

Aplicación de una base de datos geoquímicas a la caracterización y estudio de los edificios y ciclos volcánicos de la isla de Tenerife (Islas Canarias, España)

J. L. Brändle⁽¹⁾ y F. Bellido⁽²⁾

(1) Instituto de Geología Económica. C.S.I.C.-U.C.M., Facultad de Ciencias Geológicas, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid.

(2) Instituto Geológico y Minero de España, Ríos Rosas 19, 28003 Madrid.

RESUMEN

Durante la realización del mapa geológico de Tenerife a escala 1:100.000, se ha generado una base de datos litogeoquímicas para caracterizar las unidades volcánicas y la evolución de los principales edificios y complejos (Edificios Antiguos, Cañadas, Dorsal, Teide-Pico Viejo y Centros de Emisión Periféricos), teniendo en cuenta los datos petrológicos, geoquímicos y geocronológicos. Los resultados de su análisis confirman que la asociación basanita (o basalto) - tefrita - fonolita (o traquita) es dominante en la evolución de todos los edificios y ciclos volcánicos y que el espectro litológico de la isla está condicionado esencialmente por procesos de cristalización fraccionada. Se aprecia un ligero enriquecimiento en sílice y álcalis en los términos básicos de las unidades más recientes y se detecta un hiato composicional estadístico para rocas con contenidos en SiO₂ comprendidos entre 47% y 55%, posiblemente condicionado por sesgos en los muestreos. El análisis discriminante muestra un alto grado de superposición en los términos básicos de todos los ciclos y edificios, lo que indica que los distintos episodios volcánicos de la isla, no corresponden a cambios significativos de los procesos petrogenéticos, sino que son principalmente el resultado de la evolución de las estructuras y edificios volcánicos. La utilización de bases de datos litogeoquímicas, ligada al estudio de otros tipos de información geológica, permite una actualización interactiva y una reclasificación y manejo de datos en paralelo con los trabajos de campo. Esto hace posible trabajar en "tiempo real", verificando las modificaciones en el mapa geológico simultáneamente con los cambios introducidos en los modelos de la evolución geológica de Tenerife y los nuevos datos obtenidos en los estudios.

Palabras clave: Base de datos, Estadística, Geoquímica, Vulcanismo, Islas oceánicas, Tenerife, Islas Canarias.

Application of a geochemical database to the study and characterization of the volcanic edifices and cycles at Tenerife Island (Canary Islands, Spain)

ABSTRACT

A lithogeochemical database has been generated simultaneously with the design of a new version of the geological map (1:100.000) of the Tenerife Island to characterize the volcanic units and the evolution of the main edifices and complexes (Ancient Edifices, Cañadas, Dorsal, Teide-Pico Viejo and Peripheral Vents) considering petrological, geochemical and chronological aspects. The results confirm that the basanite (or basalt) - tephrite - phonolite (or trachite) trend, dominates the evolution of the whole edifices and cycles and that the lithological spectrum is conditioned mainly by fractional crystallization processes. A weak silica and alkalis enrichment is found in the basic members of the younger cycles. An statistical compositional gap is marked between 47% -55% SiO₂; this gap is possibly conditioned by biases in the samplings. The discriminant analysis shows high degree of overlapping in the basic members of all edifices, pointing out that volcanic episodes are the result of the evolution of the volcanic structures, and do not correspond to significant changes in the petrogenetical processes. The lithogeochemical database linked to other type of geological information, enables an interactive updating, reclassification and handling of data in parallel to the field works. Then It is possible to work in 'real time', checking the development of the geological map simultaneously with the changes introduced in the petrological and volcano-stratigraphic models of the evolution of the Tenerife Island.

Key words: Data base, Statistics, Geochemistry, Volcanism, Oceanic islands, Tenerife, Canary Islands.

INTRODUCCIÓN

Encuadre geológico de la isla de Tenerife en el Archipiélago Canario

Tenerife es la mayor de las islas del Archipiélago Canario que se encuentra en proximidad del margen pasivo oriental de la Placa Oceánica Atlántica con la Placa Continental Africana. Los datos geofísicos indican que la discontinuidad de Mohorovic se localiza a profundidades que oscilan entre 15 Km. bajo Fuerteventura, Tenerife y Gran Canaria y 11 Km bajo Lanzarote, estando asentadas todas ellas sobre corteza de carácter oceánico (Banda *et al.*, 1981).

Los datos sobre las relaciones entre los depósitos sedimentarios y las vulcanitas submarinas en la isla de Fuerteventura (Fuster, 1981) permiten estimar de forma aproximada que los primeros eventos volcánicos relacionados con la formación de las Islas Canarias se produjeron en el Albiense.

La actividad volcánica subaérea más antigua datada se sitúa en torno a 21.5 Ma y corresponde a coladas basálticas de los Edificios Antiguos de las islas de Lanzarote y Fuerteventura (Ancochea *et al.*, 1996).

Los estudios de Ibarrola (1969, 1970) de la petrología y geoquímica del vulcanismo basáltico subaéreo de las Islas Canarias Centrales y Orientales ponen de manifiesto que las composiciones de los materiales de las distintas islas son muy similares. No obstante, se observan ligeras variaciones en la alcalinidad, relacionadas con la posición de éstas dentro del archipiélago (Hernández-Pacheco e Ibarrola, 1973), correspondiendo la mayor alcalinidad a los basaltos de las islas centrales (Gran Canaria, Tenerife y La Palma), en las que se encuentra una gran cantidad de rocas sálicas e intermedias.

Otra pauta de variación bastante general en las islas centrales, consiste en que dentro de cada una de ellas, las series y edificios volcánicos más recientes, considerados estadísticamente, son de carácter más alcalino y tienen mayor proporción de materiales sálicos.

Un hecho a destacar sobre el magmatismo de las

Islas Canarias en general y de Tenerife en particular, es la abundancia de rocas basáníticas entre los términos básicos. A este respecto, Ridley (1970) pone de manifiesto la elevada proporción de este tipo de rocas y su homogeneidad composicional en los diferentes episodios volcánicos subaéreos de las distintas islas. Este autor sugiere que estos materiales deben ser considerados como representativos de la composición de magmas primarios de los que deriva una parte considerable del espectro petrológico de las mismas.

Características de los edificios y ciclos volcánicos de Tenerife

Los materiales aflorantes en la isla de Tenerife son esencialmente de origen volcánico subaéreo y los más viejos forman parte de los Edificios Antiguos de Anaga, Teno y El Roque del Conde. Estos edificios están muy destruidos y profundamente erosionados y se encuentran parcialmente recubiertos por las emisiones de los edificios más recientes, por lo que resulta muy complicado el determinar su primitiva morfología y estructura.

Estos Edificios Antiguos están constituidos principalmente por potentes apilamientos de lavas y piroclastos básicos con intercalaciones locales de depósitos de brechas volcanosedimentarias, intruidos por un sistema de diques y pitones básicos y ácidos que en algunas zonas puede ser muy denso. Los materiales de mayor edad de estos edificios con dataciones contrastadas, se localizan en el Roque del Conde y tienen una edad de 8.5 +/-0.2 Ma (Ancochea *et al.*, 1990).

En la zona septentrional del Edificio de Anaga se encuentran una serie de afloramientos de materiales volcánicos y volcanosedimentarios muy alterados, tectonizados y atravesados por una densa red filoniana que constituyen el Complejo de Taganana. Las relaciones de este complejo con los materiales de los tramos inferiores del Edificio Anaga son difíciles de observar debido a las características desfavorables de los afloramientos y a los recubrimientos. En la actualidad no está determinado claramente el significado de este complejo dentro del Edificio y en una colada basáltica del mismo, Abdel Monen *et al.* (1972),

han determinado la edad más antigua de la isla (16.0+/-1 Ma.) aunque este resultado se considera problemático y no han vuelto a producirse resultados análogos en los estudios geocronológicos más recientes.

Sobre los restos de los Edificios Antiguos se asientan los aparatos volcánicos de los ciclos más modernos que constituyen el núcleo de Tenerife y que son el Edificio Cañadas, el Edificio Dorsal y el Edificio Teide-Pico Viejo. Este último, forma el relieve culminante de la isla que corresponde al Pico del Teide (3.718 m.).

El Edificio Cañadas es un gran volcán central multiepisódico en el que los materiales ácidos (traquitas y fonolitas) están representados en proporciones considerables, asociándose con frecuencia a erupciones piroclásticas. Este edificio ha tenido una evolución compleja (Araña, 1971; Brändle, 1973; Ancochea *et al.*, 1990, Ibarrola *et al.*, 1993; Fuster *et al.*, 1994; Huertas *et al.*, 1994; Martí *et al.*, 1994) y su parte superior ha sido destruida, constituyendo en la actualidad una gran caldera de origen poligénico.

El Edificio Dorsal es un aparato volcánico de composición esencialmente básica, en el que los materiales ácidos son prácticamente inexistentes. Sus afloramientos más representativos corresponden a los potentes apilamientos de coladas y piroclastos básicos que se encuentran en las paredes y barrancos más profundos del Valle de Güimar, en la cabecera del Valle de La Orotava y en la zona de entronque entre Las Cañadas y la península de Anaga. Este edificio volcánico se encuentra muy degradado y está muy recubierto por materiales del Edificio Cañadas y de centros de emisión periféricos. En los tramos inferiores presenta una densa inyección de diques básicos.

El Edificio Teide-Pico Viejo es el edificio central de la isla en la actualidad y está constituido por la yuxtaposición de dos grandes volcanes compuestos, implantados en la zona central de la Caldera de Las Cañadas hace menos de 0.13 Ma. Entre los materiales eruptivos pertenecientes al Edificio Teide-Pico Viejo se encuentra una gran proporción de rocas traquíticas y fonolíticas.

Otro importante sistema de emisión está consti-

tuido por un gran número de centros volcánicos periféricos. Estos centros tienen edades muy diversas y sus coladas y piroclastos pueden encontrarse intercalados o recubriendo a los materiales de los edificios centrales o en discordancia sobre los restos de los Edificios Antiguos. La mayor parte de estos centros son de carácter estromboliano y han emitido materiales básicos o intermedios aunque también se encuentran entre ellos domos, como la Montaña de Guaza o el Lomo de Simón o edificios freatomagmáticos como la Caldera del Rey que son de naturaleza traquifonolítica.

El estudio de la evolución volcánica de Tenerife ha estado basado hasta tiempos muy recientes en el modelo volcanoestratigráfico de Fuster *et al.* (1968). En este esquema se consideraba la posible existencia de un substrato plutónico no aflorante; una Serie Basáltica Antigua dividida en dos subseries (Serie I y Serie II); la Serie Cañadas, subdividida en Serie Cañadas Inferior y Serie Cañadas Superior; la Serie Traquítica-Traquibasáltica; la Serie Basáltica III y las Series Recientes en las que se incluía a los materiales del Pico Viejo y del Teide y de otros centros de emisión subhistóricos e históricos.

Este esquema, simplificado y con ligeras modificaciones fue utilizado en la realización de la cartografía geológica a escala 1:25.000 (MAGNA) de Tenerife. En él se distinguía una Serie Basáltica Inferior (Serie I); una Serie Basáltica II - Serie Cañadas; la Serie III, en la que se incluían la Serie Basáltica III y parte de la Serie Traquítica-Traquibasáltica y finalmente la Serie IV que agrupaba al Edificio Teide-Pico Viejo y a los centros de emisión subhistóricos e históricos.

Posteriormente, Ancochea *et al.* (1989, 1990) comienzan a aplicar el concepto de edificio volcánico a los modelos de evolución de la isla, teniendo en cuenta la independencia de los períodos de actividad y las pautas de funcionamiento de los mismos. Esta individualidad propia de cada edificio volcánico, quedaba desdibujada en los esquemas volcanoestratigráficos previos, al agruparse las distintas formaciones volcánicas en unas series cuyo sentido genético o cronoestratigráfico es en algunos casos inexistente. Así, por ejemplo, la Serie III está constituida por las emisiones de un gran número de centros volcá-

nicos periféricos que han tenido una actividad sincrónica con la del Edificio Cañadas como lo demuestra su intercalación con depósitos piroclásticos y lávicos procedentes de aquel edificio.

En la realización del nuevo Mapa Geológico de Tenerife a escala 1:100.000 (MAGNA), se ha concedido mayor importancia al significado de los edificios volcánicos en el modelo de la leyenda del mismo, con objeto de facilitar la identificación de la procedencia de las unidades volcánicas representadas y la visualización de los períodos de funcionamiento de los distintos edificios a lo largo de la historia geológica de La Isla.

En el esquema adoptado, se han distinguido los Edificios Antiguos de Anaga, Teno y Roque del Conde, el Edificio Cañadas, el Edificio Dorsal y el Edificio Teide-Pico Viejo y se ha definido un nuevo conjunto volcánico denominado Grupo de los Centros de Emisión Periféricos en el que se incluyen las emisiones de aquellos centros que no están directamente asociados a los edificios centrales. Dentro de este grupo se ha establecido una subdivisión principal, en función de que la actividad de los centros haya sido anterior o posterior al final del Ciclo Cañadas. Esta subdivisión coincide en gran medida con la asignación de los materiales a la Serie III o a la Serie IV en los esquemas volcanoestratigráficos previos.

Para llevar a cabo la caracterización geoquímica de los ciclos y episodios volcánicos de Tenerife y definir sus líneas generales de evolución, se ha procedido al agrupamiento de los edificios y de los distintos centros de emisión, de manera que estos conjuntos sean representativos de los principales períodos de actividad magmática de la Isla. Los ciclos y episodios establecidos son:

- Ciclo Antigo: Edificios Antiguos (Anaga, Teno y Roque del Conde).
- Ciclo Cañadas: Edificio Cañadas + Centros de Emisión Periféricos pre-Caldera.
- Episodio Dorsal: Edificio Dorsal.
- Ciclo Teide: Edificio Teide-Pico Viejo + Centros de Emisión Periféricos post-Caldera.

En la figura 1 se ha representado de forma esque-

mática la distribución geográfica de los materiales pertenecientes a los distintos ciclos y episodios volcánicos de Tenerife, así como sus relaciones volcanoestratigráficas y las edades consideradas como límites temporales aproximados de los mismos.

Preparación de la base de datos litogeoquímicos de los materiales volcánicos de Tenerife

Como resultado de toda la serie de estudios geológicos realizados en la Isla de Tenerife, existe una considerable cantidad de análisis químicos de rocas volcánicas efectuados durante el siglo XX y principalmente en la última mitad del mismo. Con todos estos datos analíticos, así como con los generados en el proyecto del IGME de cartografía geológica a escala 1:100.000 de Tenerife, se ha construido una base de datos para la caracterización geoquímica de los edificios y ciclos volcánicos y el estudio de las variaciones composicionales asociadas a los procesos de evolución volcánica de la Isla.

La generación de una base de metadatos volcano-geoquímicos es un proceso laborioso y su paso a base de datos exige un conocimiento preciso de los mismos y la interpretación de las ideas de los autores en el contexto científico vigente en el momento en que se realizó la publicación. De esta forma se puede establecer la equivalencia de dichos datos en los modelos volcánicos a los que se aplique esta base.

El uso de datos geoquímicos procedentes de fuentes bibliográficas no está exento de complicaciones, ya que las características de los mismos son bastante dispares y es preciso efectuar una investigación adecuada que permita la integración en la base de datos del mayor número posible de los mismos con un mínimo de errores o imprecisiones. Además, el intervalo de tiempo al que corresponden los datos bibliográficos es muy amplio, si se tiene en cuenta la evolución de las técnicas analíticas en cuanto a su precisión y a la capacidad de determinación de elementos. Por otra parte, existen notables diferencias en los distintos trabajos de los que proceden los análisis en cuanto a la información sobre la localización geográfica de las muestras, las unidades geológicas a las que pertenecen y a las descrip-

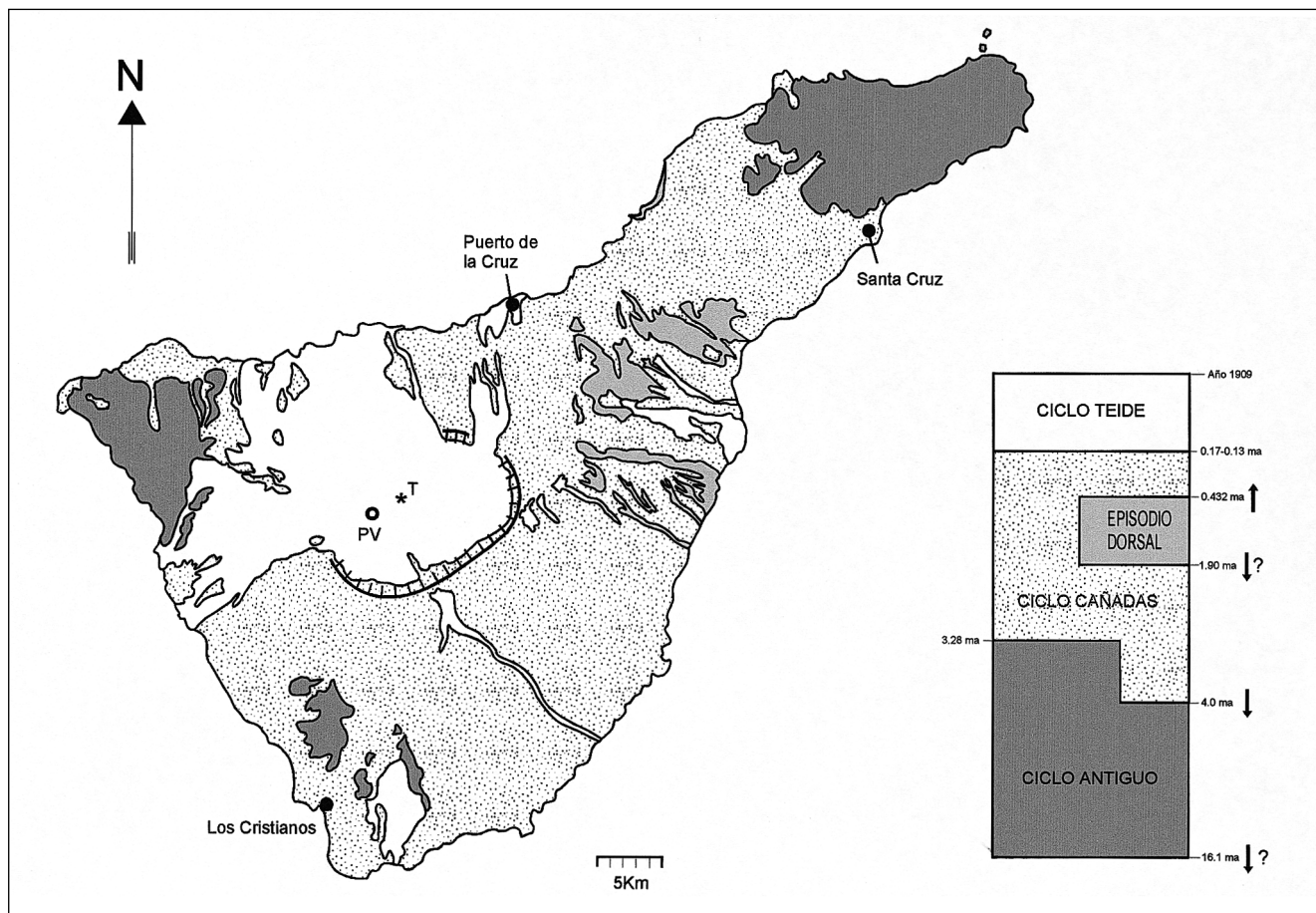


Fig. 1 - Esquema de distribución de los afloramientos de los materiales pertenecientes a los distintos ciclos volcánicos de Tenerife.

Fig. 1 - Geological sketch showing the outcrops of rocks from the different volcanic cycles and episodes in the Tenerife Island.

ciones petrográficas. Por estos motivos, se ha prestado una especial atención a la identificación de las unidades geológicas de las que proceden los datos. Se ha recurrido en la gran mayoría de los casos, a la consulta de las fuentes bibliográficas originales y los estudios geológicos contemporáneos con las mismas para evitar en la medida de lo posible errores de asignación a las unidades geológicas o las duplicaciones erróneas que pueden producirse a través de referencias cruzadas.

En el proceso de selección e inclusión de análisis en la base de datos se han utilizado los siguientes criterios:

- A) Considerar sólo datos con análisis completos de elementos mayores, considerando la información original sobre el estado de oxidación del Fe.
- B) Rechazar aquellas muestras en las que se describen procesos de alteración o transformación.
- C) Rechazar muestras con totales alejados de 100%, o con datos de pérdidas por calcinación o volátiles muy elevados para la litología correspondiente.
- D) Eliminar los datos correspondientes a mues-

tras cuyos descriptores petrológicos sean incongruentes con el quimismo.

- E) Evitar duplicaciones ocasionadas porque los mismos análisis aparecen en distintas publicaciones con identificadores diferentes aunque se asignan a la misma unidad volcanoestratigráfica, o porque los mismos análisis son asignados a diferentes unidades volcanoestratigráficas en distintas publicaciones
- F) Reasignación de los datos a los ciclos y episodios volcánicos definidos en este trabajo. Para ello se han establecido las correspondientes tablas de equivalencias, habiéndose rechazado aquellos análisis con identificadores volcanoestratigráficos confusos.

Teniendo en cuenta los criterios considerados previamente, se han seleccionado 829 análisis cuya calidad, identificación posicional y caracterización geológica se considera adecuada.

Para la realización de cálculos petrológicos, se ha asignado la relación $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ en las rocas en las que no se dispone de este dato a partir de cálculos empíricos efectuados con rocas volcánicas de Tenerife en las que se conoce esta proporción. También se han recalculado al 100 % los análisis de elementos mayores en una base anhidra.

Los datos analíticos incluidos en la base considerada en este estudio proceden de: Preiswerk, 1909; Fernández Navarro, 1910; Kunzli, 1911; Dittler & Kohler, 1927; Jeremine, 1930; Smulikowski, 1937; Smulikowski *et al.*, 1946; Hausen, 1956; Ibarrola, 1967; Ibarrola, 1970; Ridley, 1970; Pliego, 1972; Brändle, 1973; Bellido, 1973, Scott, 1976; Fernández Santín y Náfria, 1978; Cubas Padilla y Fernández Santín, 1981; Wolff & Storey, 1983, 1984; Paradas y Fernández Santín, 1984; Wolff, 1984, 1985, 1987; Cabrera y Hernández Pacheco, 1987; Alonso *et al.*, 1988; Barrera *et al.*, 1988; Bellido y Gómez, 1988a, 1988b; Alonso, 1989; Alonso y Quesada, 1989; Araña *et al.*, 1989a, 1989b; Ballcels y Hernández-Pacheco, 1989; García Moral, 1989; Martí *et al.*, 1989; Mitjavila, 1990; Wolff & Toney, 1993; Araña *et al.*, 1994; Ablay *et al.*, 1995; Ablay *et al.*, 1998a, 1998b; Solana, 1998; Neumann *et al.*, 1999; Dpto de Petrología y Geoquímica UCM (inéditos); IGME, (inéditos).

Caracterización y evolución geoquímica de los edificios volcánicos de Tenerife

Los distintos estudios petrológicos realizados sobre los materiales volcánicos de Tenerife, ponen claramente de manifiesto que éstos pertenecen a una asociación volcánica alcalina típica de islas oceánicas. Es de destacar como ya observó Ridley (1970), la abundancia de rocas basaníticas en los distintos ciclos y episodios, sobre todo en los más recientes, pero hay que tener en cuenta que las pautas evolutivas generales se sitúan en la franja límite basalto-basanita y traquita-fonolita.

Con respecto a las características de esta asociación volcánica, existe un amplio debate sobre la existencia o no de un hiato composicional "Daly Gap" entre los términos básicos y los ácidos (Ridley, 1970; Chayes, 1977; Brändle, 1973; Fuster, 1975; Wolff & Storey, 1984). La distribución del conjunto de muestras analizadas en la Isla en función de su contenido en SiO_2 (fig. 2), es marcadamente polimodal, con la moda más importante en los materiales traquifonolíticos y una menor abundancia de rocas de composición intermedia ($51 < \text{SiO}_2 < 55$). Este hecho, aunque en principio apoyaría la hipótesis de la existencia de un hiato en el espectro litológico de la isla, se debe fundamentalmente a la gran abundancia relativa de muestras de los edificios Cañadas y Teide (84.6% del total) y también al gran énfasis que se ha hecho en muchos trabajos en el estudio de las rocas sálicas. Así, lo que sucede realmente en estos edificios, es que más que un déficit de rocas intermedias, hay un muestreo excesivo de rocas fonolíticas y traquíticas, que representan el 51.1% del total. Por otra parte, aún teniendo en cuenta estos factores, se puede constatar que en el conjunto de datos disponible existe una considerable proporción de rocas intermedias. Si además se tiene en cuenta que las posibilidades de muestreo en los edificios centrales están restringidas a los niveles estructurales superiores, resultan plenamente razonables las observaciones de Brändle (1973) en el sentido de que el "Daly Gap" que se aprecia en la isla de Tenerife es debido posiblemente a la existencia de muestreos sesgados, o a la utilización de los datos bibliográficos sin tener en cuenta las características de los distintos edificios de la Isla.

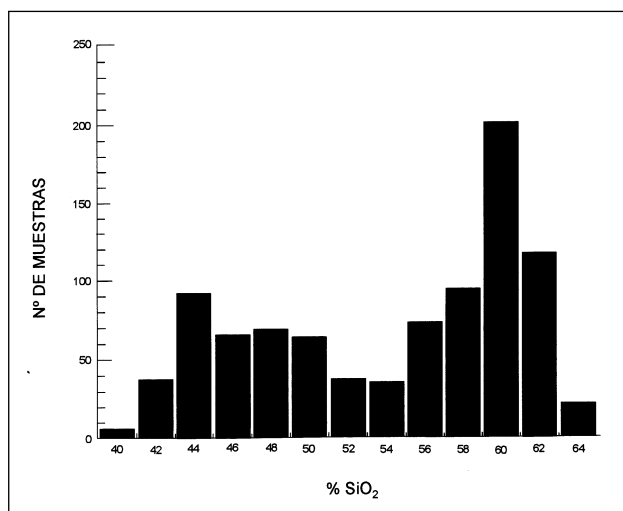


Fig. 2 - Histograma de distribución de las muestras de rocas volcánicas de Tenerife según su contenido en SiO₂ (sobre el total de muestras de la base de datos).

Fig. 2 - Histogram of SiO₂ content of volcanic rocks in the Tenerife Island (all samples of the database).

Para realizar la caracterización de los ciclos y episodios volcánicos de la Isla de Tenerife y de sus estadios evolutivos principales, se han establecido en cada uno de ellos cuatro grupos composicionales que abarcan desde los términos más básicos hasta los más diferenciados. Estos grupos se han construido a partir de la distribución de poblaciones observada en el diagrama TAS (fig. 3) y corresponden a los estadios evolutivos: básico (B), intermedio-básico (I-B), intermedio-ácido (I-A) y ácido (A). Los límites utilizados para definir cada uno de ellos han sido:

$$B \quad \text{SiO}_2 < [60 - 2.1818 \times (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})] \text{ y } (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) > 3$$

$$I-B \quad [60 - 2.1818 \times (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})] < \text{SiO}_2 < 52$$

$$I-A \quad 53 < \text{SiO}_2 < [71.0426 - 1.1489 \times (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})] \text{ y } 8.5 < (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) < 12.5$$

$$A \quad [71.0426 - 1.1489 \times (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})] < \text{SiO}_2 < 71 \text{ y } 10 < (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) < 18$$

Con la utilización de estos límites se ha realizado una caracterización de los grupos composicionales más representativos de los diferentes estadios evolutivos del volcanismo de la Isla de Tenerife, eliminando el peso de aquellas muestras que se apartan significativamente de las pautas generales de variación.

La tabla 1 muestra la cantidad de rocas que pertenecen a cada uno de estos grupos composicionales en los distintos ciclos volcánicos, así como los porcentajes correspondientes. En ella se aprecia la gran cantidad de muestras de los edificios centrales (Cañadas y Teide), que como ya se ha indicado previamente, es una de las causas del sesgo en la distribución del espectro litológico de la isla.

El examen de los datos sobre la distribución de tipos composicionales en los distintos ciclos, pone en evidencia que en el Episodio Dorsal no existe prácticamente representación de los términos diferenciados, pudiendo considerarse que corresponde a la actividad de un edificio basáltico-basanítico con evolución abortada. No puede

CICLOS	B	I-B	I-A	A	TOTAL
ANTIGUO	44 / 43.14%	14 / 13.73%	20 / 19.61%	24 / 23.53%	102
DORSAL	19 / 73.08%	5 / 19.23%	1 / 3.85%	1 / 3.85%	26
CAÑADAS	84 / 22.11%	40 / 10.53%	41 / 10.79%	215 / 56.58%	380
TEIDE	46 / 14.33%	62 / 19.31%	42 / 13.08%	171 / 53.27%	321
TOTAL	193	121	104	411	829

Tabla 1 - Distribución de las muestras de los distintos ciclos y episodios volcánicos de Tenerife en los grupos composicionales establecidos (n.º de muestras/porcentaje).

Tabla 1 - Classification of rock samples from the different volcanic cycles in the Tenerife Island (Canary Islands, Spain).

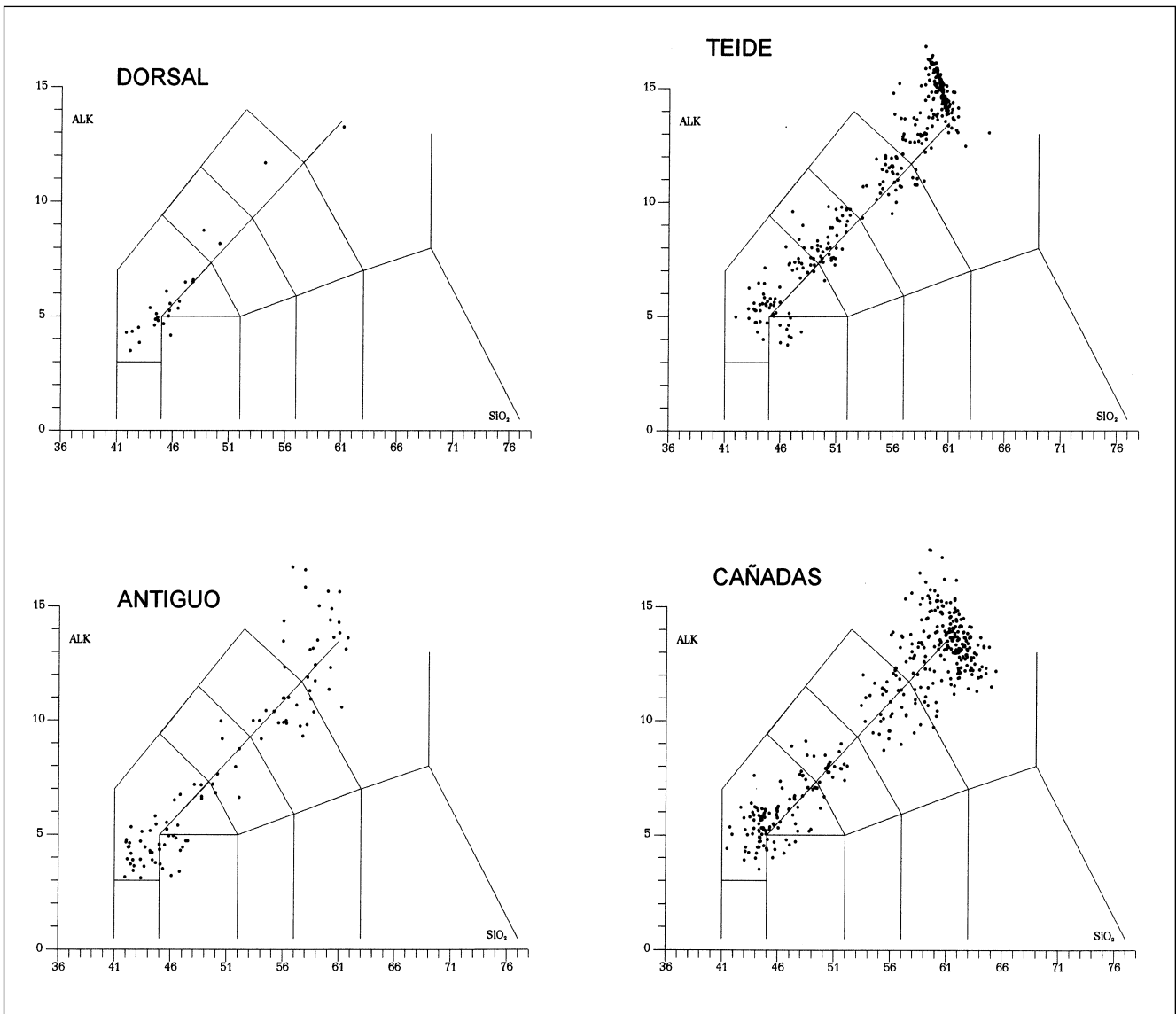


Fig. 3 - Diagrama TAS de las muestras pertenecientes a los distintos ciclos y episodios volcánicos de Tenerife.

Fig. 3 - TAS diagram of samples belonging to the different volcanic cycles and episodes in the Tenerife Island.

descartarse la posibilidad de que este aparato volcánico represente a un gran subedificio básico del Ciclo Cañadas.

En los ciclos volcánicos Cañadas y Teide la importancia de los diferenciados sálicos es muy grande, predominando sobre los materiales básicos de acuerdo con los datos existentes. Estos datos sólo pueden tomarse como estimaciones muy relativas debido a los sesgos en el mues-

treo, si bien son un claro indicador de la importancia que tienen los materiales diferenciados en los ciclos más recientes.

La configuración de las pautas evolutivas principales de cada ciclo volcánico puede visualizarse en los correspondientes diagramas TAS (fig. 3).

Las composiciones medias de los distintos grupos litológicos de cada ciclo volcánico (tabla 2A),

	ANTIGUO (44)	DORSAL (19)	CAÑADAS (84)	TEIDE (46)
SiO ₂	44.07	44.23	44.57	44.68
TiO ₂	3.87	3.88	3.66	3.44
Al ₂ O ₃	14.60	15.44	15.33	15.02
Fe ₂ O ₃	5.30	4.41	4.72	4.13
FeO	7.63	8.03	7.80	8.14
MnO	0.20	0.18	0.19	0.18
MgO	7.80	7.01	6.91	8.08
CaO	11.47	11.30	10.74	10.35
Na ₂ O	2.95	3.16	3.62	3.52
K ₂ O	1.36	1.60	1.60	1.63
P ₂ O ₅	0.74	0.75	0.86	0.83
Li	6.33 (3)	----	5.60 (4)	8.00 (1)
Rb	29.86 (14)	33.36 (11)	34.28 (54)	34.59 (34)
Cs	0.42 (7)	0.57 (1)	0.39 (15)	10.00 (2)
Be	----	----	----	----
Sr	782.00 (15)	762.18 (11)	996.96 (57)	1851.37 (35)
Ba	482.39 (19)	483.64 (11)	555.87 (60)	440.82 (35)
Sc	29.46 (5)	22.27 (4)	24.82 (20)	23.00 (1)
Ga	14.00 (1)	----	19.80 (5)	22.00 (2)
Y	28.58 (12)	31.64 (11)	29.12 (49)	27.37 (32)
Zr	253.25 (16)	285.64 (11)	281.93 (57)	261.73 (34)
Hf	6.89 (7)	7.90 (1)	7.03 (29)	5.00 (1)
Nb	76.50 (7)	99.00 (1)	81.18 (44)	71.19 (21)
Ta	4.43 (7)	6.52 (1)	5.28 (29)	5.00 (1)
Mo	4.00 (2)	4.67 (3)	4.00 (4)	2.50 (2)
Pb	6.33 (9)	5.00 (11)	10.50 (32)	4.83 (18)
Th	5.22 (10)	8.32 (11)	5.66 (39)	4.86 (21)
U	1.29 (7)	2.30 (1)	1.91 (19)	1.00 (2)
V	297.00 (12)	290.45 (11)	292.10 (52)	319.36 (22)
Cr	215.00 (12)	168.64 (11)	113.84 (48)	235.48 (31)
Co	45.17 (12)	38.54 (11)	49.32 (52)	62.20 (20)
Ni	141.33 (12)	64.54 (11)	55.15 (51)	117.12 (32)
Cu	81.83 (12)	58.54 (11)	49.37 (51)	58.33 (18)
Zn	114.00 (9)	124.50 (4)	111.42 (39)	84.08 (13)
Au	----	----	0.39 (1)	0.39 (6)
La	58.87 (7)	75.00 (1)	67.59 (29)	44.75 (2)
Ce	119.47 (7)	135.00 (1)	136.03 (29)	94.46 (2)
Pr	13.18 (6)	15.80 (1)	16.49 (29)	10.92 (2)
Nd	54.67 (7)	60.00 (1)	64.28 (23)	39.68 (2)
Sm	10.26 (7)	11.00 (1)	12.55 (19)	7.58 (2)
Eu	3.19 (7)	3.22 (1)	3.99 (29)	2.73 (2)
Gd	10.73 (6)	8.60 (1)	11.09 (9)	7.03 (2)
Tb	1.37 (7)	1.30 (1)	1.47 (29)	0.86 (2)
Dy	6.27 (6)	6.60 (1)	7.47 (9)	4.87 (2)
Ho	1.07 (7)	1.10 (1)	1.30 (18)	0.81 (2)
Er	2.95 (6)	3.20 (1)	3.38 (9)	1.92 (2)
Tm	0.34 (6)	0.42 (1)	0.41 (9)	0.26 (2)
Yb	2.37 (7)	2.40 (1)	3.09 (29)	1.50 (2)
Lu	0.32 (7)	0.33 (1)	0.49 (22)	0.22 (2)
S	233.33 (3)	----	----	386.17 (6)
F	----	----	----	1400.67 (6)
Cl	----	----	----	114.33 (3)

(Número de muestras entre paréntesis)

Tabla 2A - Composiciones medias de las rocas básicas (B) de los distintos ciclos y episodios volcánicos de Tenerife.

Tabla 2A - Compositional averages of basic rocks (B) from the different volcanic cycles and episodes in the Tenerife Island.

	ANTIGUO (14)	DORSAL (5)	CAÑADAS (40)	TEIDE (62)
SiO ₂	49.33	48.05	49.13	49.39
TiO ₂	2.79	2.93	2.75	2.82
Al ₂ O ₃	17.53	17.54	17.78	17.59
Fe ₂ O ₃	4.13	5.10	3.93	3.59
FeO	5.49	5.51	5.47	5.78
MnO	0.22	0.20	0.19	0.19
MgO	3.94	3.78	4.29	3.87
CaO	8.20	8.62	7.97	7.66
Na ₂ O	4.89	4.79	4.98	5.50
K ₂ O	2.55	2.43	2.53	2.54
P ₂ O ₅	0.95	1.05	0.97	1.06
Li	19.00 (1)	----	10.00 (1)	12.33 (6)
Rb	52.80 (5)	42.33 (3)	56.96 (23)	60.00 (54)
Cs	0.46 (2)	0.65 (2)	0.81 (3)	6.46 (12)
Be	----	----	5.00 (1)	2.00 (7)
Sr	922.29 (7)	1108.00 (4)	963.07 (28)	1074.59 (54)
Ba	697.76 (8)	672.25 (4)	730.89 (28)	795.36 (53)
Sc	14.27 (3)	34.10 (1)	12.57 (12)	10.19 (17)
Ga	24.50 (2)	21.00 (1)	20.78 (9)	19.44 (16)
Y	36.60 (5)	38.00 (3)	33.53 (19)	37.86 (43)
Zr	350.43 (7)	417.75 (4)	430.04 (28)	406.44 (54)
Hf	6.85 (2)	5.55 (2)	8.80 (3)	9.80 (3)
Nb	96.50 (2)	114.00 (2)	99.60 (10)	114.30 (47)
Ta	5.57 (2)	5.59 (2)	6.78 (3)	7.49 (4)
Mo	4.00 (2)	----	4.33 (9)	3.86 (7)
Pb	8.00 (2)	7.00 (3)	7.87 (8)	8.38 (26)
Th	5.61 (3)	8.23 (2)	8.26 (11)	9.66 (34)
U	1.30 (2)	2.10 (2)	2.67 (3)	2.74 (20)
V	203.67 (6)	190.25 (4)	154.15 (27)	162.08 (48)
Cr	59.80 (5)	72.25 (4)	74.25 (20)	13.43 (40)
Co	20.33 (6)	23.00 (4)	22.92 (25)	33.09 (32)
Ni	14.00 (5)	12.67 (3)	29.90 (20)	5.87 (41)
Cu	17.17 (6)	25.00 (4)	24.54 (26)	25.77 (26)
Zn	123.00 (4)	122.50 (2)	113.31 (13)	112.74 (23)
Au	----	----	0.40 (2)	0.42 (24)
La	78.45 (4)	89.23 (2)	81.11 (16)	85.29 (33)
Ce	155.00 (4)	154.33 (2)	137.24 (21)	161.39 (36)
Pr	20.00 (2)	15.50 (2)	14.50 (3)	16.00 (7)
Nd	88.40 (2)	66.95 (2)	55.43 (3)	67.65 (19)
Sm	17.15 (2)	12.40 (2)	10.37 (3)	12.15 (17)
Eu	5.65 (2)	3.84 (2)	3.09 (3)	3.80 (12)
Gd	16.50 (2)	13.75 (2)	9.10 (3)	10.74 (12)
Tb	2.20 (2)	1.70 (2)	1.30 (3)	1.33 (5)
Dy	10.00 (2)	6.95 (2)	6.27 (3)	7.15 (12)
Ho	1.72 (2)	1.15 (2)	1.13 (3)	1.14 (5)
Er	4.65 (2)	3.40 (2)	3.20 (3)	3.16 (12)
Tm	0.50 (2)	0.37 (2)	0.43 (3)	0.39 (5)
Yb	3.20 (2)	2.70 (2)	2.53 (3)	2.46 (13)
Lu	0.48 (2)	0.41 (2)	0.38 (3)	0.39 (12)
S	----	----	----	611.50 (24)
F	----	----	----	1635.96 (24)
Cl	----	----	----	704.83 (12)

(Número de muestras entre paréntesis)

Tabla 2B - Composiciones medias de las rocas intermedias-básicas (I-B) de los distintos ciclos y episodios volcánicos de Tenerife.

Tabla 2B - Compositional averages of intermediate-basic rocks (I-B) from the different volcanic cycles and episodes in the Tenerife Island.

	ANTIGUO (20)	DORSAL (1)	CAÑADAS (41)	TEIDE (42)
SiO ₂	56.01	53.92	55.83	55.73
TiO ₂	1.35	1.51	1.58	1.69
Al ₂ O ₃	20.37	19.54	19.06	18.84
Fe ₂ O ₃	3.34	2.57	2.73	2.41
FeO	1.95	3.37	3.00	3.50
MnO	0.19	0.19	0.19	0.17
MgO	1.69	1.60	1.96	1.96
CaO	4.45	5.34	4.64	4.18
Na ₂ O	6.58	8.19	6.65	7.19
K ₂ O	3.71	3.41	3.93	3.82
P ₂ O ₅	0.37	0.36	0.42	0.50
Li	20.00 (1)	----	7.95 (2)	14.78 (6)
Rb	91.50 (6)	122.00 (1)	84.25 (16)	92.82 (39)
Cs	----	----	0.92 (2)	5.92 (13)
Be	----	6.00 (1)	5.00 (1)	2.33 (3)
Sr	445.14 (7)	1523.00 (1)	1036.63 (27)	768.96 (39)
Ba	1119.29 (7)	951.00 (1)	1282.96 (28)	1104.77 (39)
Sc	3.00 (4)	3.00 (1)	8.14 (8)	6.34 (11)
Ga	20.33 (3)	----	25.08 (13)	21.12 (8)
Y	49.00 (5)	20.00 (1)	31.00 (10)	31.91 (34)
Zr	548.25 (4)	760.00 (1)	553.38 (26)	546.76 (38)
Hf	----	----	10.45 (2)	11.87 (3)
Nb	----	208.00 (1)	146.56 (9)	148.82 (33)
Ta	----	----	11.42 (3)	11.29 (3)
Mo	4.00 (5)	----	4.00 (3)	5.00 (6)
Pb	----	----	35.50 (4)	12.35 (23)
Th	5.00 (1)	16.00 (1)	11.01 (7)	16.65 (26)
U	----	----	3.83 (3)	4.11 (23)
V	49.67 (6)	100.00 (1)	80.12 (24)	81.16 (35)
Cr	20.20 (5)	23.00 (1)	44.41 (14)	11.75 (29)
Co	7.83 (6)	9.00 (1)	20.15 (20)	26.50 (14)
Ni	28.40 (5)	----	10.68 (10)	5.61 (34)
Cu	7.83 (6)	18.00 (1)	15.04 (23)	13.47 (14)
Zn	131.60 (5)	109.00 (1)	116.40 (10)	102.05 (13)
Au	----	0.45 (1)	0.45 (3)	0.47 (22)
La	129.00 (5)	107.00 (1)	98.76 (9)	90.99 (30)
Ce	238.80 (5)	167.00 (1)	181.30 (10)	157.90 (31)
Pr	----	----	----	15.92 (3)
Nd	----	----	67.50 (3)	60.13 (9)
Sm	----	----	10.78 (3)	11.37 (9)
Eu	----	----	3.53 (3)	3.25 (5)
Gd	----	----	----	8.57 (4)
Tb	----	----	1.38 (3)	1.05 (4)
Dy	----	----	----	6.28 (4)
Ho	----	----	1.18 (2)	1.10 (2)
Er	----	----	----	2.82 (4)
Tm	----	----	----	0.38 (1)
Yb	----	----	4.61 (3)	3.03 (6)
Lu	----	----	----	0.42 (4)
S	1240.00 (1)	----	640.00 (4)	180.68 (22)
F	----	----	----	1011.95 (22)
Cl	----	----	500.00 (1)	1235.00 (20)

(Número de muestras entre paréntesis)

Tabla 2C - Composiciones medias de las rocas intermedias-ácidas (I-A) de los distintos ciclos y episodios volcánicos de Tenerife.

Tabla 2C - Compositional averages of intermediate-acid rocks (I-A) from the different volcanic cycles and episodes in the Tenerife Island.

	ANTIGUO (24)	DORSAL (1)	CAÑADAS (215)	TEIDE (171)
SiO ₂	59.09	60.94	60.85	59.60
TiO ₂	0.47	0.79	0.83	0.78
Al ₂ O ₃	20.54	19.11	18.48	19.18
Fe ₂ O ₃	1.79	0.57	2.49	1.78
FeO	1.15	3.17	1.21	2.03
MnO	0.16	0.16	0.19	0.18
MgO	0.65	0.39	0.88	0.62
CaO	2.30	1.69	1.50	1.21
Na ₂ O	8.69	8.47	8.03	9.12
K ₂ O	5.04	4.71	5.38	5.37
P ₂ O ₅	0.11	0.00	0.14	0.13
Li	----	----	18.30 (1)	25.94 (9)
Rb	178.18 (11)	----	150.33 (58)	159.33 (153)
Cs	----	----	2.20 (2)	6.56 (33)
Be	----	----	5.00 (1)	2.67 (3)
Sr	271.46 (15)	----	192.33 (104)	120.98 (150)
Ba	832.29 (16)	----	75.91 (108)	506.40 (152)
Sc	3.67 (3)	----	4.66 (13)	3.42 (16)
Ga	27.37 (8)	----	27.18 (65)	26.08 (39)
Y	19.56 (9)	----	38.44 (42)	38.35 (130)
Zr	780.73 (11)	----	821.95 (105)	934.93 (154)
Hf	----	----	18.77 (9)	16.67 (18)
Nb	----	----	238.57 (30)	232.26 (139)
Ta	----	----	17.84 (12)	12.55 (18)
Mo	4.00 (9)	----	4.00 (19)	8.92 (37)
Pb	----	----	73.45 (11)	20.01 (113)
Th	5.00 (1)	----	22.21 (23)	27.12 (99)
U	----	----	6.64 (12)	6.25 (96)
V	28.17 (12)	----	35.44 (88)	26.17 (113)
Cr	41.40 (10)	----	51.74 (36)	11.55 (103)
Co	7.12 (8)	----	10.49 (64)	16.85 (53)
Ni	10.00 (9)	----	7.78 (41)	5.90 (113)
Cu	7.92 (13)	----	31.03 (87)	8.95 (52)
Zn	124.44 (9)	----	139.87 (40)	98.75 (49)
Au	----	----	0.48 (23)	0.50 (95)
La	98.67 (9)	----	116.29 (39)	112.43 (119)
Ce	171.78 (9)	----	206.02 (49)	179.88 (134)
Pr	----	----	15.90 (2)	15.15 (22)
Nd	----	----	58.83 (13)	52.54 (42)
Sm	----	----	8.87 (13)	9.53 (41)
Eu	----	----	2.05 (13)	2.34 (10)
Gd	----	----	9.80 (2)	7.10 (9)
Tb	----	----	1.32 (12)	0.98 (7)
Dy	----	----	5.80 (2)	5.03 (9)
Ho	----	----	1.15 (2)	1.04 (7)
Er	----	----	3.50 (2)	2.73 (9)
Tm	----	----	0.48 (2)	0.40 (6)
Yb	----	----	3.99 (13)	4.51 (24)
Lu	----	----	0.53 (2)	0.69 (10)
S	2240.00 (1)	280.00 (1)	875.50 (4)	175.63 (97)
F	----	----	----	777.08 (94)
Cl	----	1700.00 (1)	1950.00 (2)	2379.45 (92)

(Número de muestras entre paréntesis)

Tabla 2D - Composiciones medias de las rocas ácidas (A) de los distintos ciclos y episodios volcánicos de Tenerife.

Tabla 2D - Compositional averages of acid rocks (A) from the different volcanic cycles and episodes in the Tenerife Island.

ponen en evidencia que los términos básicos (B) de los Ciclos Cañadas y Teide son ligeramente más ricos en SiO_2 , Na_2O , K_2O y P_2O_5 que los términos equivalentes del Ciclo Antiguo y del Episodio Dorsal.

Con respecto a los elementos traza, al comparar sus contenidos con los valores medios establecidos en basaltos de islas oceánicas (Sun & MacDonough, 1989) se observa que en el diagrama de normalización (fig. 4A), los espectros de variación correspondientes a las medias de los distintos ciclos volcánicos de Tenerife, tienen unas configuraciones muy similares a las de aquellos basaltos. Únicamente resalta una anomalía positiva muy acentuada en el contenido de Cs de los términos básicos del Ciclo Teide y una anomalía positiva de menor rango en el contenido de Pb de los del Ciclo Cañadas. El significado de la anomalía de Cs del Ciclo Teide tiene que interpretarse con cautela debido al escaso número de datos existentes sobre este elemento.

En lo referente al comportamiento de los elementos del grupo de las Tierras Raras en los términos básicos, en los diagramas de normalización con respecto a los valores condriticos de Nakamura, 1974 (fig. 5A), se aprecia que los espectros de las medias de los distintos ciclos son muy similares y presentan todos ellos una tendencia progresiva y firme a la disminución del contenido de Tierras Raras pesadas, sin observarse anomalías significativas para ninguno de los elementos de este grupo. Las configuraciones de estos espectros, con relaciones de fraccionamiento $\text{La}_n/\text{Lu}_n=10$, son bastante típicas de magmas basálticos alcalinos derivados de bajas tasas de fusión parcial de composiciones mantélicas enriquecidas.

A pesar del paralelismo de los espectros, el correspondiente al Ciclo Teide tiene valores inferiores en los contenidos de todas las Tierras Raras ($\Sigma \text{REE C. Antiguo}=285.06$; $\Sigma \text{REE E. Dorsal}=323.97$; $\Sigma \text{REE C. Cañadas}=330.17$; $\Sigma \text{REE C. Teide}=214.59$). Este hecho podría ser indicativo de que los magmas más jóvenes se han generado a partir de composiciones mantélicas más pobres en estos elementos o de ligeras variaciones en las condiciones de fusión parcial.

Con el fin de poder estimar de forma cuantitativa

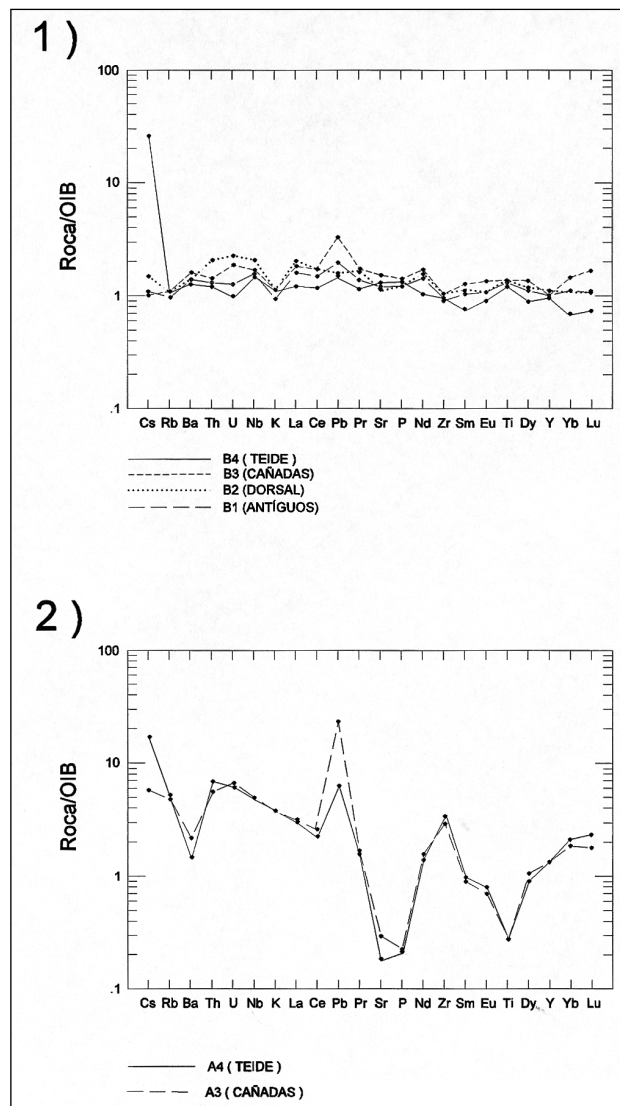


Fig. 4 - Espectros composicionales de las medias de las rocas de los distintos ciclos y episodios volcánicos de Tenerife. Normalizada a la composición de los basaltos de islas oceánicas (OIB). 1=rocas básicas; 2=rocas ácidas.

Fig. 4 - Spider diagrams of average compositions of rocks from the different volcanic cycles and episodes in the Tenerife Island. (OIB normalized). 1=basic rocks; 2=acid rocks.

la importancia y consistencia de las diferencias composicionales entre los términos básicos de los distintos ciclos volcánicos de Tenerife, se ha efectuado un análisis discriminante a partir de las composiciones mayoritarias, en el que se han uti-

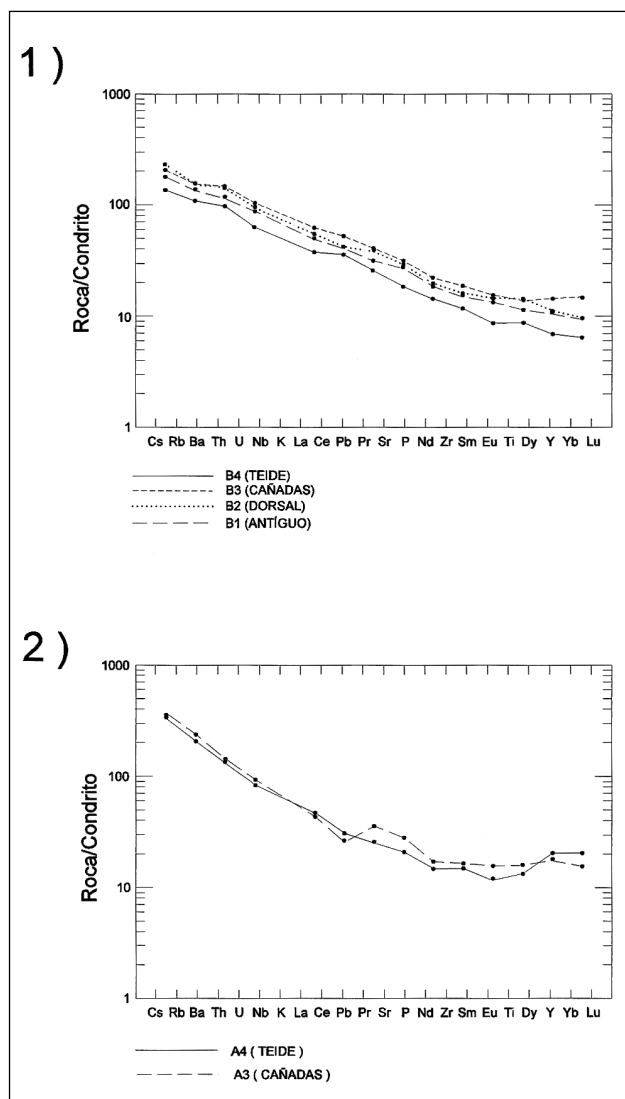


Fig. 5 - Espectros de REE de las medias de los distintos ciclos y episodios volcánicos de Tenerife. Normalizados a la composición condritica. 1=rocas básicas; 2=rocas ácidas.

Fig. 5 - REE diagrams of average compositions of rocks from the different volcanic cycles and episodes in the Tenerife Island. (Chondrite normalized). 1=basic rocks; 2=acid rocks.

lizado como variables los contenidos de óxidos de las muestras de estas rocas. Para la ejecución de este análisis se ha empleado el paquete informático BMDP7M (Dixon *et al.*, 1988). Los resultados se encuentran en la tabla 3, donde están reflejados los coeficientes de las funciones discri-

minantes calculadas a partir de los elementos considerados significativos en el proceso. En esta tabla se encuentran también los resultados obtenidos en la clasificación de las muestras a partir de dichas funciones. La matriz de clasificación evidencia que el porcentaje de éxitos obtenidos es relativamente bajo pero significativo, apreciándose que el número más bajo de asignaciones erróneas se produce en la discriminación entre las rocas básicas del Ciclo Antiguo y del Ciclo Teide. Este hecho es interpretable asumiendo que existe una ligera variación en la composición de los magmas básicos en función de la edad de los ciclos volcánicos.

Con respecto a la caracterización geodinámica de los magmas básicos por su composición química mayoritaria, de acuerdo con los criterios de Mullen (1983), la práctica totalidad de las muestras se proyecta en el campo de los basaltos alcalinos de islas oceánicas (fig. 6), existiendo únicamente una cantidad muy reducida de muestras en el campo de las toleitas de islas oceánicas. Estas muestras pertenecen a distintos ciclos volcánicos y sus características anómalas pueden ser debidas a procesos secundarios de alteración o a imprecisiones analíticas.

Las composiciones medias de los términos intermedios-básicos (I-B) corresponden a tefritas fonolíticas, que son muy abundantes en los ciclos Cañadas y Teide (fig. 3) aunque este grupo incluye una proporción considerable de traquiandesitas basálticas y traquibasaltos. Las composiciones medias de óxidos de todos los ciclos son bastante similares (tabla 2B), si bien se aprecia que los materiales del más reciente (Ciclo Teide) son algo más ricos en Na_2O . Con respecto a los elementos traza, es de destacar el alto contenido en Cs de las rocas del ciclo Teide (fig. 4), registrándose también en ellas contenidos en Ba sensiblemente superiores a los de los restantes edificios volcánicos de la Isla.

Las medias de los términos intermedios-ácidos (I-A) son clasificables como fonolitas tefríticas (tabla 2C), incluyendo este grupo una cierta cantidad de traquiandesitas. También en este caso, las composiciones medias en los distintos ciclos son muy semejantes, aunque en el caso del "Episodio Dorsal", este tipo de rocas tiene una representación insignificante. De nuevo se com-

VARIABLES: SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, FeO, MnO, MgO, CaO, Na₂O, P₂O₅

Etapas de discriminación = 10 Óxidos seleccionados: TiO₂, Fe₂O₃, MnO, MgO, Na₂O, K₂O

FUNCIONES DE CLASIFICACIÓN

CICLOS	ANTIGUO	DORSAL	CAÑADAS	TEIDE
VARIABLES				
TiO₂	20.54924	20.11816	19.36349	18.69919
Fe₂O₃	4.02878	3.66447	4.08040	3.89006
MnO	175.59285	157.14832	153.72223	151.56396
MgO	7.62944	7.35836	7.51564	7.84270
Na₂O	19.78185	19.75644	22.14658	21.77548
K₂O	6.25922	8.20514	7.58998	8.82706
CONSTANTES	-132.55405	-126.38418	-133.01483	-132.54031

MATRIZ DE CLASIFICACIÓN

NÚMERO DE MUESTRAS CLASIFICADAS EN CADA CICLO/EPISODIO

CICLOS	ANTIGUO	DORSAL	CAÑADAS	TEIDE	% ACIERTOS
ANTIGUO	24	10	9	1	54.5 %
DORSAL	6	8	3	2	42.1 %
CAÑADAS	10	14	41	19	48.8 %
TEIDE	2	5	12	27	58.7 %

Tabla 3 - Análisis discriminante de las rocas básicas de los distintos ciclos y episodios volcánicos de Tenerife.

Tabla 3 - Discriminant analysis of basic rocks from the different volcanic cycles and episodes in the Tenerife Island.

prueba que las rocas del Ciclo Teide se caracterizan por tener un contenido en Na₂O más elevado y una proporción de Cs bastante superior a la de los materiales equivalentes de los Ciclos Antiguo y Cañadas. Por el contrario, son notablemente más pobres en Sr y Ba y en elementos de significado básico como Cr y Ni.

Las rocas más evolucionadas (A) tienen composiciones medias fonolíticas (tabla 2D), aunque en este grupo también se encuentra una considerable proporción de traquitas. Son muy abundantes en los Ciclos Teide y Cañadas y carecen prácticamente de representación en el Episodio Dorsal; no obstante, esta abundancia está realzada por sesgos en los muestreos. Las composiciones medias de estos materiales, son también muy similares en los distintos ciclos pero en este caso, las diferencias observadas en el quimismo son algo mayores. Así, en los materiales de los Edificios Antiguos se observa que la composición media es más rica en Al₂O₃ y CaO, así como lige-

ramente más pobre en SiO₂ y TiO₂, mientras que las rocas del Ciclo Teide son las más ricas en Na₂O y las más pobres en CaO.

Este mayor grado de disparidad está corroborado también por el análisis discriminante efectuado en los materiales ácidos (A) a partir de sus composiciones químicas mayoritarias (tabla 4). En los resultados se observa que el porcentaje de asignaciones correctas a cada ciclo, al aplicar las funciones discriminantes calculadas, es bastante elevado y muy superior al obtenido en el caso de los términos básicos. El máximo de clasificaciones correctas, se produce en la discriminación entre las rocas de los Ciclos Cañadas y Teide y del Ciclo Antiguo. Estos resultados son interpretables en el sentido de que los procesos de diferenciación tienden a acentuar las diferencias existentes en los magmas iniciales de los distintos ciclos volcánicos de la Isla, haciendo que la efectividad del análisis discriminante sea superior en los términos más evolucionados.

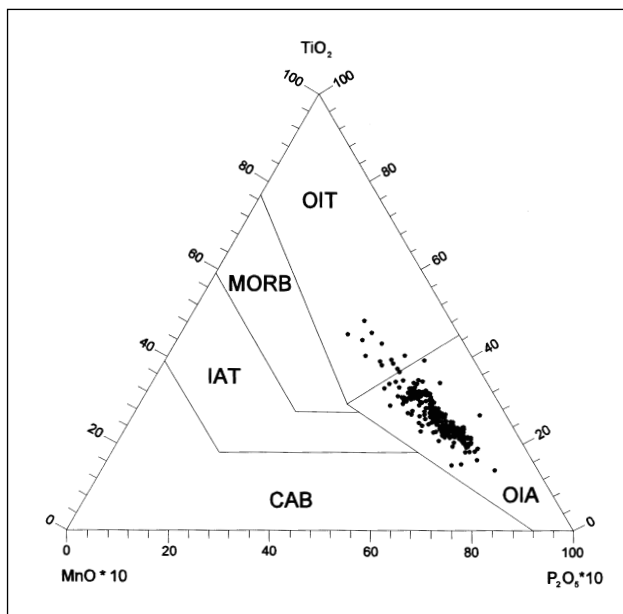


Fig. 6 - Diagrama de caracterización geoquímica de magmas basálticos a partir de su contenido en MnO-TiO₂-P₂O₅
 OIA = basaltos alcalinos de islas oceánicas
 OIT = basaltos toleíticos de islas oceánicas

Fig. 6 - Tectonic environment discrimination MnO-TiO₂-P₂O₅ diagram of basaltic rocks of the Tenerife Island (includes all volcanic cycles and episodes).

Atendiendo a los contenidos en elementos traza, al realizar la normalización de las composiciones medias de cada edificio a la composición de los basaltos de islas oceánicas según Sun & MacDonough (1989), puede observarse (fig. 4B) que los espectros de las rocas ácidas de los Ciclos Cañadas y Teide son muy similares. Como diferencias principales, se observa una marcada anomalía positiva en Cs en los materiales del Ciclo Teide y una anomalía positiva en Pb, en los del Ciclo Cañadas. Es de destacar que también se aprecian anomalías en estos mismos elementos y del mismo signo en los materiales básicos de estos ciclos.

Las composiciones medias de las rocas ácidas de la Isla (tabla 2D) evidencian que las que pertenecen al Ciclo Teide están sensiblemente empobrecidas en Sr, Ba y Cr con respecto a las de los restantes ciclos volcánicos de Tenerife.

Con respecto al comportamiento de los elemen-

tos del grupo de las Tierras Raras en las rocas ácidas, en el diagrama de normalización a la composición condritica (fig. 5B), se observa que los espectros de variación de las medias de los Ciclos Cañadas y Teide tienen una configuración bastante similar, manifestándose las mayores diferencias en las Tierras Raras más pesadas que el Eu; no obstante, estas diferencias son bastante limitadas. Es también de destacar que en el tramo correspondiente a las Tierras Raras pesadas, los espectros son más planos, lo que evidencia un menor fraccionamiento que el que presentan las Tierras Raras ligeras.

En la tabla 5 se encuentran los factores de variación de las Tierras Raras entre las rocas básicas y las ácidas de los Ciclos Cañadas y Teide (Ea/Eb =contenido en roca ácida/contenido en roca básica). En ella, puede apreciarse que las relaciones entre la concentración de un determinado elemento en las rocas ácidas y en las básicas disminuye firmemente desde el La al Eu, tanto en el Ciclo Cañadas como en el Ciclo Teide, pasando desde enriquecimientos netos en La, a empobrecimientos más o menos marcados en Eu. En las Tierras Raras más pesadas que el Eu, se observa que estas relaciones presentan una tendencia más o menos firme al aumento según crece el número atómico, y que los enriquecimientos más importantes se aprecian en las fonolitas del Ciclo Teide, en las que el Yb y el Lu muestran un incremento positivo por un factor de 3 aproximadamente. Estos hechos ponen de manifiesto que en los procesos de fraccionamiento que han conducido a la formación de las fonolitas, las fases minerales acumuladas en los cristalizados tienen coeficientes de reparto inferiores a la unidad para gran parte de las Tierras Raras pesadas.

La disminución en la concentración de Eu en las rocas ácidas con respecto a los términos básicos, evidencia que la cristalización de plagioclasa ha desempeñado un papel significativo en los procesos que han conducido a la génesis de estas rocas.

Evolución geoquímica

Las pautas principales de la evolución geoquímica de los elementos mayores en los materiales

VARIABLES: SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, FeO, MnO, MgO, CaO, Na₂O, P₂O₅

Etapas de discriminación = 10 Óxidos seleccionados: SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, FeO, MnO, CaO, Na₂O

FUNCIONES DE CLASIFICACIÓN

CICLOS	ANTIGUO	DORSAL	CAÑADAS	TEIDE
VARIABLES				
SiO ₂	309.28753	----	307.32193	307.77673
TiO ₂	330.20093	----	341.17645	340.03625
Al ₂ O ₃	354.19763	----	350.58374	351.71753
Fe ₂ O ₃	346.33667	----	344.06461	345.73944
FeO	301.69818	----	300.05930	303.36676
MnO	15.35845	----	18.41271	8.49389
CaO	299.93256	----	293.11081	292.73370
Na ₂ O	288.68542	----	285.76160	287.23563
CONSTANTES	-14938.88770	----	-14713.94043	-14780.94531

MATRIZ DE CLASIFICACIÓN

NÚMERO DE MUESTRAS CLASIFICADAS EN CADA CICLO/EPISODIO

CICLOS	ANTIGUO	DORSAL	CAÑADAS	TEIDE	% ACIERTOS
ANTIGUO	22	--	1	1	91.7 %
DORSAL	--	--	--	--	---
CAÑADAS	8	--	169	38	78.6 %
TEIDE	2	--	20	149	87.1 %

Tabla 4 - Análisis discriminante de las rocas ácidas de los distintos ciclos y episodios volcánicos de Tenerife.

Tabla 4 - Discriminant analysis of acid rocks from the different volcanic cycles and episodes in the Tenerife Island.

de los distintos ciclos, pueden visualizarse en los diagramas de variación SiO₂-óxidos de los elementos más significativos (figs. 7A, 7B, 7C, 7D). El comportamiento del TiO₂, FeO, MgO y CaO es muy similar en las asociaciones volcánicas de todos los edificios y se manifiesta en descensos firmes y continuos de todos ellos desde los términos básicos a los ácidos. En el caso del MgO se observa que una serie de muestras de las rocas más básicas se desvían de las líneas evolutivas generales y presentan unos contenidos más ele-

vados en este elemento que el resto de las rocas de basicidad equivalente. Este hecho es debido a la existencia de rocas que contienen una elevada proporción de fenocristales de olivino y clinopiroxeno acumulados, que por el hecho de corresponder a fases de cristalización precoz tienen una elevada relación MgO/FeO.

La representación de los óxidos alcalinos (Na₂O, K₂O) en los diagramas TAS (fig. 3) pone también de manifiesto que las pautas de variación son

	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
CAÑ	1.72	1.51	0.96	0.91	0.71	0.51	0.88	0.90	0.78	0.88	1.03	1.17	1.29	1.08
TPV	2.51	1.90	1.39	1.32	1.26	0.85	1.01	1.14	1.03	1.28	1.42	1.54	3.01	3.14

Tabla 5 - Razones E_j/E_b entre las rocas ácidas y básicas medias de los ciclos Cañadas y Teide.

Tabla 5 - E_j/E_b Ratios between acid and basic rocks averages from the Cañadas and Teide volcanic cycles.

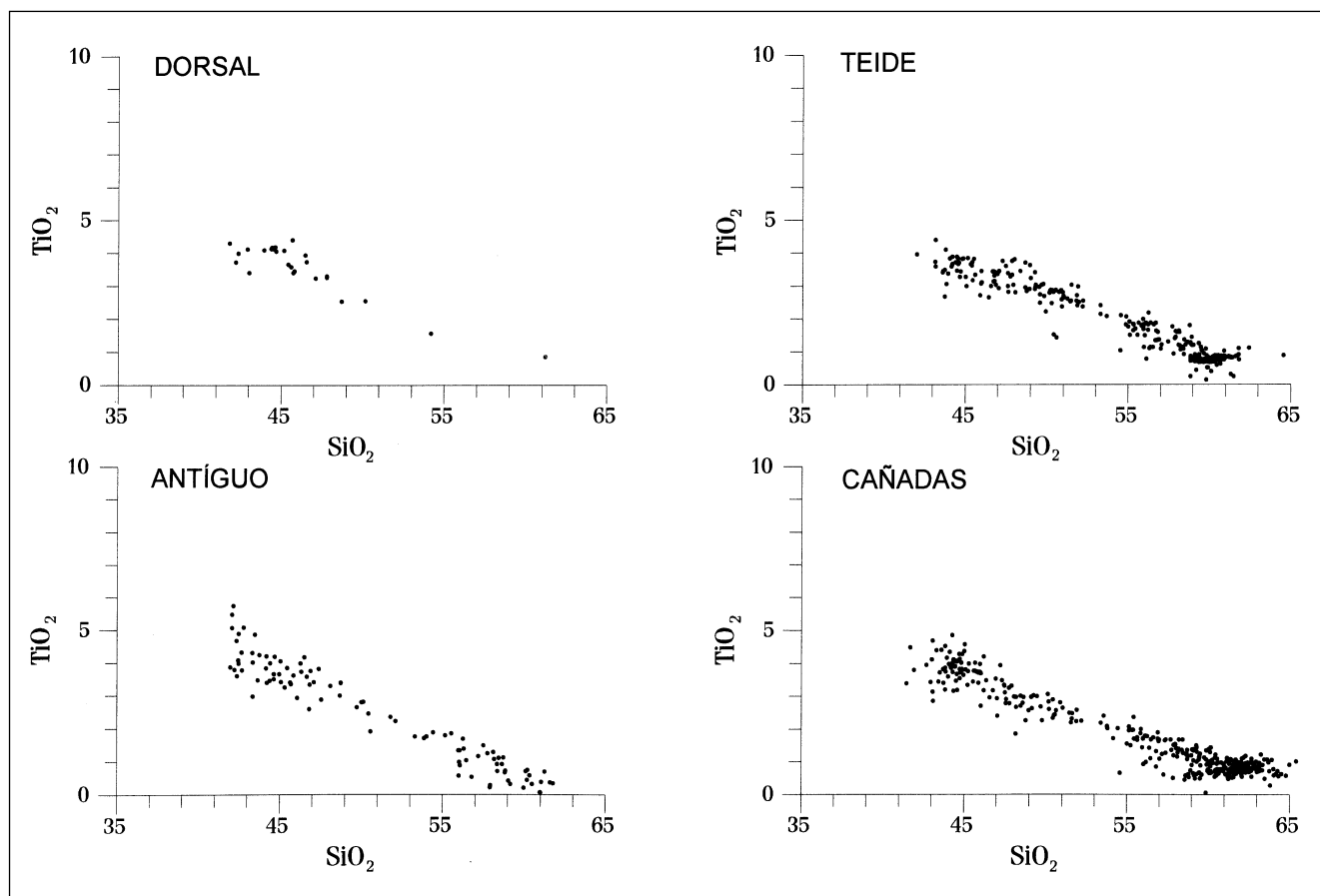


Fig. 7A - Diagrama de variación TiO_2 - SiO_2 de las rocas de los distintos ciclos y episodios volcánicos de Tenerife.

Fig. 7A - Binary diagram TiO_2 - SiO_2 of rocks from the different volcanic cycles and episodes in the Tenerife Island.

muy paralelas en todos los ciclos, manifestándose las principales diferencias en distintas proporciones entre rocas básicas y rocas sálicas en cada uno de ellos. Un hecho destacable consiste en la aparición en el extremo más diferenciado, de una línea evolutiva que se desvía sensiblemente de las pautas generales de variación. Esta línea se manifiesta por un fuerte aumento del contenido en álcalis, acompañado por un retroceso del contenido en SiO_2 especialmente marcado en el Ciclo Cañadas. Estas tendencias de variación anómalas ponen de manifiesto la incidencia en los extremos más diferenciados, de procesos de evolución distintos de los mecanismos de fraccionamiento dominantes en la secuencia principal. Estos procesos están relacio-

nados, en parte, con reacciones de los magmas residuales con las fracciones básicas cristalizadas en las cámaras magmáticas, lo que ocasiona una "desilicatación" de los mismos en paralelo al aumento de la concentración en álcalis. Tampoco se puede excluir la cooperación de mecanismos de transferencia de álcalis en fases gaseosas, muy abundantes en estos magmas residuales y que reforzarían el incremento de la peralcalinidad.

El estudio de la evolución geoquímica de los edificios volcánicos subaéreos de Tenerife puede realizarse a partir del análisis factorial de todas las muestras, utilizando como variables los óxidos de los elementos mayores.

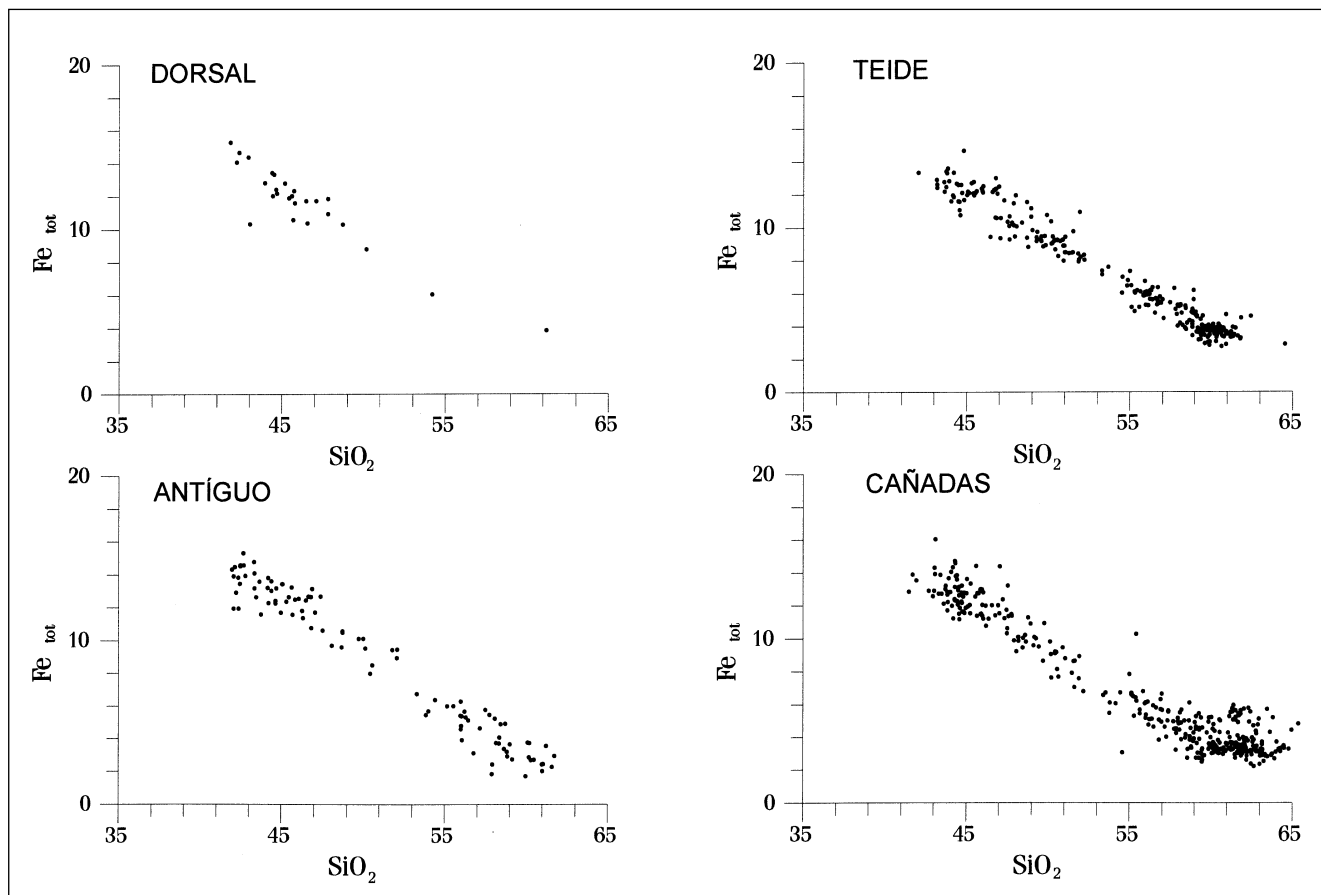


Fig. 7B - Diagrama de variación Fe_{tot} - SiO_2 de las rocas de los distintos ciclos y episodios volcánicos de Tenerife.

Fig. 7B - Binary diagram Fe_{tot} - SiO_2 of rocks from the different volcanic cycles and episodes in the Tenerife Island.

En la tabla 6A, se encuentran las cargas de las variables sobre los dos principales factores rotados y en ella puede observarse que la varianza está justificada principalmente por el primer factor, en el que tienen cargas muy elevadas la gran mayoría de los óxidos de los elementos mayoritarios. Los óxidos de significado básico (TiO_2 , FeO , Fe_2O_3 , MgO , CaO y P_2O_5), tienen cargas de signo positivo, mientras que los de carácter ácido (SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O y K_2O), presentan cargas negativas.

Estos hechos corroboran que la evolución composicional en los edificios volcánicos está gobernada principalmente por procesos de fraccionamiento relativamente simples y consistentes

principalmente en la cristalización de olivino, clinopiroxeno, plagioclasa y opacos, con acumulación de componentes alcalinos en los magmas residuales. El efecto de la cristalización de plagioclasa se manifiesta también en un empobrecimiento de Eu en las rocas traquifonolíticas (tabla 5).

En el segundo factor, que tiene una influencia mucho menor sobre la varianza, sólo carga de forma significativa y con mucha diferencia sobre el resto de los elementos el Mn. Este elemento tiene un significado antagónico respecto a los procesos evolutivos, ya que por una parte se concentra en los minerales ferromagnesianos en sustitución del Fe, pero por otra, tiende a enri-

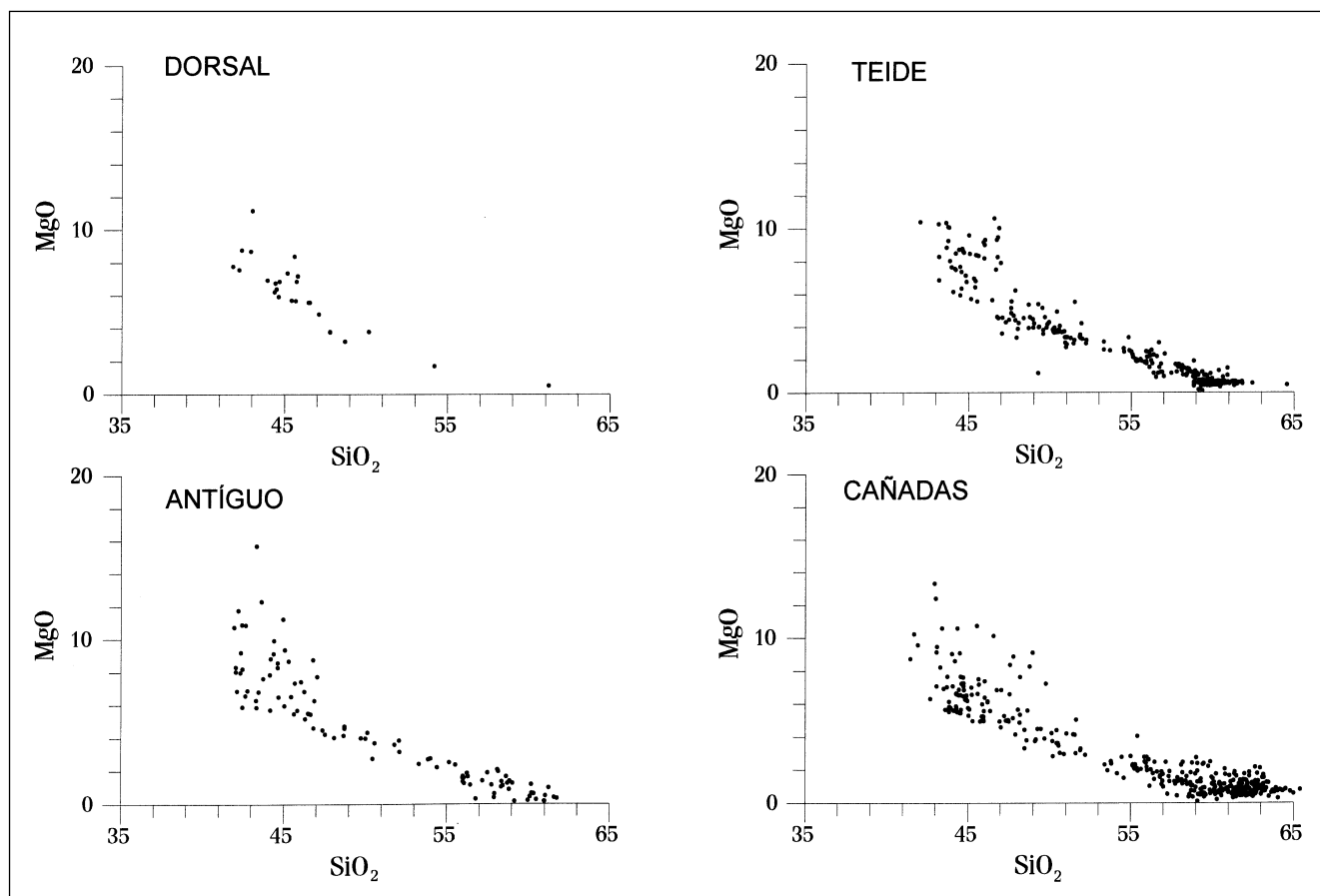


Fig. 7C - Diagrama de variación MgO-SiO₂ de las rocas de los distintos ciclos y episodios volcánicos de Tenerife.

Fig. 7C - Binary diagram MgO-SiO₂ of rocks from the different volcanic cycles and episodes in the Tenerife Island.

quecerse notablemente frente al mismo en los magmas residuales. No obstante, se desconoce cual es el significado preciso de este segundo factor con respecto a los procesos que intervienen en la evolución volcánica.

El estudio del comportamiento de los elementos traza es más problemático, debido fundamentalmente a la menor cantidad de datos y a los distintos grupos de elementos traza determinados en los trabajos de los que proceden los análisis. No obstante, se ha realizado una selección de muestras con datos sistemáticos de un grupo significativo de elementos traza. Así, se ha podido efectuar un análisis factorial sobre una población de 322 muestras de todos los edificios de la Isla

que tienen datos de elementos mayores y de Rb, Sr, Ba, Y, Zr, V, Ni, La y Ce, encontrándose en la tabla 6B las cargas de los óxidos mayoritarios y elementos traza sobre los tres factores rotados más significativos.

Como puede apreciarse, las cargas de los óxidos de los elementos mayores sobre el primer factor son prácticamente iguales a las obtenidas a partir del tratamiento de todas las muestras analizadas de la isla.

Con respecto a la carga de los elementos traza en este primer factor, se observa que Sr y V tienen coeficientes positivos muy elevados, equivalentes a las de los elementos mayores de significado

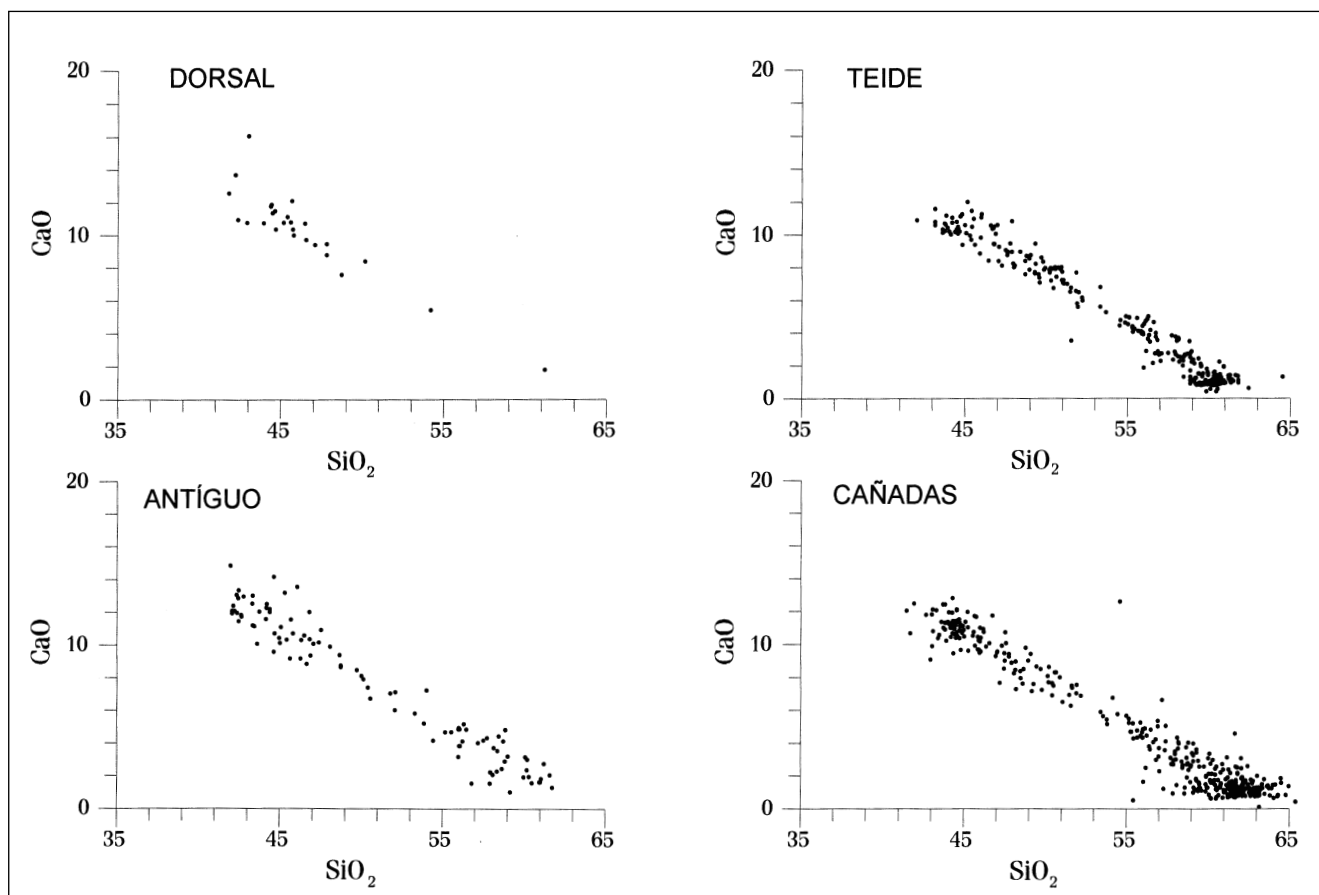


Fig. 7D - Diagrama de variación CaO-SiO₂ de las rocas de los distintos ciclos y episodios volcánicos de Tenerife.

Fig. 7D - Binary diagram CaO-SiO₂ of rocks from the different volcanic cycles and episodes in the Tenerife Island.

básico. El Ni también tiene un coeficiente positivo apreciable pero netamente inferior, lo que puede ser debido a la distorsión que produce la acumulación de fenocristales de olivino en los términos más básicos y al hecho de que en las rocas más evolucionadas, este elemento se encuentra en proporciones próximas al límite de detección. El diagrama de variación del V con respecto a SiO₂ (fig. 8), muestra que en el extremo básico se encuentra una población de muestras cuyas concentraciones en este elemento presentan unas anomalías positivas muy notables con respecto a las pautas generales de variación. Estas anomalías se deben a la presencia de fases acumuladas ricas en este elemento (clinopiroxeno y magnetita) en las rocas más básicas.

El Rb y el Zr presentan coeficientes negativos muy elevados, debido a que tienen comportamientos incompatibles similares a los del Si, Al, Na y K en los procesos volcánicos estudiados. La variación del contenido en Rb a través del proceso evolutivo (fig. 9), es bastante progresiva y aumenta con la diferenciación, apreciándose una mayor dispersión en los términos más ácidos.

El La y el Ce tienen también coeficientes negativos apreciables que indican que estos elementos, al igual que los precedentes tienen tendencia a aumentar en paralelo con los procesos de diferenciación. El Ba y el Y no tienen una carga significativa en el primer factor, lo que pone en evidencia un comportamiento neutro de estos

VARIABLES: SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, FeO, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅
 Número de muestras = 829 (Total muestras de la Isla)

A) CARGAS EN LOS FACTORES (ROTADOS)

VARIABLES	FACTOR 1	FACTOR 2
SiO ₂	-0.968	0.019
TiO ₂	0.955	-0.052
Al ₂ O ₃	-0.765	-0.046
Fe ₂ O ₃	0.701	0.059
FeO	0.913	0.004
MnO	0.016	0.998
MgO	0.929	0.034
CaO	0.975	-0.041
Na ₂ O	-0.917	-0.023
K ₂ O	-0.953	-0.038
P ₂ O ₅	0.781	0.026
VARIANZA EXPL.	7.933	1.010

VARIABLES: SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, Rb, Sr, Ba, Y, Zr, V, Ni, La, Ce
 Número de muestras = 322 (Muestras con datos de todos los elementos traza considerados en el análisis)

B) CARGAS EN LOS FACTORES (ROTADOS)

VARIABLES	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3
SiO ₂	-0.955	0.170	0.094
TiO ₂	0.968	-0.095	-0.006
Al ₂ O ₃	-0.791	0.159	0.422
FeO _t	0.966	-0.135	-0.144
MnO	0.115	0.674	-0.277
MgO	0.874	-0.290	-0.321
CaO	0.962	-0.195	-0.099
Na ₂ O	-0.924	0.210	0.145
K ₂ O	-0.964	0.187	0.005
Rb	-0.927	0.278	-0.095
Sr	0.837	0.031	0.336
Ba	0.112	-0.192	0.833
Y	-0.142	0.859	0.009
Zr	-0.874	0.357	-0.165
V	0.898	-0.197	-0.214
Ni	0.483	-0.365	-0.595
La	-0.470	0.721	0.134
Ce	-0.427	0.789	0.140
VARIANZA EXPL.	10.692	3.031	1.698

Tabla 6 - Análisis factorial del conjunto de muestras analizadas de Tenerife (todos los ciclos y episodios).

Tabla 6 - Factor analysis of the whole analyzed volcanic rocks in the Tenerife Island (all volcanic cycles).

elementos con respecto a los procesos petroge-
 néticos reflejados en este factor.

En el segundo factor, las cargas más importantes
 por parte de los elementos traza corresponden a

Y, La y Ce, mientras que por parte de los elemen-
 tos mayoritarios la mayor carga corresponde al
 Mn. Este hecho pone de manifiesto que todos
 estos elementos presentan un comportamiento
 geoquímico coherente con respecto al proceso

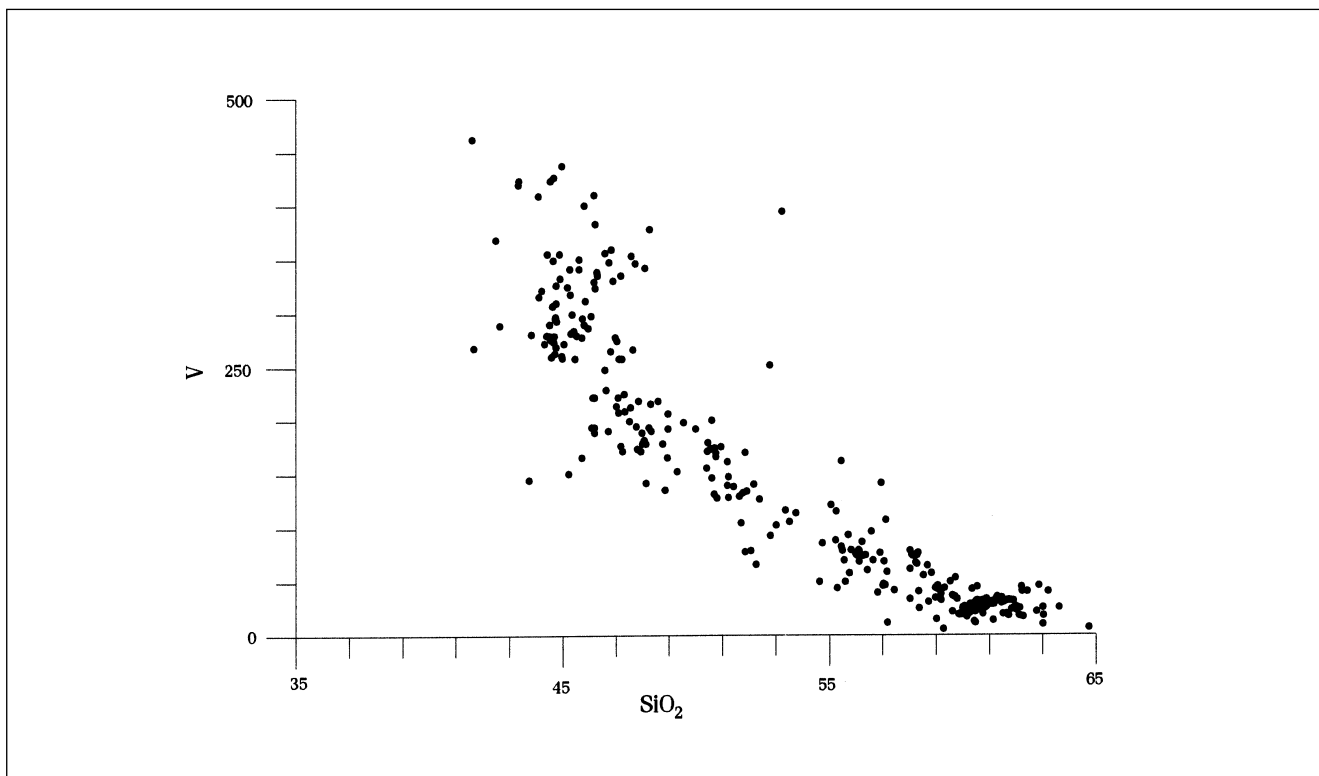


Fig. 8 - Diagrama de variación V-SiO₂ de las rocas volcánicas de Tenerife (todos los ciclos y episodios).

Fig. 8 - Binary diagram V-SiO₂ of volcanic rocks of the Tenerife Island (all volcanic cycles and episodes).

petrogenético representado por este factor. Aunque por el momento se desconoce la naturaleza precisa del mismo, la coincidencia del signo de los coeficientes de estos elementos con los de los asociados a un mayor grado de diferenciación, evidencia que se trata de un proceso que evoluciona en paralelo con la evolución magmática.

El tercer factor tiene una importancia muy limitada frente a los dos primeros y en él, la carga máxima positiva por parte de los elementos traza corresponde al Ba, siendo el Al el elemento mayoritario que más influye en este factor, aunque su carga es sensiblemente más baja.

Al considerar la influencia del conjunto de los elementos sobre este factor, se puede apreciar que los coeficientes positivos corresponden fundamentalmente a los elementos cuyos contenidos

tienden a aumentar con los procesos de diferenciación aunque se observan algunos comportamientos antagónicos como los del Rb y el Zr y bastantes de los elementos implicados, tienen unos coeficientes muy bajos. En este sentido es de destacar que la línea evolutiva del Ba (fig. 10) presenta un ascenso muy firme en el tramo fundamental de la serie de diferenciación volcánica, produciéndose un descenso muy brusco en la concentración de este elemento en las rocas traquíticas y fonolíticas. Este comportamiento es debido en gran parte a la eficacia de la extracción de Ba de los magmas residuales por la cristalización en las cámaras magmáticas de rocas con feldespato potásico. La existencia de fragmentos de sienitas y rocas plutónicas procedentes de estas cámaras, con altos contenidos en este elemento, en algunos depósitos ignimbríticos es un hecho que apoya esta interpretación. Los fuertes enriquecimientos en álcalis y en Zr que se producen

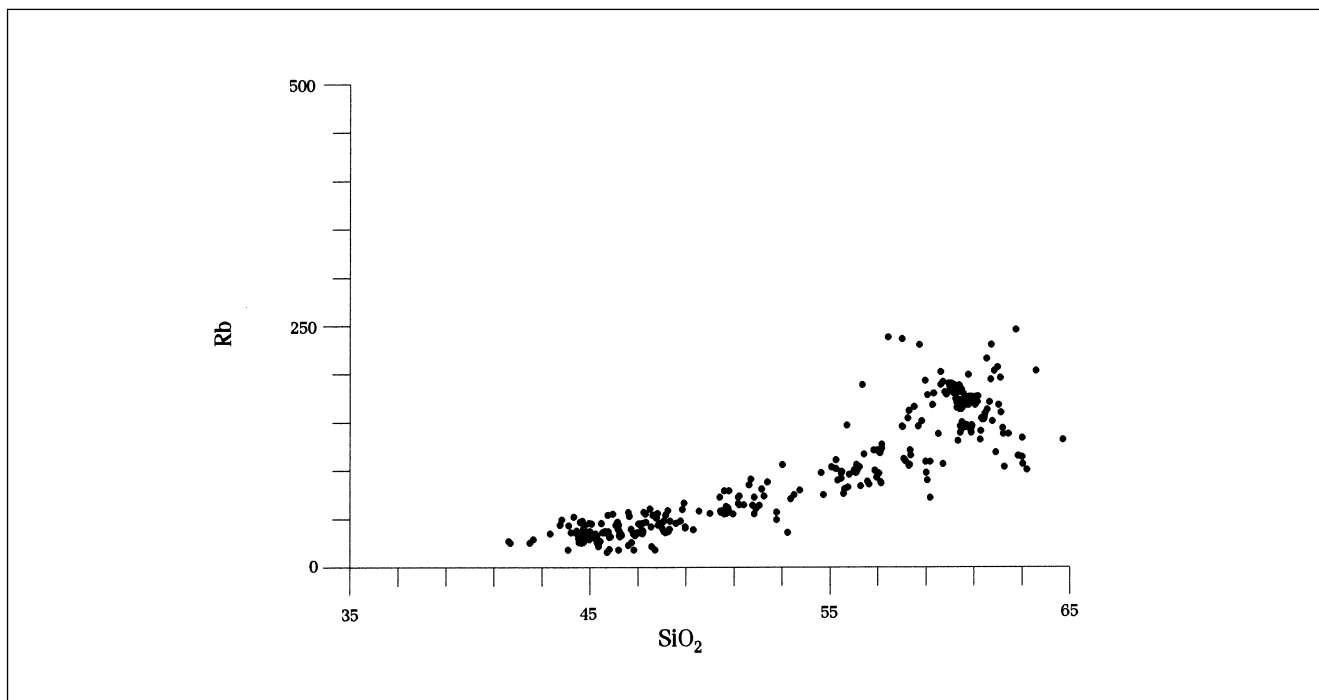


Fig. 9 - Diagrama de variación Rb-SiO₂ de las rocas volcánicas de Tenerife (todos los ciclos y episodios).

Fig. 9 - Binary diagram Rb-SiO₂ of volcanic rocks of the Tenerife Island (all volcanic cycles and episodes).

en algunos de los magmas fonolíticos más residuales (figs. 3 y 11) definen unas trayectorias que se desvían marcadamente y de forma muy súbita de la línea evolutiva principal. Estos cambios bruscos de comportamiento y el hecho de que se produzcan en los estadios extremos de la secuencia de diferenciación, indica que están condicionados por mecanismos distintos a los de la secuencia de cristalización principal, ya que estos últimos producirían unos cambios más progresivos. Estos enriquecimientos en Na₂O, K₂O y Zr pueden estar condicionados en parte por procesos de transferencia gaseosa que serían responsables del fuerte aumento de la peralcalinidad en las fonolitas más tardías.

Discusión y conclusiones

La generación de una base de datos asociada a los estudios para la síntesis geológica de la Isla de Tenerife, ha permitido añadir nuevas precisiones en la caracterización de los edificios y ciclos

volcánicos, así como verificar y comprobar con mayor rigor las afirmaciones realizadas por diversos autores sobre diversos aspectos de los materiales y ciclos volcánicos de la isla.

Considerados en su conjunto, los materiales volcánicos aflorantes representan una fracción de las emisiones subaéreas y se observa que estadísticamente cubren un espectro composicional muy variado que se sitúa en una franja intermedia entre series evolutivas de tipo basalto-traquita y basanita-fonolita típicas de islas oceánicas.

Esta variabilidad también presenta una marcada evolución temporal, pudiendo apreciarse una clara tendencia a un aumento de la alcalinidad y de la abundancia de diferenciados sálicos en los ciclos más recientes.

Las composiciones medias de los materiales básicos de los distintos ciclos y episodios corresponden a rocas basaníticas, pudiendo observarse

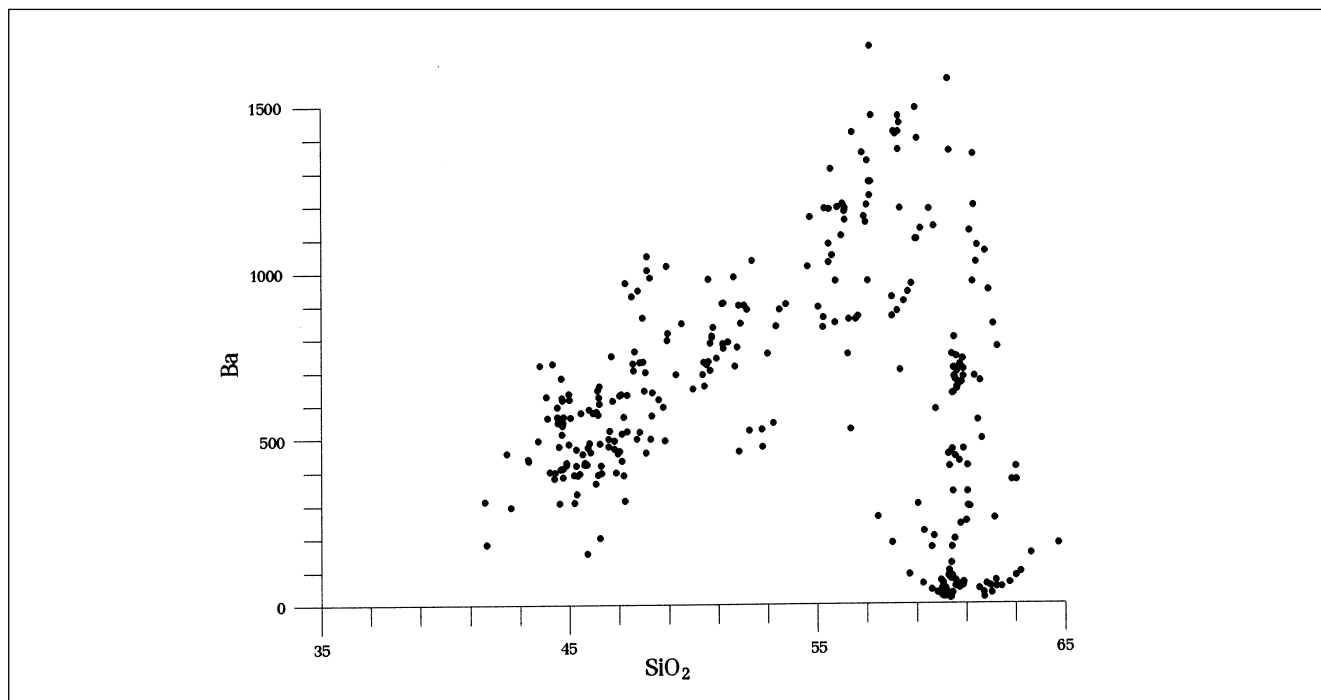


Fig. 10 - Diagrama de variación Ba-SiO₂ de las rocas volcánicas de Tenerife (todos los ciclos y episodios).

Fig. 10 - Binary diagram Ba-SiO₂ of volcanic rocks of the Tenerife Island (all volcanic cycles and episodes).

que el carácter basanítico es más acentuado en las rocas básicas de los ciclos más recientes. Estos resultados confirman las apreciaciones de Ridley (1970) sobre la abundancia de este tipo de materiales y el papel que desempeñan los magmas de esta naturaleza en los procesos de los que derivan las asociaciones volcánicas de Tenerife.

En cuanto a la existencia de un hiato composicional correspondiente a las rocas intermedias, si se considera la distribución de las muestras analizadas con respecto a los distintos ciclos volcánicos y se atiende a las características de los materiales estudiados en los trabajos de los que proceden los análisis, puede comprobarse que más que un déficit en la abundancia de rocas intermedias, lo que sucede en realidad es que existe un sobremuestreo de los materiales ácidos y de los ciclos más recientes (ver tabla 1). Si se tienen en cuenta estos efectos de distorsión, así como la abundancia de rocas intermedias en las unidades cartográficas y la continuidad en las líneas evolutivas

de los distintos ciclos, puede confirmarse que las observaciones de Brändle (1973) son esencialmente correctas en el sentido de que el "Daly Gap" en Tenerife es un artificio estadístico y de que el espectro litológico principal de la isla puede justificarse en su mayor parte por procesos de cristalización fraccionada (Brändle, 1973; Araña *et al.*, 1989; Ablay *et al.*, 1998; Neumann *et al.*, 1999). La intervención de otros mecanismos como la mezcla de magmas, reacciones entre magmas residuales y fracciones cristalizadas y transferencia de álcalis es posiblemente responsable de ciertas particularidades petrológicas y desviaciones sobre las pautas generales de evolución.

La configuración actual de la isla es el resultado de la superposición de edificios conformados por la actividad constructiva y destructiva acontecida en los distintos ciclos volcánicos de Tenerife.

Los materiales volcánicos subaéreos de mayor edad, pertenecen a los Edificios Antiguos de

Anaga, Teno y El Roque del Conde y son fundamentalmente de naturaleza básica aunque en ellos también se encuentran rocas traquíticas y fonolíticas, que forman en su mayoría diques y pitones.

La actividad volcánica posterior al Ciclo Antiguo se asocia al Ciclo Cañadas, cuyos materiales forman un gran edificio central que constituye el núcleo de la isla de Tenerife. Este edificio se ha construido sobre los restos de los Edificios Antiguos, aunque los materiales más viejos datados en él (Carracedo, 1979; Huertas *et al.*, 1994; Bellido *et al.*, 2000) tienen edades mayores que algunos de los materiales más recientes datados en los edificios de Anaga y del Roque del Conde, lo que pone en evidencia que ha existido un período de superposición en la actividad de los ciclos Antiguo y Cañadas. En él son muy importantes los materiales ácidos y los procesos eruptivos ignimbríticos, aunque también se encuentra una gran cantidad de materiales intermedios y básicos a los que se ha prestado menor atención

en los estudios regionales, en parte debido a su monotonía y menor espectacularidad y también por estar parcialmente cubiertos por las emisiones más recientes.

El Edificio Dorsal, cuyos materiales son de composición esencialmente básica, tiene un período de funcionamiento comprendido dentro del Ciclo Cañadas y el cese de su actividad es previo al colapso final de la Caldera, por lo que no puede descartarse que represente un subedificio de este ciclo volcánico.

Con posterioridad al colapso de la Caldera de Las Cañadas se desarrolla el Complejo Teide-Pico Viejo que conforma el edificio central actual y constituye el último ciclo volcánico de Tenerife (Ciclo Teide), cuya actividad sigue vigente.

Esta sucesión y superposición de ciclos y episodios volcánicos en Tenerife ha estado condicionada por importantes pulsos de efusión de materiales magmáticos de origen mantélico que han

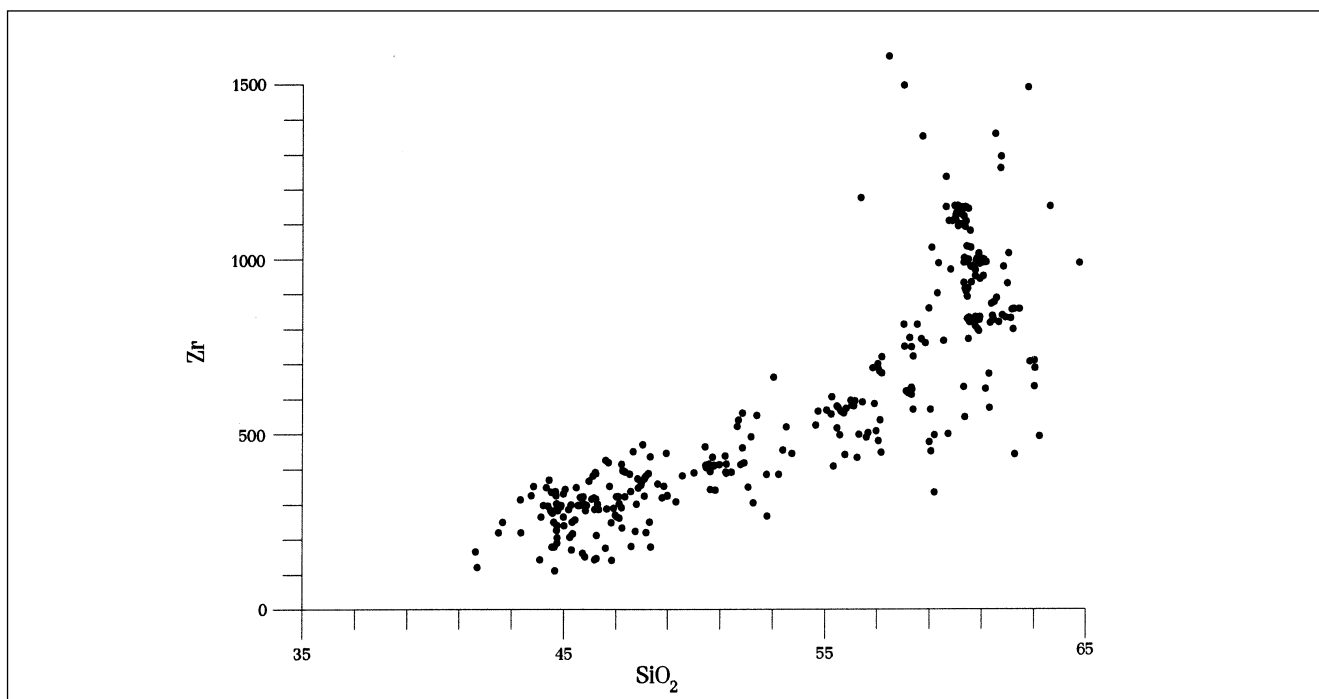


Fig. 11 - Diagrama de variación Zr-SiO₂ de las rocas volcánicas de Tenerife (todos los ciclos y episodios).

Fig. 11 - Binary diagram Zr-SiO₂ of volcanic rocks of the Tenerife Island (all volcanic cycles and episodes).

determinado la construcción de los distintos edificios y la estabilización de cámaras magmáticas más superficiales (Araña *et al.*, 1989; Ablay *et al.*, 1998; Neumann *et al.*, 1999) en las que se ha producido la diferenciación de los materiales sílicos extruidos. El funcionamiento de estos grandes pulsos magmáticos ha debido estar condicionado por eventos tectónicos regionales que han permitido el ascenso de los fundidos mantélicos y determinado la duración de los mismos.

El hecho de que los materiales básicos de los distintos ciclos volcánicos sean muy semejantes y presenten un alto grado de superposición composicional, indica que las características del manto fuente del que proceden estos magmas, así como las condiciones y tasas de fusión, deben ser bastante similares. No obstante, se aprecian ligeras diferencias que se reflejan principalmente en un aumento de la alcalinidad de los magmas básicos más recientes. Estas diferencias están acentuadas por los procesos de diferenciación, como pone de manifiesto la mejor discriminación composicional de los materiales sílicos de los distintos ciclos volcánicos. Por otra parte, se aprecia un notable paralelismo y un alto grado de superposición en las pautas evolutivas de todos los ciclos.

Todos estos hechos hacen pensar en que los distintos ciclos y edificios volcánicos, son en realidad el reflejo de la evolución de un gran proceso unificado de génesis magmática. Su aparente individualización se debe fundamentalmente a los resultados de los episodios constructivos y destructivos de los grandes edificios volcánicos. Estos episodios están condicionados por la localización y geometría de las zonas de emisión, por la morfología y estructura del substrato previo y por la tasa de aporte de magmas mantélicos y de su evolución en cámaras magmáticas superficiales y no obedecen a cambios importantes en la naturaleza del magmatismo primario.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado en el marco de los proyectos PB96 - 0573/96 DGI y Cartografía Geológica a escala 1:100.000 de Tenerife ITGE. Deseamos expresar nuestro agradecimiento al Dr. P. Gumiel, cuyas observaciones han contri-

buido a la mejora del trabajo y a C. Martín Romera que participó en la generación de la base de datos durante su estancia como becario en el IGME.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdel Monen, A., Watkins, N. D. & Gast, P. W. 1971. Potassium-Argon ages, volcanic stratigraphy and geomagnetic polarity history of the Canary Islands: Lanzarote, Fuerteventura, Gran Canaria and La Gomera. *American Journal of Science*, 271, 490-521.
- Abdel Monen, A., Watkins, N. D. & Gast, P. W. 1972. Potassium-Argon ages, volcanic stratigraphy and geomagnetic polarity history of the Canary Islands: Tenerife, La Palma and Hierro. *American Journal of Science*, 272, 805-825.
- Ablay, G. J., Carrol, M. R., Palmer, M. R., Martí, J. & Sparks, R. S. J. 1998. Basanite-phonolite lineages of the Teide-Pico Viejo Volcanic Complex, Tenerife, Canary Islands. *Journal of Petrology*, 39, 905-936.
- Ablay, G. J., Ernst, G. G. J. & Martí, J. 1995. The 2Ka subplinian eruption of Montaña Blanca, Tenerife. *Bulletin of Volcanology*, 57, 337-355.
- Alonso, J. J. 1989. *Estudio volcanoestratigráfico y volcanológico de los piroclastos sílicos del sur de Tenerife*. Universidad de La Laguna, Secretariado de Publicaciones, 257 pp.
- Alonso, J. J., Araña, V. y Martí, J. 1988. La ignimbrita de Arico (Tenerife). Mecanismos de emisión y de emplazamiento. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 1, 15-24.
- Alonso, J. J. y Quesada, M. L. 1989. Síntesis geoquímica de las rocas del Parque Nacional del Teide. Los volcanes y la Caldera del Parque Nacional del Teide (Tenerife, Canarias). Araña, V. y Coello, J. (Eds.) *Publicaciones de Icona, Serie Técnica*, 7, 263-268.
- Ancochea, E., Brändle, J. L., Cubas, C. R., Hernán, F. & Huertas, M. J. 1996. Volcanic complexes in the eastern ridge of the Canary Islands: the Miocene activity of the island of Fuerteventura. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 70, 183-204.
- Ancochea, E., Fúster, J. M., Cantagrel, J. M., Coello, J. & Ibarrola, E. 1990. Volcanic evolution of the island of Tenerife (Canary Islands) in the light of new K-Ar data. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 44, 231-249.
- Ancochea, E., Huertas, M. J., Fúster, J. M., Cantagrel, J. M., Coello, J. e Ibarrola, E. 1995. Geocronología de la pared de la Caldera de Las Cañadas (Tenerife, Islas Canarias). *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural, Sección de Geología*, 90, 107-124.
- Araña, V. 1971. Litología y estructura del Edificio Cañadas, Tenerife. *Estudios Geológicos*, 27, 95-135.
- Araña, V., Martí, J., Aparicio, A., García Cacho, L. & García

- García, R. 1994. Magma mixing in alkaline magmas: an example from Tenerife, Canary Islands. *Lithos*, 32, 1-19.
- Araña, V., Aparicio, A. García Cacho, L. y García García, R. 1989. Mezcla de magmas en la región central de Tenerife. En: Los volcanes y la Caldera del Parque Nacional del Teide (Tenerife, Canarias). Araña, V. y Coello, J. (Eds.). *Publicaciones de Icona, Serie Técnica*, 7, 269-298.
- Araña, V., Barberi, F. y Ferrara, G. 1989. El Complejo Volcánico Teide-Pico Viejo. En: Los volcanes y la Caldera del Parque Nacional del Teide (Tenerife, Canarias). Araña, V. y Coello, J. (Eds.). *Publicaciones de Icona, Serie Técnica*, 7, 101-127.
- Balcells, R. y Hernández-Pacheco, A. 1989. El domo-colada de Los Roques Blancos. En: Los volcanes y la Caldera del Parque Nacional del Teide (Tenerife, Islas Canarias). Araña, V. y Coello, J. (Eds.). *Publicaciones de Icona, Serie Técnica*, 7, 227-235.
- Banda, E., Dañobeitia, J. J., Suriñach, E. & Ansorge, J. 1981. Features of the crustal structure under the Canary Islands. *Earth and Planetary Science Letters*, 55, 11-24.
- Barrera, J. L., Bellido, F. y Gómez, J. A. 1988. Mapa Geológico de España E 1:25.000. 1110-IV, Santiago del Teide. Mapa y memoria. *I.G.M.E.*
- Bellido, F. 1973. *Estudio geoquímico de los diques y pitones sálicos intrusivos en los materiales volcánicos de la Serie Antigua de la Isla de Tenerife*. Universidad Complutense de Madrid, Departamento de Petrología, Facultad de Geología. Tesis de licenciatura, 98 pp.
- Bellido, F. y Gómez, J. A. 1988. Mapa Geológico de España E 1:25.000. 1103-II, Puerto de la Cruz. Mapa y memoria. *IGME*.
- Bellido, F. y Gómez, J. A. 1988. Mapa Geológico de España E 1:25.000. 1103-III, Icod de los Vinos. Mapa y memoria. *IGME*.
- Bellido, F., Cueto, L. A., Ancochea, E., Huertas, M. J. y Brändle, J. L. 2000. Nuevas edades K-Ar de las rocas volcánicas de la Isla de Tenerife. *Geotemas*, 1, 317-320.
- Bosshard, E. & MacFarlane, D. J. 1970. Crustal structure of the Western Canary Islands from seismic refraction and gravity data. *Journal of Geophysical Research*, 75, 4901-4918.
- Brändle, J. L. 1973. Evolución geoquímica de los materiales volcánicos sálicos y alcalinos de la isla de Tenerife. *Estudios Geológicos*, 29, 5-21.
- Cabrera, M. P. y Hernández-Pacheco, A. 1987. Las erupciones históricas de Tenerife (Canarias) en sus aspectos volcanológico, petrológico y geoquímico. *Revista de Materiales y Procesos Geológicos*, 5, 143-182.
- Carracedo, J. C. 1979. Paleomagnetismo e historia volcánica de Tenerife. *Aula de Cultura de Tenerife*, 82 pp.
- Chayes, F. 1963. Relative abundance of intermediate members of the oceanic basalt-trachyte association. *Journal of Geophysical Research*, 68, 1519-1534.
- Chayes, F. 1977. The oceanic basalt-trachyte relation in general and in the Canary Islands. *American Mineralogist*, 62, 666-671.
- Cubas Padilla, C. R. & Fernández Santín, S. 1981. El pitón basáltico de Los Organos, Anaga (Tenerife) y sus diferenciados pegmatitoides. *IV Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica*, V-VIII, 1727-1742.
- Daly, R. A. 1925. The geology of Ascension Island. *Proceedings of American Academy of Arts and Sciences*, 60, 1-80.
- Dash, B. P. & Bosshard, E. 1968. Crustal studies around the Canary Islands. *Proceedings of International Geological Congress, 23 rd.*, Czechoslovakia, 1, 249-260.
- Departamento de Petrología; Facultad de Geología; Universidad Complutense de Madrid. Datos de trabajos inéditos.
- Dittler, E. & Kohler, A. 1927. Mineralogische-petrographische Notizen von Pico de Teide. *Zentralblatt für Mineralogie*, 4, 134-143.
- Dixon, W. J., Brown, M. B., Engelman, L., Hill, M. A. & Jennrich, R. I. 1988. BMDP statistical software manual. *University of California Press*, 619 pp.
- Fernández-Navarro, L. 1910. Sobre la erupción volcánica del Chinyero (Tenerife). *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, Sección de Geología, 10, 104-122.
- Fernández Santín, S. y Nafria, R. 1978. La extrusión fonolítico-traquítica de Montaña de Guaza, Tenerife (Canarias). *Estudios Geológicos*, 34, 375-387.
- Fúster, J. M. 1975. Las Islas Canarias: un ejemplo de evolución espacial y temporal del vulcanismo oceánico. *Estudios Geológicos*, 31, 439-463.
- Fúster, J. M. 1981. *Evolución geológica del Archipiélago Canario*. Discurso de ingreso en la Real Academia de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, 61pp.
- Fúster, J. M., Ibarrola, E., Snelling, N., Cantagrel, J. M., Huertas, M. J., Coello, J. y Ancochea, E. 1994. Cronología K-Ar de la formación Cañadas en el sector suroeste de Tenerife: implicaciones de los episodios piroclásticos en la evolución volcánica. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, Sección de Geología, 89, 25-41.
- Fúster, J. M., Araña, V., Brändle, J. L., Navarro, J., Alonso, U. y Aparicio, A. 1968. Geología y vulcanología de las Islas Canarias. Tenerife. *Publicación del Instituto Lucas Mallada. CSIC*, 218 pp.
- García Moral, R. 1989. Erupciones históricas en Tenerife. En: Los volcanes y la Caldera del Parque Nacional del Teide (Tenerife, Islas Canarias). Araña, V. y Coello, J. (Eds.). *Publicaciones de Icona, Serie Técnica*, 7, 235-252.
- Hausen, H. 1956. Contributions to the geology of Tenerife. *Societas Scientiarum Fennica Commentations Physico Mathematica*, 18, 254 pp.

- Hernández-Pacheco, A. & Ibarrola, E. 1973. Geochemical variation trends between the different Canary Islands in relation to their geological position. *Lithos*, 6, 389-402.
- Huertas, M. J., Ancochea, E., Cantagrel, J. M., Coello, J., Fuster, J. M. & Ibarrola, E. 1994. Un episodio volcánico pre-Cañadas en la Isla de Tenerife. *Geogaceta*, 15, 113-116.
- Ibarrola, E. 1967. Sobre el hallazgo de sienitas nefelínicas en Tenerife (Islas Canarias). *Estudios Geológicos*, 23, 215-222.
- Ibarrola, E. 1969. Variation trends in basaltic rocks of the Canary Islands. *Bulletin of Volcanology*, 33, 729-777.
- Ibarrola, E. 1970. Variabilidad de los magmas basálticos en las Canarias orientales y centrales. *Estudios Geológicos*, 26, 337-399.
- Ibarrola, E., Ancochea, E., Fúster, J. M., Cantagrel, J. M., Coello, J., Snelling, N. J. y Huertas, M. J. 1993. Cronoestratigrafía del Macizo de Tigaiga; evolución de un sector del Edificio Cañadas (Tenerife, Islas Canarias). *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural, Sección de Geología*, 88, 57-72.
- IGME 1997-1999. Análisis químicos de rocas volcánicas de realizados para el proyecto de cartografía geológica a escala 1:100.000 de la isla de Tenerife (MAGNA).
- Jeremine, E. 1930. Composition chimique et mineralogique de la roche du Pico de Teide. *Bulletin de la Societe Francaise Mineralogie et Cristalographie*, 53, 210-215.
- Kunzli, D.E. 1911. Petrographische resultate von einer Teneriffareise. *Mitteilugen der Naturforschenden Gesellschaft in Solothurn, Heft IV, (Bericht XVI), Solothurn*. 1907-1911.
- Martí, J., Mitjavila, J. & Araña, V. 1994. Stratigraphy, structure and geochronology of the Las Cañadas Caldera (Tenerife, Canary Islands). *Geological Magazine*, 131, 715-727.
- Martí, J., Mitjavila, A., Barrachina, A. y Araña, V. 1989. El edificio volcánico de Diego Hernández. En: Los volcanes y la Caldera del Parque Nacional del Teide (Tenerife, Islas Canarias). Araña, V. y Coello, J. (Eds). *Publicaciones de Icona, Serie Técnica*, 7, 201-226.
- Mitjavila, J. M. 1990. *Aplicació de techniques de geoquímica isotópica i de geocronología a l'Edifici de Diego Hernández i la seva relació amb La Caldera de Las Cañadas (Tenerife)*. Universidad de Barcelona, Departamento de Geoquímica, Petrología y Prospección Geológica. Tesis doctoral.
- Mullen, E. D. 1983. MnO-TiO₂-P₂O₅: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis. *Earth and Planetary Science Letters*, 62, 53-62.
- Nakamura, N. 1974. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 38, 757-775.
- Neumann, E. R., Wulff-Pedersen, E., Simonsen, S. L., Pearson, N. J., Martí, J. & Mitjavila, J. 1999. Evidence for fractional crystallisation of periodically refilled magma chambers in Tenerife, Canary Islands. *Journal of Petrology*, 40, 1089-1123.
- Paradas, A. y Fernández Santín, S. (1984). Estudio vulcanológico y geoquímico del Maar de La Caldera del Rey. Tenerife (Canarias). *Estudios Geológicos*, 40, 285-313.
- Pliengo, D. 1972. *Estudio petrológico de los basaltos del Macizo de Anaga, Tenerife (Canarias)*. Universidad Complutense de Madrid, Departamento de Petrología, Facultad de Geología. Tesis de licenciatura, 55 pp.
- Preiswerk, H. 1909. Sodalittrachyt von Pico de Teide. *Centralblatt fur Mineralogie*, 13, 393-396.
- Ridley, W. J. 1970. The petrology of the Las Cañadas Volcanoes, Tenerife, Canary Islands. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 26, 124-160.
- Roeser, H. A., Hinz, K. & Plaumann, S. 1971. Continental margin structure in the Canaries. *Institute of Geological Sciences Report, I.C.S.U./S.C.O.R.*, 70/16, 27-36.
- Schminke, H. U. & Swanson, D. A. 1967. Laminar viscous flowage structures in ash-flow tuffs from Gran Canaria, Canary Islands. *Journal of Geology*, 75, 641-664.
- Scott, P. W. 1976. Crystallization trends of piroxenes from the alkaline volcanic rocks of Tenerife, Canary Islands. *Mineralogical Magazine*, 40, 805-816.
- Smulikowski, K. 1937. Sur l'anorthose du Pico de Teide. *Archiwum Mineralogiczne, Wydawnictwo Geologiczne. Warsaw, Poland*, 13.
- Smulikowski, K., Polansky, A. & Tomkiewick, M. (1945). Contribution a la petrographie des Illes Canaries. *Archiwum Mineralogiczne, Wydawnictwo Geologiczne. Warsaw, Poland*, 15, 157-145.
- Solana, M. C. 1998. *Evaluación de la peligrosidad volcánica en Tenerife a partir de la reconstrucción de cuatro erupciones históricas*. Universidad Complutense de Madrid, Departamento de Geodinámica, Facultad de Geología. Tesis doctoral, 257pp.
- Sun, S. S. & McDonough, W. F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders A.D. & Norry M.J. (eds.), *Magmatism in ocean basins. Geological Society of London, Special Publication*, 42, 313-345.
- Wolff, J. A. 1984. Variation in Nb/Ta during differentiation of phonolitic magma, Tenerife, Canary Islands. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48, 1345-1348.
- Wolff, J. A. 1985. Zonation, mixing and eruption of silica-undersaturated alkaline magma: a case study from Tenerife, Canary Islands. *Geological Magazine*, 122, 623-640.
- Wolff, J. A. 1987. Crystallisation of nepheline syenite in a sub-volcanic magma system: Tenerife, Canary Islands. *Lithos*, 20, 207-223.
- Wolff, J. A. & Storey, M. 1984. Zoning in highly alkaline magma bodies. *Geological Magazine*, 121, 563-575.

Wolff, J. A. & Storey, M. 1983. The volatile component of some pumice-forming alkaline magmas from the Azores and Canary Islands. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 82, 66-74.

Wolff, J. A. & Toney, J. B. 1993. Trapped liquid from a nepheline syenite: a re-evaluation of Na-, Zr-, F- rich interstitial glass in a xenolith from Tenerife, Canary Islands. *Lithos*, 29, 285-293.

Original recibido: Septiembre 2000.
original aceptado: Diciembre 2000.