

# Características composicionales y procesos de evolución magmática en el complejo volcánico sur-III de Fuerteventura (Islas Canarias)

*Compositional features and fractionation processes in the Southern Volcanic Complex III of Fuerteventura (Canary Islands)*

F. Hernán (\*), C.R. Cubas (\*), E. Ancochea (\*\*), J.L. Brändle (\*\*), y M.J Huertas (\*\*)

(\*) Dpto. Edafología y Geología. Universidad de La Laguna. 38206 Tenerife.

(\*\*) Dpto. Petrología y Geoquímica. Universidad Complutense - Inst. Geología Económica. C.S.I.C. Fac. C. Geológicas. 28040 Madrid.

## ABSTRACT

The Southern Volcanic Complex III is formed by basalts, a lesser amount of trachybasalts and some scarce trachytes, all of them mildly alkaline. Crystal fractionation was in an early stage, controlled by crystallisation and extraction of olivine (60%) and clinopyroxene (40%). The crystallisation path is, then, ruled by dominant clinopyroxene and lesser proportions of plagioclase and Ti-magnetite. Later extraction of plagioclase and clinopyroxene and some other differentiation processes, could account for the presence of trachytes. The Angostura Formation representing the most recent activity within the entire Southern Volcanic Complex, consists of strongly alkaline and ultraalkaline rocks. These rocks are scarcely differentiated, though certain fractionation tendencies dominated by olivine extraction are observed.

**Key words:** Canary Islands, Fuerteventura, Old Basaltic Series, Geochemistry

Geogaceta, 20 (3) (1996), 550-553

ISSN:0213683X

## Introducción

El Complejo Volcánico Sur - III (CVS-III) constituye la parte superior del Complejo Volcánico Sur, el más meridional de los tres en los que Ancochea *et al.*, (1991), Cubas *et al.*, (1992), Hernán *et al.*, (1993), Ancochea *et*

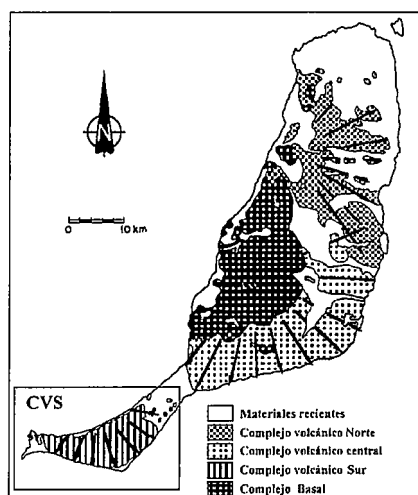


Fig.1.- Esquema geológico de los complejos volcánicos de la isla de Fuerteventura

Fig.1.- Geological sketch of Volcanic Complex of Fuerteventura Island.

*al.*, (1993) y Ancochea *et al.*, (1995) han dividido la actividad volcánica miocena de la isla de Fuerteventura (Fig.1). En este trabajo se analizan sus características composicionales y las causas de su variabilidad.

El CVS-III aflora en la parte más alta del escarpe de Jandía y en general en las zonas más elevadas de la península. Se apoya discordante tanto sobre el CVS-I como sobre el CVS-II, aunque en algunos puntos el contacto con este último es aparentemente concordante. Está formado esencialmente por coladas de notable espesor. Los términos algo más diferenciados son más frecuentes que en las unidades infra-yacentes, constituyendo los basaltos un 80 % aproximadamente y los traquibasaltos un 20 % (Ancochea *et al.*, 1993). Asociado con ellos y atravesándolos aparece un dique-domo traquítico: el Cuchillo del Palo.

En el extremo NO de la península de Jandía aflora la denominada formación La Angostura. Se trata de un pequeño número de coladas que no están atravesadas por los sistemas de diques que cortan al CVS-III, por lo que se la considera posterior (Cubas *et al.*, 1992). La edad del CVS-III se sitúa entre 15,2 y 14,2 Ma (Ancochea *et al.*, 1993). Para la formación La Angostura, Balcells *et al.* (1994) obtienen una edad de 14,5 Ma.

## Características composicionales del CVS-III

Se han efectuado seis análisis de elementos mayores y traza de las rocas básicas del CVS-III, tres de las de la formación La Angostura y uno de la traquita del Palo (Tabla 1). Existen además otros tres análisis de la traquita publicados por Cubas *et al.*, (1989).

**Formación La Angostura:** Petrográficamente se trata de basaltos (an. 2003) y nefelinitas olivínicas (an. 2001 y 2002). Cuando se proyectan en el diagrama TAS, mientras que estas últimas lo hacen en el correspondiente campo de foiditas, el basalto lo hace en el de basanitas. Esta proyección, junto a su elevado contenido en nefelina normativa (>5%), hace que deban ser consideradas como basanitas. Se trata pues de una formación de carácter *fuertemente alcalino y ultralcalino*, siendo la unidad de mayor alcalinidad de todo el Complejo Volcánico Sur.

Con respecto al resto de los términos más básicos del CVS éstas rocas tienen más CaO, FeO(total), Na<sub>2</sub>O, Y, Th, Sr, Ba y LREE y menos SiO<sub>2</sub>, Ni, Co, Cr y Rb (Fig.2). Dentro de ellas las nefelinitas tienen más Zr, V y Nb que las basanitas y que el resto del CVS.

**Términos básicos del CVS-III:** Las rocas 1901 a 1904 (Tabla 1), pertenecen a una columna

realizada por A. Hernández-Pacheco en la pared del escarpe de Jandía, en el Pico de la Zarza. La muestra 1901 está situada a 807 m de altura y el resto en orden decreciente de altitud a 703 m, 690 m y 580 m. Las muestras 1905 y 1906 han sido datadas por Coello *et al.*, (1992) en 14,9 y 15,0 Ma respectivamente (FUE-73 y FUE-76) y están situadas en la misma zona que las anteriores en los niveles estratigráficos más altos.

Recalculadas a 100 anhídras su composición varía entre el 44% y el 48% de  $\text{SiO}_2$  y, al igual que en las rocas básicas de los otros CVS, esta escasa variación en el contenido en sílice corresponde, sin embargo, a una amplia variación en la concentración en otros elementos como MgO (14% a 4,9%) o Ni (479 a 39 ppm), lo que refleja la existencia de importantes procesos de evolución magmática.

Todas se proyectan en el campo alcalino de MacDonald y Katsura (1964) y todas excepto la 1904 son alcalinas según los criterios de Yoder y Tilley (1962), al tener nefelina normativa. La roca 1904 está mucho más oxidada que el resto ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{FeO}$ ) y tiene hiperstena y olivino normativos, pero, si se recalcula su oxidación a los valores de Le Maitre (1976), pasa también a tener Ne normativa, aunque con muy escaso contenido en la misma ( $\text{Ne} = 0,3\%$ ). Esta menor alcalinidad la hace más similar a las rocas del CVS-II, que justamente se caracterizan por tener Hy-Ol normativos. Por otra parte, su posición estratigráfica, la más baja dentro de las analizadas en la columna del Pico de la Zarza en un sector donde CVS-II y III están en aparente concordancia, puede plantear algunas dudas sobre su asignación a uno o a otro complejo.

En el diagrama TAS de la I.U.G.S. los términos más básicos se proyectan en el campo de basanitas y los más evolucionados en los de traquibasaltos y tefritas. Sin embargo, su escaso contenido en nefelina normativa (en general  $< 5\%$ ), junto con la ausencia de feldespatoide modal permite considerarlos a todos ellos como pertenecientes a una sucesión *alcalina normal o moderadamente alcalina*.

Con respecto a las rocas de los Complejos inferiores (CVS-I y CVS-II), los términos más básicos del CVS-III tienen más Si, álcalis, Na, Y y Rb.

**Términos sílicos del CVS-III:** Los 4 análisis de la traquita del Cuchillo del Palo se proyectan en el campo de traquitas del TAS, pero, a diferencia del resto de las traquitas del CVS, son mucho menos ricas en  $\text{SiO}_2$  (60-62% frente a 65-70% del resto) y en potasio, y más ricas en  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , CaO y  $\text{TiO}_2$ .

Estas características químicas se reflejan en que, al contrario de lo que sucede en el resto de las traquitas de Jandía, no tienen cuarzo normativo (o éste es muy escaso) y son metalumínicas, frente al resto que son peralcalinas.

Nº de roca	1901	1902	1903	1904	1905	1906	1907	2001	2002	2003
$\text{SiO}_2$	43.84	47.03	42.82	46.71	46.78	43.47	60.71	38.65	38.17	40.77
$\text{Al}_2\text{O}_3$	9.58	15.41	12.23	15.08	12.50	12.98	18.39	9.89	10.58	10.41
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	4.73	4.25	5.26	6.49	5.14	3.92	2.23	6.21	10.84	4.71
FeO	8.57	7.20	8.60	5.84	6.34	9.49	0.91	8.16	3.50	8.43
MgO	13.91	4.79	6.58	5.37	9.08	6.22	0.64	12.91	10.60	13.23
MnO	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.19	0.14	0.17	0.17	0.17
CaO	10.83	9.39	11.64	9.08	8.71	11.28	2.16	11.19	11.73	11.10
$\text{Na}_2\text{O}$	2.41	3.87	3.08	3.79	4.12	3.07	8.24	3.07	3.16	2.54
$\text{K}_2\text{O}$	0.72	1.54	1.20	1.12	1.54	1.31	3.34	0.96	0.59	0.80
$\text{TiO}_2$	3.41	3.70	5.19	3.72	2.91	5.00	0.63	4.64	4.58	3.27
$\text{P}_2\text{O}_5$	0.52	0.88	0.71	0.58	0.77	0.77	0.15	0.83	0.93	0.81
$\text{H}_2\text{O}$	1.07	1.54	1.44	1.46	1.42	1.82	0.62	2.87	4.44	2.96
Total	99.76	99.77	98.92	99.41	99.48	99.52	98.16	99.55	99.29	99.20
Be	188	308	270	240	290	258	590	240	279	208
Sc	30	18	29	20	21	27	2	26	26	25
V	321	325	390	297	238	381	23	352	366	282
Cr	895	16	71	89	578	57	15	608	405	609
Co	102	43	66	57	44	33	5	65	49	70
Ni	470	38	95	81	279	86	10	350	232	378
Cu	192	55	160	60	67	125	6	108	104	100
Zn	115	127	122	122	123	127	108	137	125	119
Ga	21	23	20	23	24	27	26	20	22	20
Rb	20	35	29	21	35	30	87	16	14	15
Sr	651	1148	872	821	1055	926	575	1029	1078	1025
Y	29	40	36	32	35	37	26	32	35	29
Zr	287	467	402	332	491	426	707	390	393	268
Nb	54	101	82	66	79	90	127	87	83	56
Ba	255	439	316	361	568	383	1089	351	424	379
Th	11	17	11	11	16	14	23	11	17	10

Tabla 1.- Composición química de las rocas del Complejo Volcánico Sur - III.

Table 1.- Chemical composition of the rocks of Shouthern Volcanic Complex- III

### Química mineral

Las rocas del CVS-III son muy porfídicas, la mayoría (el 38%) tiene más del 30% de fenocristales, a veces se trata de oceanitas, pero habitualmente son ankaramitas. En términos medios, el 69% de los fenocristales son de olivino, el 30% de clinopiroxeno y el 1% de plagioclasa (Ancochea *et al.*, 1993). Es característica la aparición en algunos casos de fenocristales de anfíbol parcialmente reabsorbido.

El olivino varía de  $\text{Fo}_{83}$  a  $\text{Fo}_{73}$  en los fenocristales de los términos menos evolucionados y de  $\text{Fo}_{63}$  a  $\text{Fo}_{59}$  en los más evolucionados, en los que sólo aparece en la matriz o en microfeno-cristales. En las nefelinitas y basanitas el olivino es menos magnésico ( $\text{Fo}_{79-74}$ ).

El clinopiroxeno es la fase común en todas las rocas, suele estar zonado siendo hacia el borde más rico en Ti y Al. Su componente enstatítico ( $100^*\text{En}/[\text{En}+\text{Fs}]$ ) varía de  $\text{En}_{82}$  a  $\text{En}_{74}$

en los basaltos, de  $\text{En}_{79}$  a  $\text{En}_{64}$  en los traquibasaltos y de  $\text{En}_{69}$  a  $\text{En}_{62}$  en las traquitas. El componente wollastonítico ( $100^*\text{Wo}/[\text{Wo}+\text{En}+\text{Fs}]$ ) varía entre el 48 y el 42% en basaltos, entre 46 y 43% en traquibasaltos y entre 48 y 46% en traquitas. En las nefelinitas olivínicas y basanitas el contenido en enstatita es similar al de los basaltos ( $\text{En}_{80-63}$ ), pero el de wollastonita es claramente mayor:  $\text{Wo}_{52-48}$ .

La plagioclasa aparece en microfeno-cristales y en microlitos en la matriz, en los basaltos se trata de  $\text{An}_{60-46}$  ( $100^*\text{An}/[\text{An}+\text{Ab}]$ ), siendo algo más rica en calcio en los traquibasaltos ( $\text{An}_{60-56}$ ). En las traquitas se trata de oligoclasa ( $\text{An}_{18-15}$ ). En las nefelinitas olivínicas la nefelina es rica en potasio (Ks: 15%).

El óxido fundamental es la titanomagnetita. Cuando está incluido en olivinos y piroxenos se caracteriza por sus elevados contenidos en Cr (5%-12%) y Al (3%-9%). En los términos básicos aparece también ilmenita.

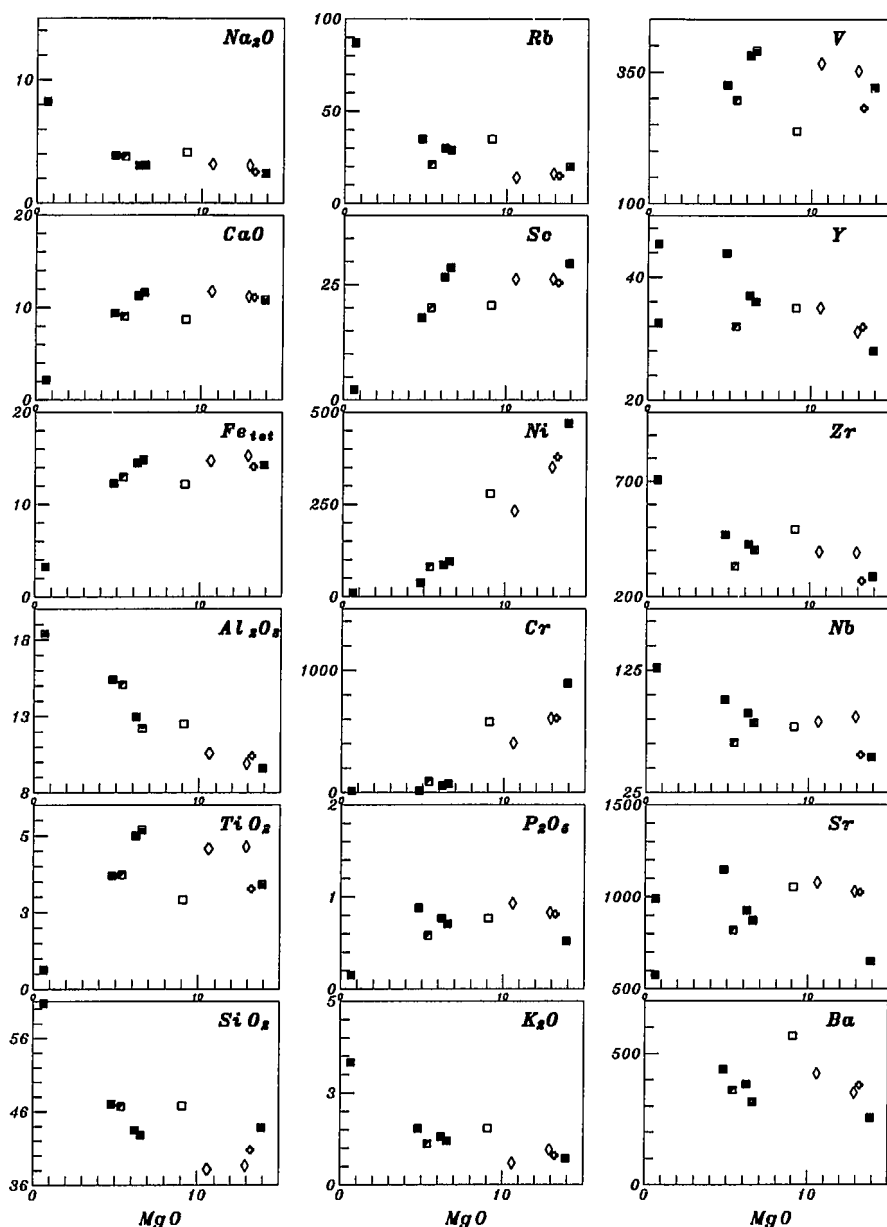


Fig.2.- Diagramas de evolución MgO - elementos. Rombos: Nefelinitas olivínicas de la Formación Angostura; cruz: Basanita de la Formación Angostura. Cuadrados: Resto de las rocas. Cuadrado vacío: Análisis n° 1905; Cuadrado semilleno: Análisis n° 1904.

Fig.2.- Evolution MgO vs other elements. Diamonds: Olivine Nephelinites of Angostura Formation. Cross: Basanite of Angostura Formation. Squares: Rest of the rocks. Open Square: Analyses n° 1905. Half-filled Squares: Analyses n° 1904

El anfíbol aparece en algunos tipos basálticos y en las traquitas. Según Leake (1978) correspondería a kaersutita en los términos basálticos y hastingsita en las rocas traquíticas.

**Procesos de evolución magmática**

Como puede apreciarse en los distintos diagramas de evolución magmática (Fig.2), las rocas del CVS-III cubren un amplio espectro composicional, desde términos primarios a términos muy evolucionados.

El valor-MG y la concentración de Ni son

característicos de magmas primarios en el basalto 1901, en la basanita 1903 y en la nefelinita olivínica 2001. En el caso del basalto, el elevado contenido en Ni (470 ppm) puede indicar una cierta acumulación de máficos, como se aprecia también petrográficamente.

En la formación La Angostura la nefelinita olivínica 2002 puede proceder de la 2001. El paso de una a otra se produce con disminución de Mg, Cr, Ni, y Co y aumento del resto de los elementos, lo que puede indicar una posible extracción de ferromagnesianos. Los modelos a partir de elementos mayores (Tabla 2), mediante

ajuste de ecuaciones por mínimos cuadrados (Stormer y Nicholls, 1978), dan excelentes residuales (0,27) para una extracción del 7,9% de cristales, donde la gran mayoría (82%) es olivino, el 10% clinopiroxeno y el 8% magnetita.

En el resto de las rocas del CVS-III las pautas de evolución son distintas en los diferentes grupos de elementos (Fig.2). Al descender el MgO y con ello progresar la evolución magmática, se observa que:

- Zr, Nb y LREE son los únicos elementos incompatibles durante todo el proceso, aumentando en basaltos, traquibasaltos y traquitas.

- P, MREE y HREE aumentan en basaltos y traquibasaltos, bajando las HREE y el P en traquitas y manteniéndose las MREE.

- Si, Na, K, Ba, Rb y Th aumentan ligeramente en basaltos y traquibasaltos y mucho más en traquitas. El Al tiene un comportamiento similar, pero crece más en basaltos.

- Sr, Ti, V e Y aumentan mucho en traquibasaltos, descendiendo en traquibasaltos y traquitas.

- Ca, Fe(total) y Sc aumentan un poco o nada en basaltos y descienden notablemente en traquibasaltos y traquitas.

- Cr y Ni son los más compatibles, descendiendo notablemente en basaltos y traquibasaltos y manteniéndose en traquitas.

Estas pautas, en las que existen cambios en el comportamiento de los elementos al pasar de unos tipos rocosos a otros, evidencian cambios en los procesos de cristalización.

En cada caso los elementos cuyo contenido aumenta permiten deducir tasas de extracción mínimas y así, a partir de un magma primario de composición análoga a la de la roca 1901, los basaltos 1903 y 1906 se podrían formar por extracciones del orden del 30-40%, el traquibasalto 1902 por extracciones del 45-55% y las traquitas por el 70-80%.

Los modelos a partir de elementos mayores confirman estos porcentajes (Tabla 2). Los basaltos 1903 y 1906 se formarían por extracción fundamentalmente de olivino (60%) y clinopiroxeno (40%), siendo menor o nula la participación de plagioclasa y titanomagnetita.

El paso de basalto a traquibasalto supondría un cambio en la participación relativa del olivino y del clinopiroxeno, pasando este último a ser el dominante (50%), mientras que el olivino sería sólo el 27%. La plagioclasa con un 11% y la magnetita con un 9% tendrían un mayor papel en esta fase de la evolución. Si el proceso se modeliza en dos etapas, el segundo (paso de basalto evolucionado a traquibasalto) supone la extracción de piroxeno (51%), plagioclasa (27%) y magnetita (22%), sin participación de olivino. Este cambio en la cristalización es el responsable del cambio de tendencias entre basaltos y traquibasaltos que se observa en la Figura 2.

Las rocas 1904 y 1905 se alejan de las pautas generales en muchos de los casos (Fig.2). La 1905, con respecto a la evolución general, tiene

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado con los Proyectos PB91-0147 y PB94-0237

## Referencias

- Ancochea, E.; Cubas, C.R.; Hernán, F. & Brändle, J.L., 1991. *Geogaceta*, 9: 60-62.
- Ancochea, E.; Brändle, J.L.; Cubas, C.R.; Hernán, F. & Huertas, M.J., 1993. *Memor. R. Acad. Cienc. Exac. Fís. Nat. de Madrid*, 27: 151 pp.
- Ancochea, E.; Brändle, J.L.; Cubas, C.R.; Hernán, F. & Huertas, M.J., 1995. *Jour. Volc. Geoth. Res.* (en prensa)
- Balcells, R.; Barrera, J.L.; Gómez, J.A.; Cueto, L.A.; Ancochea, E.; Huertas, M.J.; Ibarrola, E. & Snelling, N., 1994. *Bol. Geol. Min. España*, 105: 50-56.
- Coello, J.; Cantagrel, J.M.; Ibarrola, E.; Jamond, C.; Hernán, F.; Fúster, J.M.; Ancochea, E.; Casquet, C.; Díaz de Terán, J.R. & Cendrero, A., 1992. *Jour. Volc. Geoth. Res.*, 53: 251-274
- Cubas, C.R.; Fernández Santín, S.; Hernán, F.; Hernández-Pacheco, A. & De La Nuez, J., 1989. *Rev. Mat. y Proc.*, 6: 71-97.
- Cubas, C.R.; Hernán, F.; Ancochea, E. & Brändle, J.L., 1992. *Geogaceta*, 11: 79-81.
- Hernán, F.; Ancochea, E.; Brändle, J.L. & Cubas, C.R., 1993. *Geogaceta*, 13: 62-64.
- Leake, B.E., 1978. *Amer. Mineral*, 63: 1023-1053
- Le Maitre, R.W., 1976. *Contrib. Mineral Petrol.*, 56: 181-189.
- Macdonald, G.A. & Katsura, J., 1964. *Jour. Petrol.*, 5: 82-133.
- Stormer, J.C. & Nicholls, J., 1978. *Computer Geosciences*, 4: 143-159.
- Yoder, H. & Tilley, C., 1962. *Jour. Petrol.*, 3: 342-532.

Modelo	O1	Cpx	Plag	TiMt	Anf	% Extr	Resid.
2001 a 2002	82.3	10.1	-	8.9		7.9	0.27
1901 a 1903	60.7	35.0	4.3	-		26.3	0.09
1901 a 1906	57.4	41.4	-	1.2		29.6	0.63
1901 a 1902	30.7	49.2	11.4	8.7		55.4	1.05
1906 a 1902	-	50.8	26.9	22.2		38.3	0.96
1901 a 1907	26.8	50.1	15.5	7.6		82.6	15.30
1901 a 1905	21.6	44.9	20.6	13.0	+ 5	60.0	1.43
1901 a 1904	30.3	49.6	5.3	9.8	2.5	50.3	1.83

Tabla 2.- Modelos de cristalización (extracción) calculados mediante ajuste por mínimos cuadrados (Stormer y Nicholls, 1978).

Table 2.- Crystallization model following Stormer and Nicholls (1978)

más Si, Na, K, Ba, Rb, Sr, Th, Nb, Y y Zr y menos Ca, Fe, Ti, Sc y V. La 1904, por su parte, tiene menos K, Rb, Sr, Th, Nb, Y y Zr. Los modelos (Tabla 2) proporcionan peores residuales, aunque aceptables. La extracción de clinopiroxeno esencial (45%) con plagioclasa y olivino en proporciones similares (21%) y magnetita, con la acumulación de anfíbol es el mejor modelo y puede justificar buena parte de las diferencias composicionales de esta roca. De la misma manera un modelo con extracción de piroxeno (50%), olivino (30%) y proporciones menores de plagioclasa, magnetita y anfíbol puede explicar las peculiaridades de la roca 1904.

La modelización del paso a traquita, aunque proporciona tasas de extracción coherentes con las apreciadas a partir de los elementos traza y porcentajes de extracción de cada fase razonables, tiene altos residuales lo que parece indicar la existencia en estos líquidos más evolucionados de otros procesos de evolución magnéticos adicionales al de simple extracción de fases.

## Conclusiones

El Complejo Volcánico Sur III está constituido esencialmente por basaltos, con proporciones menores de traquibasaltos y alguna traquita, de afinidad moderadamente alcalina. Los procesos de cristalización en el Complejo están controlados dentro de los basaltos por la cristalización y extracción de olivino (60%) y clinopiroxeno (40%). El paso a traquibasaltos supone el cambio a una cristalización que pasa a estar dominada por el clinopiroxeno con proporciones menores de plagioclasa y titanomagnetita. El paso a traquitas está controlado por la extracción de plagioclasa y clinopiroxeno y por otros procesos de evolución magmática.

La formación La Angostura está formada por rocas fuertemente alcalinas y ultracalinas poco evolucionadas, aunque pueden observarse tendencias de evolución dominadas por la extracción de olivino.