

# El volcanismo de las Islas Columbretes (Mediterráneo Occidental). Quimismo y mineralogía.

Por A. APARICIO (\*) y R. GARCIA (\*\*)

## RESUMEN

Las rocas volcánicas de las islas Columbretes corresponden fundamentalmente a basanitas y fonolitas con enclaves de rocas sedimentarias y metamórficas en basanitas y de rocas sedimentarias, plutónicas, volcánicas y subvolcánicas en fonolitas.

Determinaciones analíticas de minerales en rocas y enclaves muestran la presencia de kaersutita en basanitas y fonolitas, y andradita en enclaves plutónicos y subvolcánicos. La variación geoquímica de los diferentes tipos de rocas aflorantes indica su carácter alcalino y la separación en dos grandes grupos con cierta dispersión composicional. Esta separación, junto a la ausencia de tipos intermedios, no favorece un proceso de cristalización fraccionada. Igualmente la variación de elementos incompatibles (Zr, Y, Ba, Nb) entre basanitas y fonolitas confirma la diferente evolución de los dos tipos de roca.

*Palabras clave:* Volcanismo mediterráneo, Geoquímica.

## ABSTRACT

The volcanic rocks of the Columbretes islands are, fundamentally, basanites and phonolites. The basanites include numerous enclaves of sedimentary rocks and a few of metamorphic rocks. The phonolites include enclaves of sedimentary, plutonic, volcanic and subvolcanic rocks.

Minerals, such as kaersutite and andradite are found in volcanic rocks and plutonic and subvolcanic enclaves respectively. The geochemical variation of the rocks indicates that they are alkaline in character, and allows them to be split into two distinct groups. This separation, along with an absence of intermediate rocks does not support a process of fractional crystallization. The variation of incompatible elements (Zr, Y, Ba, Nb) confirms the different evolution of the two groups of rocks.

*Key words:* Mediterranean volcanism, Geochemistry.

## INTRODUCCION

El volcanismo de las islas Columbretes (I.C.) es conocido ya desde VICENT (1885) y BECKE (1897), aunque aspectos más concretos son desarrollados posteriormente por PARGA PONDAL (1935), SAN MIGUEL y FUSTER (1951), HERNANDEZ PACHECO y ASENSIO (1966). Más re-

cientemente nuevos datos sobre el quimismo y geocronología de las islas han sido aportados por ALONSO MATILLA (1985, 1991a) y APARICIO et al (1991, 1994).

Las I.C. constituyen el afloramiento superficial de un extenso campo volcánico submarino MAILLARD y MAUFRET (1993) constituido sobre una corteza continental adelgazada (MARTIN y SURINACH 1988) en la que los últimos 5 kms corresponden a materiales sedimentarios. Los materiales volcánicos que aparecen por encima del

(\*) Dpto. Volcanología. MNCN-CSIC c/ José Gutiérrez Abascal, 2. 28006 Madrid.

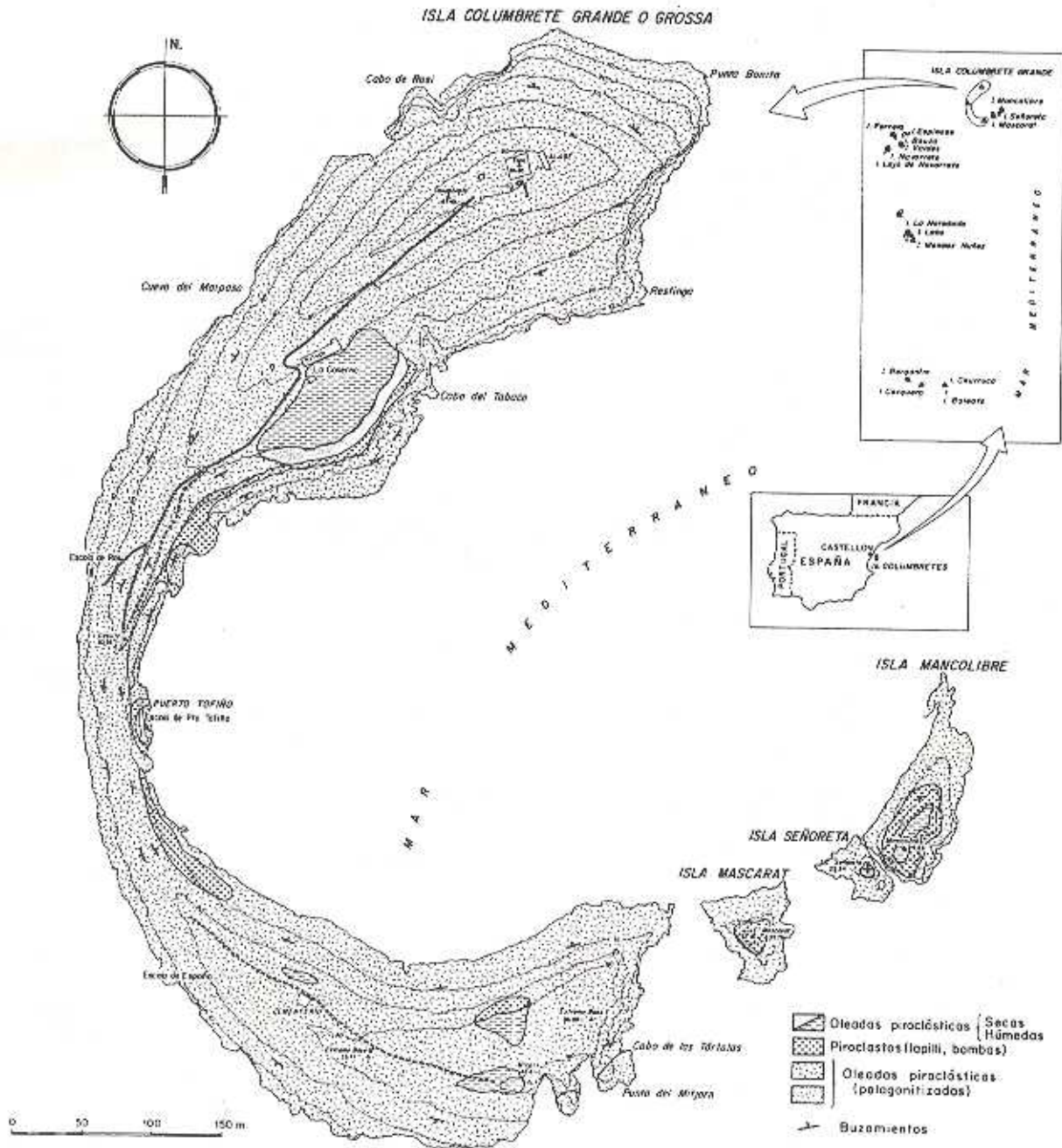


Figura 1. Mapa de situación de las Islas Columbretes y esquema geológico de la isla Grossa (Columbrete Grande) según APARICIO et al. (1991).

nivel marino corresponden mayoritariamente a basanitas y fonolitas que fueron emitidos durante el cuaternario.

Los materiales basaníticos forman la isla mayor de Columbrete Grande (Grossa) y los pequeños

islotos de Escull de Ferrera (Navarrete) y Laja de Navarrete mientras que el resto de las islas están constituidas por rocas fonolíticas. APARICIO et al (1991) delimitan para los materiales básicos de Columbrete Grande edades comprendidas entre 0,3 y 1 m.a.



Columbrete Grande corresponde a un edificio volcánico de 800 metros de diámetro cuyo cráter está invadido por el mar (Fig. 1). APARICIO et al (1991) distinguen 4 episodios volcánicos, 3 de ellos hidromagmáticos. Los dos primeros episodios son los más importantes por el volumen de materiales emitido, y se depositan dando lugar a una discordancia angular. El primer episodio aflora en puntos aislados del edificio volcánico mientras que el segundo episodio constituye prácticamente la totalidad del mismo y presenta capas piroclásticas buzando en ambos sentidos. Estos episodios están constituidos por sucesivas oleadas piroclásticas fuertemente palagonitizadas con numerosos líticos, bombas y escorias juveniles de composición basáltica de tamaños variables, pudiendo alcanzar los 40 cms, además, aparecen frecuentes enclaves de rocas sedimentarias, (carbonatadas) y menos frecuentes de rocas metamórficas (cuarcitas) con dimensiones reducidas (2 a 6 cms).

El tercer episodio, de proyección aérea, deposita una capa de lapilli de pequeño espesor, inferior a 3 metros, aunque a veces es un ligero recubrimiento de escasos centímetros. En el islote Mascarat llega a superar los 10 m. Contiene abundantes bombas juveniles que pueden alcanzar el metro de diámetro.

El cuarto episodio presenta un espesor variable de 15-20 m y se localiza en el área cratérica, su disposición es horizontal y está constituido por una sucesión de oleadas piroclásticas de tipo húmedo (niveles inferiores) y seco, observándose diferentes estructuras: laminaciones, estratificación cruzada, dunas y canales de erosión. También contiene líticos, bombas y escorias juveniles basaníticas, observándose intercalaciones de lapilli de espesor reducido (< 5 cms).

Los islotes Escull de Ferrera (Navarrete) y Laja de Navarrete constituyen el otro afloramiento de rocas basaníticas (Fig. 2) y representan proba-

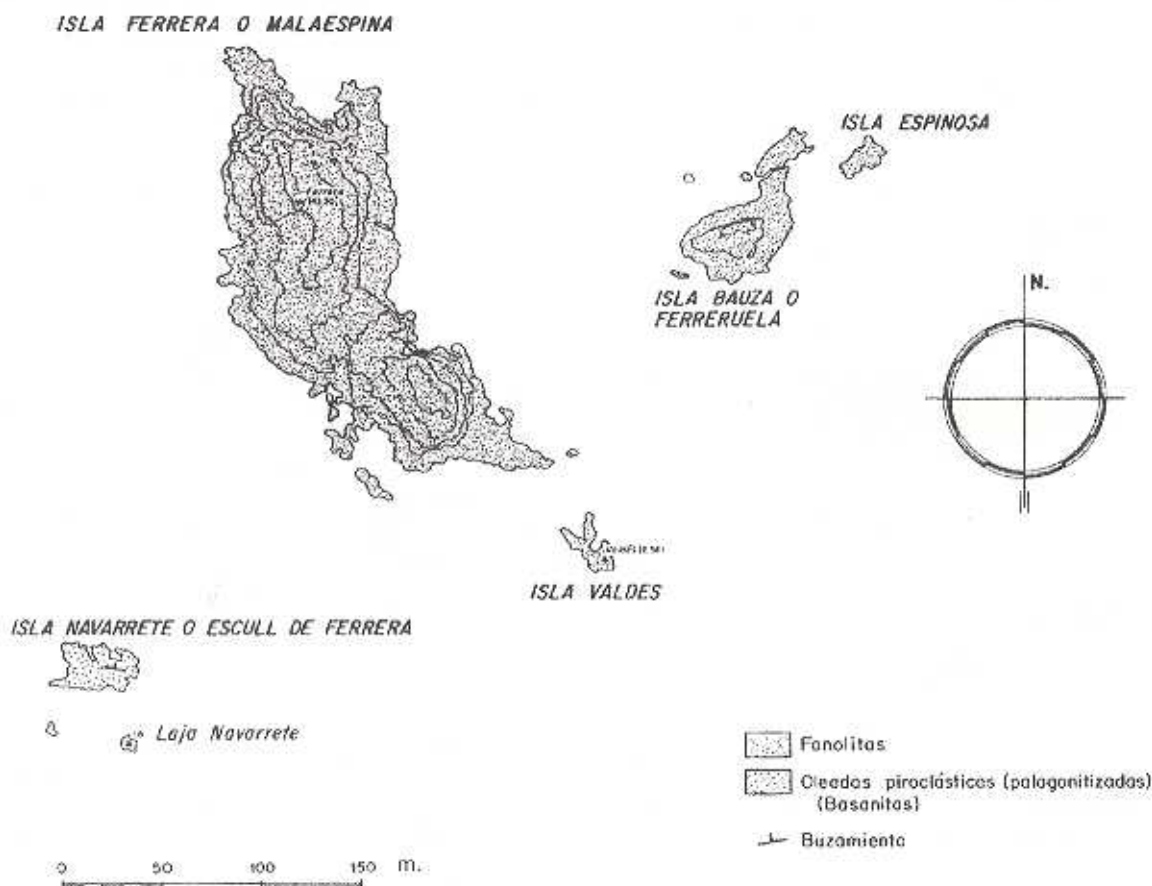


Figura 2. Esquema geológico del grupo de islotes de Ferrera (Malaespina).



blemente, la parte emergida de otro edificio volcánico de gran diámetro, próximo a 1 kilómetro, como parece deducirse de los datos batimétricos determinados por ALONSO MATILLA (1991b). Al igual que Columbrete Grande la roca aflorante corresponde a un episodio hidromagmático de oleadas piroclásticas. Los materiales están palagonitizados e incluyen abundantes líticos y bombas juveniles de hasta 40 cms de longitud junto a enclaves de rocas sedimentarias de tipo carbonatado.

La isla Ferrera (Malaespina) y los islotes Ferreruela (Bauzá), Espinosa y Valdés son afloramientos de fonolitas masivas (Fig. 2), en algunos puntos es frecuente la presencia de bombas oscuras fonolíticas dentro de la fonolita masiva. En Ferreruela se reconocen algunas texturas fluidales y junto con la concentración de nódulos escoriáceos fonolíticos (bombas) pudieran indicar un posible centro de emisión.

En isla Ferrera se han encontrado abundantes enclaves de rocas sedimentarias (calizas) de pequeñas dimensiones (< 5 cms) y de rocas plutónicas, como sienitas y gabros, con bordes redondeados, en general también de dimensiones reducidas aunque algún gabro llegue a alcanzar los 15 cms. En relación con las sienitas se encuentran también enclaves subvolcánicos (composición traquítica) y mixtos (traquisieníticos). Otro tipo de enclaves, más numerosos, y que en algunas zonas pueden llegar a constituir el 20% del volumen total de la roca (Fig. 3) corresponden a rocas volcánicas del tipo tefritas fonolíticas y menos frecuente de basaltos que destacan por su fuerte color rojizo sobre la roca gris fonolítica. Sus dimensiones son variables pudiendo llegar hasta 40 cms, generalmente son de forma esférica. En muy escasa proporción se localizan agregados de anfíbol con dimensiones máximas de 5 cms.

El grupo de islotes de Foradada (Fig. 4) está constituido también por rocas fonolíticas de aspecto masivo y color gris con bombas escoriáceas más oscuras incluidas en ellas. En Foradada, estas rocas fonolíticas masivas están cubiertas por una secuencia de escorias fonolíticas de color rojizo fuertemente soldadas y en la que se incluyen abundantes bombas y escorias de color oscuro, igualmente fonolíticas, cuyo tamaño más frecuente es de 30-40 cms aunque pueden alcanzar el metro cúbico. El espesor de



Figura 3. Aspecto de los enclaves volcánicos (tefritas fonolíticas) incluidos en las rocas fonolíticas. El volumen de enclaves, en algunas zonas, alcanza el 20%.

esta cobertera escoriácea puede situarse próximo a los 20 metros. Estas capas escoriáceas presentan una dirección cercana a los 100° con buzamientos próximos a 30° dirigidos al Sur. Por encima de esta cobertera y localizadas en las cotas altas de la isla aparecen 5 pequeñas coladas de escaso espesor (0,5 m a 1 m), las cuáles están constituidas por material vítreo de composición fonolítica con escasos fenocristales. En el cercano islote de Foradadeta (Lobo), la roca fonolítica presenta aspecto brechoide, lo cual pudiera corresponder al salidero fonolítico.

Dentro de los niveles escoriáceos y al igual que en Ferrera, aunque en menor proporción, se encuentran enclaves de gabros, sienitas, traquitas, traquisienitas (mixtos), tefritas fonolíticas y rocas sedimentarias (calizas) junto a restos de materia orgánica carbonosa.

El resto de los islotes del archipiélago Carallot, Bergantín, Cerquero, Churruca, Baleato, etc.),

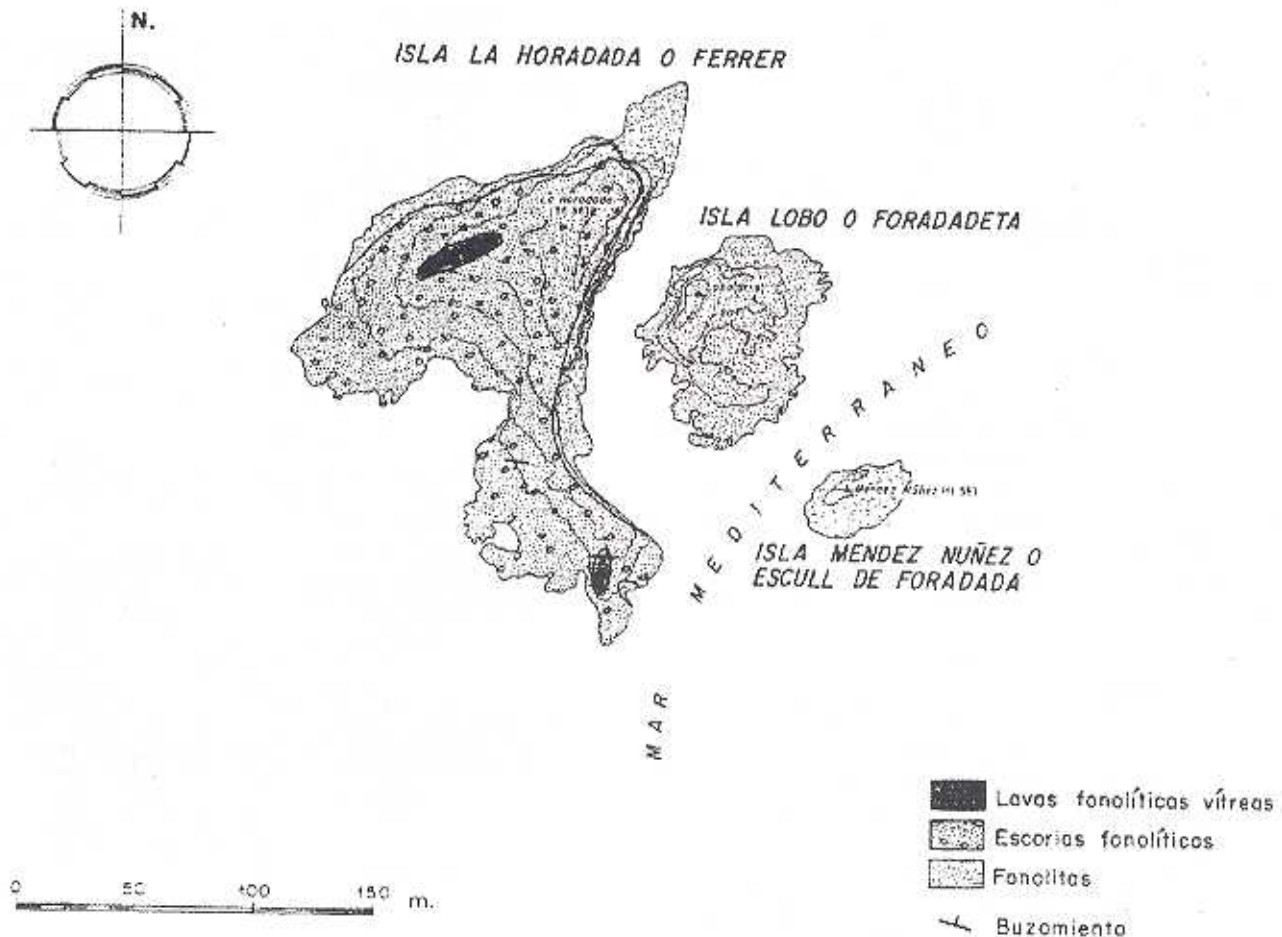


Figura 4. Esquema geológico del grupo de islotes de Foradada (Horadada).

corresponden a rocas masivas fonolíticas. En el mayor de ellos (Carallot), se puede observar, incluidos en las fonolitas, numerosas bombas fonolíticas más oscuras que la roca caja, con tamaños frecuentes de 10 cms y esporádicamente hasta 50 cms.

## LITOLOGIA

### *Basanitas*

Las bombas y escorias juveniles basaníticas de las I.C. presentan texturas porfídicas hipovítreas en la que los fenocristales más abundantes corresponden a olivino y clinopiroxeno. El olivino es más abundante en las basanitas de Colum-

brete Grande mientras que el clinopiroxeno es más abundante en las basanitas de Escull de Ferrera. La pasta está constituida por plagioclasa, olivino y clinopiroxeno.

Con carácter esporádico y escaso aparece anfíbol pardo. En una bomba juvenil de Columbrete Grande han aparecido algunos xenocristales de cuarzo con extinción ondulante y plagioclasas con texturas de corrosión. Los materiales que están palagonitizados, presentan los mismos componentes que las bombas junto a minerales secundarios como carbonatos, óxidos, zeolitas y minerales de la arcilla. Las determinaciones por DRX sobre estos dos últimos grupos de minerales, nos indican que las zeolitas son del tipo analcima y phillipsita mientras que la arcilla es clorita.



### *Fonolitas*

Las rocas fonolíticas presentan textura porfídica microcristalina y están formadas por pequeños fenocristales de feldespatos y anfíbol pardo, la pasta está constituida por estos mismos minerales además de feldespatoideos. En algunas muestras aparecen piroxenos pequeños y aislados.

Las bombas fonolíticas presentan la misma composición mineralógica aunque los opacos son algo más abundantes y forman agregados.

En las coladas vítreas fonolíticas de Foradada el vidrio constituye el 80% de la roca, siendo el 20% restante anfíbol y feldespato acicular.

## ENCLAVES

### *Sedimentarios*

Los enclaves sedimentarios encontrados son de composición carbonatada y corresponden a calizas y en menor proporción a margas.

### *Metamórficos*

El único enclave metamórfico encontrado es una cuarcita en el que el cuarzo, con extinción ondulante, es el principal componente (97%), junto a moscovita (< 2%) y accesorios como turmalina, zircón y opacos.

### *Plutónicos*

Los gabros son de textura heterogranular y panalotriomorfa con plagioclasa cálcica y clinopiroxeno como componentes principales, aunque con gran variación en sus proporciones, pues la plagioclasa puede alcanzar el 60% del volumen de la roca. El piroxeno está normalmente transformado a anfíbol marrón. En una de las muestras coexisten clinopiroxeno y ortopiroxeno. Como accesorios aparecen opacos y apatitos. Clorita y epidota son secundarios. Las características mineralógicas y geoquímicas de algunos de estos enclaves excluyen el carácter cogenético con las basanitas.

Las sienitas presentan textura heterogranular e hipidiomórfica, tienen un predominio de minerales feldespáticos (ortosa) y feldespatoideos (nefelina) y más escasos de anfíbol (ferroedenita) frecuentemente pasando a opacos. En muy es-

casa proporción están siempre presentes algunos cristales de granate de la variedad cálcica andradita. Como accesorios aparecen opacos (magnetita) y esfena; como secundarios clorita y carbonatos.

### *Subvolcánicos y mixtos*

Los enclaves subvolcánicos son traquitas holocristalinas y están formadas por gruesos fenocristales fundamentalmente de plagioclasa (albita) dejando huecos entre ellos en donde crecen epidotas, cloritas, calcita, óxidos y opacos. Algunos minerales oxidados parecen, en función de su morfología, anfíboles transformados. Al igual que en las sienitas se encuentran cristales de granate de idéntica composición (andradita) y esfena.

Las traquisienitas corresponden a rocas de textura variable de granuda panalotriomorfa a porfídica holocristalina en las que es frecuente la cristalización de feldespatos en cristales aciculares y disposición radial esferulítica (Texturas de fusión).

### *Volcánicos*

Los enclaves (inclusiones) de tefritas fonolíticas presentan una mineralogía similar a la de las rocas fonolíticas, sin embargo la proporción de anfíbol (opaquizado) aumenta considerablemente alcanzando hasta el 80% del volumen de la roca y constituyendo un denso entramado en cuyos huecos cristalizan feldespatos y feldespatoideos.

Un enclave único de basalto presenta un 50% de plagioclasa cálcica, junto a restos de posibles piroxenos y anfíboles transformados a epidota, opacos-óxidos y carbonatos.

De acuerdo con los datos isotópicos determinados para algunos de estos enclaves (APARICIO et al. 1994) sienitas, ciertos gabros y traquitas serían inclusiones cogenéticas. Desde este punto de vista serían el resultado de una cristalización temprana en las paredes de la cámara y posteriormente reincorporadas al centro de la cámara, en contraste con las tefritas fonolíticas que por su vesicularidad, alta porosidad de la matriz y formas esféricas corresponderían a inclusiones magmáticas de un fundido de diferente composición al de la roca huésped, lo cual se puede interpretar como un proceso de "mingling" o mezcla física.



GEOQUIMICA DE MINERALES

Olivinos

Aparecen como fenocristales y en la pasta microcristalina; su proporción varía entre un 5% y un 30%. Se han analizado olivinos en basanitas de Columbrete Grande y Escull de Ferrera (Tabla 1). En general se trata de olivinos ricos en MgO con contenidos de  $Fe_{79-88}$ .

Piroxenos

Los piroxenos de las rocas básicas se encuentran como fenocristales y en la pasta y su contenido varía desde un 10% a un 20%; aunque en una muestra llega hasta un 50%. En las rocas sálicas son muy escasos y suelen encontrarse oxidados. La Tabla 2 muestra los piroxenos analizados correspondientes a rocas básicas, sálicas y enclaves de gabro. El clinopiroxeno de las basanitas es diópsido con un ligero empobrecimiento en CaO (augita) en algunas muestras. En las rocas sálicas el clinopiroxeno corresponde a

**Tabla 1.**  
Análisis de Olivinos en basanitas de Islas Columbretes.  
(Fórmula en base a 4 Oxígenos)

Isla	Columbrete Grande								Escull de Ferrera	
	2078	2089	2109	2107	2120	2093	2094	7489	7449	
Muestra	2078	2089	2109	2107	2120	2093	2094	7489	7449	
Si	6,94	1,90	1,269	1,88	0,91	1,02	0,979	1,877	0,879	
12 <sup>2</sup>	0,130	2,417	3,251	0,443	0,234	2,328	0,339	2,286	0,188	
82	1,74	1,59	1,541	1,77	1,29	1,55	1,698	1,771	1,78	
89	-	-	3,90	0,98	-	1,03	0,63	-	-	
12	21,75	75,22	35,76	82,15	85,59	23,71	55,71	88,29	82,07	
16	18,62	20,77	12,25	12,84	1,6	16,28	16,64	13,91	17,92	

2078 Basanita, Bomba, Episodio 2  
 2089 Basanita, Bomba, Episodio 4  
 2109 Basanita, Bomba, Episodio 2  
 2107 Basanita, Bomba, Episodio 2  
 2120 Basanita, Bomba, Episodio 2  
 2093 Basanita, Bomba, Episodio 4  
 2094 Basanita, Bomba, Episodio 3  
 7488 Basanita, Bomba  
 7470 Basanita, Bomba  
 Analista: J. García Peña

diópsido-wollastonita (Fig. 5). En los enclaves de gabro el clinopiroxeno es augita, y el ortopiroxeno encontrado en una muestra de gabro, ensatita.

**Tabla 2.**  
Piroxenos en rocas sálicas y básicas de I. Columbretes (Fórmula en base a 6 Oxígenos)

Isla	Columbrete Grande								Ferreruela	Fondada				Canillar	Fondada				Ferrerera			
	Basanitas									Fonolitas								Gabros				
	Muestra	2078	2089	2109	2107	2120	2093	2094		7472	7474	7474	7478		7494	7489	7455	7449	7449			
Tipo	Diopsida	Augita	Diopsida	Augita	Diopsido	Diopsido	Dopexco	Wollastonita	Diopsida	Wollastonita	Diopsido	Diopsido	Augita	Augita	Augita	Ensatita						
SiO <sub>2</sub>	47,71	47,65	46,54	47,01	48,84	48,28	47,42	40,17	45,18	47,12	49,05	44,57	49,76	49,77	50,83	52,21						
TiO <sub>2</sub>	1,92	2,94	1,31	3,24	1,35	2,40	1,70	4,67	1,60	2,11	1,40	-	0,45	0,40	0,44	0,14						
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,21	9,20	7,66	9,45	6,69	9,06	7,06	11,40	5,20	6,51	3,66	10,48	0,89	1,39	1,17	0,84						
FeO	6,15	7,58	8,31	8,23	7,32	7,48	8,01	11,41	12,45	13,61	10,08	11,29	15,46	15,33	10,14	19,05						
MnO	-	-	0,11	-	-	0,11	0,10	-	0,22	0,19	0,12	-	0,23	0,15	0,11	0,70						
MgO	14,03	14,80	12,41	13,60	14,29	12,16	13,33	8,09	9,46	7,48	11,91	10,86	12,97	9,70	15,55	27,05						
CaO	22,56	17,24	22,92	17,55	21,21	19,05	21,36	21,67	21,65	21,30	20,81	20,82	20,55	20,64	20,45	1,46						
Na <sub>2</sub> O	0,64	0,69	0,79	0,67	0,74	0,58	0,57	0,06	1,40	1,52	0,92	1,10	0,69	1,63	0,64	0,15						
K <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-	-	-	0,67	0,08	0,08	-	-	0,06	-	0,22	-						
Total	100,25	100,13	100,09	99,79	100,42	99,21	99,60	98,63	97,15	99,89	98,04	99,13	101,06	99,00	99,53	101,60						
Si	1,767	1,748	1,750	1,738	1,804	1,791	1,778	1,570	1,793	1,813	1,884	1,707	1,902	1,943	1,921	1,902						
Al <sup>IV</sup>	0,233	0,252	0,250	0,262	0,196	0,209	0,222	0,43	0,207	0,187	0,116	0,299	0,040	0,057	0,052	0,036						
Al <sup>VI</sup>	0,083	0,147	0,091	0,152	0,095	0,189	0,091	0,098	0,037	0,110	0,050	0,182	-	0,007	-	-						
Ti	0,053	0,081	0,037	0,090	0,037	0,067	0,048	0,137	0,048	0,061	0,041	-	0,013	0,012	0,013	0,004						
Fe <sup>2+</sup>	0,190	0,232	0,261	0,254	0,226	0,232	0,251	0,373	0,415	0,438	0,324	0,362	0,494	0,500	0,320	0,581						
Mn	-	-	0,003	-	-	0,003	0,003	-	0,007	0,006	0,004	-	0,008	0,005	0,005	0,022						
Mg	0,774	0,809	0,696	0,749	0,787	0,672	0,745	0,472	0,560	0,429	0,683	0,620	0,739	0,565	0,876	1,469						
Ca	0,895	0,677	0,924	0,695	0,839	0,758	0,858	0,908	0,920	0,878	0,854	0,842	0,863	0,828	0,828	0,257						
Na	0,046	0,049	0,058	0,048	0,053	0,042	0,041	0,088	0,308	0,112	0,069	0,082	0,051	0,123	0,047	0,011						
K	-	-	-	-	-	-	-	0,003	-	0,003	0,004	-	0,003	-	0,010	-						
Fe	10,22	11,50	13,88	14,96	12,2	11,96	13,54	21,27	21,81	25,10	17,39	19,71	23,80	25,93	15,81	-						
W	48,14	39,41	49,12	40,90	45,3	45,61	46,28	31,79	48,60	30,31	45,94	46,51	40,57	44,76	40,90	-						
En	41,64	47,09	37,0	44,11	42,49	40,43	40,18	26,92	29,58	24,58	26,66	33,76	35,61	29,30	43,28	-						

2078 Basanita, Bomba, Episodio 2  
 2089 Basanita, Bomba, Episodio 4  
 2109 Basanita, Bomba, Episodio 2  
 2107 Basanita, Bomba, Episodio 2  
 2120 Basanita, Bomba, Episodio 2  
 2093 Basanita, Bomba, Episodio 4  
 2094 Basanita, Bomba, Episodio 3  
 7472 Fonolita  
 7474 Fonolita tefritica, Escoria roja  
 7478 Fonolita  
 7494 Fonolita  
 7489 Gabro (enclave en fonolita)  
 7455 Gabro (enclave en fonolita)  
 7449 Gabro (enclave en fonolita)

Analista: J. García Peña

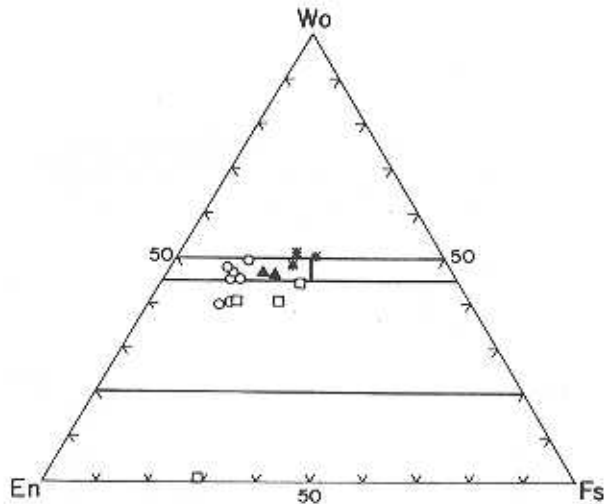


Figura 5. Diagrama triangular de clasificación de piroxenos. Basanitas (○), Fonolitas (▲) y gabros (□).

**Anfiboles**

Los anfíboles, son abundantes en las fonolitas y raros en las basanitas y sienitas; la Tabla 3 muestra los distintos tipos de anfíbol presentes en sienitas, fonolitas y basanitas. La kaersutita es una fase común en fonolitas y basanitas y en base a su contenido en aluminio y titanio, sugieren cristalización a presiones corticales. Su frecuente transformación pseudomorfa a opacos y oxidos indica una cristalización en ambientes superficiales a  $T < 1100^{\circ}\text{C}$  y  $P < 10\text{Kb}$  (KYLE 1981)

**Feldespatos y feldespatoideos**

Los feldespatos de los enclaves de sienita corresponden a ortosa y el feldespatoide es nefelina (Tabla 4); en traquitas aparece albita mientras

**Tabla 3.**  
Anfiboles de rocas básicas y sálicas en Islas Columbretes (Fórmula en base a 24 Oxígenos)

Isla	Ferrera			Ferrera		Ferrenuela	Foradada		Carallot	Ferrera	Foradada	Columbrete Grande		Escal de Ferrera	
Muestra	7452	7452	7452	7461	7461	7472	7474	7478	7494	7455	7489	2083	2077	7468	7470
Tipo	Ferro-poknita	Ferro-edénita	Ferro-edénita	Kaersutita	Kaersutita	Kaersutita	Hasting-sita	Kaersutita	Hasting-sita	Pargasita	Pargasita	Kaersutita	Kaersutita	Kaersutita	Kaersutita
SiO <sub>2</sub>	45,12	45,25	45,84	37,95	41,46	39,55	36,50	38,90	41,24	41,68	41,45	37,15	38,47	38,95	39,00
TiO <sub>2</sub>	0,72	0,64	0,75	5,65	5,47	5,30	4,32	5,31	3,37	4,22	4,42	6,17	4,46	5,32	5,34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,45	1,41	0,85	14,56	14,49	15,82	14,48	15,19	19,72	11,26	11,21	14,52	13,38	16,23	14,42
FeO	23,08	24,11	24,11	12,08	18,89	13,18	15,64	13,78	12,67	16,46	16,17	11,88	21,45	14,04	13,51
MnO	0,39	0,95	0,39	0,08	-	0,15	0,12	0,15	-	-	-	0,12	0,35	0,11	0,15
MgO	2,75	3,00	2,70	11,83	6,63	9,69	12,80	10,01	4,30	11,22	10,04	11,79	4,52	8,60	10,28
CaO	18,89	18,73	18,47	12,61	10,87	10,64	12,02	11,63	9,86	10,45	11,42	12,26	11,57	11,64	11,42
Na <sub>2</sub> O	2,72	2,41	5,29	2,54	1,01	2,77	2,51	2,33	4,03	2,85	3,53	2,11	2,46	1,90	2,01
K <sub>2</sub> O	-	0,10	0,10	1,28	0,70	1,24	1,25	1,30	0,96	0,80	0,74	1,28	1,67	1,18	1,18
H <sub>2</sub> O	1,85	1,85	1,87	2,02	2,03	2,03	2	2,02	2,01	2,01	2,01	1,99	1,92	2,01	2,00
Total	97,97	98,44	100,36	100,59	101,55	100,36	101,63	100,63	98,16	100,95	100,98	99,32	100,26	99,99	99,30
Si	7,295	7,337	7,332	5,642	6,132	5,850	5,471	5,781	6,339	6,202	6,191	5,580	5,973	5,805	5,854
Al <sup>IV</sup>	0,470	0,270	0,160	2,358	1,868	2,150	2,529	2,219	1,861	1,798	1,809	2,420	2,027	2,195	2,146
Al <sup>VI</sup>	-	-	-	0,205	0,671	0,621	0,041	0,455	1,617	0,186	0,175	0,167	0,433	0,671	0,419
Ti	0,087	0,079	0,091	0,631	0,608	0,589	0,487	0,593	0,377	0,473	0,497	0,697	0,519	0,603	0,603
Fe <sup>2+</sup>	3,120	3,269	3,225	1,501	2,336	1,631	1,960	1,713	1,578	2,049	2,019	1,495	2,785	1,750	1,696
Mn	0,054	0,130	0,053	0,010	-	0,019	0,015	0,019	-	-	-	0,001	0,046	0,014	0,019
Mg	0,663	0,724	0,643	2,621	1,461	2,136	2,858	2,216	0,954	2,488	2,235	2,644	1,046	1,910	2,301
Ca	3,272	3,254	3,165	2,008	1,722	-	1,930	1,852	1,572	1,667	1,827	1,976	1,925	1,839	1,837
Na	0,854	0,758	1,641	0,731	0,290	0,794	0,729	0,673	1,163	0,821	1,022	0,618	0,741	0,550	0,585
K	-	0,020	0,020	0,243	0,132	0,234	0,239	0,247	0,183	0,151	0,140	0,697	0,519	0,224	0,225

- 7452 Sienita (enclave en fonolita)
- 7461 Traquiandesita
- 7472 Fonolita Tefrítica
- 7474 Fonolita Tefrítica
- 7478 Fonolita
- 7494 Fonolita
- 7455 Gabro (enclave en fonolita)
- 7489 Gabro (enclave en fonolita)
- 2083 Basanita, Bomba, Episodio 2
- 2077 Basanita, Bomba, Episodio 1
- 7468 Basanita, Bomba
- 7470 Basanita, Bomba

Analista: J. García Peña



**Tabla 4.**  
Feldespatos y Feldespatoides en rocas de Islas Columbretes (Fórmula en base a 32 Oxígenos)

Isla	Ferrera																							
	Sienitas					Esfelors					Fonolitas					Fonolitas					Fonolitas		Fonolitas	
	7452	7452	7459	7459	7452	7451	7460	7478	7494	7472	7472	7461	7478	7494	7472	7472	7472	7474	7474	7494				
Tipo	Onza	Onza	Onza	Nefelina	Nefelina	Albita	Oligoclasa	Oligoclasa	Oligoclasa	Oligoclasa	Andesina	Andesina	Andesina	Andesina	Nefelina	Nefelina	Nefelina	Andesina	Andesina	Andesina				
SiO <sub>2</sub>	64,95	65,75	65,89	47,35	48,57	68,21	84,54	11,27	95,86	63,77	53,35	61,41	62,18	61,73	44,25	41,19	44,91	66,33	66,74	66,07				
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,20	19,71	19,87	34,18	34,55	10,51	23,93	21,46	22,87	22,41	27,18	34,47	31,75	25,90	34,47	34,26	35,56	18,93	19,82	20,15				
CaO	0,11	0,11	0,15	0,35	0,33	0,43	4,38	4,52	4,81	4,14	10,54	3,06	3,19	3,54	1,31	1,06	0,83	0,43	0,43	0,49				
Na <sub>2</sub> O	6,07	5,92	6,46	15,38	11,66	9,71	2,15	8,05	7,86	3,82	6,13	5,80	7,42	8,96	10,42	11,42	12,28	6,31	7,11	5,20				
K <sub>2</sub> O	7,68	7,88	7,57	2,90	3,06	1,34	1,07	0,20	0,92	1,15	0,57	1,17	4,02	5,45	7,61	3,34	3,12	10,17	9,16	8,25				
H <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-	0,21	-	-	-	0,12	-	-	-	-	-	-	0,12	-	-	-				
Total	98,07	100,39	98,72	101,94	99,26	95,45	101,12	98,02	95,47	98,55	98,13	100,83	98,36	101,82	99,15	103,52	103,17	100,34	101,25	98,25				
Si	11,881	11,806	11,759	8,785	8,994	12,004	11,232	11,113	11,706	11,313	9,888	12,863	11,358	11,027	8,420	8,758	8,233	11,255	11,688	11,718				
Al	4,38	4,192	4,229	7,417	7,586	1,866	4,545	5,003	5,480	4,744	6,254	5,117	4,685	4,962	5,720	5,524	5,717	4,090	4,237	4,365				
Ca	0,022	0,025	0,026	0,382	0,306	0,081	0,884	0,87	1,02	0,701	1,907	0,52	0,54	0,622	0,22	0,17	0,13	0,43	0,43	0,49				
Na	2,152	2,408	2,237	5,577	4,091	1,321	2,406	2,802	1,761	2,322	2,95	2,33	2,616	3,790	5,720	5,399	5,915	3,211	3,483	2,877				
K	1,795	1,889	1,756	0,572	0,606	0,102	0,237	0,069	0,211	0,259	0,47	0,265	0,903	1,256	1,857	0,700	0,235	2,368	2,103	2,042				
Fe	-	-	-	-	-	0,011	-	-	-	0,015	-	-	-	-	-	-	0,030	-	-	-				
As	2,56	2,60	0,54	-	-	2,10	24,52	24,31	24,70	22,04	47,27	35,23	54,4	14,91	-	-	-	2,67	3,03	2,45				
As	52,80	55,37	54,64	-	-	89,12	68,34	73,75	65,65	70,58	49,9	51,82	61,33	57,87	-	-	-	45,29	51,44	45,11				
Ox	45,63	44,01	43,71	-	-	8,55	2,12	0,92	5,62	6,96	1,57	4,54	33,32	25,21	-	-	-	51,52	45,48	52,23				

- 7452 Sienita (enclave en fonolita)
- 7459 Sienita (enclave en fonolita)
- 7451 Traquita (enclave en fonolita)
- 7460 Basalto (enclave en fonolita)
- 7478 Fonolita

- 7494 Fonolita
- 7472 Fonolita tefrítica
- 7461 Traquiandesita
- 7474 Fonolita tefrítica (Escoxia roja)

Analista: J. García Peña

que en el enclave basáltico la presencia anormal de oligoclasa pudiera indicar algún proceso de difusión con la roca-caja. Las fonolitas presentan una mayor variedad en los feldespatos con presencia de sanidina, anortoclasa, oligoclasa y más raramente andesina. El feldespatoide presente en las fonolitas es igualmente nefelina.

**Granates y accesorios**

En los enclaves traquíticos y sieníticos y en escasa proporción, están siempre presentes cristales de granate de la variedad cálcica andradita (Tabla 5). En enclaves de sienita y basalto donde se han podido analizar minerales opacos (Tabla 6) corresponden a magnetitas titanadas que muestran grandes diferencias en el contenido de titanio, quizás en relación con diferencias de temperatura en su cristalización en diferentes zonas de las paredes de la cámara magmática.

**GEOQUIMICA DE ROCAS**

El carácter alcalino del volcanismo de las I.C. ha sido establecido por diferentes autores (ALONSO MATILLA 1985, 1991a, APARICIO et al. 1991, 1994). Nuevos datos químicos permiten confir-

**Tabla 5.**  
Granates en enclaves de sienitas y traquitas en Islas Columbretes (Fórmula en base a 24 Oxígenos)

Isla	Ferrera	
	7451	7459
Muestra	7451	7459
Tipo	Andradita	Andradita
SiO <sub>2</sub>	33,19	34,24
TiO <sub>2</sub>	3,11	3,34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,43	2,65
FeO <sub>t</sub>	28,66	28,31
MnO	-	-
MgO	0,36	0,27
CaO	34,08	33,37
Total	101,83	102,17
Si	5,841	5,954
Al <sup>3+</sup>	0,159	0,046
Al <sup>6+</sup>	0,348	0,499
Fe <sup>+2</sup>	4,218	4,117
Ti	0,412	0,436
Mn	-	-
Mg	0,094	0,070
Ca	6,426	6,218

Analista: J. García Peña

- 7451 Traquita (enclave en fonolita)
- 7459 Sienita (enclave en fonolita)

**Tabla 6.**  
Minerales opacos en enclaves de sienita y basaltos.

Isla	Ferrera		
	7452	7459	7460
Muestra	7452	7459	7460
Tipo	Magnetita	Magnetita	Magnetita
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,25	3,05	0,74
TiO <sub>2</sub>	8,66	1,46	10,78
FeO <sub>i</sub>	82,69	88,61	79,97
MnO	1,68	-	-
MgO	0,46	0,32	2,64
Total	94,74	93,43	94,14

Analista: J. García Peña

- 7452 Sienita (enclave en fonolita)
- 7459 Sienita (enclave en fonolita)
- 7460 Basalto (enclave en fonolita)

mar el carácter bimodal-alcálido (basanita-fonolita) típico de los sistemas de rifts (NEUMANN y RAMBERG, 1977). Tanto las basanitas como las fonolitas presentan una dispersión composicional (Fig 6 y 7).

Las rocas volcánicas básicas de Columbrete Grande y Escull de Ferrera (Navarrete), corresponden fundamentalmente a basanitas (bombas y escorias juveniles) (Tabla 7) con un I.D. bajo (27-41) y Mg # variable entre 40 y 62.

Las rocas sálicas (Tabla 8) corresponden en su mayoría a fonolitas y fonolitas tefríticas aunque una roca se proyecta como traquiandesita. Contienen nefelina normativa y sus I.D varían entre 70 y 84 con Mg # entre 26 y 47. Las dos muestras que superan el Mg # > 60 corresponden a la escoria roja de Foradada y a una bomba fonolítica del islote Carallot. En la tabla 9 figuran análisis representativos de los enclaves de rocas volcánicas tipo tefritas fonolíticas, aunque una de las muestras composicionalmente corresponde a un basalto. Son rocas con olivino y nefelina normativa (excepto el basalto), como las basanitas. Los I.D. fluctúan de 56 a 59 con excepción del basalto (40) y el Mg # de 34 a 40 (en el basalto 47).

Los análisis de los enclaves sieníticos, traquisieníticos y traquíticos (Tabla 10); tienen en general

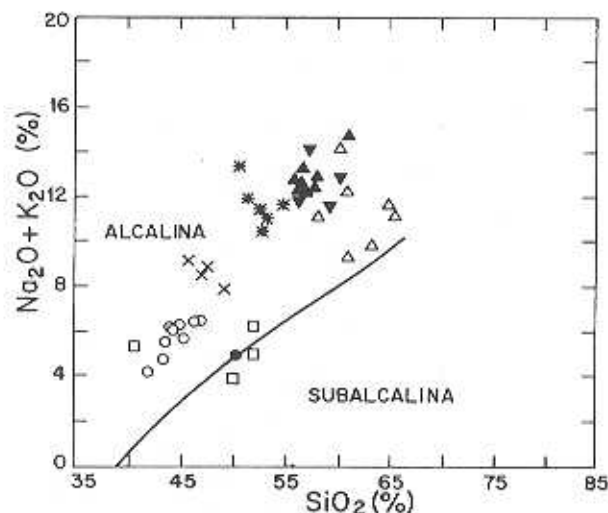


Figura 6. Diagrama SiO<sub>2</sub>-Alcalis (IRVINE y BARAGAR 1971) indicando el carácter alcalino de los grupos básico y ácido en las rocas volcánicas de Islas Columbretes. Se incluyen enclaves plutónicos y volcánicos. Rocas: Basanitas (o), basaltos (\*), fonolitas (▲), fonolitas tefríticas (\*). Enclaves: tefritas fonolíticas (x), sienitas (▼), traquitas (Δ), gabros (□).

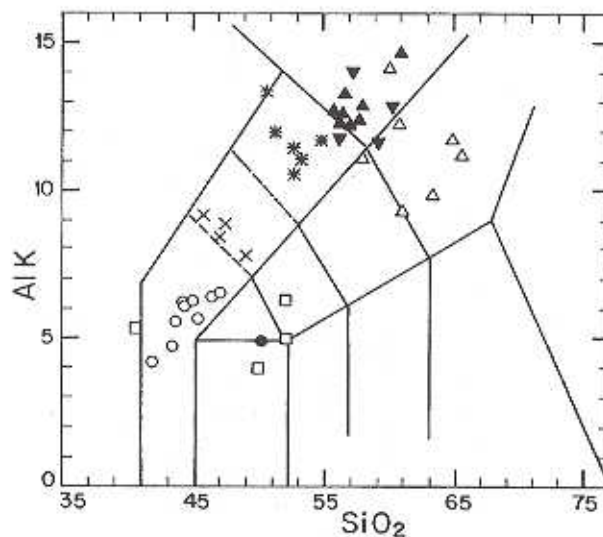


Figura 7. Diagrama de clasificación silice-alcálido (TAS) de las vulcanitas y enclaves volcánicos de Islas Columbretes. Símbolos de la figura 6.

nefelina normativa, excepto en algunas traquisienitas. Los I.D. son altos (76 a 95) y Mg # bajos (3 a 38) aunque un enclave traquisienítico alcanza el valor de 75.



**Tabla 7.**  
Análisis químicos de basanitas en Islas Columbretes.

Isla	Columbrete Grande							Escull de Ferrera	
	2120	2078	2107	2109	2094	2089	2093	7468	7469
SiO <sub>2</sub>	46,40	43,39	41,83	43,59	46,94	44,95	44,10	44,30	45,30
TiO <sub>2</sub>	2,36	3,18	2,73	2,44	2,33	2,30	2,70	2,75	2,71
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,25	14,17	14,86	15,37	15,25	14,75	15,79	15,15	14,76
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,65	5,17	5,06	5,07	3,97	5,11	9,86	5,13	4,84
FeO	5,27	5,44	5,75	6,93	6,10	5,06	1,64	5,35	5,40
Mn	0,15	0,16	0,16	0,17	0,15	0,15	0,15	0,16	0,15
MgO	7,51	9,41	9,84	7,11	7,25	7,72	3,95	6,46	5,49
CaO	9,66	10,16	10,52	10,50	9,23	9,66	10,89	9,37	8,84
Na <sub>2</sub> O	4,11	3,74	3,66	3,51	4,11	3,92	3,82	4,90	4,77
K <sub>2</sub> O	2,30	0,99	0,52	2,05	2,40	2,33	2,41	1,18	0,90
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,74	0,85	0,88	0,97	0,75	0,74	0,80	0,96	0,97
H <sub>2</sub> O	1,25	3,21	3,81	2,12	1,24	2,94	1,97	3,67	5,67
Total	99,65	99,87	99,62	99,83	99,72	99,63	98,08	99,38	99,80
Cr	191	156	196	132	181	190	55	66	64
Ni	122	149	153	90	127	127	48	50	47
Co	146	10	139	178	176	194	117	35	36
V	230	255	296	232	234	229	267	239	245
Cu	36	38	52	53	40	40	24	29	26
Rb	50	17	12	42	50	51	46	16	14
Ba	586	689	622	838	639	590	715	830	792
Sr	780	922	837	1141	779	773	929	1240	1414
Nb	69	73	70	83	69	66	81	88	86
Zr	262	263	267	307	261	258	312	329	342
Y	23	24	22	27	20	21	25	29	23
Th	8	5	7	4	<4	6	6	8	<4
La	36	41	37	49	37	35	42	55	50
Ce	82	85	87	112	79	81	92	105	100
Nd	33	42	36	40	31	32	40	45	41
AN	49,03	50,29	58,20	62,46	46,70	52,03	53,46	41,09	34,31
Q	-	-	-	-	-	-	-	-	-
or	13,59	5,85	3,07	12,12	14,18	13,77	14,24	6,97	5,32
ab	17,02	18,73	16,22	12,10	18,35	14,54	16,39	22,74	31,03
an	16,37	18,95	22,58	20,13	16,08	15,77	18,82	15,86	16,21
ne	9,62	7,00	7,99	9,54	8,90	10,09	8,63	10,14	5,06
dí	21,05	20,13	18,74	20,45	19,75	21,45	21,22	19,12	16,80
wo	-	-	-	-	-	-	0,11	-	-
ol	7,81	10,39	12,64	9,15	9,30	7,58	-	5,99	5,31
mt	6,74	7,50	7,34	7,35	5,76	7,41	-	7,44	7,02
il	4,48	6,04	5,18	4,63	4,43	4,37	3,78	5,22	5,15
hem	-	-	-	-	-	-	9,86	-	-
ap	1,71	1,97	2,04	2,25	1,74	1,71	1,85	2,22	2,25
pero	-	-	-	-	-	-	1,20	-	-
SUMA	98,40	96,66	95,81	97,71	98,48	96,69	96,11	95,71	94,13
I.D.	40,23	31,58	27,28	33,75	41,43	38,40	39,26	39,86	41,40
Den	2,63	2,68	2,70	2,68	2,63	2,63	2,59	2,64	2,62
Nº Mg	58,60	62,43	62,99	52,44	57,19	58,75	40,11	53,60	50,07

Análisis de elementos mayores realizados por I. Ruiz y M. Vallejo.  
Elementos menores por R. García

Tabla 8.  
Análisis químicos de rocas sálicas en Islas Columbretes.

Isla	Ferrera				Ferre- mela	Foradada				Escull de Fora- dada	Fora- dada	Carallot	
	7461	7446G	7465	7462		7472	7474	7491	7483			7478	7493
Muestra	7461	7446G	7465	7462	7472	7474	7491	7483	7478	7493	7492	7494	7496
SiO <sub>2</sub>	58,00	54,73	52,70	52,64	50,50	53,20	56,20	57,00	57,70	56,50	58,00	55,80	51,30
TiO <sub>2</sub>	1,24	1,05	1,13	1,38	1,23	0,65	0,55	0,81	0,68	0,56	0,54	0,78	0,72
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,57	20,14	20,47	19,85	19,57	19,03	20,24	20,31	20,40	20,36	20,43	20,21	18,86
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,85	5,14	4,39	5,53	5,63	3,30	2,85	2,25	2,92	3,25	3,32	3,96	2,54
FeO	0,19	0,08	1,04	0,23	0,19	0,65	1,02	2,54	1,42	0,70	0,43	0,39	1,40
MnO	0,14	0,14	0,12	0,13	0,14	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,11	0,13	0,12
MgO	1,50	1,54	1,55	1,69	2,63	4,20	1,66	0,92	0,82	1,56	0,90	1,02	3,55
CuO	4,74	3,90	4,06	4,28	4,50	3,31	2,97	3,20	2,79	2,74	2,70	3,49	4,63
Na <sub>2</sub> O	7,02	7,94	6,12	7,53	9,90	6,24	7,44	7,61	7,49	7,68	8,00	8,03	7,33
K <sub>2</sub> O	4,04	3,73	4,39	3,88	3,44	4,77	4,82	4,58	4,89	4,92	4,88	4,69	4,60
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,42	0,33	0,88	0,48	0,03	0,29	0,17	0,25	0,21	0,16	0,15	0,22	0,24
H <sub>2</sub> O	1,81	1,13	3,10	1,87	1,95	4,11	1,95	0,26	0,51	1,44	0,12	0,69	4,39
Total	99,52	99,85	99,95	99,49	99,71	99,86	99,98	99,85	99,95	99,99	99,58	99,41	99,68
Cr	2	-	19	-	-	1	-	11	-	-	-	-	-
Ni	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Co	8	<8	9	10	8	<8	<8	<8	<8	<8	<8	<8	<8
V	66	53	73	72	69	25	23	37	19	14	19	38	39
Cu	10	14	32	12	7	9	5	7	5	<5	62	6	8
Rb	77	48	142	91	37	124	108	113	130	119	118	149	161
Ba	650	582	626	646	760	533	524	593	559	532	535	454	406
Sr	585	478	601	579	689	483	351	422	349	345	355	427	699
Nb	97	95	94	94	81	80	80	90	86	80	79	93	90
Zr	460	478	473	435	274	320	319	334	336	326	324	533	524
Y	21	28	19	17	27	17	15	17	16	16	15	18	20
Th	4	18	17	13	4	7	8	10	11	9	9	19	14
La	50	47	52	53	50	38	38	42	40	36	32	47	41
Ce	90	85	95	91	104	67	64	72	76	65	59	70	66
Nd	23	25	28	29	41	18	18	23	18	17	16	18	21
AN	-	17,17	28,36	20,11	-	24,41	17,12	16,30	15,50	15,13	11,78	12,83	19,58
or	23,88	22,04	25,94	22,93	20,33	28,19	28,49	27,07	28,90	29,08	28,84	27,72	27,18
ab	46,41	40,04	36,35	35,37	20,88	30,43	36,78	39,70	41,44	36,75	40,62	35,67	20,44
an	-	8,30	14,39	8,91	-	9,83	7,60	7,73	7,60	6,55	5,42	5,25	4,98
ne	3,28	14,70	8,36	15,36	32,85	12,12	14,18	13,38	11,89	15,30	14,67	17,49	22,53
C	-	-	0,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
di	8,06	4,75	-	4,51	14,13	3,66	4,69	5,33	3,79	4,67	4,83	5,48	12,79
hy	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
wo	3,08	-	-	-	0,41	-	-	-	-	-	0,33	1,21	-
ol	-	1,15	2,71	1,49	-	6,14	1,37	1,00	0,20	1,21	-	-	2,04
ac	6,12	-	-	-	1,99	-	-	-	-	-	-	-	-
mt	-	-	0,47	-	-	0,57	2,05	3,26	3,00	1,02	0,18	-	2,82
il	0,70	0,47	2,15	0,76	0,70	1,23	1,04	1,54	1,29	1,06	1,03	1,10	1,37
hem	3,73	5,14	4,07	5,53	4,94	2,91	1,43	-	0,85	2,54	3,20	3,96	0,60
ti	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ap	0,97	0,76	2,04	1,11	0,07	0,67	0,39	0,58	0,49	0,37	0,35	0,51	0,56
pern	1,48	1,37	-	1,66	1,47	-	-	-	-	-	-	0,34	-
SUMMA	97,71	98,72	96,85	97,62	97,76	95,75	98,03	99,59	99,44	98,55	99,46	98,72	95,29
I.D.	73,56	76,79	70,66	73,66	74,06	70,74	79,44	80,15	82,22	81,12	84,13	80,87	70,15
Den	2,41	2,42	2,44	2,43	2,44	2,43	2,40	2,42	2,40	2,40	2,39	2,40	2,44
N° Mg	32,89	36,84	35,63	36,65	47,14	67,40	45,21	26,43	26,53	43,41	31,94	31,50	63,19

7461	Traquiandesita	7478	Fonolita
7446G	Fonolita teítrítica	7493	Fonolita
7465	Fonolita teítrítica	7492	Fonolita
7462	Fonolita teítrítica	7494	Fonolita
7472	Fonolita teítrítica	7496	Fonolita teítrítica (bomba)
7471	Fonolita teítrítica (Escoria roja)		
7491	Fonolita		
7483	Fonolita (Colada vítrea)		

Analistas (elementos mayores): I. Ruiz  
M. Vallejo  
Analistas (elementos menores): R. García



**Tabla 9.**  
Análisis químicos de enclaves volcánicos en fonolitas de las Islas Columbretes.

Isln	Foncia					Forada
	7461	7464	7466R	7460	7559	
Muestra	7461	7464	7466R	7460	7559	
SiO <sub>2</sub>	47,30	49,01	47,00	50,20	45,80	
TiO <sub>2</sub>	2,67	2,87	2,61	2,70	2,61	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,52	16,54	17,26	14,71	17,63	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,23	11,20	10,59	10,13	10,46	
FeO	0,20	0,10	0,24	0,62	0,43	
MnO	0,18	0,16	0,17	0,13	0,22	
MgO	3,03	3,01	3,35	4,99	3,58	
CaO	7,52	7,00	7,88	10,37	7,94	
Na <sub>2</sub> O	6,79	6,22	6,34	4,24	7,03	
K <sub>2</sub> O	2,05	1,59	2,16	0,65	2,08	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,02	1,06	1,03	0,44	1,00	
H <sub>2</sub> O	0,96	0,92	0,91	0,44	1,04	
Total	99,67	99,68	99,94	99,62	99,86	
Cr	-	-	<8	33	-	
Ni	-	-	-	10	-	
Co	25	24	27	28	22	
V	156	151	185	258	139	
Cu	39	33	29	<5	17	
Rb	49	36	34	52	23	
Ba	928	946	883	112	802	
Sr	989	995	982	506	1003	
Nb	100	102	101	31	99	
Zr	384	362	358	219	391	
Y	28	30	34	14	27	
Th	9	11	9	<4	10	
La	60	60	57	20	60	
Ce	122	121	115	42	113	
Nd	43	48	44	25	44	
AN	24,86	21,32	28,26	34,84	28,45	
Q	-	-	-	0,98	-	
ar	12,12	9,40	12,77	3,84	12,29	
ab	14,08	16,20	31,12	35,88	25,95	
an	11,27	12,52	12,26	19,19	10,32	
ns	12,66	3,49	12,20	-	18,26	
di	8,99	4,91	9,82	17,82	12,38	
hy	-	-	-	4,36	-	
el	2,37	3,66	3,35	-	2,22	
il	0,81	0,53	0,87	1,59	1,38	
hsm	10,23	11,20	10,59	10,13	10,46	
l	-	-	-	4,57	-	
ap	2,36	2,46	0,39	1,02	2,12	
para	3,82	4,39	1,66	-	3,24	
SLIMA	98,71	98,76	99,03	99,18	98,82	
I.D.	38,86	39,08	56,09	40,70	36,50	
Dm	2,52	2,52	2,53	2,56	2,54	
N° Mg	36,47	34,51	40,62	47,34	39,33	

7461 Tefritafonolítica en fonolita      Analistas (Elementos mayores): I. Ruiz  
 7464 Tefritafonolítica en fonolita      M. Vallejo  
 7466R Tefritafonolítica en fonolita      Analistas (Elementos menores): R. García  
 7460 Basalto en fonolita  
 7559 Tefritafonolítica en fonolita

Los gabros analizados presentan I.D. medios (48-51) a bajos (29-37), mientras los Mg# son bajos 37-45, excepto una de las muestras con valores de 76 (Tabla 11).

La proyección global del volcanismo de I.C. sobre diagramas SiO<sub>2</sub>-elementos mayores (Fig. 8)

muestra dos grupos de rocas (basanitas-fonolitas), con una separación que se hace más patente cuando se enfrentan elementos compatibles como TiO<sub>2</sub> y MgO (Fig. 9). Sin embargo para rocas con SiO<sub>2</sub> < 50 algunos oxidos y especialmente Na<sub>2</sub>O y MgO marcan una separación entre basanitas y enclaves de tefritas. Generalmente los términos que cubren el rango de silice entre las basanitas y las fonolitas corresponden a los enclaves volcánicos, subvolcánicos o plutónicos.

El índice de peralcalinidad en las rocas sálicas no sufre prácticamente variación, al aumentar el contenido en silice de las mismas. (Fig. 10) apreciándose también una separación entre dos grupos de rocas.

Igualmente el triángulo AFM (Fig. 11) confirma la separación entre estos dos grupos.

La figura 12 muestra el triángulo Q-Ne-Ks con la línea Ab-Or. En este triángulo las rocas sálicas

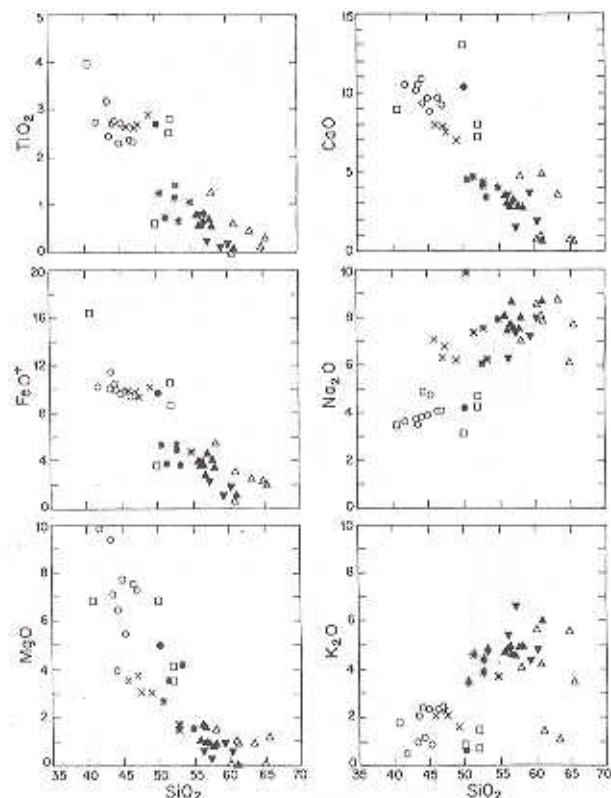


Figura 8. Diagrama SiO<sub>2</sub>-elementos mayores para las rocas volcánicas y enclaves de Islas Columbretes. Símbolos de la figura 6.

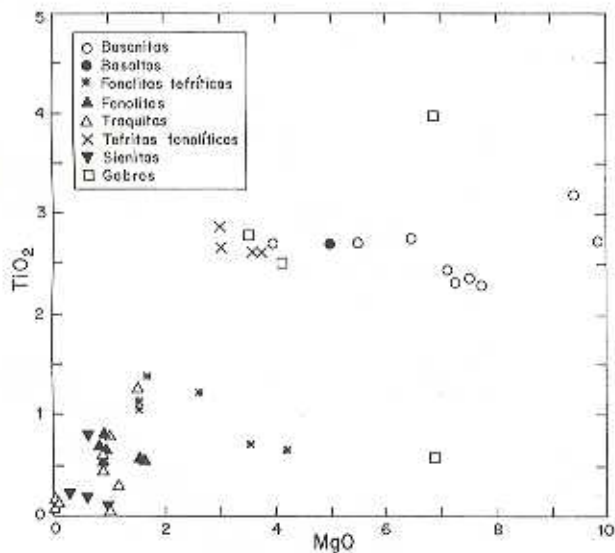


Figura 9. Diagrama  $TiO_2$ - $MgO$  para rocas y enclaves de Islas Columbretes, mostrando la ausencia de términos intermedios.

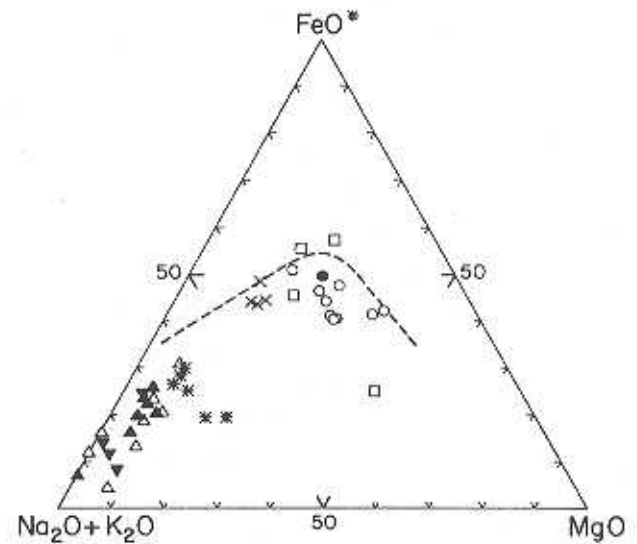


Figura 11. Diagrama AFM con dos grupos diferenciados de rocas volcánicas y enclaves volcánicos asociados. Símbolos como en Fig. 6.

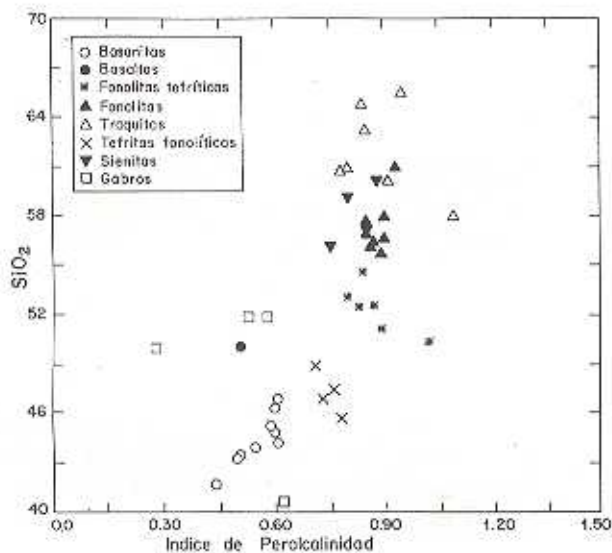


Figura 10. Diagrama índice de peralcalinidad  $SiO_2$  en el que se observa la escasa variación en las rocas sálicas de este índice al aumentar  $SiO_2$ .

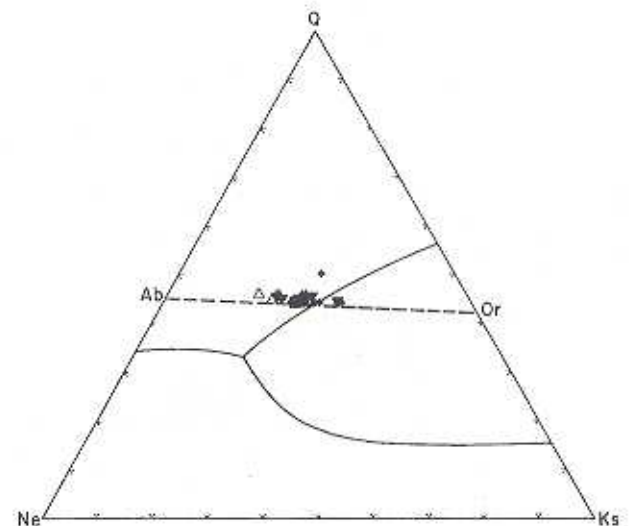


Figura 12. Diagrama triangular Q-Ne-Ks con la posición de las rocas sálicas próximas a la línea Ab-Or. Símbolos como en Fig. 6.

se agrupan en el campo de las altas temperaturas, marcado por la línea Ab-Or y próximos al mínimo traquítico; esta disposición estaría en desacuerdo con un proceso de cristalización fraccionada según el cual, el paso del término menos diferenciado al más diferenciado, se pro-

duciría por un descenso de temperatura que cortase dicha línea.

*Elementos traza*

Las rocas básicas presentan elevados contenidos de Ni y Cr. Podría tratarse de magmas pri-



marios con un cierto grado de evolución en las basanitas de Escull de Ferrera cuyos contenidos en Cr-Ni son más bajos.

Las rocas sálicas de I.C. tienen como característica peculiar los bajos contenidos en elementos incompatibles (Y, Zr, Nb, etc.) y en algunos casos, (Y y Nb), con concentraciones casi similares a los de las basanitas, lo que apoyaría la ausencia de una relación genética entre basanitas y fonolitas.

Los enclaves volcánicos (Tabla 9) tienen valores de Sr similares a las basanitas, pero sus contenidos en Ca son más bajos, indicando la no existencia de un proceso de fraccionamiento de plagioclasa.

Los enclaves plutónicos de sienitas y mixtos traquisieníticos (Tabla 10) muestran cierta identidad en el contenido de algunos elementos mayores y menores con la roca caja fonolítica. Los contenidos en Cr, Ni, Co y V son nulos o muy bajos, mientras que el contenido en alcalis y en algún caso en Ca son elevados. Esta identidad composicional permite establecer una cierta relación genética entre ambas litologías separadas únicamente por sus condiciones de cristalización.

De los enclaves de gabros analizados (Tabla 11) tres de ellos presentan valores muy bajos de Cr-Ni y elevado de Ba, el cuarto tiene valores de Cr altos y de Ni y Co similares a los existentes en basanitas, si bien, Ba y Zr son bajos.

En los diagramas de la Fig. 13 algunos elementos traza incompatibles (Nb, Y, Zr, Ba) no muestran enriquecimiento en la secuencia basanita-fonolita como ocurriría si se tratase de rocas derivadas de un proceso de diferenciación.

Así, el diagrama Sr-CaO (Fig. 14) que debía marcar un fraccionamiento de la plagioclasa de los tipos intermedios, dando lugar a fundidos de tipo fonolítico, muestra una vez más el agrupamiento bimodal de las rocas, con una cierta dispersión dentro de cada grupo.

Aunque no hay relación entre basanitas y fonolitas, la presencia de kaersutita en ambos implica, que estos dos líquidos han cristalizado bajo condiciones crustales, con presiones de hasta 10 Kb y temperatura del magma para las fonolitas de < 1100°C.

Es posible que la dispersión que presentan las basanitas en los diagramas geoquímicos, sea debido a un proceso de contaminación producida a niveles corticales por materiales sedimentarios, ya que los enclaves que presentan son de este tipo mayoritariamente.

Esto coincidiría con las determinaciones hechas por (MARTIN y SURIÑACH 1988) según las cuales, los últimos 5 km de la corteza en esta zona son rocas sedimentarias.

Por lo que respecta a las fonolitas, se encuentran dispersiones composicionales entre ellas con variaciones a fonolitas tefríticas, traquitas y traquiandesitas. Estas variaciones no estarían supeditadas a procesos de cristalización fraccionada ya que los enclaves de sienitas en las fonolitas, al presentar síntomas de fusión parcial, implicaría una difusión de ciertos elementos de la sienita en el líquido fonolítico causando las diferentes variaciones geoquímicas de las fonolitas y la aparición de otros términos.

## DISCUSION

Dos características de este volcanismo residen en su localización en un área de rifting que define la fosa de Valencia (MARTI et al. 1992) y su adscripción, para los materiales básicos, a un volcanismo de intraplaca (Fig. 15). Para MARTI et al (1992) este volcanismo de intraplaca está causado por descompresión de una zona extensional litosférica y sugieren una fuente heterogénea de basaltos de isla oceánica debido a diferencias en la estructura litosférica (más adelgazada en el centro del rift donde se localizan las islas Columbretes).

En las I.C. la génesis de los magmas básico y sálico en el manto superior ha sido explicado por APARICIO et al (1994) a partir de relaciones isotópicas de Sr. Sin embargo el transporte de estos materiales hacia cámaras magmáticas más superficiales, la evolución dentro de estas cámaras y su salida a superficie pudo ser algo más compleja.

La salida a la superficie de estos magmas se realizó en cualquier caso a través de 15 kms de corteza de los cuales los últimos 5 kms correspon-

Tabla 10.

Análisis químicos de enclaves de rocas plutónicas, subvolcánicas y mixtas en fonolitas de Islas Columbretes.

Isla	Ferrera						Foradada					
	7453	7452	7459	7454	7467	7451	7555	7556	7557	7558	7486	7485
SiO <sub>2</sub>	56,27	60,28	59,30	57,30	60,20	61,00	63,27	61,00	56,71	64,86	60,80	65,50
TiO <sub>2</sub>	0,81	0,19	0,12	0,23	0,16	0,60	0,45	0,07	0,64	0,11	0,03	0,30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,32	20,71	20,67	22,72	21,84	17,92	18,13	22,01	21,04	18,94	22,61	17,20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,80	1,49	1,05	2,15	1,70	3,05	1,69	0,84	2,06	2,07	0,17	1,45
FeO	0,67	0,47	0,21	0,42	0,36	0,35	0,93	0,35	0,90	0,37	0,43	0,60
MnO	0,20	0,08	0,07	0,15	0,09	0,07	0,06	0,01	0,17	0,14	-	0,04
MgO	0,63	0,60	0,97	0,28	0,04	0,89	0,91	0,03	0,95	0,08	1,00	1,18
CaO	3,57	1,93	3,68	1,52	0,69	4,87	3,58	0,64	3,01	0,71	0,93	0,58
Na <sub>2</sub> O	6,32	8,02	7,24	7,41	8,53	7,87	8,74	8,66	8,67	6,10	8,08	7,71
K <sub>2</sub> O	5,43	4,83	4,36	6,63	5,62	1,42	1,06	5,99	4,60	5,54	4,15	3,46
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,36	-	0,02	0,13	0,02	0,15	0,18	0,03	0,28	0,06	0,02	0,05
H <sub>2</sub> O	0,47	1,26	2,02	0,51	0,27	1,54	0,98	0,31	0,45	0,83	1,55	1,59
Total	99,85	99,86	99,71	99,45	99,52	99,73	99,98	99,94	99,48	99,81	99,77	99,66
Cr	8	-	<8	-	9	-	-	-	5	-	<8	<8
Ni	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	<5	<5
Co	<8	-	-	15	-	<8	-	-	<8	-	-	-
V	47	26	34	20	8	27	16	7	39	<10	-	10
Cu	<5	16	13	6	7	13	6	6	6	9	-	21
Rb	97	148	83	126	90	49	36	86	65	97	79	67
Ba	783	72	93	382	58	138	81	24	431	51	33	1508
Sr	575	60	67	307	55	304	283	38	376	8	108	121
Nb	94	15	21	58	31	126	104	46	103	92	12	34
Zr	306	404	207	198	343	668	493	981	595	658	417	292
Y	19	7	15	11	7	54	29	15	20	22	7	16
Tb	7	12	16	4	12	14	12	37	17	18	6	6
La	49	35	75	26	18	55	57	19	55	55	13	11
Ce	84	37	86	48	27	104	132	28	86	105	12	15
Nd	24	8	14	12	<5	34	45	<5	24	27	<5	8
AN	27,91	11,51	19,52	17,50	6,79	12,34	8,77	6,40	11,69	5,72	7,21	3,13
Q	-	-	-	-	-	1,43	1,90	-	-	6,70	-	4,64
or	32,09	28,54	25,77	39,18	33,21	8,39	6,26	35,40	27,18	32,74	24,53	20,45
ab	35,57	48,05	45,46	31,55	45,17	66,59	73,96	43,58	37,07	51,62	57,67	65,24
an	13,77	6,25	11,03	6,69	3,29	9,38	7,11	2,98	4,91	3,13	4,48	2,11
ne	9,70	10,73	8,56	16,88	14,63	-	-	16,09	19,66	-	5,79	-
C	-	-	-	0,90	0,52	-	-	0,19	-	1,76	3,18	-
di	1,24	2,59	5,21	-	-	4,78	4,89	-	5,10	-	-	0,35
hy	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,20	-	2,78
wo	-	-	0,17	-	-	3,01	1,33	-	0,68	-	-	-
ol	0,70	0,21	-	0,49	0,07	-	-	0,05	-	-	2,21	-
mt	0,46	1,23	0,56	1,18	0,99	-	1,89	0,96	1,60	1,33	0,25	1,14
il	1,54	0,36	0,23	0,44	0,30	0,89	0,85	0,13	1,22	0,21	0,06	0,57
hem	3,48	0,65	0,67	1,34	1,02	3,05	0,39	0,18	0,96	1,15	-	0,63
ti	-	-	-	-	-	0,32	-	-	-	-	-	-
ap	0,83	-	0,05	0,30	0,05	0,35	0,42	0,07	0,65	0,14	0,05	0,12
SUMA	99,38	98,60	97,69	98,94	99,25	98,19	99,00	99,63	99,03	98,98	98,22	98,07
I.D.	77,36	87,33	79,79	87,61	93,01	76,41	82,12	95,07	83,91	91,06	87,99	90,33
Den	2,41	2,36	2,38	2,37	2,35	2,40	2,38	2,34	2,39	2,34	2,35	2,35
N° Mg	21,54	37,13	59,95	17,49	3,63	33,89	39,82	4,61	38,07	6,0	75,35	52,47

7453 Sienita  
 7452 Sienita  
 7459 Sienita  
 7454 Sienita  
 7467 Traquisienita (mixto)  
 7451 Traquisienita (mixto)  
 7555 Traquisienita (mixto)  
 7556 Fonolita holocristalina  
 7557 Fonolita  
 7558 Traquita holocristalina  
 7486 Traquisienita (mixto)  
 7485 Traquisienita (mixto)

Analistas (Elementos mayores): I. Ruiz  
 M. Vallejo  
 Analistas (Elementos menores): R. Garcia



**Tabla 11.**  
Enclaves de gabros en fonolitas.

Isla	Ferrera		Foradada	
	7449	7455	7489	7484
Muestra				
SiO <sub>2</sub>	52,00	52,00	40,69	50,00
TiO <sub>2</sub>	2,80	2,52	3,97	0,59
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,58	16,12	12,27	20,92
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,94	8,14	16,06	2,74
FeO	1,68	1,36	1,95	1,21
MnO	0,29	0,21	0,32	0,07
MgO	3,53	4,15	6,85	6,85
CaO	7,98	7,26	8,92	13,03
Na <sub>2</sub> O	4,29	4,72	3,49	3,16
K <sub>2</sub> O	0,74	1,52	1,84	0,82
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,32	1,11	1,60	0,16
H <sub>2</sub> O	0,55	0,55	1,78	0,14
Total	99,70	99,66	99,74	99,69
Cr	<8	18	13	338
Ni	<5	<5	9	109
Co	11	16	23	70
V	111	145	180	63
Cu	6	6	6	7
Rb	13	28	42	30
Ba	1421	1792	1215	343
Sr	753	644	511	578
Nb	29	64	89	45
Zr	160	218	195	80
Y	29	40	52	6
Th	<4	<4	<4	<4
La	35	48	45	7
Ce	78	102	115	9
Nd	35	46	62	7
AN	33,57	31,43	33,80	63,52
Q	8,30	2,37	-	-
or	4,37	8,98	10,87	4,85
ab	36,30	39,94	24,25	23,25
an	18,34	18,31	12,38	40,48
ne	-	-	2,86	1,89
di	8,19	6,05	12,77	18,00
hy	5,00	7,53	-	-
ol	-	-	7,81	6,11
mt	-	-	-	2,42
il	4,17	3,32	4,80	1,12
hem	9,94	8,14	16,06	1,07
ti	1,48	1,89	-	-
ap	3,06	2,57	3,71	0,37
pero	-	-	2,45	-
SUMA	99,15	99,11	97,96	99,55
LD	48,98	51,30	37,99	29,99
Den	2,55	2,53	2,66	2,57
N° Mg	37,19	45,99	42,67	76,86

Analistas (Elementos mayores): I. Ruiz  
M. Vallejo

Analistas (Elementos menores): R. García

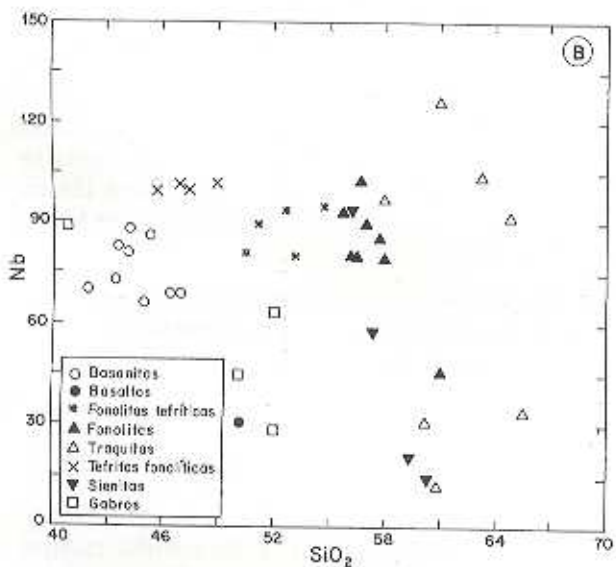
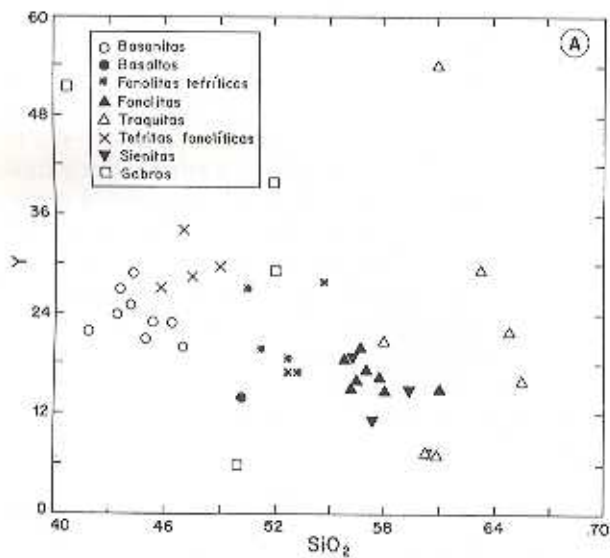


Figura 13. Diagrama Si<sub>2</sub>O-elementos incompatibles a) SiO<sub>2</sub>-Nb, b) SiO<sub>2</sub>-Y.

den a rocas sedimentarias. La relativa abundancia de enclaves de calizas, margas y cuarcitas así como de xenocristales de cuarzo y plagioclasa explicarían la existencia de una cierta contaminación no sólo a partir de sedimentos carbonatados sino de un posible basamento granítico-neisico. En este sentido podría explicarse el incremento del contenido en CaO y pe-

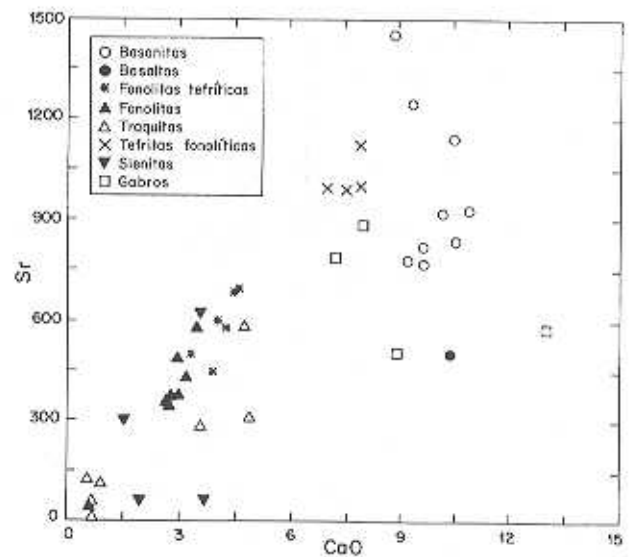


Figura 14. Diagrama Sr-CaO mostrando el carácter bimodal de las rocas y enclaves de Islas Columbretes.

queñas oscilaciones en los contenidos en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Na<sub>2</sub>O.

En principio es difícil establecer si pudiera haber relación entre las basanitas como magma original, y las fonolitas como producto derivado de

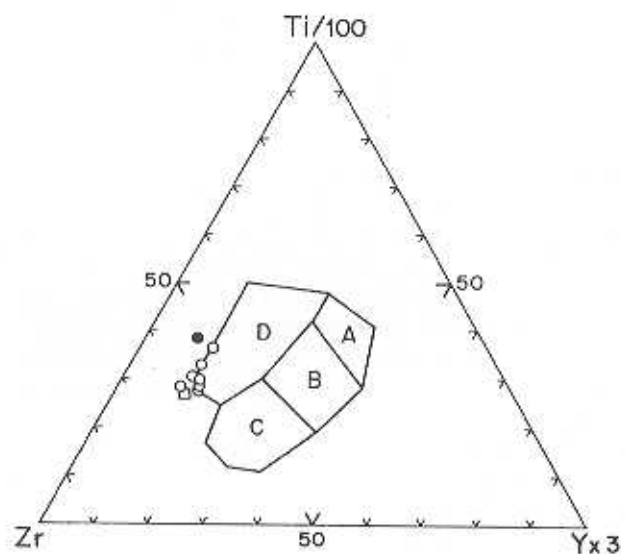


Figura 15. Diagrama de PEARCE y CANN (1973) definiendo el carácter de intraplaca de las rocas volcánicas básicas de Islas COLUMBRETES. Símbolos de la Fig. 6.



él. Es posible que las basanitas, en su composición actual, han debido de sufrir alguna contaminación en su ascenso cortical e incluso en el proceso hidromagmático que las afectó por lo que su composición actual no debe corresponder a la de un magma primario. Probablemente la ausencia en las basanitas de otro tipo de enclaves que no sean los sedimentarios y metamórficos nos indicaría un ascenso y salida a la superficie bastante rápidas con escasas posibilidades de haber experimentado procesos de diferenciación. Su posible detención en una cámara ocurriría en niveles corticales inferiores a 5 kms (espesor de los sedimentos), mientras que la cámara fonolítica debería situarse a niveles más superficiales (< 5 km) por la ausencia de enclaves del basamento.

En las rocas sálicas, donde los enclaves de otros tipos de rocas volcánicas y plutónicas están presentes, se puede establecer una cierta evolución desde su diferenciación en la cámara hasta su salida al exterior. La similitud composicional entre fonolitas, y sienitas favorece la idea de que las sienitas se formaron en la misma cámara magmática fonolítica sin embargo la ausencia de kaersutita en las sienitas condicionaría una cristalización más temprana y en niveles más profundos que las fonolitas. La presencia de enclaves mixtos, (traquítico-sieníticos) y traquíticos de tendencias más ácida, entraría dentro de un proceso de diferenciación de los materiales fonolíticos cuyos últimos residuos circularían en la cámara a través de las sienitas y produciendo en su enfriamiento texturas subvolcánicas.

De hecho dentro de las rocas masivas fonolíticas se encuentran dispersiones en el quimismo hacia fonolitas tefríticas y traquiandesitas (una muestra) e incluso minerales como la andradita están presentes tanto en sienita como en traquitas. La existencia, en algunas sienitas, de bordes con agregados cristalinos feldespáticos parece resaltar que al menos, las sienitas, traquisienitas y traquitas en el momento de su salida al exterior, arrastrados por las fonolitas, no se encontraban consolidadas y que sus condiciones térmicas les permitían encontrarse en un estado plástico que posibilitaría la formación de estos agregados feldespáticos.

La relación de las fonolitas con las inclusiones volcánicas más básicas (tefritas fonolíticas) re-

sultaría algo más compleja. La forma de presentarse estas inclusiones en las fonolitas, con bordes de transición y la tendencia a dar formas esféricas puede favorecer la hipótesis de que la roca tefrítica estuviera en estado fundido en el momento de ser arrastrado a la superficie y que por tanto no se tratara de rocas extruidas anteriormente e incorporadas durante el ascenso, sino que estaban presentes en la propia cámara magmática indicando la existencia de una cámara zonada (BACON 1986). Desde este punto de vista pudieran representar estas inclusiones un magma menos básico que el primitivo, y por tanto más diferenciado, pero que en volumen tuviera una representatividad mucho menor que el magma fonolítico, lo que facilitaría su extrusión en forma de enclaves debido a la diferencia de volumen de los dos líquidos que entran en contacto (SPARKS y MARSHAL, 1986). No es posible establecer a la luz de los datos existentes si este magma tefrítico sería capaz de haberse diferenciado a materiales fonolíticos, pero de hecho la identidad mineral entre las fonolitas y las tefritas fonolíticas ya es un indicio favorable en este sentido para que el magma tefrítico u otro similar evolucionara hacia las rocas fonolíticas aunque no se encuentren términos intermedios.

En este contexto, el significado de las rocas más básicas (basanitas) ya quedó establecido como la consolidación de un magma más primitivo no diferenciado y aparentemente modificado en parte en su composición original por procesos posteriores. Sin embargo algunos hechos como las relaciones isotópicas encontradas en rocas sálicas y básicas (APARICIO et al 1994), la presencia de anfíbol (kaersutita) de similar composición en basanitas, fonolitas y tefritas y el que alguno de los tipos de enclaves presente composiciones de basalto favorecerían una relación más estrecha entre estos tipos magmáticos en el sentido de que un magma algo más básico que estas basanitas, y no aflorante, pudiera ser el magma original desencadenante del proceso volcánico en las I.C.

## CONCLUSIONES

a) El magmatismo de I.C. de tendencia alcalina, encaja dentro del proceso de rifting generaliza-



do que actúa en el borde occidental mediterráneo.

b) Rocas basaníticas y fonolíticas constituyen mayoritariamente los materiales emitidos. En basanitas algunos de los episodios volcánicos muestran características hidro-magmáticas.

c) No se encuentran tendencias en su quimismo que indiquen la existencia de un proceso de cristalización fraccionada que haga derivar las fonolitas de los magmas basaníticos.

d) La presencia de enclaves volcánicos de tipo tefritico fonolítico en fonolitas y su mineralogía permite establecer una evolución de estas tefritas a fonolita y posteriormente la formación de líquido traquíticos.

e) El magma basanítico parece haber experimentado un pequeño proceso de diferenciación, aunque la dispersión composicional encontrada en rocas básicas puede asignarse a procesos de contaminación por materiales sedimentarios y metamórficos.

f) La presencia de kaersutita en basanitas y fonolitas, así como la distribución de enclaves, apoyan la localización superficial de cámaras magmáticas, posiblemente en profundidades próximas a 5 kms coincidiendo con la separación sedimentos-basamento en el perfil cortical del área de I.C.

#### AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado parcialmente por el proyecto de la CICYT "Modelización de erupciones freatomagmáticas para su prevención en los volcanes centrales de las Islas Canarias".

Al Dr. V. Araña por su apoyo en la realización del trabajo y la revisión crítica del mismo.

A la Consejería del Medio Ambiente de la Generalitat Valenciana y en especial al Director del Parque Natural, Juan Jiménez que nos facilitó todo tipo de ayudas para el transporte y estancia en las islas. Igualmente a Valentí, Xavi y Toni, vigilantes y monitores del parque que tanto nos ayudaron en nuestra permanencia y traslado entre islas.

Al Presidente del Puerto de Castellón, J. L. Peralta por las facilidades dadas para el uso de las instalaciones del Faro de Isla Grossa.

A la Dra. Aurora Fernández de Castilla por su simpática colaboración, inestimable ayuda, e interés en la realización del trabajo.

A M. C. Sendra por la composición del trabajo, J. Arroyo por la delineación, M. Castillejo y A. Vitoria por la preparación y elaboración de muestras.

#### REFERENCIAS

- ALONSO MATILLA, L. A. (1985): Variaciones petroquímicas en el vulcanismo de las Islas Columbretes (Castellón). En: *Estudios Petroológicos de la Comunidad Valenciana*. Publicaciones de la cátedra de Geología, Univ. Politécnica de Valencia, 59-101.
- ALONSO MATILLA, L. A. (1991a): Variaciones petroquímicas en el vulcanismo de las Islas Columbretes. En: *Islas Columbretes. Contribución al estudio de su medio natural*. Agencia del Medi Ambient. Generalitat Valenciana, 55-94.
- ALONSO MATILLA, L. A. (1991b): Geología estructural del archipiélago de las islas Columbretes. En: *Islas Columbretes. Contribución al estudio de su medio natural*. Agenci del Medi Ambient. Generalitat Valenciana, 27-54.
- APARICIO, A., MITJAVILA, J. M., ARAÑA, V., VILLA, J. M. (1991): La edad del vulcanismo de las Islas Columbrete Grande y Alborán (Mediterráneo Occidental). *Bol. Geol. Min.* 102-4, 562-570.
- APARICIO, A., ARAÑA, V., GARCIA, R., GRACHEV, A. (1994): The origin of the Columbretes Islands basanitic and phonolitic magmas (Wester Mediterranean). *Mineralogical Magazine*, 58A, 21-22.
- BACON, CH. R. (1986): Magmatic inclusions in Silicic and Intermediate Volcanic rocks. *Journal of Geophysical Research*, 91, B6, 6091-6112.
- BECKE, F. (1897): Gesteine der Columbretes. *Tschermack's Min. petr. Mitt. Bd.*, 16, 159-189 y 308-336.
- HERNANDEZ PACHECO, F., ASENSIO AMOR, I. (1966): Datos fisiográfico-sedimentológicos de la Columbrete Grande. *Bol. R. Soc. Española Hist. Nat. (Geol)*, 64, 179-198.
- IRVINE, T. N., BARAGAR, W. R. A. (1971): A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *an. J Earth. Sci.* 8, 523-548.
- KYLE, PH. (1981): Mineralogy and geochemistry of a Basanite to Phonolite Sequence at Hut Point Peninsula, Antarctic.



tica, based on Core from Dry Valley Drilling Project, Drill-holes 1, 2 and 3. *Journal of Petrology*, 22, 451-500.

MAILLARD, A., MAUFFRET, A. (1993): Structure et volcanisme de la fosse de Valence (Méditerranée nord-occidentale). *Bull. Soc. Geol. France*, 164-3, 365-383.

MARTI, J., MITJAVILA, J., ROCA, E., APARICIO, A. (1992): Cenozoic magmatism of the Valencia trough (Western Mediterranean): relationship between structural evolution and volcanism. *Tectonophysics*, 203, 145-165.

MARTIN, P., SURINACH, E. (1988): Estructura de la corteza en la zona entre Ibiza y Castellón. Primeros resultados. En: *Xarxes sísmiques. Instrumentació i aplicació a la sismotectònica*. Col·lecció Actes. Generalitat de Catalunya, 521-537.

NEUMANN, E. R., RAMBERG, I. B. (1977): Paleorifts concluding remarks. En: *Tectonics and Geophysics of Conti-*

*ental rifts* (Ed. Neumann y Ramberg). Dordrecht Holanda. Reidel, 409-424.

PARGA PONDAL, I. (1935): Quimismo de las manifestaciones magmáticas de la Península Ibérica. *Trab. Mus. Nac. Ciencias Nat.*, 39, 174 pp.

PEARCE, J. A., CANN, J. R. (1973): Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. *Earth and Planetary Sci. Letters*, 19, 290-300.

SAN MIGUEL DE LA CAMARA, M., FUSTER CASAS, J. M. (1951): Una roca interesante de facies basáltica de la Columbrete Grande. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.* 49-2, 88-100.

SPARKS, R. S. J., MARSHAL, L. A. (1986): Thermal and mechanical constraint on mixing between mafic and silicic magmas. *Journal of Volcanology and geothermal research*, 29, 99-124.

VICENT, P. A. (1885): Noticia litológica de las Islas Columbretes. *An. Soc. Esp. Historia Nat.* XIV, 173-183.

Original recibido: Julio de 1995.

Original aceptado: Agosto de 1995.