

# Ijolitas-Sienitas-Carbonatitas de los macizos del norte del Complejo Plutónico Basal de Fuerteventura (Islas Canarias)

Por: J. L. BARRERA (\*); S. FERNANDEZ SANTIN (\*); J. M.<sup>a</sup> FUSTER (\*), y E. IBARROLA (\*)

## RESUMEN

En el presente trabajo se estudian petrográficamente y geoquímicamente las rocas plutónicas alcalinas y carbonáticas asociadas, que afloran en la parte norte de Fuerteventura.

Las rocas ijolíticas s.l. tienen términos ijolíticos s.s. y algunos melteigíticos.

Las sienitas son del tipo intermedio, ricas en nefelina, aunque hay algunas sin ella.

En general, tanto ijolitas como sienitas están enriquecidas en Ba, Ce, La, Nb, Rb, Sr, V y Zr. De las características de campo y geoquímicas, parece deducirse que las rocas ijolíticas y sieníticas guardan una estrecha relación genética.

Las Carbonatitas son alvikitas egirínicas, feldespáticas y biotíticas, con altas concentraciones en Ce, La e Y, y muy altas en Sr. Se generan a partir de un diferenciado rico en CO<sub>2</sub>, que sufre contaminación cortical durante su ascenso.

## ABSTRACT

The alkaline plutonic rocks and associated carbonatites of the north of Fuerteventura island, are studied both petrographically and geochemically.

Ijolite s.l. rocks are composed by a variety of types such as ijolites s.s. and melteigites.

Syenites are intermediate types with nepheline as main mineral.

Usually, both ijolites and syenites contain large concentrations of Ba, Ce, La, Nb, Rb, Sr, V and Zr. The petrochemistry and field relations suggest that ijolite and syenite rocks have a close genetic relationship.

Carbonatites are composed by egirinic, feldspathic, and biotitic alvikites, all enriched in Ce, La, Y, and specially Sr. These rocks have been generated as a differentiation product rich in CO<sub>2</sub>, which is contaminated by the crust during the uplift.

## INTRODUCCION

En las Islas Canarias las formaciones volcánicas subaéreas que forman la mayor parte de la supraestructura visible de la isla se apoyan sobre un complejo litológico, el Complejo Basal (FUSTER et al., 1968), formado por sedimentos turbidíticos mesozoicos (Cretácicos) y brechas y lavas submarinas posteriores. Este conjunto sedimentario y volcánico, durante el Terciario estuvo sometido a un importante régimen tensional que facilitó la penetración generalizada de rocas ígneas, formándose en un primer período un enjambre filoniano de gran densidad (por término

medio ocupan más del 75 por 100 del volumen del conjunto), seguido de un período de emplazamiento de rocas plutónicas máficas y ultramáficas de carácter alcalino.

Las relaciones de contacto observadas en el terreno permiten deducir que dentro del período de penetración plutónica han existido al menos cuatro episodios diferentes (FUSTER et al., 1980), estando formado el más antiguo por rocas ultraalcalinas que producen a veces un intenso metasomatismo y fenitización en las formaciones encajantes, en general rocas submarinas y diques asociados. A este primer episodio de penetración plutónica están asociadas carbonatitas, descritas ya por FUSTER et al. (1968).

En general (figura 1), las rocas ultraalcalinas

(\*) Departamento de Petrología de la Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense. Madrid.



Figura 1.—Mapa de situación general.

del primer estadio plutónico se localizan en la zona occidental del Complejo Basal de Fuerteventura, cerca de la costa, pudiéndose inferir por su distribución geográfica que las formaciones de este grupo se prolongan hacia el Oeste por debajo del mar actual.

Estudiaremos en este trabajo las características petrológicas y geoquímicas de las carbonatitas y rocas alcalinas asociadas del sector norte del Complejo Basal.

## RELACIONES DE CAMPO

El sector representado en la figura 2 corresponde al extremo septentrional del Complejo Basal.

Los materiales más antiguos de este Complejo pertenecen a la formación volcánica submarina, constituida en este sector por brechas basálticas y traquibasálticas, cortadas por una red filoniana que alcanza por término medio una densidad superior al 90 por 100 del total de la roca encajante. Estos diques son fundamentalmente de oceanitas, ankaramitas, basaltos alcalinos y traquibasaltos. Sus direcciones dominantes están comprendidas entre N 30° E y N 40° E.

La serie volcánica submarina está atravesada y metamorfizada por rocas alcalinas que en superficie aparecen en tres afloramientos independientes: el macizo de Los Jablitos, con forma elipsoidal (500 × 250 m.); el macizo de Las Montañetas, con una forma circular de unos 450 m. de diámetro, y el macizo del Barranco de Agua Salada, que es el más extenso, prolongándose hacia el sur y el este de la zona representada en la figura 2. Los macizos de Jablitos y Montañetas forman macizos circunscritos constituidos por rocas de la serie ijolita-sienita nefelínica. En el afloramiento del Bco. de Agua Salada, además de estas rocas están representadas otras que pueden interpretarse como rocas alcalinas producidas por fenitización de la formación volcánica submarina.

Las ijolitas y sienitas están muy relacionadas entre sí, observándose incluso facies mixtas o híbridas entre las dos. En todos los casos vistos, las relaciones intrusivas ponen de manifiesto que las sienitas son posteriores a las ijolitas.

Los tres macizos pueden interpretarse como facies apicales de intrusiones mayores existentes en profundidad. En ellos, las carbonatitas se presentan en forma de venas o diques irregulares de dimensiones decimétricas o métricas, que se han emplazado con posterioridad a la formación de las ijolitas y sienitas o de las facies fenitizadas.

En el sector septentrional del plano (figura 2), tanto las rocas submarinas como las rocas plutónicas ultraalcalinas están penetradas por una intrusión posterior de wehrlitas, gabros olivínicos y gabros, los cuales representan el extremo meridional del plutón de Montaña Blanca-Miloch. Este plutón, como muchos de igual naturaleza en la isla, tienen un emplazamiento pasivo con efectos térmicos en los materiales encajantes (STILLMAN, FUSTER et al., 1975; MUÑOZ Y SAGREDO, 1974).

El período de intrusión filoniana, que tuvo su clímax después de originada la formación volcánica submarina, se atenúa gradualmente y se imbrica en el tiempo con el período de penetraciones plutónicas. Así, en los macizos de rocas ultraalcalinas existe aún una proporción considerable de diques (en general inferior al 50 por 100), mientras que en el plutón posterior de gabros y wehrlitas la densidad es menor, no llegando en ningún caso al 20 por 100.

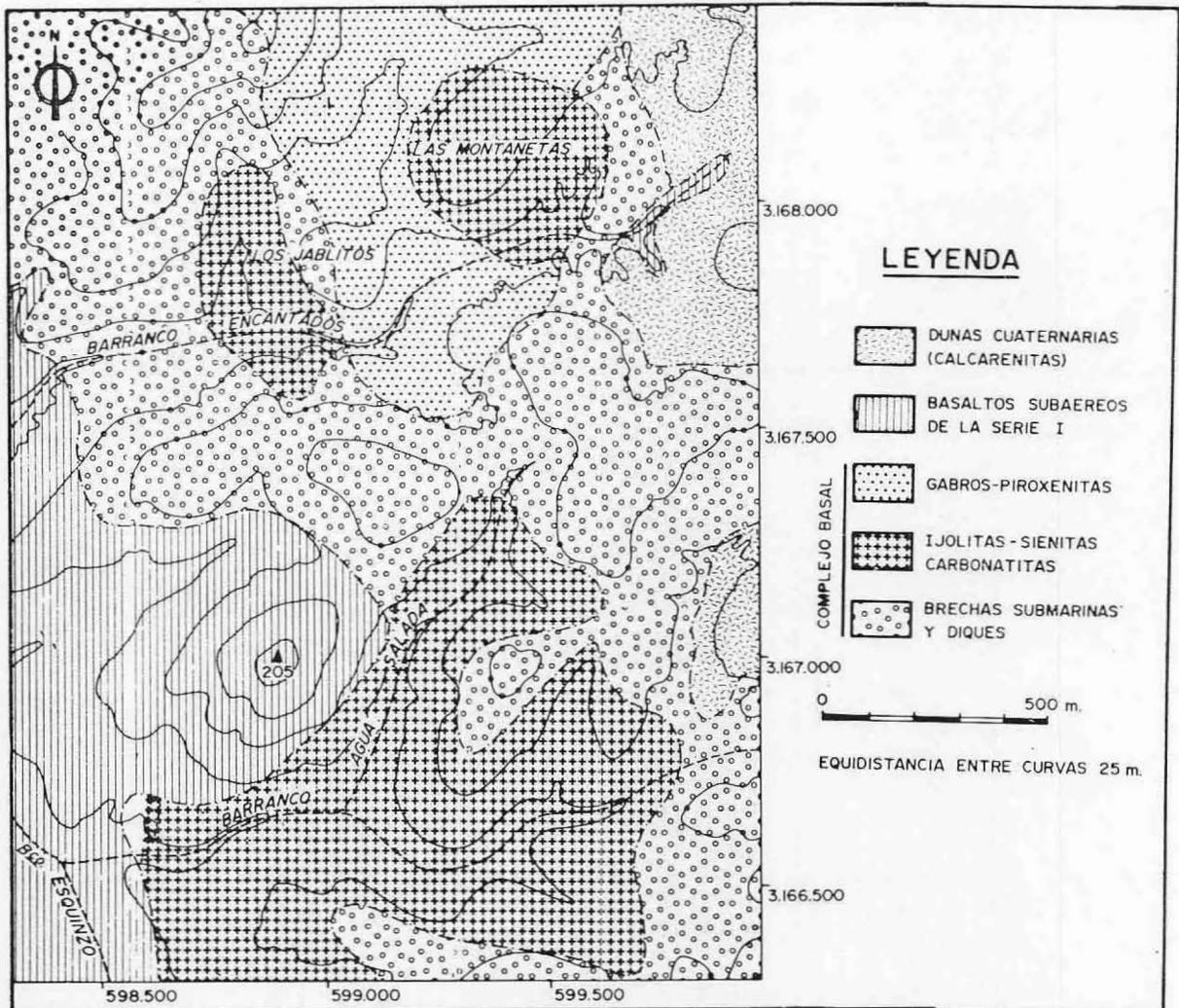


Figura 2.—Mapa geológico de las rocas alcalinas del norte de Fuerteventura.

Todo este conjunto está recubierto, especialmente en el Sur y en el Oeste, por una formación tabular de coladas y piroclastos subhorizontales de carácter subaéreo, que constituye la base de la Serie I extrusiva. Estas coladas se apoyan sobre una discordancia erosiva tallada sobre las formaciones anteriores. También en esta serie hay sectores localizados con abundante proporción de diques,  $\approx$  el 20 por 100.

En todo el área estudiada, y más concretamente en el Noroeste, existen depósitos de calcarenitas eólicas de edad cuaternaria, que cubren en gran parte las formaciones ígneas.

### Tipos litológicos de los macizos alcalinos

Los tres macizos de rocas alcalinas están compuestos en su mayoría por ijolitas o ijolitas feldespáticas y sienitas nefelínicas con contenido variable en máficos. Los términos ijolíticos son los más abundantes del grupo. Cortando a todas estas rocas existen diques leucosieníticos, diques y venas carbonatíticas y diques de nefelinitas. En los bordes de los macizos aparecen brechas alcalinas polimícticas con fragmentos angulosos de ijolitas, sienitas nefelínicas y nefelinitas. Estas brechas representan probablemente zonas de fluidificación y arrastre por productos volátiles póstomos. Dentro de los sectores ijolíticos aparecen

pequeñas porciones de rocas glimmeríticas que interpretamos como producto de fenitización carbonatítica.

En Los Jablitos la mayoría de las rocas son ijolitas de grano grueso y sienitas nefelínicas de grano medio-grueso, en las que destacan grandes cristales idiomorfos de feldespato alcalino. El plutón está ligeramente zonado, situándose las sienitas en las partes más externas y las ijolitas en las partes centrales. Hay venulaciones muy finas de carbonato y feldespato que cortan a las rocas anteriores y que no producen grandes transformaciones metasomáticas en ellas. En algunos sectores del contacto aparecen brechas alcalinas de matriz ocre-vinosa.

En el macizo de Las Montañetas aflora un conjunto rocoso muy parecido al de Los Jablitos. La diferencia principal está en que hay un mayor desarrollo de venas feldespáticas y carbonatíticas. Globalmente las rocas también tienden a situarse de forma concéntrica, siendo la parte central de composición ijolítica y, conforme nos desplazamos hacia el borde, se pasa a zonas sieníticas y carbonatíticas. Sobre todo, las carbonatitas y diques feldespáticos afloran exclusivamente en las áreas más externas del plutón. Las ijolitas son heterogranulares, con cambios extremos en sus texturas. Hay facies microijolíticas y otras de tipo pegmatoides con egirinas paralelas que definen texturas en peine.

Las sienitas son menos abundantes que las ijolitas y, además de atravesarlas en venas, se pueden presentar en masas pequeñas. La anchura de las venas es variable desde pocos centímetros hasta 20 ó 30 cm. Suelen presentarse varias generaciones que se cortan entre sí, y que intruyen sobre las ijolitas produciendo brechificaciones y fenómenos de hibridación mutua.

Los diques y venas de carbonatitas son abundantes y también se presentan en varias generaciones. Tienen colores ocre y violáceos con variedad de grano desde grueso a fino. Muchos de estos diques están zonados con áreas marginales más feldespáticas y con partes internas carbonatíticas, las cuales engloban cristales idiomorfos de feldespato potásico, a veces de gran tamaño (5 ó 6 cm.). En las aureolas de contacto sobre las ijolitas producen intensos efectos de alcalinización con cristalización de biotita (roca glimmerítica).

En el macizo del Bco. de Agua Salada las rocas no tienen variaciones importantes respecto a los dos macizos anteriores. Solamente en algunos puntos marginales aparecen diques de nefelinitas porfídicas de color oscuro, en los que destacan fenocristales blancos de nefelina de 3 y 4 mm. de tamaño. En algunas áreas las ijolitas de grano grueso forman venas o zonas irregulares incluidas en el material de grano más fino. Otras veces es a la inversa. Este hecho nos lleva a pensar en varias generaciones de ijolitas que, aunque son todas cogenéticas, tienen distintos momentos y formas de cristalización.

En general, las carbonatitas de este macizo son muy micáceas, tienen orientación fluidal y encajan sobre ijolitas pegmatoides.

## PETROGRAFIA Y QUIMISMO DE LOS MACIZOS CIRCUNSCRITOS DE ROCAS ALCALINAS

### Serie «ijolitas-sienitas»

El conjunto de ijolitas, ijolitas feldespáticas y sienitas que se encuentran en los macizos circunscritos, parece que guardan una estrecha relación genética aunque se hayan emplazado en períodos diferentes.

En el triángulo modal A-M-Ne de SARANTSINA y SHINKAREV (1967) (figura 3) se han proyectado

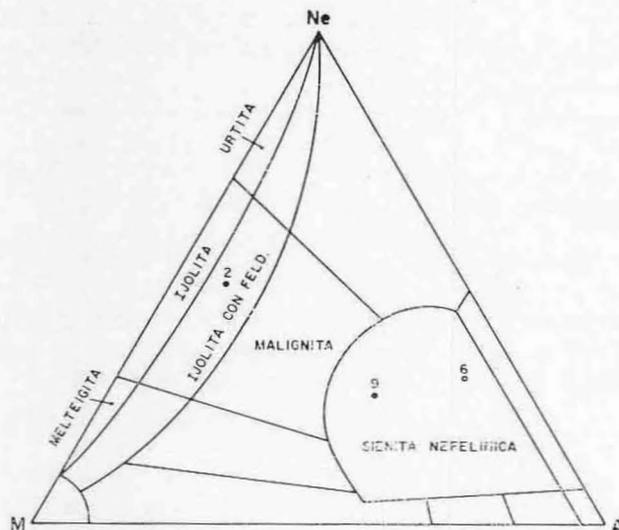


Figura 3.—Proyección de los análisis modales en el triángulo A-M-Ne. Los números corresponden a las muestras del Cuadro I.

alguno de estos términos, viéndose que corresponden a una ijolita algo feldespática y a sienitas nefelínicas s.s. En el estudio petrográfico se han visto muchas rocas con características intermedias entre estas dos. Además, aunque la variación litológica de la serie parece seguir una línea que une las sienitas con las ijolitas, existen también tipos más fémcicos de tendencia melteigíticas y algunas rocas intermedias que pueden clasificarse como malignitas.

#### a) *Ijolitas*

Están compuestas por clinopiroxeno y nefelina como minerales principales (figura 4). Como accesorios se encuentran apatito, biotita, perowskita, esfena, melanito, circón, feldespato potásico y opacos. Localmente, en algunas zonas se presentan carbonato y albita como producto del metasomatismo hidrotermal.

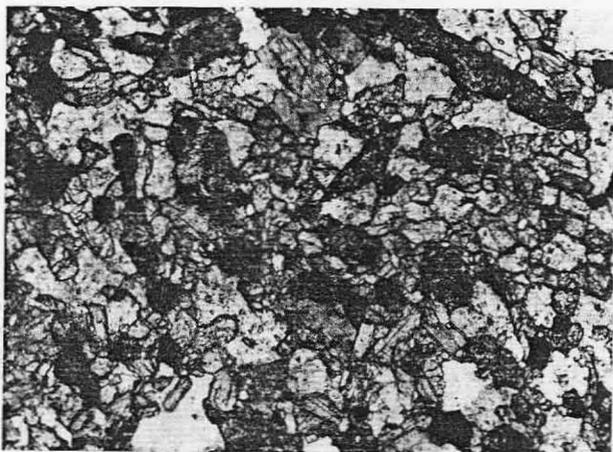


Figura 4.—Aspecto microscópico de una ijolita (núm. 53918). Junto a la nefelina alterada (bajo relieve, color claro), destacan esfena, egirina, apatito y biotita. Luz natural x 10.

El clinopiroxeno tiene hábito prismático y casi siempre está zonado, siendo más egirínicas las zonas de borde. Existe, no obstante, una variabilidad notable en su composición. En las rocas de tendencia melteigítica o piroxenita alcalina, el clinopiroxeno es una augita cercana en su composición a los diópsidos (cuadro III). En las ijolitas propiamente dichas predominan augitas egirínicas, y en las variedades pegmatoides tipos más ricos en álcalis.

La nefelina es cuadrangular y hexagonal, con una transformación pseudomorfa generalizada a sericita-cancrinita-albita-carbonatos.

La proporción relativa de clinopiroxeno y nefelina es variable, dando lugar a que aparezcan tipos melteigíticos por un lado y urtíticos por el otro.

La biotita es tabular con pleocroísmo pardo rojizo y con zonación evidente en algunos casos. Es frecuente que cristalice poiquilíticamente incluyendo cristales de clinopiroxeno y opacos, y también sobre las zonas más egirínicas del clinopiroxeno. Su abundancia es variable, pasando desde cantidades accesorias o ausencia total a constituirse en mineral principal. En el cuadro III están analizadas dos biotitas de la serie. Composicionalmente son flogopitas (figura 5), y contrastan con el carácter biotítico de las micas que aparecen en la carbonatita y glimmerita.

Del resto de minerales accesorios, el apatito es el más abundante y constante en su aparición. Se presenta en prismas idiomorfos alargados con inclusiones fluidas o inclusiones aciculares de opacos siguiendo la dirección longitudinal del cristal. También tiene secciones huecas y esqueleticas, lo cual es indicativo de un enfriamiento rápido durante su cristalización que provoca una sobresaturación de esta fase, haciéndola crecer por crecimiento bidimensional (AMORÓS y BARREIRA, 1979).

La perowskita se presenta en cristales alotriomorfos con un color marrón oscuro y con macas lamelares compuestas. Su abundancia de-

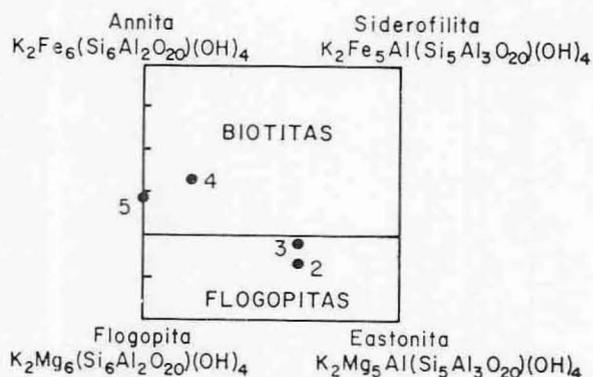


Figura 5.—Campos composicionales de biotitas-flogopitas (según DEER et al, 1966). Los números corresponden a las muestras del Cuadro III.

pende del contenido de esfena, pues cuanto mayor es la cantidad de esfena, menor es la de perowskita. Es frecuente encontrar estos dos minerales en diversos grados de oxidación.

El melanito es pardo rojizo, con secciones hexagonales o circulares y estructura zonada. Se asocia preferentemente a las facies de grano fino (microijolita) y en aquellos sectores donde hay feldespato potásico.

Las texturas de las ijolitas varían respecto al

tamaño de grano desde facies equigranulares de grano fino (microijolitas), hasta facies pegmatoides con grandes cristales idiomorfos de clinopiroxeno (preferentemente egrina), esfena y circón, aunque lo más frecuente son las texturas equigranulares de grano medio. En algunas zonas hay estructuras microbandedas que texturalmente se reflejan por una alternancia de bandas de grano fino con otras de grano medio-grueso, sin existir entre ellas contactos definidos.

CUADRO I

	Ijolitas				Sienitas nefelínicas				Nefelinita y Brechas nef.				Carbonatitas				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
SiO <sub>2</sub>	38.00	41.65	42.00	35.80	44.00	52.40	52.90	53.40	53.95	50.70	46.30	45.00	43.70	42.40	6.08	7.50	9.70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.12	14.22	13.89	9.68	17.89	20.77	20.37	20.90	16.44	19.61	15.81	15.30	15.30	14.80	2.72	3.38	4.22
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.29	7.85	3.78	8.35	4.27	3.63	4.82	3.96	8.40	5.25	6.42	7.06	7.55	9.09	3.53	0.55	3.24
FeO	5.33	3.45	2.82	5.86	3.20	1.49	1.13	0.97	1.15	1.72	3.77	4.08	3.47	3.37	0.31	0.32	1.49
MnO	0.32	0.27	0.20	0.27	0.20	0.17	0.14	0.12	0.16	0.31	0.29	0.27	0.32	0.35	0.20	0.20	0.82
MgO	4.36	3.80	6.95	7.15	5.29	0.60	—	0.39	0.51	0.50	3.83	3.73	3.86	3.86	0.09	0.44	0.11
CaO	10.28	9.62	14.41	16.45	7.62	1.48	2.96	1.21	1.07	3.38	5.34	6.05	6.75	7.46	48.45	46.88	91.78
Na <sub>2</sub> O	3.94	5.06	5.05	3.32	3.07	9.80	9.22	9.01	8.78	5.61	3.50	4.09	4.04	3.72	0.32	0.52	0.85
K <sub>2</sub> O	3.47	2.67	0.42	0.68	4.82	6.77	5.30	7.28	6.26	6.26	3.70	2.84	3.56	3.13	0.25	1.70	1.39
TiO <sub>2</sub>	4.17	3.48	1.75	8.79	5.16	0.85	0.31	0.73	0.52	0.66	2.80	3.47	3.01	3.43	0.32	0.15	0.53
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.99	0.78	1.31	1.87	1.16	0.03	0.05	0.04	0.03	0.09	0.83	1.05	0.88	0.99	0.73	0.04	0.32
CO <sub>2</sub>	6.77*	2.56*	1.76	—	—	—	0.35	—	—	1.50	3.30	3.30	3.63	4.40	34.14*	34.81*	32.16*
H <sub>2</sub> O+	3.67	4.28	5.50	2.37	3.21	2.48	2.34	1.89	2.33	4.08	4.06	3.71	3.81	2.80	1.81	1.34	2.44
Total	99.72	99.69	99.84	100.59	99.89	100.47	99.89	99.90	99.60	99.67	99.95	99.95	99.88	99.80	98.95	97.83	99.05
Ba	620	788	178	1800	860	0	1056	1080	415	2770	1005	1405	1010	1362	460	1056	1280
Ce	238	199	64	70	108	380	120	100	80	325	298	281	244	252	583	883	438
Co	18	28	9	0	19	32	0	0	4	0	29	30	23	25	8	15	10
Cr	0	0	0	0	0	0	46	0	0	0	34	6	75	34	0	0	0
Cs	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cu	67	80	0	0	202	10	6	0	0	17	79	117	80	69	37	98	25
Ga	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
La	134	112	20	7	55	260	33	5	0	152	182	167	161	169	285	568	227
Li	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	140	325	186
Nb	136	143	17	33	172	230	25	116	18	190	195	185	153	179	10	66	0
Ni	2	2	0	1	1	0	8	1	0	0	65	56	66	60	0	0	0
Pb	0	0	2	1	7	0	9	5	5	25	1	13	8	7	0	7	4
Rb	51	50	29	128	54	29	134	133	96	112	42	53	45	50	26	30	49
Sr	1710	2236	1216	1321	893	756	1087	847	424	2675	1270	1170	1070	1104	8170	16743	6490
Th	0	0	0	0	0	18	2	4	0	11	6	5	4	8	5	2	3
V	319	313	147	113	149	230	248	95	183	152	494	411	508	425	62	3	52
Y	37	25	15	0	27	38	13	1	0	8	37	32	31	32	65	121	65
Zn	101	69	58	48	65	71	70	74	79	189	110	120	121	119	40	38	196
Zr	429	331	301	261	412	325	430	515	712	964	604	656	570	631	114	82	40

Analista: E. Ibarrola. \* CO<sub>2</sub> obtenido por diferencia.

- Núm. 16.856. Ijolita. Desembocadura Bco. Esquinzo.
- Núm. 53.896 y 53.897. Ijolita. Bco. Esquinzo.
- Núm. 26.364. Ijolita albitizada. Las Montañetas.
- Núm. 56.100. Pegmatoides ijolítico albitizado. Las Montañetas.
- Núm. 54.005. Pegmatoides ijolítico. Los Jablitos.
- Núm. 56.103. Sienita nef. encajante en las Carbonatitas. Las Montañetas.
- Núm. 53.978. Sienita nef. Bco. Agua Salada.
- Núm. 56.091. Sienita nef. con escapolita. Los Jablitos.
- Núm. 56.089. Sienita nef. con escapolita. Los Jablitos.
- Núm. 26.256. Nefelinita. Bco. Agua Salada.
- Núm. 26.311. Brecha de nef. Bco. Agua Salada.
- Núm. 26.311. Matriz de la Brecha de nef. Bco. Agua Salada.
- Núm. 26.251. Brecha de nef. y sien. Bco. Agua Salada.
- Núm. 26.251. Matriz de la Brecha de nef. Bco. Agua Salada.
- Núm. 26.276. Carbonatita egrínica. Las Montañetas.
- Núm. 53.927. Carbonatita feldespática. Bco. Majadas Negras.
- Núm. 17.180. Carbonatita. Bco. Agua Salada.

En el cuadro I los análisis del 1 al 5 corresponden a ijolitas y pegmatoides ijolíticos. Puede observarse que algunas de ellas están albitizadas. Se intenta así comprobar la importancia de un proceso de este tipo. En las muestras 3 y 4, donde en vez de nefelina y feldespato potásico intersticiales alterados se tiene albita, los datos químicos no reflejan una mayor cantidad de  $\text{Na}_2\text{O}$ , sino más bien una disminución del  $\text{K}_2\text{O}$ . Así, la relación  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  en estas rocas es la más alta de todas, 12,0 y 4,9, respectivamente. Este mismo fenómeno puede observarse en los valores de ortosa normativa (cuadro II), que es mucho menor que en el resto.

Los pegmatoides ijolíticos (muestras 4 y 5) son los que mayores anomalías presentan en cuanto a los contenidos de algunos óxidos. Así, el alto contenido en  $\text{TiO}_2$  y  $\text{CaO}$  es debido a la gran abundancia de esfena y perowskita que tienen. Tam-

bién hay que observar las concentraciones anormalmente elevadas de Ba y Rb, sobre todo en la muestra 4. Estos fenómenos están producidos por su carácter pegmatóide, que representa diferenciaciones finales, las cuales se enriquecen en algunos elementos litófilos.

Para todas las ijolitas en conjunto, las variaciones están acusadas en el contenido de  $\text{CaO}$ , vienen impuestas por la mayor o menor abundancia de diópsido, esfena, perowskita y calcita.

#### b) Sienitas

Las sienitas nefelínicas tienen como minerales principales el feldespato potásico y la nefelina (figura 6). El clinopiroxeno es del tipo augita egirínica y puede llegar a constituir hasta el 30 por 100 del total de la roca. De manera esporádica se encuentra biotita, aunque siempre en can-

CUADRO II

	Ijolitas					Sienitas nefelínicas				Nefelinita y Brechas nef.				Carbonatitas			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Q	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5.92	3.73	—	1.52	—	—	—
Or	20.51	15.78	2.48	4.02	28.49	40.01	31.32	43.02	37.00	37.00	21.87	16.78	21.04	18.50	—	—	8.21
Ab	28.27	19.70	15.53	1.02	11.23	7.31	26.20	8.90	11.11	27.34	29.62	34.61	34.19	31.48	—	—	3.05
An	1.87	8.20	13.99	9.50	20.80	—	—	—	—	6.70	0.21	2.30	4.80	3.32	5.25	1.87	2.20
Lc	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.16	7.88	—
Ne	2.75	12.52	14.74	14.67	7.99	33.50	26.37	31.46	20.91	10.91	—	—	—	—	1.47	2.38	2.24
Ac	—	—	—	—	—	8.41	2.42	8.16	21.66	—	—	—	—	—	—	—	—
Di	—	14.71	29.44	38.67	3.61	5.20	—	2.26	4.16	—	—	—	—	—	1.61	0.48	—
Wo	—	—	—	1.40	—	0.33	3.71	1.19	—	—	—	—	—	—	0.80	1.67	—
Hy	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9.64	9.39	5.33	9.74	—	—	—
Oli	7.77	2.08	2.58	—	8.11	—	—	—	0.08	1.03	—	—	3.07	—	—	—	1.07
Ln	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.58	0.71	—
Hm	1.06	6.53	0.92	8.35	4.27	—	1.78	0.17	—	2.05	2.98	4.32	5.13	7.67	3.03	—	—
Mt	6.14	1.91	4.15	—	—	1.05	3.20	1.40	1.33	4.64	4.98	3.97	3.50	2.06	0.72	0.80	4.70
IIm	7.92	6.61	3.32	12.95	7.19	1.61	0.59	1.39	0.99	1.25	5.32	6.59	5.72	6.51	0.61	0.28	1.01
Pf	—	—	—	3.35	2.34	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ap	2.29	1.69	3.04	4.33	2.69	0.07	1.27	0.09	0.07	0.21	1.92	2.43	2.04	2.09	1.69	0.09	0.74
Cc	15.35	5.71	4.00	—	—	—	0.80	—	—	3.41	7.51	7.51	8.26	10.01	77.28	80.44	73.03
C	2.20	—	—	—	—	—	—	—	—	1.15	5.97	4.65	3.04	4.08	—	—	0.51
FEMG	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	0.00	0.00	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.42
ID	51.53	48.00	32.75	19.71	47.71	80.82	83.58	83.38	69.02	75.25	57.41	55.12	55.23	51.50	2.63	10.26	13.50
I. Agp.	—	—	—	—	—	1.09	1.03	1.09	1.29	—	—	—	—	—	—	—	—

Analista: E. Ibarrola. \*  $\text{CO}_2$  obtenido por diferencia.

- Núm. 16.856. Ijolita. Desembocadura Bco. Esquinzo.
- Núm. 53.896 y 53.897. Ijolita. Bco. Esquinzo.
- Núm. 26.364. Ijolita albitizada. Las Montañetas.
- Núm. 56.100. Pegmatóide ijolítico albitizado. Las Montañetas.
- Núm. 54.005. Pegmatóide ijolítico. Los Jablitos.
- Núm. 56.103. Sienita nef. encajante en las Carbonatitas. Las Montañetas.
- Núm. 53.978. Sienita nef. Bco. Agua Salada.
- Núm. 56.091. Sienita nef. con escapolita. Los Jablitos.
- Núm. 56.089. Sienita nef. con escapolita. Los Jablitos.
- Núm. 26.256. Nefelinita. Bco. Agua Salada.
- Núm. 26.311. Brecha de nef. Bco. Agua Salada.
- Núm. 26.311. Matriz de la Brecha de nef. Bco. Agua Salada.
- Núm. 26.251. Brecha e nef. y sien. Bco. Agua Salada.
- Núm. 26.251. Matriz de la Brecha de nef. Bco. Agua Salada.
- Núm. 26.276. Carbonatita egirínica. Las Montañetas.
- Núm. 53.927. Carbonatita feldespática. Bco. Mojadas Negras.
- Núm. 17.180. Carbonatita. Bco. Agua Salada.

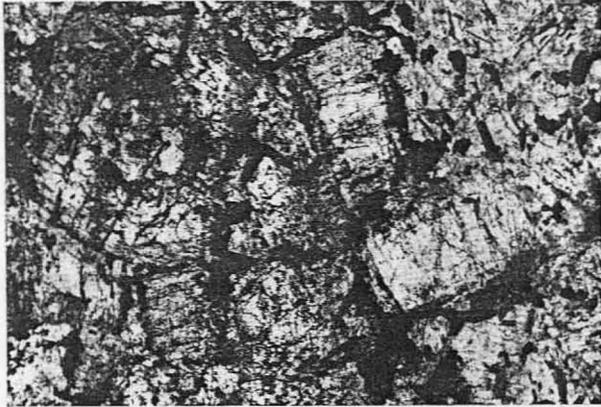


Figura 6.—Aspecto microscópico de una sienita nefelínica (núm. 56091). Nefelina rectangular y egrina intersticial con color oscuro. Luz natural x 10.

tidades accesorias. Otros minerales accesorios son apatito, melanito, esfena y circón. Los procesos de metasomatismo hidrotermal producen pseudomorfosis de albita y carbonato sobre muchos de los minerales preexistentes.

Esta mineralogía es típica de sienitas intermedias entre agpaíticas y miaskíticas (SORENSEN, 1974), aunque hay que tener presente que algunos caracteres petrográficos la definen mejor como miaskíticas (p. ej., ausencia de anfíbol).

La nefelina es idiomorfa y casi en su totalidad está transformada a productos secundarios de tipo sericita-cancrinita. Sin embargo, en las muestras que están sin alterar incluye microlitos aciculares de egrina en disposición zonal, paralelos a las caras del cristal, lo que, según SORENSEN (1974), es propio de sienitas agpaíticas. Este dato, que se contrapone al anterior del anfíbol, junto al valor del índice de agpaiticidad (cuadro II), es lo que nos hace clasificarlas como sienitas intermedias.

Los cristales de feldespato potásico son prismas alargados de tamaño medio, maclados según ley de Karlsbad, y con algo de anubarramiento producido por inclusiones diminutas de opacos. A veces presentan pertitas en parches o albita situada en el borde del cristal. En algunas muestras se desarrolla poiquilíticamente englobando a la nefelina. En cualquier caso, sea prismático o sea poiquilítico, su aspecto es el de haber cristalizado en los últimos estadios, estando asociado, cuando existe, con el melanito y circón. Estos úl-

timos son similares a los descritos en las ijolitas. La única variación notable está en el mayor grado de idiomorfismo que presentan en las sienitas.

En conjunto, la textura de estas sienitas nefelínicas es holocristalina de grano medio, más o menos equigranular. Caso excepcional son algunas sienitas del macizo de Los Jablitos, donde el feldespato potásico y la egrina se ordenan alineada y alternativamente, definiendo una textura direccional muy marcada.

Hay también sienitas alcalinas (sin nefelina) asociadas a las áreas ijolíticas, formando venas estrechas. También aparecen en las zonas sieníticas brechificadas acompañando a las venulaciones carbonatíticas de este mismo área.

Su mineral fundamental es el feldespato potásico, cuyo tamaño va aumentando proporcionalmente a la presencia de carbonatos, lo que produce una textura heterogranular marcada. Es prismático y está maclado según Karlsbad. Hay también un antiguo ferromagnesiano (probablemente egrina) que está transformado en su totalidad a una masa microcristalina de opacos, consecuencia muy probablemente de la acción oxidante de los carbonatos. Cuando la cantidad de carbonato es muy grande se pasa a verdaderas brechas carbonatíticas en las que hay escasos cristales de feldespato.

Como minerales accesorios llevan algo de apatito y opacos.

Su textura es granuda de grano medio a grueso, desarrollando en ocasiones cristales pegmatoides de feldespato potásico, que son brechificados y embebidos por las venas de carbonatita.

En el cuadro I los análisis del 6 al 9 corresponden a sienitas nefelínicas. El contenido intermedio en CaO, que es propio de sienitas intermedias, se traduce petrográficamente en cantidades accesorias de apatito. También el carácter peralcalino de estas rocas se refleja en la presencia de acmita normativa (cuadro II). En este mismo cuadro se puede observar que las cuatro rocas son de tendencia agpaítica (según el índice de agpaiticidad definido por POLANSKI, 1949), si bien tres de ellas tienen un valor relativamente bajo (entre 1 y 1,1), lo que las clasificaría, según otros autores (p. ej., USSINGG, 1912), como miaskíticas.

Las sienitas, en que la suma  $Ne + Ks + Q$  se

CUADRO III

	1 Clpx+	2 Fl+	3 Fl	4 Bi	5 Bi+	6 Gra+	7 FK	8 Cc	9 Cc	10 Cc
SiO <sub>2</sub>	55.28	34.71	35.90	36.85	35.33	30.46	—	—	—	—
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.00	13.76	14.45	11.85	10.06	1.28	—	—	—	—
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	11.15	5.84	—	—	—	0.04*	0.02*	0.05*
FeO	6.20	10.10	8.93	19.22	21.02	24.08	—	—	—	—
MnO	0.13	0.11	0.42	0.96	0.50	0.46	—	0.05	0.03	0.04
MgO	15.70	21.43	11.48	9.42	12.33	0.80	—	0.00	0.00	0.00
CaO	22.54	—	0.20	0.18	—	30.10	0.84	54.64	53.78	53.56
Na <sub>2</sub> O	0.81	—	0.49	0.35	—	—	2.75	0.42	0.14	0.14
K <sub>2</sub> O	0.18	8.89	8.39	9.20	9.90	—	13.10	0.02	0.01	0.02
TiO <sub>2</sub>	1.65	3.98	4.00	3.16	3.07	13.70	—	0.01	0.01	0.01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	—	—	0.03	0.04	—	—	—	—	0.01	—
BaO	—	—	0.26	0.10	—	—	0.72	0.05	0.07	0.05
SrO	—	—	—	—	—	—	0.14	1.04	1.06	0.97
CO <sub>2</sub>	—	—	—	—	—	—	—	43.34	42.68	42.46
H <sub>2</sub> O	—	3.97	3.68	2.25	3.60	—	—	—	—	—
Total	105.49	96.95	99.68	99.93	95.81	100.88	—	99.61	97.81	97.30
F	—	—	0.52	0.88	—	—	—	—	—	—
—(O)	—	—	0.22	0.37	—	—	—	—	—	—
N.º Oxig.	6	24	24	24	24	24	—	6	6	6
Si	1.927	5.235	5.382	5.807	5.738	5.306	—	—	—	—
Al	0.073	2.448	2.555	2.193	1.927	0.263	—	—	—	—
Fe <sup>3+</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Al	0.050	—	—	0.009	—	—	—	—	—	—
Ti	0.043	0.451	0.451	0.374	0.375	1.759	—	—	—	—
Fe <sup>3+</sup>	—	—	1.259	0.693	—	—	0.001	0.001	0.001	0.001
Fe <sup>2+</sup>	0.181	1.274	1.120	2.533	2.855	3.508	—	—	—	—
Mn	0.004	0.014	0.053	0.128	0.069	0.068	0.001	0.001	0.001	0.001
Mg	0.816	4.817	2.565	2.212	2.985	0.208	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	0.842	—	0.032	0.030	0.000	5.619	1.980	1.983	1.984	1.984
Na	0.055	—	0.142	0.107	—	—	0.028	0.009	0.009	0.009
K	0.008	1.711	1.605	1.850	2.051	—	0.001	0.000	0.001	0.001
P	—	—	—	0.005	—	—	—	—	—	—
OH	—	3.994	3.680	2.365	3.900	—	—	—	—	—
F	—	—	0.247	0.439	—	—	—	—	—	—
C	—	—	—	—	—	—	2.001	2.005	2.004	2.004

\* Fe total expresado como Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>//+Análisis por Mi-crosonda. (Analista: L. García Cacho)  
Analista: E. IBARROLA.

- Núm. 17.197. Piroxenita. Clinopiroxeno.
- Núm. 17.197. Piroxenita. Flogopita.
- Núm. est. F-373. Ijolita. Flogopita.
- Núm. est. F-278. Glimmerita. Biotita.
- Núm. 30.358. Carbonatita. Biotita.

- Núm. 26.357. Nefelinita. Melanito.
- Núm. est. F-368. Carbonatita. Sanidina.
- Núm. est. F-368. Carbonatita. Calcita gris.
- Núm. est. F-303. Carbonatita. Calcita blanca.
- Núm. est. F-368. Carbonatita. Calcita violeta.

aproxima a 80, se han proyectado en el sistema residual Q-Ne-Ks (figura 7) hecho para 1 Kb de presión. En realidad, siguiendo a EDGAR (1974), este sistema no debe utilizarse para representar en él rocas peralcalinas con acmita, por lo que la muestra número 7 de las representadas (la de menor contenido en acmita) sería la más significativa, aun dentro de las limitaciones que supone proyectarlas en un diagrama de este tipo. Esta muestra se sitúa precisamente en una posición muy próxima al mínimo de fusión (M), lo que indicaría su carácter de líquido residual de una

cristalización magmática realizada a baja presión (1 kb) equivalente a condiciones subvolcánicas.

### Nefelinitas

Las nefelinitas que aparecen en diques cortando a ijolitas y sienitas nefelínicas son rocas porfídicas seriadas compuestas casi exclusivamente por fenocristales de nefelina y egrina, dentro de una matriz criptocristalina a veces sin orientación y otras con orientación de flujo marcado.

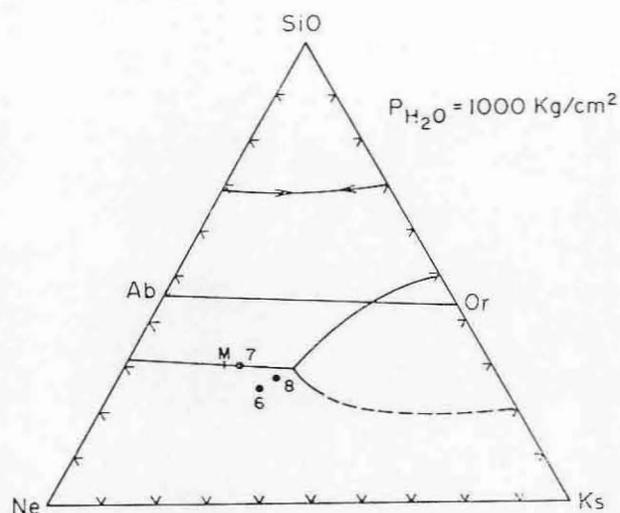


Figura 7.—Proyección de las sienitas nefelínicas en el diagrama experimental Q-Ne-Ks a 1 Kb de  $\text{PH}_2\text{O}$  (según HAMILTON y MACKENZIE, 1965).

Minerales accesorios frecuentes son la esfena y el apatito, y esporádicamente granate schorlomítico. El granate (cuadro III) tiene un contenido en  $\text{TiO}_2$  intermedio entre los melanitos y las schorlomitas.

La nefelina tiene hábitos cuadrangulares o hexagonales. Casi siempre está transformada a agregados cancriníticos y, cuando aún está sin alterar, incluye microlitos de egirina (al igual de lo que ocurría en algunas sienitas nefelínicas) y pequeños cristales romboidales de esfena.

El clinopiroxeno prismático exhibe una fuerte zonación, desde núcleos poco sódicos hasta bordes muy egirínicos o acmíticos.

Dentro de la matriz hay, en algunas ocasiones, un poco de feldespato potásico. Carbonatos, material silíceo y albita pseudomorfizan y alteran gran parte de los minerales preexistentes. Se han observado tipos con pasta más granuda que se asemejan a las ijolitas de los macizos circuncritos.

Como puede comprobarse en el cuadro I, la nefelinita analizada es menos alcalina que las sienitas nefelínicas, presentando siempre An y nunca Ac normativa (cuadro II). Lo más notable de ella es, sin embargo, que la relación  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  es menor que 1, lo cual indica una riqueza en  $\text{K}_2\text{O}$  poco frecuente para este tipo de rocas. Este en-

riquecimiento en potasio puede estar condicionado por un fraccionamiento acentuado en los magmas de la serie ijolita-sienita. Según la composición normativa (cuadro II) corresponde más a una fonolita potásica que a una nefelinita típica.

### Brechas de fluidificación

Temporalmente, estos materiales representan una fase tardía en el ciclo ijolítico-sienítico-carbonatítico. Aunque en ellas abundan los fragmentos angulosos de nefelinita, también tienen fragmentos de ijolitas, sienitas nefelínicas, rocas feldespáticas e incluso, en algunos casos, de carbonatitas. En el cuadro I se presentan cuatro análisis de estas rocas. Dos de ellos son de roca total y dos de la matriz ferruginosa que empasta a los fragmentos. Concretándonos a los análisis de la matriz, se pone de manifiesto un contenido elevado de sílice (son los únicos materiales sobresaturados), un contenido elevado en Fe y una relación  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$  muy alta. Al mismo tiempo tienen cantidades relativamente elevadas de  $\text{Co}_2$ , aunque insuficientes para considerar a estos materiales emparentados con ferrocronatitas de baja temperatura. Tanto sus estructuras como estos datos composicionales nos hacen suponer que la matriz de estas brechas representa un fluido hidrotermal final emparentado con los magmas alcalinos y carbonatíticos, pues su contenido en elementos menores es coherente a grandes rasgos con los que existen en las rocas de derivación magmática (ijolitas-sienitas-nefelinitas). No hay que descartar tampoco la posibilidad de que algunas de las anomalías geoquímicas que manifiestan estas rocas (corindón e hiperstena normativas) sean debidas a procesos de alteración tardíos independientes de la fase hidrotermal.

### Carbonatitas

Son rocas con más del 70 por 100 de calcita. Presentan además egirina, feldespato potásico, apatito, biotita, circón y opacos acompañantes. Los dos primeros pueden alcanzar a veces proporciones de hasta el 20 por 100, mientras que las cuatro restantes son siempre accesorios (figura 8). Solamente el apatito puede llegar a encontrarse en cantidades abundantes, formando entonces agregados granulares en mosaico con forma ovooidal o en bandas dentro de la masa de calcita.

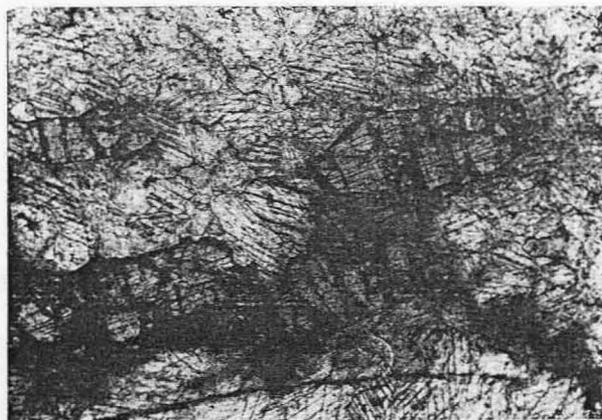


Figura 8.—Aspecto microscópico de una carbonatita egerínica (núm. 32159). Obsérvense los cristales de egerina con borde de oxidación negruzco. Luz natural  $\times 10$ .

Las texturas son heterogranulares, con un desarrollo mayor de los prismas de egerina y feldespato potásico, que suelen situarse en la parte central de las venas, dando un aspecto zonado al conjunto (FUSTER et al., 1968).

La calcita es de grano variable, desde fino a grueso. Algunas veces exhiben bandeado con alternancias de zonas de calcita de grano medio con otros de grano fino, separadas ambas por opacos y óxidos intersticiales a modo de cordones.

Si utilizamos el criterio textural del tamaño de grano (LE BAS, 1977), llamaríamos sóvitas a las de grano grueso, y alvikitas a las de grano fino, pero si nos atenemos al carácter hipoabisal que manifiestan en su yacimiento, habría que llamarlas a todas alvikitas. Según su mineralogía acompañante hay que adjetivarlas como alvikitas egerínicas, biotíticas y feldespáticas, todas ellas con apatito.

Las calcitas de grano más grueso suelen ser de tonalidades blancas o grisáceas, mientras que las de grano más fino tienen un color violeta o rosado. Los análisis químicos de las tres variedades de color (cuadro III y cuadro IV) no presentan diferencias significativas en el contenido de elementos mayores y menores. Probablemente las diferencias de coloración sean debidas a la existencia de microinclusiones opacas y aciculares situadas en los planos de exfoliación.

El feldespato potásico, que puede formar cristales idiomorfos de varios centímetros de largo,

aparece unas veces muy fresco y otras transformado y corroído por el carbonato. Un análisis químico parcial de este feldespato separado (cuadro III) da una relación atómica  $K_{72}Na_{23}Ca + Na_5$  o  $K_{76}Na_{24}$ . Ópticamente tiene valores del ángulo de ejes ópticos ( $2V\alpha$ ) entre  $20^\circ$  y  $25^\circ$ , aunque algunos alcanzan valores más altos. El plano de ejes ópticos es perpendicular al plano (010). Según estas características, feldespático potásico es sanidina.

La mica es de composición biotítica (figura 5) y tiene una relación Mg/Fe total de 1,04 y un contenido en  $TiO_2$  moderadamente elevado (cuadro III). Estas biotitas son bastante análogas a las que se forman por procesos de fenitización sobre las ijolitas, en las zonas inmediatas a las carbonatitas (cuadro III).

Entre calcita-egerina y biotita-feldespato potásico se produce frecuentemente una aureola de reacción de grano fino en la que se nuclean y crecen nuevas fases minerales. Sobre los dos primeros minerales, la aureola es negra de oxidación, mientras que sobre el feldespato potásico crece granate incoloro zonado, con núcleo esponjoso y borde idiomorfo limpio. Es posible que alguna de estas reacciones sean secundarias y provocadas por los efectos térmicos de la intrusión de rocas wehrlíticas inmediatas.

CUADRO IV

	3 Fl	4 Bi	7 FK	8 Cc	9 Cc	10 Cc
Ce	0	0	33	508	426	484
Co	62	42	0	0	5	8
Cr	544	10	18	5	2	5
Cs	0	0	0	0	0	0
Cu	29	24	0	42	35	26
Ga	10	143	0	0	0	0
La	6	9	5	213	185	244
Nb	24	96	0	20	18	19
Ni	460	22	3	0	0	0
Pb	15	0	2	4	1	5
Rb	222	254	165	25	25	26
Th	3	0	15	4	0	12
V	509	617	5	0	0	0
Y	0	0	0	61	35	50
Zn	80	788	28	26	27	26
Zr	89	83	22	13	12	12

- Núm. est. F-373. Ijolita. Flogopita.
- Núm. est. F-278. Glimmerita. Biotita.
- Núm. est. F-368. Carbonatita. Sanidina.
- Núm. est. F-368. Carbonatita. Calcita gris.
- Núm. est. F-303. Carbonatita. Calcita blanca.
- Núm. est. F-368. Carbonatita. Calcita violeta.

También hay rocas mixtas entre ijolitas-sienitas y carbonatitas, en las que la proporción de carbonatos es menor del 50 por 100. Sus nombres respectivos serían los de ijolitas carbonatíticas y sienitas carbonatíticas.

El circón es en las carbonatitas muy abundante y se encuentra en cristales idiomorfos de color rojizo (jacintos) de hasta un centímetro de longitud. En uno de ellos se ha intentado hacer determinaciones por el método de las «fission tracks», pero debido a la gran abundancia de éstas no fue posible obtener resultados positivos; en cambio, sí se pudo determinar la edad de una biotita de la glimmerita de borde de una vena carbonatítica, obteniéndose un valor de 25,7 m.a. (comunicación personal del profesor J. FERRARA del Laboratorio de Geocronología de Pisa).

## GEOQUIMICA DE ELEMENTOS MENORES

En el cuadro I están representados los contenidos de elementos menores de las rocas analizadas. En conjunto, estas concentraciones son similares a las encontradas en otros macizos alcalinos para estas mismas rocas (GERASIMOVSKY, 1974).

Por grupos rocosos se puede observar que las ijolitas presentan contenidos apreciables en Ba, Ce, La, Nb, Rb, Sr, V, Zr. Hay que destacar, igualmente, que los bajos contenidos en Cr, Co, Ni de estas rocas las separan claramente de los tipos máficos y ultramáficos de asociaciones alpinas o estratiformes.

La nefelinita tiene valores similares a los dados por GERASIMOVSKY y POLYAKOV (1972) en las nefelinitas del «eastern rift» africano, aunque la de Fuerteventura tiene contenidos algo mayores en Ba, Sr y Zr, propios de rocas algo más potásicas y evolucionadas.

Las sienitas tienen cantidades apreciables de Ba, Ce, La, Nb, Rb, Sr, V y Zr. Los valores en estos elementos no son tan altos como los que da GERASIMOVSKY (1974) en los macizos de sienitas agpaíticas de Lovozero e Illimaussaq, y que son interpretados como producto de una fuerte diferenciación a partir de magmas basálticos alcalinos. Por el contrario, las concentraciones de estas sienitas son propias de tendencias intermedias entre tipos agpaíticos y miaskíticos, y algu-

nos de sus elementos, como el Sr y Zr, tienen valores medios similares a los descritos por el mismo autor anterior en el macizo de Khibina, el cual está formado por sienitas intermedias, con índices de agpaiticidad (1,09) próximos a los de Fuerteventura (cuadro II).

También en estas rocas, las tierras raras de Ce predominan sobre el Y, lo cual es característico de todas las sienitas nefelínicas, GERASIMOVSKY (1974). La relación Ce/Y se mantiene muy constante, entre 7,9 y 8,8. Algunos elementos litófilos como el Nb, Zr, Rb, Th, dan valores inferiores a los de sienitas agpaíticas y se acercan a las sienitas intermedias de Khibina (GERASIMOVSKY, 1974).

Las carbonatitas se caracterizan principalmente por un ligero aumento en los contenidos de Ce, La e Y, y, sobre todo, por un fuerte incremento en el de Sr respecto al resto de rocas acompañantes. Esto está plenamente de acuerdo con lo que aparece en todas las áreas mundiales donde se presenta este tipo de asociación petrológica alcalina. Los contenidos en Zr y Nb son bajos, a pesar de presentar circón. Como estos últimos elementos litófilos tienden a concentrarse en las fases finales de una fuerte diferenciación alcalina (sobre todo de tendencia agpaítica), su bajo contenido en estas rocas parece indicar influencias de otros procesos de cristalización durante su génesis y evolución. Los bajos contenidos en Cr, Ni, V y altos de Ba las caracterizan como pertenecientes a conjuntos alcalinos de tendencias miaskíticas (tabla 8.4 de HEINRICH, 1966).

Sobre las carbonatitas del norte de Fuerteventura existen datos isotópicos de Sr (ALLEGRE et al, 1971; PINEAU et al, 1973), de O, C (PINEAU et al, 1973) y de Pb, U, Th (LANCELOT and ALLEGRE, 1974). Por las relaciones encontradas, principalmente la relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ( $0.7030 \pm 0.002$ ), todos los autores llegan a la conclusión de que estas rocas tienen un origen primario en el manto superior. Sin embargo, el enriquecimiento claro en  $^{18}\text{O}$ ,  $^{13}\text{C}$  y  $^{206}\text{Pb}$  ha sido interpretado como debido a un proceso de contaminación cortical (PINEAU et al, 1973; LANCELOT and ALLEGRE, 1974), siguiendo un modelo en el que el magma permanece en una cámara cortical con individualización de una fase fluida rica en  $\text{CO}_2$  que extrae los elementos traza pesados más ricos en isótopos radiogénicos de las rocas encajantes. Esta contaminación es menor en las carbonatitas de islas oceánicas que en las continentales africanas.

Posteriormente FAURE (1977), basándose en la universalidad del fenómeno de enriquecimiento en  $^{206}\text{Pb}$ , rechaza la hipótesis de contaminación para las islas oceánicas (incluidas Canarias; OVERSBY, LANCELOT y GAST, 1971), atribuyéndolo a heterogeneidad química e isotópica del manto superior, que episódicamente o de forma continua en la historia geológica habría sido sistema abierto para Th, U, Pb.

La relación Ca/Sr (figura 9) de las ijolitas, sienitas y nefelinitas pone de manifiesto una grosera relación positiva considerando las rocas en

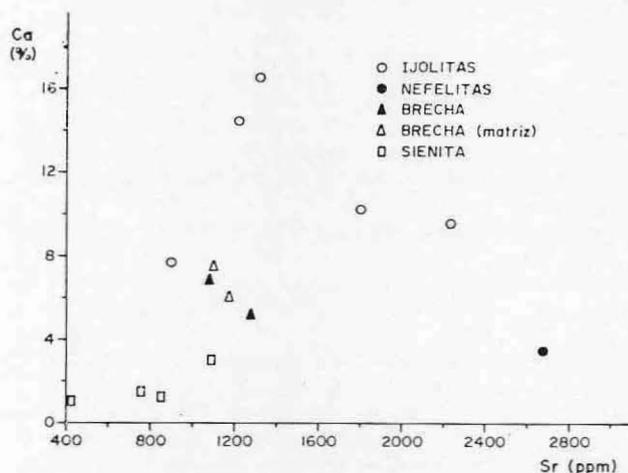


Figura 9.—Diagrama Ca/Sr.

conjunto. Sin embargo, dentro de cada tipo litológico se apuntan correlaciones negativas, especialmente en las ijolitas, nefelinitas y brechas nefeliniticas. Esta pobre correlación general y las tendencias antes apuntadas indican que las rocas no pueden derivarse mutuamente por procesos simples de cristalización fraccionada.

El mismo significado puede deducirse a partir de las variaciones en las relaciones K/Rb y Nb/Ti en el conjunto de las rocas estudiadas, si bien el número de datos disponibles no es todavía suficiente como para establecer conclusiones definitivas.

#### BIBLIOGRAFIA

ALLEGRE, C. J.; PINEAU, F.; BERNAT, M., et JAVOY, M.: *Evidence for the occurrence of carbonatites on the Cape Verde and Canary Islands*. Nature, 233 (40), pp. 103-104 (1971).

AMORÓS, J. L. y BARRERA, J. L.: *Estudio de cristalizaciones naturales. I. Formación de cristales huecos y esqueléticos*. Est. Geol., 35; pp. 253-258 (1979).

DEER, W. A.; HOWIE, R. A. y ZUSSMAN, J.: *An introduction to the rock-forming minerals*. Longman, London, 528 pp. (1966).

EDGAR, A. D.: *V. I. Experimental studies*. En SORESENSEN, H. (Ed.). *The Alkaline Rocks*, John Wiley and Sons, 622 pp. (1974).

FAURE, G.: *Principles of Isotope Geology*. John Wiley and Sons. New York, 464 pp. (1977).

FUSTER, J. M.; CENDRERO, A.; GASTESI, P.; IBARROLA, E., and LÓPEZ RUIZ, J.: *Geology and Volcanology of the Canary Islands, Fuerteventura*. Instituto Lucas Mallada, CSIC, pp. 1-239 (1968).

FUSTER, J. M.; MUÑOZ, M.; SAGREDO, J.; YÉBENES, A.; BRAVO, T., y HERNÁNDEZ-PACHECO, A.: *Excursión 121 A + c del 26.º I. G. C. a las Islas Canarias*. Bol. Geol. y Min. de España, t. XCI-II, pp. 351-390 (1980).

GERASIMOVSKY, V. I.: *Trace elements in selected groups of alkaline rocks*. En SORESENSEN, H. (Ed.). *The Alkaline rocks*, John Wiley and Sons, 622 pp. (1974).

GERASIMOVSKY, V. I., and POLYAKOV, A. I.: *Alkaline rocks of the East Africa Rift zones (Geochemistry and Génesis)*. 24 th. I. G. C. (Montreal, 1972), Section, 14, pp. 34-40 (1972).

HAMILTON, D. L., and MACKENZIE, W. S.: *Phase-equilibrium studies in the system NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub> (nepheline)-KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub> (Kalsilite)-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O*. Mineralog. Mag., 34 (Tilley vol.), 214-231 (1965).

HEINRICH, E. Vm.: *The geology of carbonatites*. Rand McNally and Company. Chicago, 555 pp. (1966).

LANCELOT, J. R., and ALLEGRE, C. J.: *Origin of carbonatic magma in the light of the Pb-U-Th isotope system*. Earth and Planetary Science Letters, 22, pp. 233-238 (1974).

LE BAS, M. J.: *Carbonatite-Nephelinite volcanism*. John Wiley and Sons, 347 pp. (1977).

MUÑOZ, M., y SAGREDO, J.: *Existencia de metamorfismos superpuestos en el Complejo Basal de Fuerteventura (Islas Canarias)*. I Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica. Madrid, p. 1287 (1974).

OVERSBY, V. M.; LANCELOT, J., y GAST, P. W.: *Isotopic composition of Lead in Volcanic Rocks from Tenerife, Canary Islands*. Journal of Geophysical Research, 76, núm. 14, pp. 3402 y 3413 (1971).

PINEAU, F.; JAVOY, M., et ALLEGRE, C. J.: *Etude systématique des isotopes de l'oxygene, du carbone et du strontium dans les carbonatites*. Geoch. et Cosmoch. Acta, 37, pp. 2363-2377 (1973).

POLANSKY, A.: *The alkaline rocks of the East-European Plateau*. Bull. Soc. Amis. Sci. Lett. Poznań Serie 10, pp. 119-184 (1949).

SARANTSIINA, G. M., and SHINKAREV, N. F.: *Petrography of Magmatic and Metamorphic Rock* (en ruso). Nedra, Leningrado (1967).

SORENSEN, H.: *Alkali syenites, Feldspathoidal syenites and related Lavas*. En SORESENSEN, H. (Ed.). *The Alkaline rocks*. John Wiley and Sons, 622 pp. (1974).

STILLMAN, D. J.; FUSTER, J. M.; BENNELL-BAKER, M. J.; MUÑOZ, M.; SMEWING, J. D., y SAGREDO, J.: *Basal complex of Fuerteventura (Canary Islands) is an oceanic intrusive complex with rift system affinities*. Nature, 257, número 5526, pp. 469-471 (1975).

USSING, N. Y.: *Geology of the country around Julianehaab Greenland*. Meddr Gronland, 38, pp. 1-376 (1912).