

Tomo 1. Capítulo 4

Rocas volcánicas del Teide

**E. Rodríguez Badiola¹, J. C. Carracedo²,
F. J. Pérez Torrado³, J. Sergio Socorro⁴**

¹Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, Madrid

²Estación Volcanológica de Canarias, CSIC, La Laguna, Tenerife

³Dpto. Física-Geología, ULPGC, Las Palmas de Gran Canaria

⁴Museo de Ciencias Naturales, OAMC, Cabildo de Tenerife

4.1 Rocas volcánicas, ¿qué son y por qué evolucionan?

Introducción

El aspecto de las rocas volcánicas en el campo

Contenido petrográfico

Contenido geoquímico

Fichas de conceptos básicos

4.2 Petrografía y geoquímica del Teide y las dorsales NW y NE

Erupciones históricas

Erupciones del *Rift* Noroeste

Erupciones del *Rift* Noreste

El Edificio Central

4.1 Rocas volcánicas, ¿qué son y por qué evolucionan?

Introducción

Las cuestiones relacionadas con la composición química-mineralógica de las rocas volcánicas pueden parecer destinadas sólo a especialistas. Sin embargo, son cruciales para comprender aspectos de interés general, como el color y morfología de esas rocas volcánicas, sus diferentes formas de emisión, lo que incluye el tipo de mecanismo eruptivo, sus peligros potenciales, etc.

Ello es debido a que la composición química de un magma condiciona, en mayor o menor medida, el resto de sus parámetros físico-químicos (Fig 4.1).

Así, un magma básico (con contenidos en SiO₂ entre 45-52%) presenta bajos valores de viscosidad y escasa solubilidad de gases (esencialmente vapor de agua). De esta forma, en el transcurso de una erupción, los gases pueden separarse fácilmente de la fase líquida (fundida) sin apenas fragmentarla y ésta surge a la superficie en forma de lavas.

Por el contrario, un magma ácido (> 63% en SiO₂) tiene parámetros inversos: elevada viscosidad y altos contenidos en gases disueltos, lo que suele desembocar en erupciones altamente explosivas donde el magma surge fragmentado en inmensas columnas de gases y piroclastos. Incluso si un magma ácido desgasificado desencadena una erupción efusiva, surge en forma de domos o lavas de gran potencia (espesor) y escaso recorrido, en contraste con las lavas de los magmas básicos, menos potentes pero capaces de cubrir mayores extensiones del terreno.

En cuanto al color de las rocas, en general, los colores más claros (como los de las fonolitas) indican un mayor contenido en sílice y álcalis (sodio y potasio), mientras que los colores de las lavas más oscuras (como los basaltos) indican un predominio de minerales ricos en hierro y magnesio. Los materiales piroclásticos conservan esa relación, siendo oscuros el lapilli basáltico y de color claro la pómez fonolítica. En casos particulares, sin embargo, el color depende

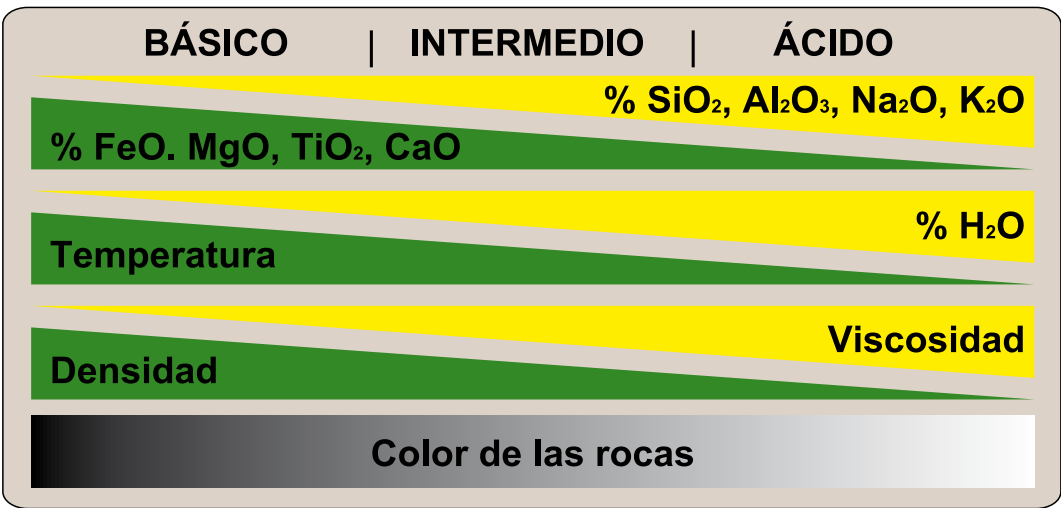


Figura 4.1 Correspondencia entre la composición química de las rocas volcánicas y su color, densidad, viscosidad y temperatura de emisión.

de las condiciones de enfriamiento de la lava. Si es excesivamente rápido tiende a formar vidrios que refractan la luz dando colores muy oscuros incluso en rocas fonolíticas, como las “Lavas Negras” de la última erupción del Teide que son en realidad fonolitas vítreas (obsidiánicas).

Por último, los colores iniciales o primarios pueden verse afectados por procesos posteriores o secundarios, como oxidación (hacia colores rojizos), alteración (ocres y amarillos), teñido por fluidos hidrotermales (azules y verdes, como en Los Azulejos), etc.

Vocabulario básico de petrología

Ácidas, rocas (sinónimo de félsico):

Se aplica a las rocas magmáticas que contienen un 66% o más en peso de SiO_2 y son pobres en MgO , Fe_2O_3 y CaO (15% o menos). Ejemplos: traquitas y fonolitas.

Afanítica, textura:

Se aplica a las rocas magmáticas que no presentan cristales reconocibles a simple vista.

Álcalis:

Son óxidos, hidróxidos y carbonatos de los metales alcalinos. En el ámbito de las rocas magmáticas, los principales son los óxidos de sodio (Na_2O) y potasio (K_2O).

Básicas, rocas (sinónimo de rocas máficas):

Ver máfico, intermedias y ácidas. Roca magmática pobre en SiO_2 (45 a 52% en peso), y rica en MgO , Fe_2O_3 y CaO (de 20 a 35%). Ejemplos: basaltos y basanitas.

Elementos compatibles:

Elementos químicos con facilidad para entrar en la red cristalina de un mineral, por lo que van desapareciendo de la parte líquida de un magma.

Elementos incompatibles:

Elementos químicos con dificultad para entrar en la red cristalina de un mineral, por lo que se concentran en la parte líquida de un magma.

Evolucionadas, lavas, rocas:

Se trata de lavas que, principalmente por cristalización fraccionada, se han hecho más ricas en sílice que el magma original del que derivan.

Félsico:

Ver ácida.

Intermedia, lava, roca:

Rocas magmáticas que contienen del 52 al 66% en peso de SiO_2 . Ejemplo: fonotefrita.

Máfico:

Equivale a básico. La palabra procede de magnesio y de hierro (silicatos magnésico-férricos). Se aplica a las rocas magmáticas que contienen minerales ricos en Fe y Mg (minerales férricos).

Microcristalino:

Término que se aplica a las rocas o texturas con cristales individuales que sólo pueden ser observados con el microscopio.

Paragénesis:

En las rocas magmáticas, este término designa las asociaciones de minerales que son estables conjuntamente bajo ciertas condiciones de presión y temperatura, y caracterizan la composición química de las rocas.

Porfídica:

Se aplica a las rocas magmáticas cuya textura presenta cristales de gran tamaño dispersos en una pasta sin cristales visibles.

Silicato:

Minerales caracterizados por la estructura tetraédrica elemental $(\text{SiO}_4)^{4-}$ con un átomo de silicio (Si) en el centro y átomos de oxígeno en los cuatro vértices. Es la clase mineral más importante puesto que está presente en más del 90% de las rocas de la corteza y manto terrestre.

Textura:

Se refiere a las relaciones geométricas (forma, disposición, empaquetamiento) de los diferentes elementos constituyentes de una roca (minerales, fósiles, etc.).

El aspecto de las rocas volcánicas en el campo

Si nos limitamos a ver una roca en muestra de mano, es decir, a simple vista o, todo lo más, con ayuda de una lupa, es bastante difícil reconocer los diferentes tipos de rocas, especialmente si no presentan cristales visibles (fenocristales, del griego pheno= mostrar) que puedan ayudar a su clasificación. Las rocas afaníticas (afanítico: del griego aphanés, oculto: sin cristales visibles) requieren su observación bajo el microscopio petrográfico, para identificar los minerales presentes y sus relaciones texturales, así como análisis químicos con los que se puedan clasificar sin ambigüedad.



Basanita. Volcán del Chinyero



Basanita. Volcán de Garachico



Tefrifonolita. Volcán de Chahorra



Basanita. Volcán de Fasnía



Basanita-tefrita. Volcán Boca Cangrejo

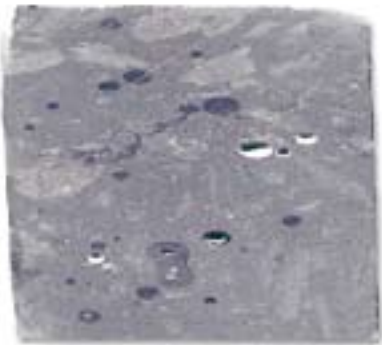
Figura 4.2 Muestras de mano en sección, sin tratar. Las de esta página corresponden a los volcanes históricos de Tenerife.



Fonolita. Montaña de las Lajas



Fonolita. Montaña Blanca



Basalto plagioclásico. Volcán Pico Viejo



Fonolita. Volcán Pico Viejo



Fonolita obsidiánica.
Última erupción del Teide



Basalto micro-plagioclásico.
Teide antiguo



Basalto olivínico-piroxénico.
Montaña del Estrecho



Basanita afírica.
Grupo Montaña Cruz



Contenido petrográfico

El análisis petrográfico se emplea actualmente, de forma extensiva, en diferentes ámbitos geológicos y geotécnicos debido a que su aplicación es sencilla y supone bajos costes de utilización. Realmente sólo se requiere preparar, a partir de un fragmento de roca como los anteriormente presentados, una lámina en sección delgada que pueda ser observada mediante un microscopio óptico petrográfico que dispone de luz polarizada.

En el caso de las rocas volcánicas, la información que se trata de obtener del análisis petrográfico de cada muestra, se dirige principalmente a la identificación de las fases minerales que constituyen la paragénesis de la roca y sus relaciones texturales con la matriz de la roca.

Su mineralogía es bien conocida, ya que es bastante restringida, minerales máficos como olivino, piroxenos de tipo clinopiroxeno (augita, augita sódica y egirina), anfíboles (hornblenda y kaersutita), micas (biotitas),

opacos (op), en general óxidos como Ti-magnetita, y minerales felsíticos de tipo feldespato calcoalcalino (serie de las plagioclasas) y feldespatos potásicos alcalinos (anortoclasa y sanidina). Mineralogía que en general está asociada a cada tipo de volcanismo (ver Tabla 4.1) y que se presenta asimismo en las diferentes Tablas que acompañan a los diversos episodios volcánicos del Edificio Central y de las Dorsales.

En estas Tablas se referencian las muestras analizadas, de acuerdo con su secuencia temporal dentro de cada unidad, en las que se sintetizan sus características texturales más significativas, su paragénesis mineral (conjunto de minerales estables que se forman bajo un mismo intervalo de presión y temperatura) y su clasificación geoquímica.

El análisis petrográfico ha permitido agrupar las muestras por sus tipologías dentro de cada unidad, y seleccionarlas para posteriores determinaciones analíticas, que permitirán su precisa clasificación y el establecimiento de sus variaciones composicionales.

LITOLOGÍA	TIPO	Mineralogía (significativa)
BASALTOS - BASANITAS	BAS OL-CPX	ol (olivino) - cpx (augitas) - ti-mt (óxidosTi-magnetita)
	BAS CPX-OL-PLAG	cpx (augita) - ol (olivino) - plag (plagioclasa) - op (opacos)
BASALTOS PLAGIOCLÁSICOS	BAS PLAG	plag (fen. plagioclasa) - cpx (augita) - ol (olivino) - op (opacos)
BASALTOS AFANÍTICOS	BASANITA-TEFRITA-LAVAS INTERMEDIAS	plag (plagioclasa mesocristales) - cpx (augita sódica microcristales) - anf-oxid (anfíbol oxidados) - op (opacos)
TEFRIFONOLITAS	TEFRIFONOLITAS-LAVAS EVOLUCIONADAS	plag (plagioclasa) - felds (feldespatos intermedios) - cpx (augita sódica) - anf (anfíbol) - op (opacos)
FONOTEFRITAS	FONOLITAS MÁFICAS	felds (feldespatos intermedios) - cpx (egirina) - anf (anfíbol) - op (opacos)
FONOLITAS	FONOLITAS FELSÍTICAS	san (sandina) - feld-alc (anortoclasa) - cpx (egirina) - anf (anfíbol) - bt (biotita) - foides (feldespatoides)

◀ Página anterior
Figura 4.3 Aspecto de los flujos obsidiánicos en las Lavas Negras del Teide (ver figura 4.26). El espesor de la franja bandeada es de unos 11 cm; las hojas de pino canario sirven de escala (Foto S. Socorro).

Tabla 4.1 Resumen de los diferentes tipos litológicos y paragénesis mineral del volcanismo asociado al Teide-Pico Viejo y Dorsales NE y NW.

Contenido geoquímico

Los elementos químicos que componen una roca magmática se clasifican en mayores y menores (elementos traza). Los primeros suponen, en general, más del 90% de la roca y su abundancia se expresa en forma de tanto por ciento en peso de óxido (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 y LOI (pérdidas por ignición). La de los elementos menores o trazas se expresa en partes por millón ($10.000 \text{ ppm} = 1\%$) y aunque dada su escasa abundancia podría parecer que carecen de importancia, es precisamente esa escasa abundancia la que los convierte en los mejores aliados para reconocer los procesos de diferenciación magmática, ya que simplemente marcan sus efectos.

Por el contrario, los elementos mayores son causa y efecto (juez y parte) de la diferenciación magmática. Por ejemplo, para que cristalice el mineral olivino $[\text{SiO}_4(\text{Mg},\text{Fe})_2]$ se necesita una alta proporción de hierro (Fe) y magnesio (Mg) en el líquido magmático. Pero esta misma cristalización hace que la concentración de estos elementos químicos decrezca fuertemente en los líquidos magmáticos residuales, en los que, por consiguiente, no pueden seguir formándose más olivinos y comenzarán entonces a cristalizar otros minerales diferentes. Sin embargo, elementos

traza como níquel (Ni), cromo (Cr) y cobalto (Co) que entran en la red cristalina de los olivinos, marcan perfectamente la desaparición de este mineral cristalizando en el seno de un magma, pero estos elementos no son responsables de dicha desaparición.

Desde el mismo nacimiento de un magma —originado por procesos de fusión parcial en el manto superior (a profundidades inferiores a los 250 km), en relación con una anomalía térmica, en nuestro caso, el “Punto Caliente de Canarias”— hasta su ascenso a la superficie y su emplazamiento en cámaras magmáticas, su composición química puede ir variando, lo que conllevará cambios en sus propiedades físico-químicas, así como la formación de diferentes asociaciones minerales estables (paragénesis) que darán lugar a los distintos tipos de rocas volcánicas.

Simplificando, una cámara magmática sería como una “olla a presión” (Fig. 4.4 A) en donde las variaciones de temperatura y presión determinan los procesos de fusión/cristalización de cada asociación mineral. Así, los primeros cristales que se forman, a elevada temperatura, pueden después cambiar de composición o incluso disolverse de nuevo, siguiendo una serie de reacciones sucesivas, a medida que disminuye la temperatura, con una serie de pautas generales conocida como Serie de Bowen (Fig. 4.4 B).

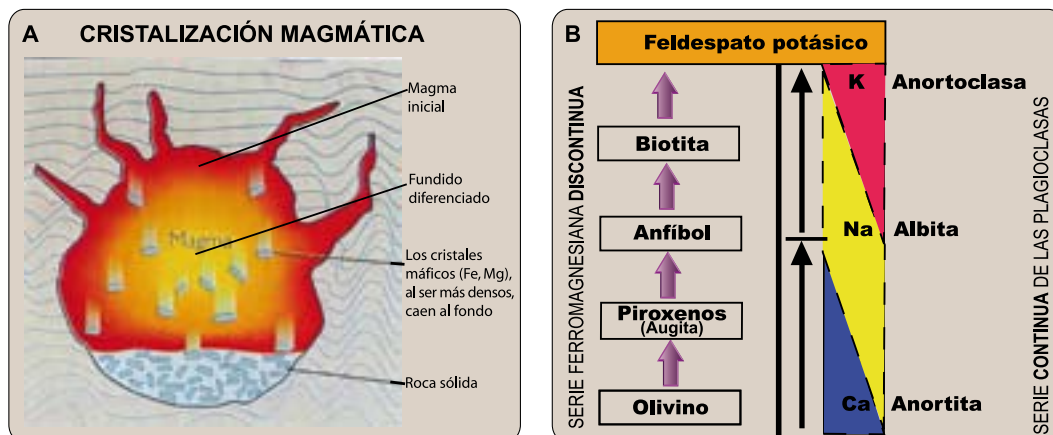


Figura 4.4 A. Esquema de cristalización en una cámara magmática. B. Secuencia teórica de cristalización de minerales de acuerdo con las series de reacción de Bowen.

En la evolución de los magmas la presión y la temperatura son condicionantes en la formación y cristalización de fases minerales. Así, por ejemplo, los minerales máficos forman parte de la serie de reacción discontinua que se inicia con el olivino, el primero en cristalizar a gran temperatura, seguido por los piroxenos y, a menor temperatura, por los anfíboles y las biotitas (fases cristalinas más tardías que incluyen grupos OH en su estructura). Por otro lado, los feldespatos constituyen la serie de reacción continua, con la cristalización inicial de plagioclasas cálcicas, cuya composición pasa por sucesivos cambios con la inclusión de sodio en su estructura.

Estos fenómenos de cristalización y segregación de minerales juegan un papel muy importante, ya que son responsables de los cambios de composición de los magmas, mecanismos conocidos como cristalización fraccionada, uno de los procesos más extendido de diferenciación magmática.

De manera simple, el mecanismo se sintetiza en la figura 4.5 que representa, de forma teórica, los procesos de diferenciación por cristalización a partir de un magma basáltico primario. En él se contemplan las principales

tipologías de magmas, identificadas a partir de las diferentes rocas volcánicas que constituyen los materiales lávicos del Teide, y en las que se señalan las fases minerales (máficas-felsíticas) asociadas a los mismos, en consonancia con las condiciones de temperatura. Estos magmas, sometidos a diversos y continuados procesos de diferenciación, por segregación de fases minerales y decremento de la temperatura, originan una fase fundida, que cuando solidifica, su composición es diferente del magma inicial

En estos procesos de diferenciación magmática, los elementos químicos presentarán o bien un comportamiento denominado incompatible (tendencia a estar en la fase líquida) o compatible (tendencia a alojarse en las redes cristalinas de los minerales). Así, en los procesos de fusión parcial los elementos incompatibles suelen irse a la fase líquida generada, mientras que los compatibles quedarán retenidos en la fracción sólida refractaria que no funde. Por el contrario, en los procesos de cristalización fraccionada, los elementos incompatibles van sucesivamente enriqueciendo los líquidos residuales, mientras que los compatibles se incorporan con preferencia en

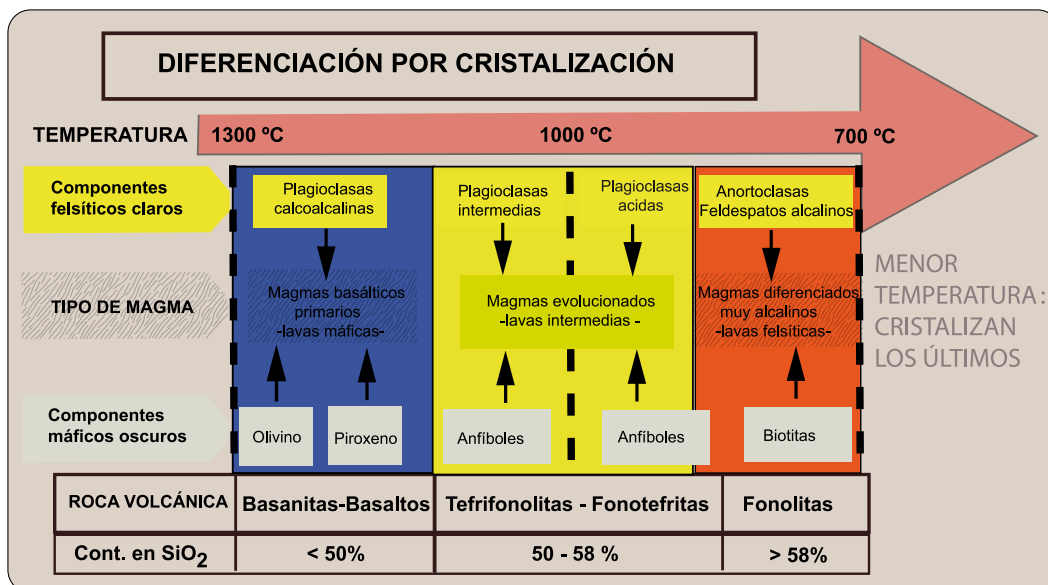


Figura 4.5 Modelo de generación de diferentes tipos de magmas, a partir de un magma basáltico primario, mediante procesos de cristalización fraccionada.

los primeros cristales que se forman.

Todo este juego de variaciones químicas en los magmas se suele plasmar en diferentes tipos de gráficas: binarias, ternarias, spider, etc., que facilitan la lectura y comprensión de dichas variaciones. De todas ellas, en este capítulo se usan los tipos más básicos y de aplicación inmediata: los diagramas clasificatorios TAS (del inglés Total Alkali vs. Silica).

La clasificación de las rocas volcánicas se efectúa precisamente a partir de las concentraciones en elementos mayoritarios, mediante la aplicación de estos diagramas TAS (Fig. 4.6), que relacionan los contenidos totales en álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) frente a los de la sílice (SiO_2) que presentan las

rocas volcánicas.

En estos diagramas TAS se distinguen dos áreas, una correspondiente a magmas con bajas concentraciones de álcalis (en verde en la figura), las Series Subalcalinas, que comprenden la Serie Tholeítica, típica de dorsales oceánicas, y la Calcoalcalina, típica de zonas de subducción. La otra, con altas concentraciones de álcalis, es la Serie Alcalina (en azul), típica de islas oceánicas de intraplaca, como Canarias y Hawaii. Esta alta concentración en álcalis impide la cristalización final del cuarzo, uno de los minerales mas abundantes de la corteza terrestre, y en cambio lo hacen los feldespatoides (haüyna, nefelina, etc), minerales muy raros y exclusivos de estos magmas.

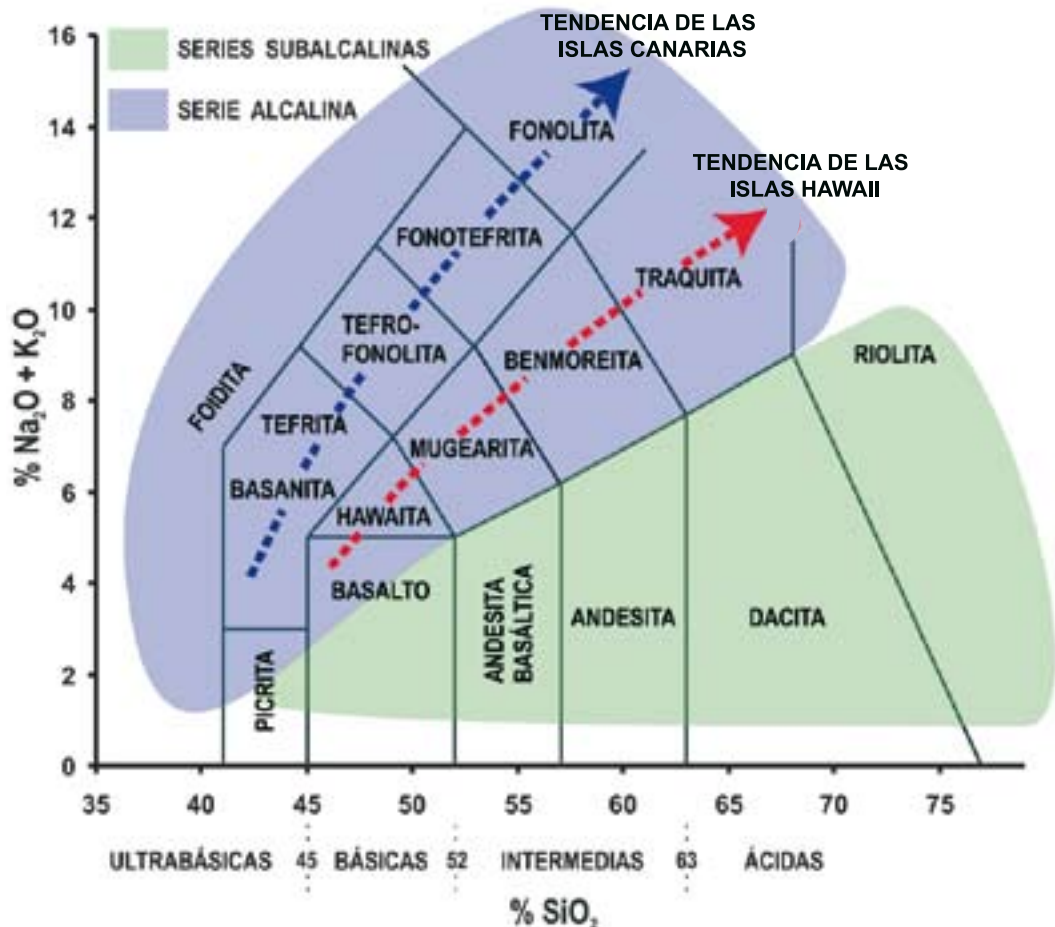


Figura 4.6 Diagrama TAS (del inglés Total Alkali vs. Silica), que relaciona los contenidos totales en álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$), frente a los de sílice (SiO_2) que presentan las rocas volcánicas, y que se utilizan para clasificar dichas rocas.

En cuanto a los diagramas *spider* (denominados así por su parecido con una tela de araña), suelen construirse ordenando los elementos químicos, de izquierda a derecha, en el eje de abscisas, por un grado de incompatibilidad decreciente, incluyendo a los elementos químicos de números atómicos comprendidos entre el 57 (Lantano) y el 71 (Lutecio), conocidos como tierras raras (REE), de los cuales 14 son naturales.

Las concentraciones de estos elementos en las rocas (en el eje de ordenadas) se expresan normalizadas en relación con las que existen en los meteoritos (condritas), que tienen una composición similar a la del sistema solar primigenio y, por lo tanto, forman los materiales primitivos de la Tierra.

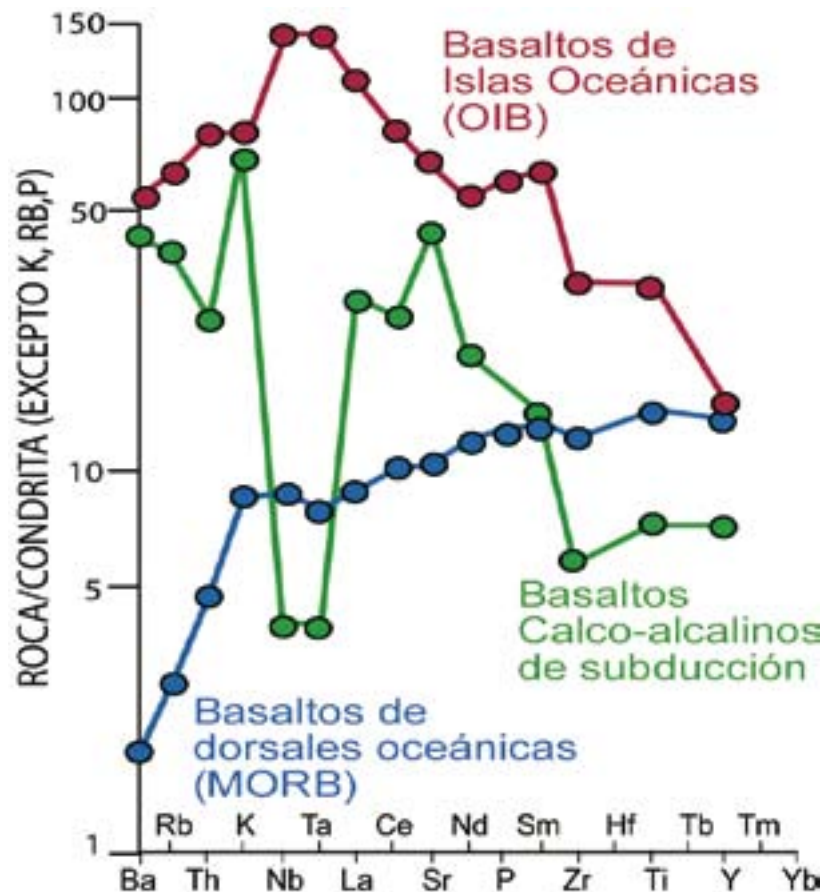
Como puede observarse en la figura 4.7, los basaltos de islas oceánicas intraplaca (Oceanic Island Basalts, OIB) muestran una pauta descendente, distinguible de la ascendente marcada por los basaltos de las dorsales oceánicas (Mid-Oceanic Ridge Basalts, MORB) o en diente de sierra de los basaltos de zonas de subducción. Estos diagramas aportan asimismo información muy valiosa sobre los procesos de evolución de los magmas al emplazarse a profundidades diferentes a las de su origen y residir durante largos periodos de tiempo.

En realidad, la generación de un magma requiere tiempos enormes en comparación con la escala humana (miles a cientos de miles de años). No obstante, la etapa del fenómeno volcánico, que apreciamos directamente con nuestros sentidos, ocurre con mucha rapidez frente a la lentitud de la mayoría de los procesos geológicos. Pero al igual que un magma “no se extingue totalmente” cuando finaliza la primera fase eruptiva, la actividad volcánica puede seguir durante miles de años, de forma que cada vez que se origina una erupción nos proporciona una nueva muestra de materiales volcánicos, cuyo es-

tudio secuencial nos permite establecer la evolución y procesos que han afectado al magma que alimenta a los volcanes.

En el caso del Edificio Central y de sus dorsales, los estudios de petrografía y geoquímica se han hecho extensivos a las diferentes “Rocas Volcánicas” procedentes de una larga historia eruptiva, desde el nacimiento del Teide y de sus dorsales activas hasta las épocas más recientes de las erupciones históricas. Nuestro objetivo es sintetizar, en la segunda parte del capítulo, las características litológicas de cada episodio volcánico, presentar sus diversidades petrográficas y establecer, mediante análisis geoquímicos, las características y tipología de los magmas asociados, y en lo posible establecer el estadio evolutivo en que se encuentran.

Figura 4.7 Diagramas spider típicos de los basaltos de islas oceánicas (OIB) como los propios del sistema volcánico Rifts-Teide en Tenerife, y los de otros ambientes geodinámicos como zonas de subducción o dorsales oceánicas (MORB).



Fundamentos del microscopio petrográfico

El microscopio utilizado para observar las rocas posee la misma estructura que uno convencional, pero con dos diferencias:

- la plataforma porta-muestras es giratoria

• lleva 2 filtros polarizadores, uno por debajo de la muestra y otro por encima. La finalidad y funcionamiento de esos elementos se explica en los esquemas.

Con la plataforma giratoria se consi-

guen diversos comportamientos según cada mineral o grupo de minerales. Un cristal concreto puede cambiar, a medida que rotamos, desde el negro, hasta una secuencia de colores característica.

Filtro polarizador (un prisma de Nicol, por ejemplo):
Su estructura molecular deja pasar la luz en un sólo plano de vibración

Nícoles paralelos

Con un sólo filtro, o 2, con sus ejes paralelos :
Pasa la luz en un sólo plano de vibración

Nícoles cruzados

Los 2 filtros, con sus ejes a 90° :
NO pasa la luz

Nícoles cruzados con cristales minerales en medio

Puede pasar luz según que mineral sea y la orientación del cristal

Polarizador 1°

Muestra

Polarizador 2°

Algunos minerales pueden desdoblar la luz polarizada y cambiar su dirección de polarización

Para observar las rocas se ha de rebajar la muestra hasta un espesor de unos 0,03 mm, lo que se conoce como lámina delgada. Con ese grosor, la mayoría de los minerales (silicatos, carbonatos, sulfatos, etc) deja pasar la luz; son los minerales transparentes. Por el contrario, los opacos (sulfuros y óxidos) no dejan pasar la luz.

Además, en el caso de los minerales transparentes, verificando su comportamiento según se utilicen Nícoles Paralelos o Cruzados, y los cambios de color observados al rotar la plataforma giratoria, se puede llegar a identificarlos y clasificarlos.

Nícoles paralelos

Nícoles cruzados

Los ciclos magmáticos

La naturaleza tarda cientos de miles de años para que se inicien y progresen los procesos endógenos de fusión en el manto, responsables de la generación de los magmas. Estos procesos de fusión, complejos y parciales, requieren unas determinadas condiciones de presión y temperatura que permitan que se fundan los minerales. Los líquidos resultantes, en forma de magmas, ascienden a favor de fisuras y directrices estructurales preferentes,

emplazándose cerca de la superficie, donde forman las cámaras mágmáticas que alimentan los volcanes. Los magmas cambian de composición durante el ascenso y, de forma más significativa, en las propias cámaras magmáticas, que funcionan como "ollas a presión" en las que son frecuentes los procesos de cristalización. La fase final del magmatismo la constituyen los procesos extrusivos con típicos episodios volcánicos

efusivos y explosivos. La actividad volcánica en Canarias proviene de la fusión parcial del manto en relación con una anomalía térmica conocida como "punto caliente", responsable de un magmatismo caracterizado por un volcanismo basáltico primario típicamente alcalino. Los cambios composicionales provienen de la evolución o diferenciación magmática que, en conjunto, dan lugar a un ciclo volcánico.

La cocina del geoquímico

En este apartado se trata de plantear la magnitud del problema que supone desentrañar los procesos físico-químicos que dan lugar a los volcanes y a sus correspondientes rocas. Si un experto cocinero japonés se propusiera estudiar las paellas de España, partiendo de lo que le sirven en la mesa, sin ver la paellera ni el proceso de cocinarla, bien podría inspirarse en cómo los geoquímicos resuelven su particular y difícil problema mediante gráficos que facilitan la interpretación de los datos.

La complejidad de los grupos de rocas volcánicas, generadas por los ciclos volcánicos, requiere extensos muestreos de campo, para la obtención de rocas representativas de dichos ciclos. Con esto, los petrólogos identifican los diferentes materiales volcánicos, en base a su específica composición mineralógica, por ejemplo, la típica en roca basáltica (olivinos, augitas, plagioclasas) como las lavas de Montañetas Negras, o en roca fonolítica (anfíboles, egrina-augitas sódicas, anortoclasas) en los domos-colada de Montaña de las Lajas.

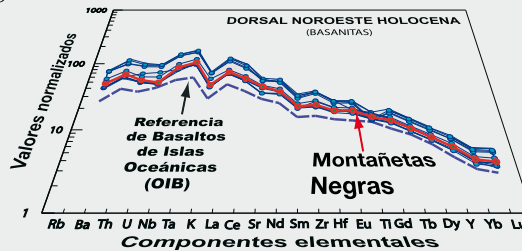
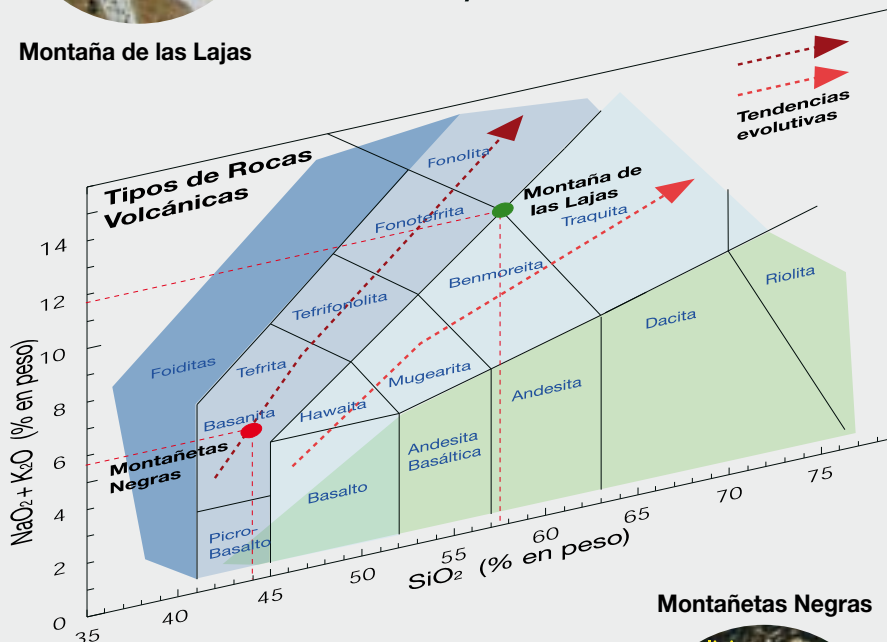
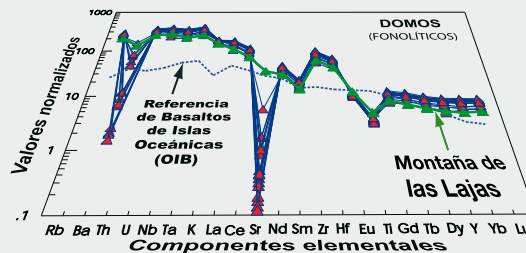
Pero ello no es suficiente, porque para establecer una clasificación precisa y su grado de diferenciación, los geoquímicos requieren análisis de elementos sobre polvo de roca total, cuyos resultados se representan mediante diferentes diagramas, como los clasificatorios TAS y los evolutivos de tipo *spider*.

La observación de los diagramas TAS (Total en Alcalis respecto a la Sílice) permite, de forma sencilla, obtener la clasificación de las muestras en relación con las áreas del gráfico que delimitan todas las rocas volcánicas conocidas.

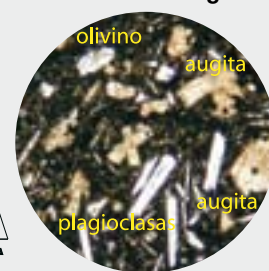
Los diagramas *spider* son más complejos, ya que presentan los principales componentes elementales en relación con sus valores respecto al manto primitivo. Pero sus resultados gráficos permiten establecer rápidamente su grado de diferenciación. Así, por ejemplo, los materiales basáltico-basaníticos (como Montañetas Negras) presentan tendencias semejantes a los típicos



Montaña de las Lajas



Montañetas Negras



Basaltos de las Islas Oceánicas (OIB), mientras que los materiales fonolíticos (como Montaña de las Lajas) presentan significativas desviaciones composicionales, respecto a los valores de referencia OIB, como resultado final de importantes

procesos de diferenciación.

Estas técnicas de estudio, suponen las herramientas y recetas básicas de la petrografía y geoquímica cuya aplicación concreta veremos, a continuación, en dos casos reales de Tenerife.

Geoquímica con “fundamento”

Las herramientas de las que disponen la Petrología y Geoquímica modernas son muchas y muy variadas (análisis de elementos mayores, elementos traza, isotópicos, química mineral, etc.) lo que permite llegar a conclusiones muy elaboradas incluso de la mismísima fuente de los magmas: el manto terrestre. Sin embargo, por muy sofisticadas que sean estas técnicas, nunca deben dar la espalda a las herramientas “clásicas” en Geología: cartografía de los materiales, su secuenciación espacio-temporal (estratigrafía y geocronología) y su reconocimiento bajo el microscopio petrográfico (texturas y

paragénesis minerales). De poco vale elaborar grandilocuentes conclusiones sobre el manto, las cámaras magmáticas, etc. si las muestras en las que se basan tales resultados se han tomado sin el adecuado control estratigráfico. Ese no es el caso del presente libro, donde un minucioso trabajo de campo de más de 5 años ha permitido secuenciar toda la actividad volcánica de los edificios centrales y de las dorsales y, a partir de ahí, realizar un muestreo sistemático y exhaustivo (más de 500 muestras de lavas).

Para que los datos geoquímicos puedan ser interpretados, se recurre, como ya

se ha comentado en el texto, a diferentes tipos de gráficos, unos relativamente sencillos (como el TAS) y otros algo más complejos (como los *spider*). Pero, ¿son necesarios todos estos tipos de diagramas?, ¿no suministran la misma información? La respuesta es contundente: sí y no. Es decir, todos estos tipos de diagramas son necesarios (y muchos otros, como los Harker, ternarios, sistemas isotópicos, etc.), ya que cada uno de ellos aporta información complementaria. Sirvan de ejemplos la evolución del *Rift* Noroeste o de Chío y la evolución del Teide, con sus domos periféricos, para una mejor comprensión.

El trabajo puramente geoquímico se apoya en otras técnicas de campo y laboratorio necesarias para conseguir un esquema completo del fenómeno volcánico:

A: Toma de testigos orientados de roca, mediante perforadora portátil, para paleomagnetismo y sucesivas determinaciones analíticas o petrográficas.

B: Detalle de un testigo donde se observa su mineralogía.

C: Espectroscopio de masas utilizado para las dataciones por carbono-14

D: Extracción de restos vegetales carbonizados por un flujo de lava, para la datación por carbono-14.



Fotos: F. Torrado (A y B) y J. C. Carracedo (C y D)

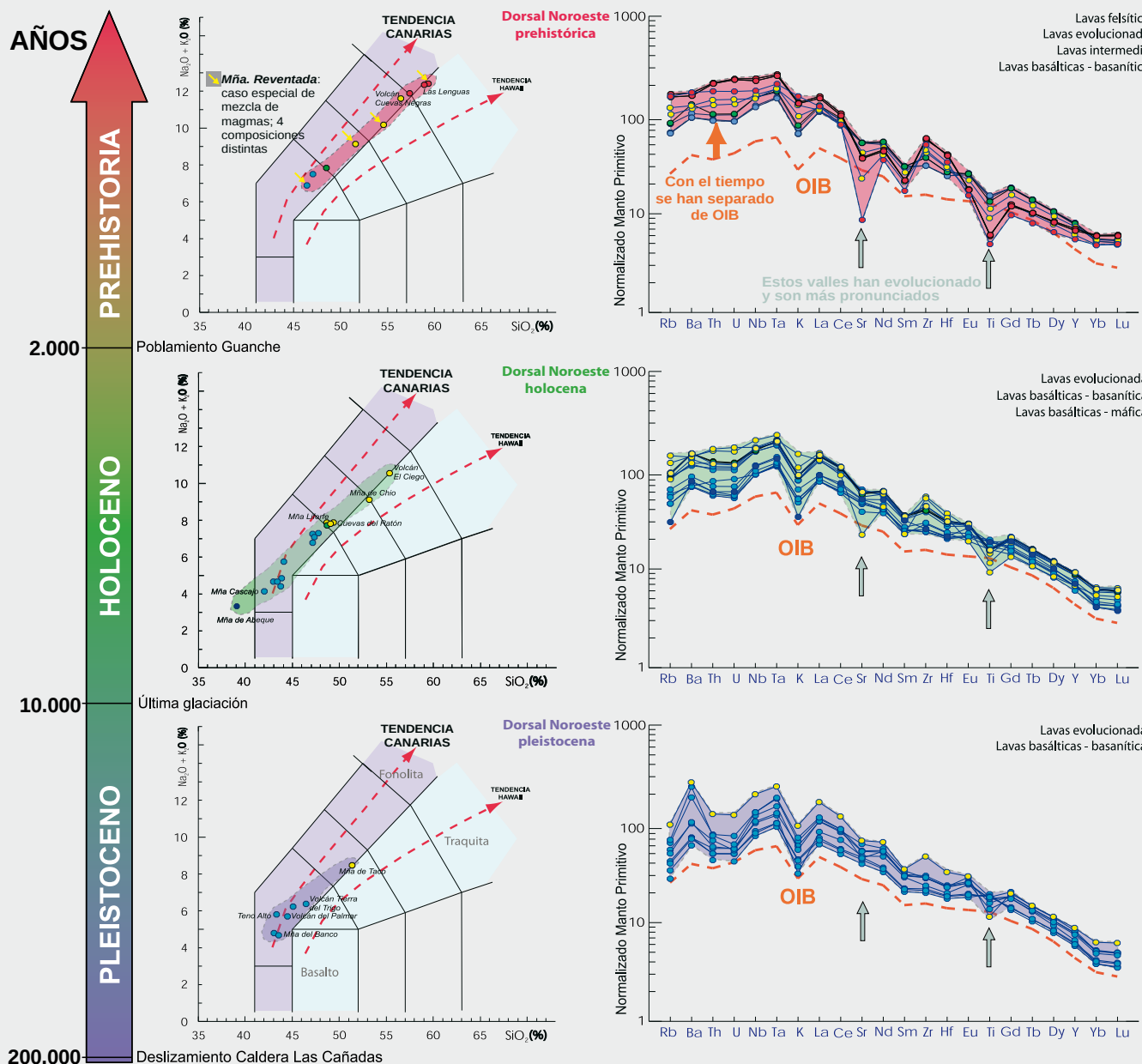
Evolución de la Dorsal Noroeste

Los diagramas TAS (columna izquierda), ponen de manifiesto que todas las muestras se proyectan en la Serie Alcalina (tendencia Canarias) y que según avanza el tiempo, se hacen más alcalinas y ricas en sílice, es decir, se diferencian a lavas más evolucionadas (aparecen puntos cada vez más arriba, hasta el área de las fonolitas), debido, sobre todo, a la cristalización fraccionada del magma y procesos de mezcla superpuestos. Los diagra-

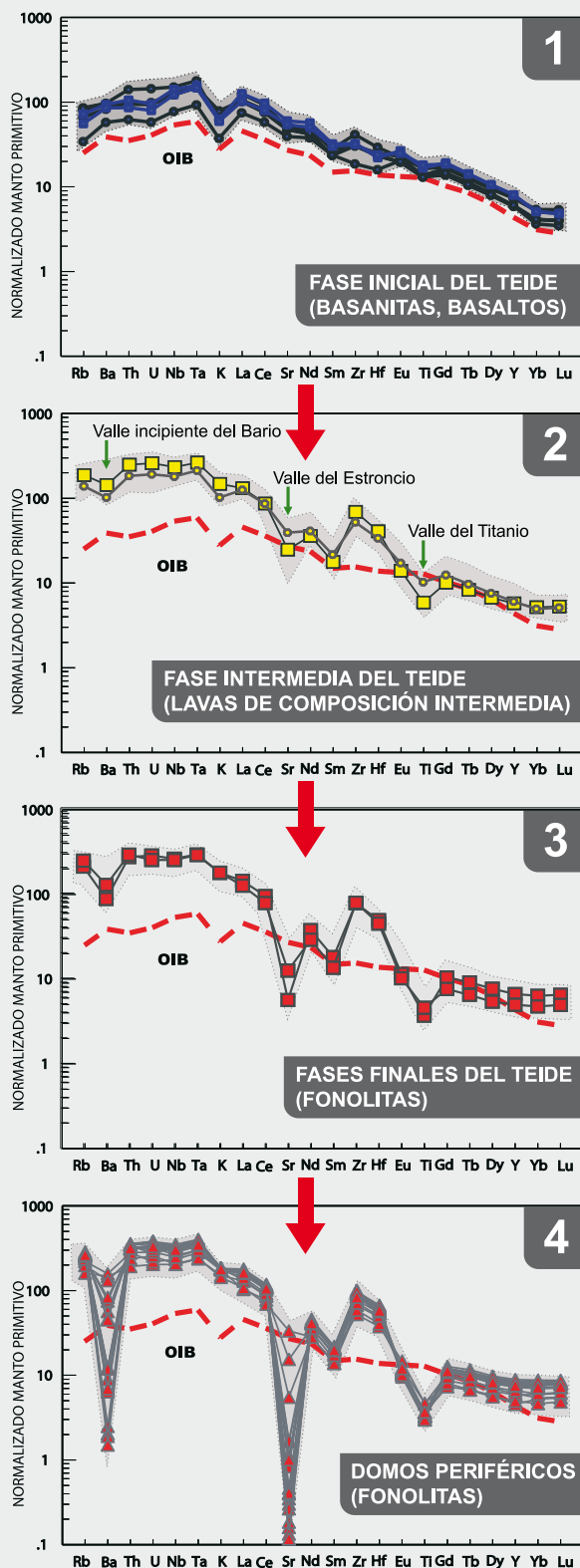
mas TAS aportan una tercera información exclusiva de ellos: dan nombre a las muestras, es decir, las clasifican (ver figura 4.6).

La tendencia descendente de los diagramas *spider* (columna derecha), indica también que todas las lavas del Rift Noroeste pertenecen a la Serie Alcalina y que con el tiempo hay una clara evolución: los conjuntos de muestras se alejan cada vez más de la línea de referencia OIB (Basaltos de Islas Oceánicas).

Además, los *spider* aportan datos sobre los minerales que van cristalizando. Así, los valles cada vez más marcados del estroncio (Sr) y titanio (Ti) [], denotan la formación y segregación progresivas de plagioclasas y óxidos, mientras que el aumento en elementos incompatibles como rubidio (Rb), bario (Ba), torio (Th), niobio (Nb) o zirconio (Zr), indican la cristalización tardía de minerales como feldespatos alcalinos, biotitas y anfíboles.



Evolución del Teide y sus domos periféricos



Hemos visto que los diagramas ayudan a establecer modelos del origen de las rocas y reconstruir así un proceso volcánico. Siempre dentro de un esquema obtenido de los datos de campo, muestras para petrografía, analítica, dataciones, etc., base indispensable para tener una aproximación real de todo el fenómeno.

El geoquímico se encuentra

con los resultados finales, lo que podríamos llamar una "paella geoquímica" (muestra de lava). Se trata de ir hacia atrás y, con la interpretación de los datos, identificar los diversos minerales, materiales y procesos. La evolución del Teide ofrece un exclusivo ejemplo que ilustra todo un ciclo volcánico, desde su nacimiento hasta sus estadios finales.

Pero, realmente, ¿qué dicen estos diagramas?

- 1 En su inicio, hace unos 200.000 años, el Teide emitió coladas que rellenaron el Valle de Icod-La Guancha. Los materiales eran basanitas y basaltos bastante primitivos, como se evidencia por sus tendencias casi paralelas a la línea de referencia de los Basaltos de Islas Oceánicas (OIB).
- 2 Posteriormente, las lavas del Teide se van haciendo más alcalinas (con mayor proporción de potasio K) y ricas en sílice, es decir, evolucionan debido, sobre todo, a la cristalización fraccionada. Ello se evidencia por la aparición de valles en el gráfico, incipiente en el bario (Ba), y marcados en el estroncio (Sr) y titanio (Ti), que manifiestan la formación y segregación progresivas de plagioclasas y óxidos.
- 3 La emisión de coladas fonolíticas supone la culminación del volcán Teide. Estos materiales lávicos son muy alcalinos (con elevado contenido en K) y enriquecidos en elementos traza incompatibles, pero, en contraposición se agudizan los valles del Ba, Sr y Ti, que se hacen más profundos. Esto señala una mayor incidencia de los procesos de cristalización fraccionada.

¿Qué significado puede deducirse para los domos periféricos?

- 4 Los valles del Ba, Sr y Ti se hacen muy marcados. Se apartan de forma progresiva, desde valores próximos a los episodios finales del Teide del gráfico anterior, hasta valores muy bajos, en particular en el Ba y Sr, indicativos de un prolongado mecanismo de segregación de feldespatos, anfíbol y biotita en los líquidos magmáticos, ya que la fracción de magma que generó los domos y domo-coladas corresponde a un episodio terminal del proceso evolutivo.

En conclusión, a partir de una "paella", como obra culminada por la naturaleza (muestra de lava), un buen "cocinero geoquímico" es capaz de reconocer los ingredientes (minerales), el orden en que se han ido añadiendo (se-

cuencia de cristalización), tiempos de cocción (edad relativa), etc. Pero, eso sí, para que la "paella geoquímica" sea exquisita debe ser cocinada, como diría un afamado cocinero, con fundamento.



Icod