

LAS ROCAS ULTRAMÁFICAS ALCALINAS DEL JABLE DE LAS SALINAS, FUERTEVENTURA, ISLAS CANARIAS

A.Ahijado (1) y A.Hernández-Pacheco (1)

(1) Departamento de Petrología y Geoquímica. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense.- 28040.- MADRID.

RESUMEN

En este trabajo se aborda el estudio geológico, petrológico y geoquímico de las rocas que forman el núcleo de un complejo ultramáfico-carbonatítico que aflora a lo largo de la costa del Jable de Salinas en el Macizo de Amanay (Fuerteventura, Islas Canarias).

Este complejo, de naturaleza subvolcánica, se emplazó imbricándose con los episodios intrusivos de las mallas filonianas características de los Complejos Basales canarios. Está atravesado por un denso "net-work" de naturaleza feldespática y en determinadas zonas carbonatíticas y rocas ya relacionadas con procesos de fenitización, fundamentalmente flogopitizaciones.

Las rocas ultramáficas a cuyo estudio está dedicado este trabajo están compuestas casi exclusivamente por salita, kaersutita y grandes proporciones de apatito y minerales opacos, con total ausencia de olivino, feldespatos y feldespatoides.

Geoquímicamente, destacan por su carácter fuertemente subsaturado: porcentajes muy bajos de SiO₂ y altos contenidos de Fe total, TiO₂ y P₂O₅. Sus características texturales, mineralógicas y químicas sugieren que han sido originadas por inmiscibilidad líquida.

Palabras clave: Complejo alcalino ultramáfico-carbonatítico, Complejo Basal, Islas Canarias, Fuerteventura.

ABSTRACT

In this paper the geological, petrological and geochemical features of the alkaline pyroxenites and amphibolites of an ultramafic-carbonatite complex are studied. These rocks crop out in the SW coast of Fuerteventura (Canary Islands), in the area known as Amanay Massif.

This subvolcanic complex was emplaced at the same time as the late basaltic dyke swarms of the Basal Complex and was intruded by a dense net-work mainly feldspathic and in some places also carbonatitic. Rocks related to fenitization processes are also present.

The ultramafic rocks are pyroxenites and amphibolites composed mainly by: salite, kaersutite, apatite, magnetite and ilmenite. One of their most significant characteristics is the modal abundance of apatite and Fe-Ti oxides and the total lack of olivine, feldspars and feldspathoids.

Geochemically they present an alkaline and subsaturate trend with very low contents of SiO₂ and high values of total Fe, TiO₂ and P₂O₅. The textural, mineralogical and chemical character of the rocks indicate that they were probably formed by liquid immiscibility processes.

Key words: Alkaline ultramafic carbonatite complexes, Basal Complex, Canary Islands, Fuerteventura.

Ahijado, A. y Hernández-Pacheco, A. (1990): Las rocas ultramáficas alcalinas del Jable de las Salinas, Fuerteventura (Islas Canarias). *Rev. Soc. Geol. España*, 3: 275-287.

Ahijado, A. and Hernández-Pacheco, A. (1990): The ultramafic alkaline rocks of Jable de Salinas, Fuerteventura (Canary Islands). *Rev. Soc. Geol. España*, 3: 275-287.

1. INTRODUCCIÓN

El Jable de Las Salinas se encuentra en el extremo meridional de la costa occidental de la isla de Fuerteventura, al NO del Macizo de Amanay (Fig.1). La geología de este Macizo era poco conocida pues se trata de una zona apartada y desértica ocupada casi en su totalidad por un Campo de Tiro y Maniobras del Ejército.

En la bibliografía sobre la isla ningún autor cita específicamente esta zona exceptuando Hernández-Pacheco (1989) que hace un breve resumen de su geología. En las memorias y mapas geológicos del I.G.M.E (1967a,b) en los que se incluye Amanay, solo se describen someramente sus formaciones y en algunos casos con ciertos errores.

El objetivo de este trabajo es iniciar el estudio de las rocas ultramáficas alcalinas que constituyen el núcleo del Complejo Ultramáfico-Carbonatítico del Jable de las Salinas, abordando aquí únicamente sus aspectos de yacimiento, petrológicos y mineralógicos. No se tratará de llenar sus relaciones con el resto de las formaciones que constituyen la totalidad del mismo, lo que será objeto de sucesivos trabajos.

1.1. Unidades geológicas fundamentales.

En este macizo aparecen gran parte de los episodios volcánicos que constituyen el conjunto de la isla y esquemáticamente pueden distinguirse en las siguientes unidades (Hernández-Pacheco, 1989):

1.1.1 Complejo Basal.

Constituye la formación más antigua. Está formada por una tupida red de mallas filonianas que intruyen en materiales encajantes que están ya obliterados en casi la totalidad del macizo, al alcanzar la densidad de diques prácticamente el 100% del total de la formación.

Localmente pueden reconocerse entre ellos, aglomerados y brechas de naturaleza posiblemente sálica en la parte oriental del macizo y materiales volcánicos submarinos basálticos hacia el E y S. En otras zonas, central y noroccidental, únicamente quedan entre las mallas filonianas "screens" de rocas granudas piroxeníticas y gabroides. Las rocas ultramáficas alcalinas que aquí se tratan forman intrusiones relativamente tardías que se imbrican con los últimos estadios de emplazamiento de las mallas de diques.

1.1.2. Formaciones volcánicas subaéreas.

En discordancia erosiva sobre este Complejo Basal, se depositaron una serie de coladas basálticas que constituyen la base de los ciclos volcánicos miocenos o Series Antiguas de la isla. Estas series de basaltos alcalinos quedan reducidas en Amanay a niveles horizontales locales de un centenar de metros de potencia, con su base marcada por un potente almagra de amplitud regional.

2. LAS ROCAS ULTRAMÁFICAS ALCALINAS.

2.1. Clasificación y nomenclatura.

Las rocas estudiadas son tipos ultramáficos con un contenido en minerales máficos siempre superior a un 70%, constituídas por piroxeno y/o anfíbol y característicamente sin olivino, nefelina ni feldespatos.

Si estas rocas se proyectan en el diagrama ternario que se utiliza para rocas ultramáficas con olivino, piroxeno y hornblenda (Streckeisen, 1976) se sitúan todas en la línea que une el piroxeno y la hornblenda, debiéndose denominarlas simplemente piroxenitas y hornblenditas. Sin embargo, el término piroxenita se asocia normalmente a rocas con ortopiroxeno y clinopiroxeno (diópsido) relacionadas con la familia de las peridotitas. Al tratarse aquí de rocas de series alcalinas, es decir, con salita, kaersutita y típicamente con ausencia de olivino preferimos denominarlas piroxenitas alcalinas.

Respecto a las rocas anfibólicas, al tener el término "anfíbolita" implicaciones metamórficas, hemos preferido, asimismo, emplear el término anfíbololitas alcalinas.

Ambas denominaciones se corresponden exactamente a la categoría de rocas denominadas perknitas. Según Tröger (1969) podrían denominarse Yamaskitas (las piroxénicas) y Avezakitas (las anfibólicas). Ambos nombres se utilizan en la bibliografía de este tipo de complejos y además tienen en cuenta los minerales de segundo orden y accesorios que contienen. Esta nomenclatura usada por Tröger (1969) es además específica de rocas hipoabisales o subvolcánicas. Por otra parte el nombre de perknitas se utiliza también en la nomenclatura de enclaves muy ricos en piroxeno y anfíbol de lavas alcalinas, con los que las rocas que venimos tratando tienen considerables similitudes texturales y mineralógicas.

2.2. Caracteres de yacimiento.

Afloran en el Jable de las Salinas, a lo largo de la costa de La Matanza (Fig.2) forman parte del Complejo Basal. Son intrusivas en materiales ya obliterados posiblemente vulcanitas submarinas por extrapolación a zonas más meridionales, estando a su vez intruidas por parte de las mallas filonianas.

A nivel local, las condiciones de observación son inmejorables, ya que, aunque la costa es acantilada, resulta fácilmente accesible y existen innumerables bajadas y escollos que pueden recorrerse en los días de mar tranquila.

La formación así expuesta está extraordinariamente fracturada y atravesada por numerosas familias de diques y mallas de filoncillos y venas de morfología com-

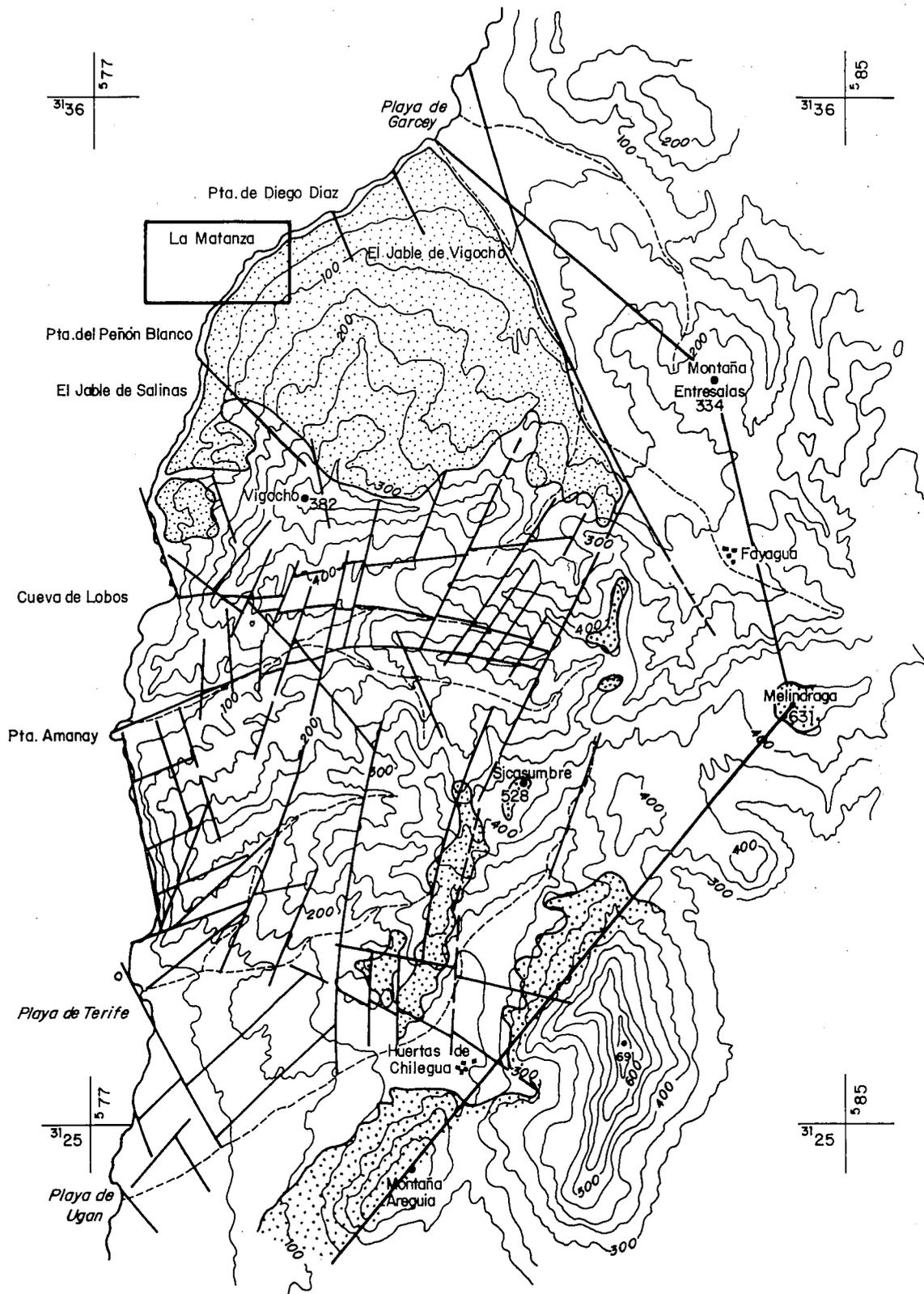


Fig. 1.-Esquema geológico del Macizo de Amanay. Rectángulo, área de La Matanza. Punteado fino: Jable. Punteado grueso: Serie I. Líneas: fracturas.

Fig. 1.-Geological sketch of Amanay Massif. Rectangle area of La Matanza. Small points: Jable. Larger points: Serie I. Lines: fractures.



Fig. 2.-Aspecto general de los afloramientos del Complejo Basal en la costa de La Matanza.
Fig. 2.-General view of the outcrops of the ultramafic rocks in the sea cliffs of La Matanza.

pleja. Ello hace que en conjunto, pueda describirse como un “*stock-work*”, en el sentido de considerar este como una masa de rocas fracturadas en múltiples direcciones que han originado las consiguientes fisuraciones y mallas de venillas concomitantes de un “*net-work*” feldespático (Fig. 3).

Los materiales ultramáficos propiamente dichos, es decir, las perknitas, forman la roca encajante o “*stock-work*”: Destacan por su color intensamente negro y sus texturas más o menos granudas, con grandes variaciones en cuanto al tamaño de grano, relaciones y proporciones de sus minerales.

Así, en ellas, aparecen tanto facies de grano muy

fino, prácticamente afaníticas hasta aquellas típicamente pegmatíticas. Todo ello es característico de condiciones de formación hipobisales o subvolcánicas.

Localmente, se observa un bandeo (N90E) debido a la orientación de los grandes cristales de anfíbol y “*schlieren*” de diferentes rasgos texturales.

Las relaciones de esta masa ultramáfica con las formaciones periféricas es complicada y sólo puede verse en los extremos NE y SO de la banda de la línea de costa, ya que hacia el interior queda cubierta por el jable que forma el techo de la formación en una secuencia de alternancias de niveles de caliche y dunas fósiles asimismo con caliches. En ambos extremos se ponen en

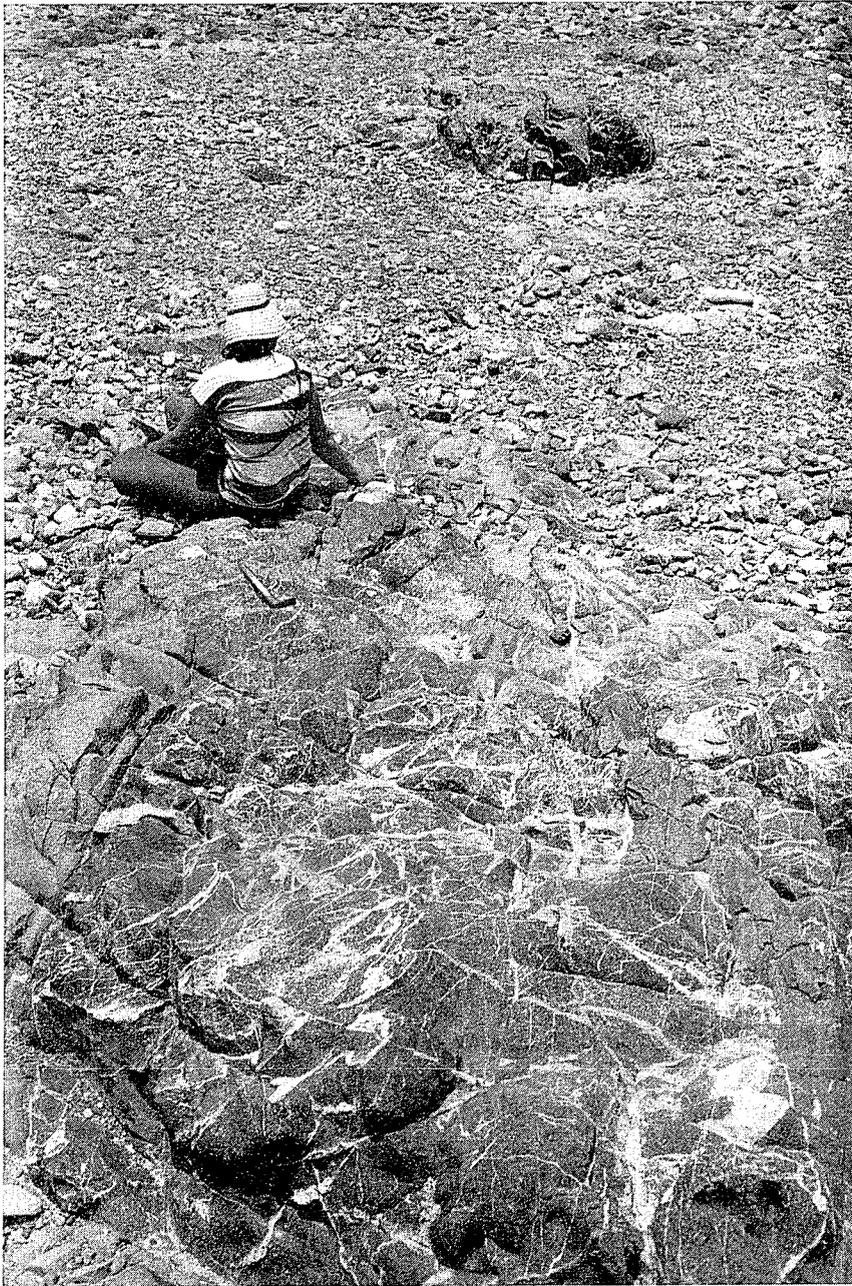


Fig. 3.-Detalle de un afloramiento de rocas ultramáficas con su "net-work" feldespático.
Fig. 3.-Detail of the dense feldspatic net-work of the ultramafic rocks.

contacto con otras unidades del Complejo Ultramáfico-Carbonatítico a través de otros términos básicos o sieníticos.

Estas relaciones de las perknitas con la formación "encajante" sólo puede abordarse desde el estudio de la totalidad del Complejo lo que está siendo motivo de investigaciones complementarias que se llevan a cabo actualmente.

2.3. Petrografía.

Las perknitas son rocas intensamente negras y den-

sas de tamaño de grano muy variable que oscila entre tipos de grano muy fino, a tipos pegmatíticos, aunque predominan en general las facies de grano grueso.

Es característico que en muchas facies estas rocas estén cortadas y entrecruzadas por una maraña de venillas milimétricas, blancas, que están constituidas fundamentalmente por feldespatos. Se tiene por lo tanto una reproducción a escala centimétrica de lo que dijimos respecto a la existencia a nivel de afloramiento del "net-work" que entrecruza la formación ultramáfica.

El tipo de perknita más frecuente es una piroxenita alcalina o yamaskita. Menos abundantes son los términos enriquecidos en anfíbol o avezakititas. Las textu-

ras que presentan se deben fundamentalmente a acumulación cristalina. Son poco variadas y se pueden reducir a dos tipos: meso y adcumulados (Wager *et al.*, 1960). Los minerales que las forman son fundamentalmente piroxeno, anfíbol, apatito y opacos, que pueden aparecer en proporciones muy variables.

Las piroxenitas tienen un marcado crecimiento adcumulado, siendo el piroxeno el mineral cúmulo. Forma un mosaico apretado de cristales subidiomorfos con cantidades muy reducidas de material intersticial, constituido por el anfíbol, apatito y opacos.

Al segundo tipo corresponden las rocas en que el mosaico del mineral cúmulo o primocristal es el anfíbol. Al igual que en el caso anterior entre el mosaico apretado de sus cristales crecen intersticialmente los demás constituyentes: piroxeno, apatito y opacos. Normalmente forman un mesoacumulado aunque localmente presentan crecimiento típicamente de adcumulados apretándose más el mosaico y reduciéndose considerablemente la cantidad de fases intersticiales.

El anfíbol forma cristales de contorno alotriomorfo a subidiomorfo de unos 8 mm de longitud mayor. Existen facies típicamente pegmatíticas con grandes megacristales de hasta 8 cm y aun a veces mayores. Estas facies aparecen erráticamente distribuidas como "schlieren" en los tipos normales.

Aunque las piroxenitas y las anfíbololitas se localizan en zonas determinadas a escala de decenas de metros, otras veces aparecen "schlieren" de unas en las otras a escala métrica o centimétrica observables en el campo. A niveles microscópicos estos "schlieren" piroxeníticos presentan una textura característica de tipo sidéronítico en que el opaco engloba a los restantes minerales.

Rasgo común en ambos tipos de perknitas es que presentan a nivel microscópico grietas o fracturas en las que se producen diversas transformaciones en los minerales previos, tales como: a) Uralitización del piroxeno, o, b) Actinolitización y biotización de la kaersutita. O cristalizaciones de nuevos minerales formando venillas que pueden ser: a) Monominerales, compuestas de micas o de pequeños cristales de anfíbol. b) Poliminerales, formadas por anfíboles, micas y apatito. Estas venillas presentan un desarrollo muy espectacular dentro de los abundantes minerales opacos.

2.4. Mineralogía.

Se ha hecho el estudio de los minerales utilizando técnicas de microscopía óptica y el análisis químico con técnicas de Microsonda Electrónica.

2.4.1.- Salita.

Es de color rosa pálido, ligeramente pleocroico de contorno anhédrico, de unos 6 mm de longitud mayor. En ellos se observan inclusiones de apatito y minerales opacos. Presenta maclas y zonados concéntricos muy frecuentes. Este piroxeno se transforma en bordes y grietas a kaersutita, que también puede formar un parcheado dentro del cristal.

Se han realizado dos análisis químicos de este mineral cuyos valores están representados en la Tabla 1. Su rasgo más característico es el alto porcentaje de TiO_2 que presenta un valor medio de 3,38%; en el diagrama Ca-Mg-Fe quedan situados dentro del campo de la salita (Fig.4). La proporción de Ca es siempre mayor que la de Mg y el contenido en Fe es bajo.

2.4.2. Kaersutita.

Aparece como cristales frecuentemente maclados. Suelen tener como inclusiones apatito y minerales opacos, aunque estos no llegan a ser tan abundantes como en el caso de la salita. En bordes y grietas se transforma a un anfíbol verde de tipo actinolítico.

La tabla 1 muestra el análisis de este anfíbol que corresponde a kaersutita s.s. (Aoki, 1963). En la Fig.5 se ha representado este anfíbol en un diagrama $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}/\text{Mg}^{2+}$ (Aoki, 1963) para diferenciar las kaersutitas de rocas intrusivas de las de rocas volcánicas. La kaersutita queda situada en el lado Fe^{2+} - Mg, como corresponde a kaersutitas de rocas intrusivas.

2.4.3. Minerales opacos.

Los minerales principales son magnetita e ilmenita (Fig. 6). En menor cantidad aparecen hematites, calcopirita y pirrotina, estos dos últimos en mínimas proporciones.

Magnetita e ilmenita, aunque menos abundantes que la salita y la kaersutita llegan a tener categoría de componentes esenciales en todos los tipos de roca. Aparecen como mineral intersticial entre salita y kaersutita, y también como inclusiones.

Magnetita.- Se presenta con forma alotriomorfa con exoluciones laminares de ilmenita. Sufre fenómenos de martitización. En la Tabla 1 se encuentran dos análisis (5 y 6) de magnetita.

Ilmenita.- Se trata de una ilmenita no maclada, se presenta fundamentalmente grandes cristales con bordes poligonales o como lamelas tabulares intercrecidas con magnetita. Se ha realizado un análisis de este mineral que aparece en la Tabla 1 (Análisis 4). Se caracteriza por el alto porcentaje de MgO (7,71%) que corresponde a una pirroilmenita, término intermedio entre la ilmenita s.s. (FeTiO_3) y la geikielita (MgTiO_3), como puede apreciarse en la figura 7. En cuanto a la distribución de los elementos entre magnetita y pirroilmenita se observa que como es común en las rocas que presentan estas dos fases coexistentes, Mg y Mn tienden a concentrarse en la ilmenita, mientras que el Al es más abundante en la magnetita. Sin embargo, el Cr se concentra en la ilmenita en vez de en la magnetita, rompiendo la pauta de distribución normal.

Hematites.- Este mineral se presenta reemplazando a la magnetita a partir de las fracturas.

2.4.4. Apatito.

El apatito es un mineral excepcionalmente abundante en estas rocas, aparece como inclusiones dentro de la salita y la kaersutita. Es también muy frecuente como mineral intersticial. Agregados de cristales de apa-

	PIROXENOS			ANFIBOL.			MINERALES OPACOS				APATITO		
	1		2	3		3	1	2	3	4			
SiO ₂	46,93		45,71		39,49		—	—	—	0,16			
Al ₂ O ₃	5,94		6,80		13,12		0,23	4,29	4,22	—			
Fe ₂ O ₃	—		—		—		—	—	—	—			
FeO	6,29		7,15		9,53		39,00	81,39	77,69	0,07			
MnO	0,13		0,15		0,09		1,48	0,22	0,53	0,03			
MgO	13,31		12,97		14,45		7,71	3,06	2,68	0,01			
CaO	22,80		22,31		11,97		—	—	—	50,47			
Na ₂ O	0,75		0,74		2,73		0,02	0,01	0,02	0,04			
K ₂ O	—		—		—		—	—	—	—			
TiO ₂	3,14		3,62		5,65		50,52	7,12	10,26	—			
Cr ₂ O ₃	0,04		0,06		0,01		—	—	—	48,25			
TOTAL	99,96		99,52		98,73		0,01	—	—	—			
N. de iones en base a:							TOTAL						
6 (O)							98,97						
24 (O,OH,F)							96,10						
TOTAL							95,39						
F=O							100,19						
TOTAL							99,71						
N. de iones en base a:							TOTAL						
6 (O)							98,97						
32 (O)							96,10						
26 (O,F)							95,39						
TOTAL							100,19						
F=O							0,48						
TOTAL							99,71						

Si	1,739	2,00	1,704	2,00	5,781	8,00	N. de iones en base a:						
Al	0,259		0,286		2,218		6 (O)						
Al	—		0,003		0,046		32 (O)						
Ti	0,087		0,102		0,622		26 (O,F)						
Fe ³⁺	0,140	1,62	0,141	1,99	0,082	5,00	Si	—	—	—	0,026	6,889	
Fe ²⁺	0,070		0,082		1,086		P	—	—	—	6,863		
Mn	0,004		0,005		0,011		Al ⁶⁺	0,013	1,458	1,453	—		
Mg	0,735		0,721		3,153		Fe ³⁺	0,356	11,459	10,049	—		
Cr	0,001		0,002		0,001		Fe ²⁺	1,203	8,164	8,934	0,010		
Na	0,054		0,053		0,775		Mn	0,056	1,81	0,054	0,131	0,004	9,117
Ca	0,905		0,891		1,878	2,97	Mg	0,549	1,315	24,00	1,167	24,00	0,002
K	—		—		0,316		Ca	—	—	—	—	9,086	
							Na	0,002	0,006	0,011	0,015		
							Ti	1,816	1,544	2,254	—		
							Cr	0,001	—	—	—		

TABLA 1
Análisis químico de los minerales de las rocas perkníticas

En primer lugar el contenido de Ni es muy bajo, ya que aunque son rocas ultramáficas presentan una ausencia total de olivino y un contenido relativamente bajo de MgO. Por el contrario, si existe un contenido proporcionalmente elevado de Co, que puede deberse al contenido anormalmente alto de hierro en estas rocas.

También se han analizado elementos incompatibles como Ba, La, Rb, Sr y Zr. Se observa un fuerte control mineralógico en el contenido en algunos de estos elementos menores como el de Ba y Sr por la kaersutita

3. EL "NET-WORK" FELDESPÁTICO

3.1. Relaciones del "net-work" feldespático con la formación perkinítica.

El conjunto del afloramiento de los materiales ultramáficos está intruido por todo un enjambre de pe-

queños diques, venas y venillas de materiales feldespáticos que han originado una red o malla, a veces extraordinariamente tupida (Fig.3).

Es difícil describir este "net-work" porque no existe un criterio de sistematización de estas venillas, existiendo una completa gradación entre impregnaciones y venillas divagantes por un lado y venillas mejor definidas por otro.

Las impregnaciones y venillas divagantes tienen una disposición caótica y se entrecruzan formando como una telaraña en la roca encajante. Las venillas mejor definidas mantienen direcciones determinadas y a veces se disponen incluso subparalelamente.

Algunas venillas presentan en unos casos relaciones típicas de fenómenos de sustitución: ausencia de "off-sets" en la roca encajante, variaciones de potencia marcada, bordes gradacionales, etc. En otros casos presentan por el contrario relaciones intrusivas: "off-sets", bordes netos, rumbos y potencias muy constan-

TABLA 2
Composición química de las rocas perkníticas

	Piroxenita 1	Anfibololita 2	Piroxenita 3
SiO ₂	31,81	33,69	35,30
Al ₂ O ₃	5,86	11,21	7,39
Fe ₂ O ₃	13,17	6,19	12,13
FeO	8,19	8,35	6,88
MnO	0,20	0,18	0,17
MgO	11,73	12,06	10,82
CaO	19,63	15,31	18,51
N ₂ O	0,60	1,77	0,66
K ₂ O	0,14	1,35	0,20
TiO ₂	6,02	5,61	6,00
P ₂ O ₅	2,49	2,20	1,22
CO ₂	t,r	—	—
H ₂ O	0,59	0,54	0,51
F	0,41	0,44	0,38
TOTAL	100,43	98,46	99,79
F=O	0,17	0,18	0,16
TOTAL	100,26	98,28	99,63

Elementos menores (ppm)			
Ba	282	690	198
Co	68	58	63
Cr	31	34	27
La	104	80	79
Ni	12	—	11
Rb	4	13	5
Sr	226	624	162
Zr	110	155	124

Normas moleculares (CIPW)

		Piroxenita 1	Anfibololita 2	Piroxenita 3
Fto	An	12,88	18,93	16,61
	Ab	—	—	—
	Or	—	—	—
Ne		2,75	7,84	3,02
Le		0,65	6,25	0,93
Px	Di	31,04	17,62	39,67
	Hy	—	—	—
Ol	Fo	10,38	16,26	5,99
	Fa	—	—	—
C,s		8,77	6,23	5,04
Ilm		11,43	10,65	11,39
Mt		9,60	8,97	5,34
Hm		6,55	—	8,45
Ap		5,77	5,09	2,83

tes, etc. Son frecuentes también diquecillos o venas brechoides y zonas en las que el volumen de material feldespático es tan grande que la roca ultramáfica encajante queda reducida a verdaderos enclaves dentro de aquellos. Entre todas estas morfologías existen todo tipo de transiciones, a veces según se sigue el trazado de una determinada venilla. Esto hace difícil establecer mecanismos genéticos específicos para unas u otras.

TABLA 3
Composición química de las venas feldespáticas

	1	2	3	4
SiO ₂	59,69	54,28	52,26	58,23
Al ₂ O ₃	19,63	19,12	21,36	22,94
Fe ₂ O ₃	2,13	3,76	3,30	1,92
FeO	0,52	1,22	2,63	1,11
MnO	0,05	0,22	1,22	0,10
MgO	1,26	0,86	2,24	0,49
CaO	5,61	6,31	6,45	4,48
Na ₂ O	7,89	6,93	5,96	7,66
K ₂ O	0,69	1,37	1,20	1,18
TiO ₂	0,57	1,42	1,87	0,40
P ₂ O ₅	0,08	0,18	0,29	0,05
CO ₂	—	tr	—	—
P,F	1,90	3,80	1,62	1,37
TOTAL	100,02	99,47	99,28	99,89

Normas moleculares (CIPW)

Or	4,08	8,09	7,09	6,97
Ab	66,53	52,65	47,27	63,35
An	16,12	17,03	27,99	21,89
Ne	0,12	3,24	1,71	0,79
Di	6,77	4,62	1,64	—
Wo	1,04	2,99	—	—
Ol	—	—	3,38	0,85
Mt	0,19	0,53	3,38	2,61
Ilm	1,08	2,69	3,55	0,76
Hm	2,00	3,39	0,97	0,12
C	—	—	—	—
Ap	0,18	0,42	0,67	0,12

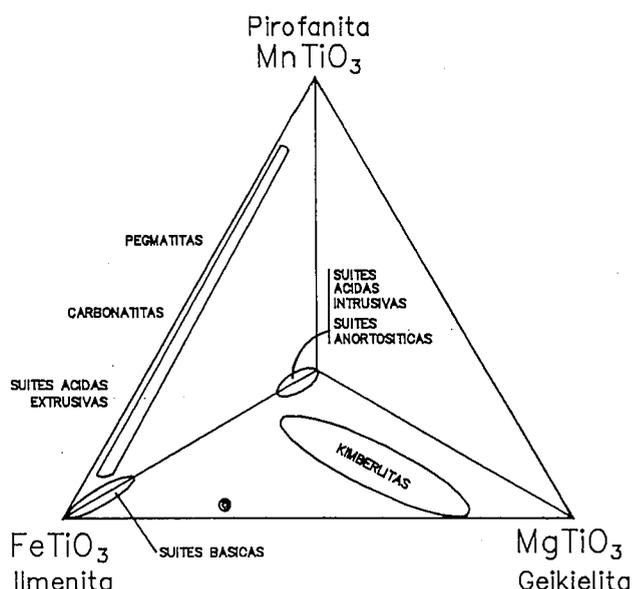


Fig. 7.-Situación de la ilmenita (Análisis n.º 4, Tabla 1) en el diagrama MnTiO₃-FeTiO₃-MgTiO₃ (Haggerty, 1976).
Fig. 7.-Composition of the ilmenite (Analysis 4, Table 1) in the MnTiO₃-FeTiO₃-MgTiO₃ diagram (Haggerty, 1976).

En unos casos todo parece favorecer una génesis "endocinética" (Stoces *et al.*, 1935; Engels, 1959), esto es por cristalización de fluidos residuales feldespáticos cogenéticos que empapaban a la roca ultramáfica en consolidación. En otros su origen se debería a intrusión en determinadas zonas de estos mismos líquidos a favor de discontinuidades originadas en la roca encajante. Se trataría de venillas "exocinéticas" de acuerdo con la nomenclatura de estos autores.

Esto estaría de acuerdo con la existencia en la zona de un régimen tectónico complicado predominantemente distensivo que ha favorecido también toda la secuencia de intrusiones de la malla filoniana y de pequeños cuerpos intrusivos subvolcánicos.

Las mallas de venas y venillas presentan, en la parte septentrional de la zona, una densidad que aunque grande, no alcanza las magnitudes que poco a poco va adquiriendo conforme se siguen los afloramientos de la costa hacia la Pta. del Peñón Blanco.

Posteriormente a esta impregnación de materiales feldespáticos, el conjunto sufrió procesos metasomáticos de epidotización, cloritización y albitización. Estas transformaciones se han repartido muy irregularmente, tanto en su localización como en intensidad. Queda limitado a puntos concretos afectando primordialmente al "net-work" feldespático y sólo en casos aislados al conjunto de las rocas ultramáficas. Se trata de procesos tardíos en la historia de la formación asimilables a propilitizaciones subvolcánicas que afectan de forma muy selectiva a los distintos materiales de la roca de caja y determinadas familias de diques de la malla filoniana.

Atendiendo ya a los rasgos morfológicos del "net-work" se tiene que esta red se manifiesta tanto a nivel milimétrico en la roca como a niveles centimétricos o decimétricos a escala de afloramiento, con una continuidad composicional notable.

Con posterioridad todo el conjunto está a su vez intruido en mayor o menor medida por los diques más tardíos de carácter basáltico-intermedio propios de los sucesivos ciclos de inyecciones filonianas regionales del Complejo Basal.

3.2. Petrografía.

Generalmente las venillas están compuestas por un agregado de feldespatos anhédricos con bordes suturados y aspecto anubarrado que hace muy difícil apreciar su naturaleza.

En el contacto con la perknita se forman agregados de biotita y pequeñas cantidades de anfíbol radial. La salita que compone la piroxenita experimenta en las inmediaciones del contacto con las venas feldespáticas una transformación en sus bordes a un piroxeno egírico de color verde claro. Además en algunos casos los piroxenos se transforman en un agregado de carbonatos y clorita.

A veces, las venas contienen fragmentos de perknitas parcialmente asimiladas compuestos por piroxe-

nos, anfíboles, abundantes micas, opacos y epidota. A su vez, en el contacto también la roca encajante sufre fenómenos de transformación, fundamentalmente alcalinizaciones.

El estudio completo de estas venas, no se ha efectuado aquí ya que la problemática de las mismas está íntimamente relacionada con el "net-work" de naturaleza carbonatítica existente en relación con las rocas ultramáficas pero fuera de la zona concreta de estudio de este trabajo.

3.3. Composición química.

Los análisis de los tipos principales de las venas feldespáticas y su composición normativa según la norma CIPW aparecen expresadas en la Tabla 3.

La sílice tiene valores comprendidos entre el 52,26% de los términos con más máficos, hasta un 59,69% propio de las venas compuestas casi exclusivamente por feldespatos, así como elevados porcentajes de Al_2O_3 y NaO_2 . Por otro lado, son rocas pobres en K_2O pues la cantidad de feldespato potásico es muy reducida. También son bajos los porcentajes de Fe_2O_3 total y MgO debido a la escasez, en general de minerales ferromagnesianos. TiO_2 y P_2O_5 son también poco abundantes, ya que tanto los minerales opacos como el apatito son accesorios.

Puesto que petrográficamente estas venas están formadas prácticamente por feldespato, el análisis químico permite identificar al mismo como una plagioclasa tipo andesina.

4. PETROGÉNESIS DE LAS ROCAS PERKNÍTICAS

Las rocas perkníticas que aparecen en la costa del Jable de Salinas en el área de La Matanza se encuentran íntimamente asociadas a una serie de rocas feldespáticas, sieníticas s.l., carbonatitas y términos ultramáficos y máficos flogopíticos de las zonas con procesos de fenitización. Forman por lo tanto, como ya se ha indicado, un complejo ultramáfico alcalino-carbonatítico. Dentro de este complejo los términos ultramáficos, en nuestro caso las perknitas, constituyen los materiales en los que intruyen los términos feldespáticos y carbonatíticos.

Se admite en general, que estos complejos son el producto de la diferenciación de un magma primario ultramáfico. Para explicar esta diferenciación se han aducido por diferentes autores fundamentalmente dos mecanismos: cristalización fraccionada (King, 1965) o procesos de inmiscibilidad líquida (Le Bas, 1987).

Aunque en cualquiera de estas hipótesis de trabajo deben tenerse en cuenta no sólo perknitas y "net-work" feldespático sino también las carbonatitas, en este trabajo sólo se trata de concretar algunos aspectos relacionados con la génesis específica de los términos perkníticos.

Respecto a estos, la hipótesis que se utilice debe explicar dos hechos fundamentales:

— La mineralogía de estas rocas, compuestas fundamentalmente por salita, kaersutita, apatito y óxidos de Fe y Ti. En ellas no aparecen además ni feldespatos ni feldespatoides modales.

— La intrusión en estas rocas del "net-work" feldespático. Entre ambos tipos de rocas no existe relación ni geoquímica ni mineralógica, aunque desde el punto de vista de yacimiento los rasgos expuestos anteriormente indican que están íntimamente asociados genéticamente.

Atendiendo a la geoquímica de las perknitas uno de sus rasgos más notables es el elevado contenido de Fe total y Ti que presentan (Tabla 2), que se pone de manifiesto en el estudio petrográfico por la abundante presencia de minerales opacos.

El enriquecimiento en Fe total es un fenómeno común en rocas de complejos ígneos alcalino y en anortositas. Es frecuente que se formen en ellos segregaciones (lenticulas, diques, capas etc.) compuestos por asociaciones de óxidos de Fe-Ti.

En nuestro caso los minerales opacos (magnetita e ilmenita) no forman segregaciones de este tipo, aunque si se encuentran impregnando al resto de los minerales de la roca (salita, kaersutita y apatito), con texturas sideroníticas. Es decir, los óxidos de Fe-Ti constituyen un líquido residual que engloba a las fases que han cristalizado con anterioridad.

La cristalización fraccionada es el mecanismo que se utiliza para explicar la diferenciación de los magmas desde los términos basálticos hasta los traquíticos (fonolíticos) o de sus equivalentes subvolcánicos: gabros olivínicos a sienitas (sienitas nefelínicas). Los rasgos de las perknitas indican no que encuentran sus equivalentes en estas secuencias de diferenciación ya que presentan alto contenido en Fe total, Ti y P (Tabla 2). Ello se traduce petrográficamente en elevados contenidos de minerales opacos, magnetita e ilmenita que se encuentran impregnando a los restantes minerales de la roca: salita, kaersutita y apatito, con texturas sideroníticas. Es decir, los óxidos de Fe-Ti constituyen un líquido residual que engloba a las fases anteriores y cuya composición sería la de una nelsonita magnetítica (Tröger, 1969). Este término se aplicó originalmente a rocas compuestas por rutilo y apatito (Watson *et al.*, 1913) y actualmente se utiliza para rocas de naturaleza similar formadas por óxidos de Fe-Ti y apatito.

Los estudios experimentales de Fischer (1950) en los sistemas ternarios $\text{Ca}_5(\text{F}(\text{PO}_4)_3) - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{Na}_2\text{O}_{2.7} \cdot \text{SiO}_2$ y $\text{Ca}(\text{F}(\text{PO}_4)_3) - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ y posteriormente en el trabajo de Phillipotts (1967) en los sistemas magnetita - apatito y magnetita - apatito más una parte silicatada de composición diorítica revelan la existencia a 1400°C y 1 atm de presión de determinados campos en los que es posible la inmiscibilidad entre un fundido silicatado y un fundido nelsonítico.

Fischer (1950) en sus experimentos sobre los fenómenos de licuación en fundidos silicatados demostró la posibilidad de separación en ellos de fases líquidas

inmiscibles cuando en el sistema se reunían las siguientes condiciones:

1. Alto contenido en álcalis.
2. Alto contenido en óxidos metálicos pesados (específicamente Fe_nO_m)
3. Alto contenido en volátiles: H_2O , CO_2 , SO_2 y halógenos, especialmente F.
4. Alto contenido en P_2O_5 .

De las condiciones exigidas por los experimentos de Fischer (1950) los altos contenidos necesarios de FeO_m frente al contenido en SiO_2 (Tabla 2) quedan satisfechos claramente en el quimismo de las piroxenitas y anfibolitas.

Además, hay que tener en cuenta el alto contenido en TiO_2 de estas rocas. Este elemento (al igual que el V) en altos estados de oxidación ejerce el mismo papel que el Fe siendo característico que en este caso las fases oxidadas sean ricas en Ti (ilmenita, titanomagnetita). Esto es lo que de hecho ocurre en las perknitas.

Los valores de P_2O_5 son, por otro lado, también anómalos, manifestándose en elevados porcentajes de apatito modal. En cuanto al F y, en general, todos los volátiles son abundantes como se puede apreciar en el quimismo de estas rocas (Tabla 2) y en la abundancia de kaersutita y flogopita como mineral accesorio.

A su vez, Phillipotts (1967) señala que la composición del eutéctico dentro del sistema magnetita - apatito es la correspondiente a aproximadamente 2/3 del volumen total de magnetita y 1/3 de apatito. Esta relación ha sido comprobada por diferentes autores que han estudiado rocas de este tipo (Kolker, 1982; Bergstöl, 1972; Badham y Morton, 1976). En nuestro caso también se mantiene la relación 2:1 entre óxidos de Fe-Ti y apatito.

Los trabajos experimentales se han realizado a temperaturas muy elevadas y con contenidos más altos de F de los normales en fundidos naturales debido a la pérdida de F que se produce por volatilización: entre el 65 y el 80% de F del contenido de la mezcla fundida. En realidad en los procesos naturales la pérdida de componentes volátiles es mucho menos importante. Además, a semejanza con los procesos metalúrgicos, el alto contenido en Na_2O propio de los magmas alcalinos es un factor que contribuye a la formación de fundidos inmiscibles compuestos de magnetita y apatito en los complejos alcalinos (Phillipotts, 1967).

Utilizando las premisas establecidas en su trabajo, Fischer (1950) establece una secuencia esquemática para aplicar estos resultados a la evolución de fundidos magmáticos naturales de composición essexítica. Extrapolando este esquema a nuestro caso, tendríamos que la hipotética existencia de un magma inicial "essexítico" a partir del que se derivarían los diferentes términos del complejo sería lógico, ya que en los ciclos magmáticos canarios las *suites* Basalto olivínico alcalino - Tráquita y sus equivalentes subvolcánicos son normales.

De este magma "essexítico" ya inicialmente con un elevado contenido en P, Fe, Ti, CO_2 y H_2O , cristalizarían términos ultramáficos con olivino para a con-

tinuación separarse la mayor parte del feldespato cálcico potencial.

De hecho los términos ultramáficos olivínicos (Yamaskitas olivínicas según Tröger, 1969) con contenidos normales de óxidos de Fe-Ti y apatito aparecen en los bordes septentrionales de las perknitas aquí tratadas (Gómez Roa, com. per) y en las formaciones periféricas del sur del complejo.

En el fundido resultante enriquecido, tras este fraccionamiento, de forma anómala en óxidos, apatito y volátiles, es en el que se producirían los procesos de inmiscibilidad desdoblándose por una parte un líquido silicatado rico en óxidos, prácticamente desprovisto de álcalis y enriquecido en apatito y otro feldespático alcalino (Fig. 8).

El "net-work" feldespático que impregna la formación perknítica representaría el fundido feldespático (plagioclásico) inmiscible. Una cuestión a tratar sería la composición inicial de estas venas plagioclásicas, que actualmente están formadas por andesina-oligoclasa. Inicialmente si esta plagioclasa hubiera sido cálcica cabría la posibilidad de suponerla procedente de la fracción feldespática cálcica del fundido original. El que actualmente presente una composición más sódica puede deberse a los procesos de alcalinización-fenitización existentes en el conjunto del Complejo Perknítico-carbonatítico. De hecho los caracteres ópticos del feldespato de estas venas, anubarrados, plagados de inclusiones fluidas submicroscópicas, etc., son característicos de procesos metasomáticos de transformación (Korzhinskii, 1965).

Volviendo a la fracción perknítica, su contenido en volátiles debe reflejar sólo una mínima parte de la concentración inicial que no se segregaría totalmente en el fundido silicatado, sino que quedaría saturando cada vez más las últimas fracciones líquidas del fundido en cristalización en especial las carbonatadas. De hecho, en las perknitas, aparte de los abundantes cristales de apatito asociados a los ferromagnesianos, este mineral es componente esencial de las microvenas que a nivel microscópico impregnan las perknitas. Estas serían consecuencia de la cristalización de la fase residual volátil retenida en las fases silicatadas ferromagnesianas. La mayor parte de la fase fluida emigraría como fundidos carbonatados, fracciones que en el complejo originaría las carbonatitas y fenitas.

Este hecho podría además haberse facilitado por procesos de separación mecánica tipo "filtro-prensa". El que este proceso de cristalización bajo presiones dirigidas tuvo lugar mientras se consolidaba la roca lo indican una serie de rasgos estructurales y texturales de las perknitas: orientación marcada con rumbo ESE-ONO puesta de manifiesto por schlieren de grano fino o grueso, alargamiento y orientación de megacristales de kaersutita y también por la orientación de parte del "net-work" de los fundidos feldespáticos que aprovechan discontinuidades con estos rumbos.

En la Fig. 8 se ha esquematizado la posible secuencia petrogenética. Los términos rocosos en la zona de La Matanza corresponderían fundamentalmente a la

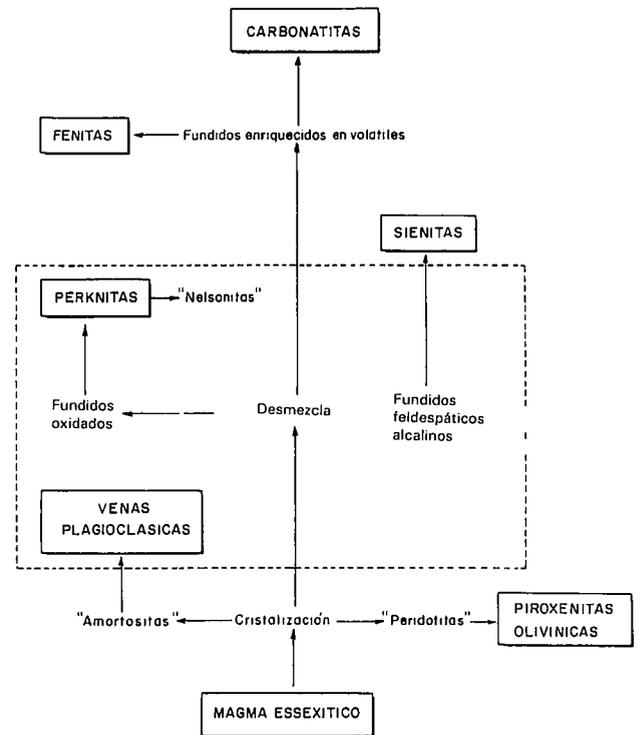


Fig. 8.-Esquema petrogenético del complejo ultramáfico-carbonatítico de Amanay.

Fig. 8.-Schematic petrogenetic flow-chart for the ultramafic-carbonate complex of Amanay.

porción perknítica y al "net-work" de venas feldespáticas. Los otros términos quedan fuera de la zona, aunque los datos de campo demuestran el paso de estas rocas ultramáficas por una parte a cuerpos de piroxenitas olivínicas (yamaskitas olivínicas de la Pta. de Diego Díaz) y por otra a una red de venas cada vez más tupidas constituidas por términos sieníticos, sienítico nefelínicos y carbonatitas.

El conjunto presenta una gran complejidad y no es posible abordar en este trabajo toda su problemática. La hipótesis aquí avanzada sería un punto de partida para trabajos posteriores que incluyen los otros términos rocosos del Complejo actualmente ya iniciados y con los que se podrá confirmar y explicar aspectos concretos de la petrogenesis del conjunto.

5. CONCLUSIONES.

De todo lo anteriormente expuesto se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1. Las rocas ultramáficas alcalinas del Jable de las Salinas forman el núcleo de un complejo ultramáfico carbonatítico.

2. Se caracterizan por presentar rasgos texturales que corresponden a cuerpos intrusivos hipoabisales - subvolcánicos. Estas rocas se encuentran extraordinariamente fracturadas e intruidas por un "net-work" de venas feldespáticas de morfología muy compleja.

3. Presentan texturas tipo adcumulado. Están compuestas por salita, kaersutita, magnetita, ilmenita y apatito. Se han clasificado como piroxenitas y anfíbololitas alcalinas siguiendo los criterios establecidos por Tröger (1969). Estos términos corresponden a la denominación de perknitas.

4. Geoquímicamente destacan por presentar un quimismo alcalino subsaturado y por la elevada concentración Fe total, TiO₂ y P₂O₅.

5. Por sus características mineralógicas y químicas estas rocas parecen ser el resultado del fraccionamiento de un magma essexítico mediante procesos de inmiscibilidad líquida.

BIBLIOGRAFÍA

- Aoki, K. (1963): The kaersutites and oxykaersutites from alkaline rocks of Japan and surroundings areas. *Jour. Petrol.*, 4: 198-229.
- Badham, J.P.N. y Morton, R.D. (1976): Magnetite-apatite intrusions and calc-alkaline magmatism, Camsell River, N.W.T. *Can. Jour. Earth. Sci.*, 13: 348-359.
- Bergstöl, S. (1972): The jacupirangite at Kodal, Vestfold, Norway, a potential magnetite, ilmenite and apatite ore. *Mineral. Deposita*, 7: 348-354.
- Deer, W., Howie, R. y Zussman, J. (1966): *An introduction to the rock forming minerals*. Longman, London, 527p.
- Engels, B. (1959): Die Kleintektonische Arbeitsweise unter besonderer Berücksichtigung ihre Anwendung in deutschen Paläozoikum. In: *Geotektonische Forschungen* (H. Stille y Fr. Lotze, Eds.), Stuttgart, 1959, Schweizenbart'sche Verlagsbuchhandlung, 13, I-II, 129p.
- Fischer, R. (1950): Entmischungen in Schmelzen aus Schwermetalloxyden, Silikaten und Phosphaten. Ihre geochemische und lagerstättenkundliche Bedeutung. *N. Jb. Mineral. Abh.*, 81: 315-364.
- Frietsch, R. (1978): On the magmatic origin of iron ores of the Kiruna type. *Econ. Geol.*, 73: 478-485.
- Gastesi, P., Hernández-Pacheco, A. y Muñoz, M. (1966): Las rocas holocristalinas de la Caldera de Taburiente, Isla de La Palma (Canarias). *Estudios. Geol.*, 22: 113-134.
- Haggerty, S.E. (1980): Opaque minerals oxides in terrestrial igneous rocks. In: *Oxide minerals. Reviews in mineralogy*, 3. Rumble, D III. (Ed), 300 p.
- Hernández-Pacheco, A. (1989): Datos sobre la geología y petrología del Macizo de Amanay, Fuerteventura, Canarias. *Geogaceta*, 6: 40-43.
- I.G.M.E. (1967a,b): Mapas y memorias explicativas de las Hojas 1114 (Istmo de la Pared) y 1115 (Tuineje) del Mapa geo-

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento a los Ilmos. Sres. Coronel del Estado Mayor del Ejército D. José González Soler, al Coronel Comandante Militar de Comandancia de Fuerteventura D. Manuel Calero Bejar y al Coronel de Infantería DEM del Tercio III de la legión de esta misma isla, por las facilidades que nos han dado para recorrer el campo de tiro de Pájara. Asimismo a la Dra. Teresa Palacios del Dpto. de Geología de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Lisboa y a J. García Tánago por la realización de los análisis de minerales. A la Dra. Josefina Sierra por su ayuda en el trabajo de microscopía de reflexión. Este trabajo se ha realizado dentro del proyecto P.B 870382 de la C.A.I.C.Y.T.

lógico Nacional a escala 1:50.000.

- King, B.C. (1965): Petrogenesis of the alkaline igneous rocks suites of the volcanic and intrusive centres of eastern Uganda. *Jour. Petrol.*, 6: 67-100.
- Kolker, A. (1982): Mineralogy and geochemistry of Fe-Ti oxide and apatite (Nelsonite) deposits and evaluation of the liquid immiscibility hypothesis. *Econ. Geol.*, 77: 1146-1158.
- Korzhinskii, D.S. (1965): *Abriss der metasomatischen Prozesse*. Akademie Verlag. Berlin, 195 p.
- Le Bas, M.J. (1987): Nephelinites and carbonatites. In: *Alkaline Igneous Rocks*. (Fitton, J.G. y Upton, B.G.J., Eds.) Geological Society of London. Spec. Publ., 30: 53-83.
- Muñoz, M., Sagredo, J. y Afonso, A. (1974): Mafic and ultramafic inclusions in the eruption of Teneguia volcano (La Palma, Canary Islands). *Estudios. Geol.*, vol. Teneguia: 65-74.
- Philpotts, A.R. (1967): Origin of certain iron-titanium oxide and apatite rocks. *Econ. Geol.*, 62: 303-315.
- Stoces, B. y White, Ch.H. (1935): *Structural geology*. McMillan & Co. Ltd. London, 460 p.
- Streckeisen, A. (1976): To each plutonic rock its proper name. *Earth. Sci. Reviews.*, 12: 1-33.
- Tröger, W.E. (1969): *Spezielle Petrographie der Eruptivgesteine. Ein Nomenklatur Kompendium Eruptivgesteinsnamen*. Verlag der Deutschen Min. Gesellschaft. Stuttgart, 360p.
- Wager, L.R., Brown, G.M. y Wadsworth, W.J. (1966): Types of igneous cumulates. *Jour. Petrol.*, 1: 73-85.
- Watson, T.L. y Taber, S. (1913): Geology of the titanium and apatite deposits of Virginia. *Virginia. Geol. Survey. Bull.*, 3a, 308p.

Recibido el 5 de octubre de 1989

Aceptado el 15 de abril de 1990