refieren a las coladas cartografiadas en el mapa 1:25.000 del SGC (Losantos *et al.*, 2007). Mapa modificado de Riba *et al.* (1979).

Fig. 2.- Location of the samples from the flows of the Ser river and the volcanic cones: 1) Puig Martinyà, 2) Cruscat, 3) Santa Margarida, 4) Sa Ribera, 5) Roca Negra, 6) Simó, 7) Puig de Mar. Qbc-sp1 i Qbc-s are referred to the flows from the 1:25.000 map of the SGC (Losantos *et al.*, 2007). Map modified from Riba *et al.* (1979).

basanitas fonolíticas (campo 13 de Le Maître, 1989). Las muestras del campo S1 corresponden, por su relación potasio/sodio a traquibasaltos potásicos ($Na_2O-2 \leq K_2O$).

El segundo grupo representa a las coladas y se sitúa en composiciones significativamente menos alcalinas y más ricas en sílice. Se sitúan totalmente en el campo B de la Fig. 3, aunque lleguen a rozar el campo S1. Observadas en detalle estas muestras definen claramente los dos tipos de coladas distinguidas petrográficamente: a) las muestras con mayor contenido en sílice y menos álcalis corresponden a la colada más oriental (abundantes fenocristales de olivino, pocos de augita y una matriz holocristalina microlítica-fluidal muy marcada) (Qbc-s, en el mapa geológico a escala 1:25.000 de Losantos *et al.*, 2007). Estas rocas son sistemáticamente hiperstena-normativas (y, por tanto sin nefelina en la norma, aplicando la corrección del hierro propuesta por Le Maître, 1976). Por ello, se trata de basaltos subalcalinos según la clasificación propuesta en la página 28 de Le Maître *et al.* (1989) y b) las muestras algo más ricas en álcalis rozan el límite alcalino-subalcalino conteniendo pequeñas proporciones de hiperstena o nefelina en la norma pero, en cualquier caso, claramente menos alcalinas que las muestras de los edificios volcánicos. Corresponden a la colada superpuesta a la anterior (Qbc-sp1, en el mapa a escala 1:25.000 de Losantos *et al.*, 2007). Contiene pocos fenocristales de olivino y muchos fenocristales de gran tamaño (hasta 10

mm aproximadamente) de augita intensamente zonada en una matriz de grano relativamente fino.

Si bien, estrictamente, los basaltos hiperstena-normativos corresponden a basaltos subalcalinos, cabe destacar que contienen cantidades de hiperstena-normativa relativamente pequeña si se comparan con basaltos toleílicos de ambiente de intraplaca, razón por la cual es posible que sean más próximos a los basaltos transicionales. Como se ha dicho anteriormente, el diagrama TAS utiliza solamente 3 elementos mayores: el Si, el Na y el K. En las rocas básicas, como las que forman parte de este estudio, los componentes ferromagnésicos y el calcio pueden llegar a ser dominantes y es conveniente tenerlos en cuenta en su caracterización. El diagrama para la clasificación de rocas volcánicas de De la Roche *et al.* (1980) utiliza la práctica totalidad de los elementos mayores y permite discriminar las rocas con mayor precisión. En el diagrama R_1R_2 (Fig. 4) las muestras se agrupan como hemos definido en el diagrama TAS y se marcan mejor las diferencias entre ellas. La nomenclatura, no obstante, muestra algunas pequeñas diferencias terminológicas: campo 1, basalto olivínico subalcalino; campo 2, basalto alcalino; campo 3, basanita y campo 4, tefrita (en nuestro caso para las muestras de este campo preferimos el término de basanita fonolítica, como hemos propuesto anteriormente). En este diagrama se han representado con símbolos independientes las muestras de cada uno de

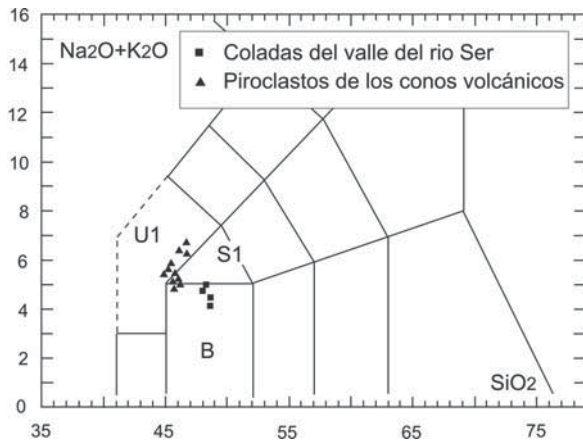


Fig. 3.- Representación de las muestras en el diagrama TAS (Le Maître, 1989); triángulos: rocas piroclásticas escoriáceas de los conos estrombolianos; cuadrados: lavas masivas de las coladas orientales del valle del Ser.

Fig. 3.- Plot of the samples on the TAS (Le Maître, 1989) diagram; triangles: pyroclasts from the strombolian cones; squares: lavas from the eastern flows of the Ser valley

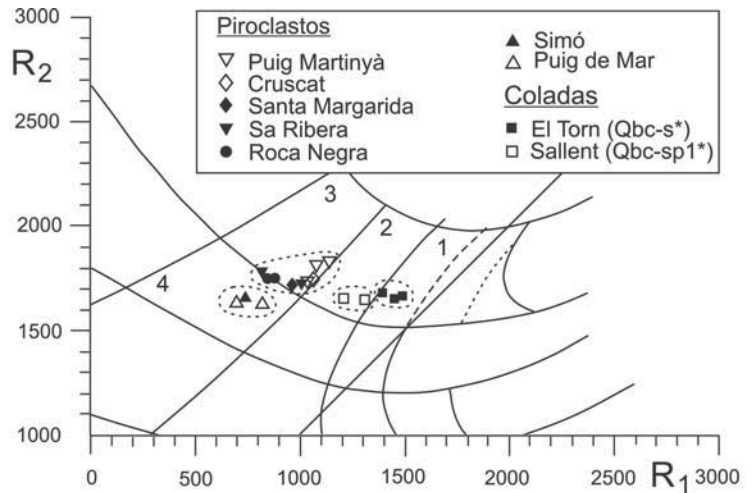


Fig. 4.- Representación de las muestras en el diagrama R1R2 (De la Roche et al., 1980). Las líneas de puntos señalan los principales grupos petrológicos.

Fig.4.- Plot of the samples on the R1R2 (De la Roche et al., 1980) diagram. Dashed lines indicates the main petrological groups.

los volcanes y de las coladas estudiadas, tal como se explica en la leyenda de la Fig. 4.

Discusión

La discrepancia entre las composiciones de las coladas y los potenciales focos de emisión conocidos presenta una problemática mayor de la esperada. Se proponen dos posibilidades principales para su explicación: 1) las coladas orientales de Ser proceden de centros emisores desconocidos que pueden haber sido recubiertos por los edificios o coladas posteriores (podría tratarse de una erupción fisural procedente de la zona de Batet, lo que explicaría la similitud composicional de estos basaltos (Tabla II) con los que muestra Tournon (1968)); 2) la composición de las lavas emitidas por los volcanes ha variado en el tiempo, ya sea por vaciado progresivo de una cámara

magmática diferenciada o por la diferencia composicional de los magmas primarios a lo largo del tiempo debida a diferentes grados de fusión parcial del Manto terrestre. Las dos situaciones parecen probables: a) muestras diferenciadas por cristalización fraccionada del Simó y Puig de Mar; b) mayor grado de fusión parcial en el manto para la obtención de magmas menos alcalinos (coladas orientales).

Conclusiones

Los resultados de este trabajo muestran que las composiciones de las coladas presentes en el extremo oriental de las emisiones no se corresponden con ninguna de las de los edificios estudiados. Por otra parte, las composiciones de dichas coladas tienen un carácter notablemente menos alcalino que los materiales escoriáceos de los conos citados, llegan-

do a composiciones netamente subalcalinas. Estas composiciones, si bien están representadas en unos pocos análisis de la bibliografía (basaltos de Batet, Tournon, 1968, fuera del área estudiada), en nuestro conocimiento, no han sido caracterizados como tales hasta la fecha. Las composiciones de las rocas piroclásticas de los conos muestran composiciones estrictamente alcalinas y se observa un cierto grado de diferenciación magmática en dos volcanes. Las composiciones subalcalinas de las coladas se proyectan fuera de la evolución de los magmas alcalinos más básicos, lo cual excluye un vínculo genético directo mediante este proceso de diferenciación magmática. La explicación de estas diferencias puede estar relacionada por la existencia de diferentes magmas primarios originados en el Manto terrestre.

Así pues, las conclusiones más destacables son las siguientes:

Tabla I.- Composición de elementos mayores y trazas de las coladas del valle del río Ser y de los piroclastos de los siete edificios volcánicos analizados. Número de muestras: eVT-1 a eVT-n (más detalles de las muestras en el texto). Análisis realizados en los SCT de la Universidad de Barcelona.

nº	Coladas														Piroclastos													
	eVT1	eVT1a	eVT-33	eVT2	eVT-5	eVT6	eVT7	eVT9	eVT10	eVT16	eVT19	eVT21	eVT22	eVT23	eVT24	eVT26	eVT-30											
SiO2	47,03	47,72	47,47	46,10	47,04	43,85	43,37	44,67	45,14	44,93	43,51	43,43	43,94	44,15	44,17	43,77	44,66											
TiO2	2,06	2,08	2,12	2,30	2,32	2,62	2,64	2,50	2,42	2,42	2,42	2,43	2,48	2,52	2,42	2,51	2,59											
Al2O3	14,85	14,89	15,07	14,88	15,21	14,57	14,39	14,89	15,02	15,10	14,47	14,59	14,30	14,35	14,61	14,39	14,52											
Fe2O3*	12,06	12,32	12,31	11,80	11,65	12,33	12,72	11,40	11,10	11,17	11,62	11,60	11,47	11,28	11,63	11,69	12,22											
MnO	0,17	0,17	0,16	0,17	0,18	0,19	0,19	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17											
MgO	8,19	8,32	8,12	7,36	7,30	8,48	8,69	8,05	7,75	7,72	8,93	8,86	9,17	8,92	9,18	8,77	8,91											
CaO	8,98	9,15	9,09	9,24	9,28	9,72	9,69	9,02	8,93	8,84	9,23	9,29	10,08	10,06	9,39	9,27	9,75											
Na2O	2,95	3,21	2,88	2,77	3,50	3,43	3,24	3,63	3,72	3,44	3,01	2,82	2,80	2,94	2,89	3,66	3,53											
K2O	1,20	1,23	1,24	1,83	1,42	2,05	2,04	2,57	2,77	2,62	2,19	2,16	1,89	2,01	2,13	1,08	2,28											
P2O5	0,38	0,40	0,41	0,54	0,61	0,75	0,75	0,63	0,63	0,62	0,57	0,58	0,63	0,64	0,57	0,60	0,58											
Cr	221	183	173	167	114	153	160	123	124	118	126	139	231	223	173	150	112											
Ni	125	133	135	110	101	129	126	108	113	117	148	147	143	125	142	137	151											
V	161	170	182	167	159	198	193	199	193	195	221	221	210	206	210	181	225											
Rb	39	39	35	47	41	54	58	81	80	78	67	67	55	56	65	76	78											
Ba	389	442	398	655	705	608	629	686	695	711	643	610	592	559	627	681	668											
Sr	591	611	599	858	933	944	1003	890	865	860	752	754	837	825	728	862	813											
Ga	21	20	19	20	19	20	20	20	20	21	20	20	20	19	20	20	18											
Nb	37	38	38	62	68	63	66	68	69	69	60	60	67	64	58	67	63											
Zr	156	167	170	215	250	198	209	258	275	271	228	233	225	219	227	246	247											
Y	22	22	22	26	26	28	28	25	26	25	25	25	25	25	25	25	25											
Th	4	11	6	7	11	5	6	8	8	7	8	6	9	5	5	7	11											
Ce	52	58	60	85	114	92	84	109	106	95	86	88	97	84	75	122	79											

Table I.- Major and trace element composition from the flows y of the Ser river and from pyroclasts of the seven strombolian cones analyzed. Sample numbers: eVT-1 to eVT-n. Analyses are made at the SCT from the Universitat de Barcelona.

	Coladas					Piroclastos											Bat-1	
	eVT-1	eV-133	eVT-2	eVT-5	eVT1a	eVT-6	eVT-7	eVT-9	eVT-10	eVT-16	eVT-19	eVT-21	eVT-22	eVT-23	eVT-24	eVT-26		eVT-30
Q	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
or	7,31	7,48	11,25	8,60	7,37	12,48	12,46	15,71	16,90	16,09	13,59	13,43	11,63	12,35	13,17	6,72	13,71	10,98
ab	25,75	24,88	24,39	27,50	27,56	13,20	12,51	13,37	13,43	15,27	13,24	13,76	14,03	13,77	14,35	20,87	11,39	33,10
an	24,48	25,05	23,69	22,12	22,92	18,86	19,33	17,32	16,63	18,74	20,48	21,86	21,73	20,82	21,40	20,68	17,33	20,45
ne	0,00	0,00	0,00	1,53	0,00	9,05	8,57	9,96	10,33	8,12	7,31	6,15	5,77	6,55	5,99	6,53	10,29	0,00
di	15,29	14,80	16,51	17,00	16,55	20,86	20,51	19,89	20,00	18,26	19,10	18,29	21,00	21,52	18,64	19,07	22,50	10,53
hy	5,95	7,79	0,46	0,00	1,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,94	0,00	0,00	9,20
ol	9,71	8,27	11,28	10,73	12,05	11,68	12,58	10,55	9,72	10,61	13,50	13,78	13,18	12,23	6,54	13,39	11,41	2,02
mt	6,61	6,70	6,63	6,63	6,81	7,04	7,17	6,86	6,81	6,72	6,63	6,54	6,33	6,33	6,54	6,53	7,08	4,65
il	4,04	4,11	4,55	4,51	4,01	5,13	5,19	4,91	7,75	4,78	4,83	4,86	4,90	4,98	4,77	5,02	5,00	1,58
ap	0,86	0,91	1,23	1,31	0,89	1,69	1,69	1,42	1,42	1,41	1,31	1,33	1,43	1,45	1,29	1,38	1,29	6,36
%An	49	50	49	45	45	59	61	56	55	55	61	61	61	60	60	50	60	38

Tabla II .- Composición normativa CIPW de las coladas orientales del Ser y de los piroclastos de los siete edificios volcánicos analizados (más detalles de las muestras en el texto). Número de muestras: eVT-1 a eVT-n., Bat: muestra de Batet (Tournon, 1968). Corrección del Fe²⁺/Fe³⁺ realizada según Le Maître (1976).

Table II .- CIPW norm from the Eastern Ser river flows and from pyroclasts of the seven strombolian cones analyzed. Sample numbers: eVT-1 to eVT-n., Bat: sample from Batet (Tournon, 1968). Fe²⁺/Fe³⁺ correction: Le Maître (1976).

- 1.- Se pone en evidencia la existencia de basaltos subalcalinos en la zona volcánica de Olot en las coladas más orientales del valle del río Ser. Por su bajo contenido en hiperstena-normativa se aproximan composicionalmente a basaltos transicionales.
- 2.- Los análisis de las lavas escoriáceas de los 7 volcanes estudiados indican composiciones de basanitas, basaltos alcalinos, traquibasaltos potásicos, basanitas fonolíticas y una probable tefrita.
- 3.- En el diagrama TAS se observa una diversidad composicional importante debida probablemente a dos factores combinados: 1) una variación en el grado de alcalinidad de los magmas primarios (basaltos subalcalinos, basaltos alcalinos, basanitas) que produce una diversificación con pendiente negativa en el diagrama (a menor grado de fusión parcial mayor alcalinidad) y 2) un aumento de álcalis durante la diferenciación magmática por cristalización fraccionada que produce una tendencia con pendiente positiva para cada uno de los distintos magmas primarios (basanitas-basanitas fonolíticas; basaltos-traquibasaltos).
- 4) Se desconoce la procedencia de las coladas de basaltos subalcalinos. Se propone: a) que procedan de centros eruptivos no descubiertos o; b) que procedan de los edificios actuales pero que hayan emitido magmas de

diferente composición a lo largo del tiempo.

Agradecimientos

Los análisis químicos han sido realizados en los SCT de la Universidad de Barcelona. Este trabajo ha sido financiado en parte por el Departament de Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica de la Universitat de Barcelona. Los autores agradecen las sugerencias del Dr. Ramón Casillas en la revisión de este trabajo.

Referencias

- Araña, V., Aparicio, A., Martín Escorza, C., García Cacho, L., Ortiz, R., Vaquer, R., Barberi, F., Ferrara, G., Albert, J y Gassiot, X. (1983). *Acta Geológica Hispánica*, 18, 1-17.
- De La Roche, H., Leterrier, J., Grandclaude, P. y Marchal, M. (1980). *Chemical Geology*, 29, 183-210.
- Díaz, I. (2009). *El vulcanisme del Puig de les Medes (Serra de Finestres): Petrologia i Geoquímica*. Treball de Fi de carrera. Universitat de Barcelona. (inèd). 48 p.
- Gisbert, G. (2009). *Estudi petrològic i geoquímic del vulcanisme recent de la Garrotxa*. Treball Màster. Universitat de Barcelona. 33p.
- Gisbert, G., Gimeno, D. y Fernandez-Turiel, J.L. (2009). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 180, 259-276.
- Le Maître, R.W. (1976). *Contributions to*

Mineralogy and Petrology, 56, 181-184.

- Le Maître, R.W. (Ed.) (1989): *A classification of Igneous rocks and glossary of terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on The Systematics of Igneous Rocks*. Blackwell, 193 p.
- López Ruiz, J., Rodríguez Badiola, E. y Cebrià Gómez, J.M. (1986). *Geogaceta*, 1, 28-31.
- Losantos, M. y Planagumà, Ll., (Colab. Bassols, E., Pijuan, J., De Paz, A., Berastegui, X.) (2007). *Carta Vulcanològica de la Garrotxa 1:25000. Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC), Institut Geològic de Catalunya (IGC), Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa (PNZVG)*.
- Neumann, E.R., Martí, J., Mitjavila, J. y Wulff-Pedersen, E. (1999). *Mineralogy and Petrology*, 65, 113-139.
- Riba, O., Bolós, O., Panarera, J.M., Nuet, J. y Gosálbez, J. (1979). *Geografía Física dels Països Catalans*. Ketres, 226 p.
- Toribio, V. (2008). *Les laves escoriàcies de la vall del riu Ser. Estudi geoquímic*. Treball de Fi de carrera. Facultat de Geologia. Universitat de Barcelona. (inèd), 33 p.
- Tournon, J. (1968). *Le Volcanisme de la Province de Gérone (Espagne) Thèse 3ème. Cycle. Lab Pétrographie de la Fac. des Sciences de Paris*, 120 p.
- Washington, H.S. (1907). *American Journal of Science*, 24, 217-242.
- Yoder, H.S. y Tilley, C.E. (1962). *Journal of Petrology*, 3, 342-532.