

# Estratigrafía y petrología del sector noreste de sierra de Apas. Provincia del Chubut

Marcela REMESAL<sup>1</sup>, Flavia M. SALANI<sup>1</sup>, Gabriela. I. MASSAFERRO<sup>2</sup> y María E. CERREDO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CONICET-Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Ciudad Universitaria, Pabellón 2, 1428, Buenos Aires. E-Mail: remesal@gl.fcen.uba.ar

<sup>2</sup>Centro Nacional Patagónico, Boulevard Brown s/n, 9120 Puerto Madryn, Chubut.

**RESUMEN.** La sierra de Apas, ubicada entre las provincias de Río Negro y Chubut, forma parte del magmatismo de intraplaca emplazado durante el Paleógeno-Neógeno en el norte de la Patagonia extrandina. En el sector noreste se ha definido una estratigrafía integrada por: traquitas oscuras, flujos piroclásticos, traquitas claras, domos riolíticos y basaltos porfíricos y afíricos. Las traquitas oscuras, son relativamente más antiguas, tienen bajo porcentaje de fenocristales, y clasifican como traquitas- benmoreitas. Las traquitas claras son porfíricas, y clasifican como comenditas. Su ubicación estratigráfica es confirmada por una edad K/Ar de  $19 \pm 2$  Ma. Los flujos piroclásticos son predominantemente vítreos, cubren a las traquitas oscuras y tienen composiciones traquiandesíticas. La petrografía y geoquímica establecen una estrecha relación con las traquitas claras. El único cuerpo dómico en el área es el cerro Colorado, cuya composición corresponde a una riolita peralcalina ó comendita; una edad K/Ar de  $24 \pm 1$  Ma establece por primera vez su relación temporal. La unidad efusiva más joven corresponde a lavas basálticas, agrupadas en afíricas y porfíricas. Se propone designar a las primeras como basaltos olivínicos transicionales en tanto que los basaltos porfíricos se subdividen en basaltos olivínicos alcalinos y hawaítas. Los datos estratigráficos y geoquímicos sugieren que la asociación volcánica estudiada es el resultado de al menos dos etapas evolutivas. Una de ellas incluye los basaltos, traquitas claras, flujos claros y comenditas que muestran un patrón de cristalización fraccionada. Las traquitas oscuras, más viejas, corresponderían a otro estadio evolutivo.

Palabras clave: *Petrología, Volcanismo, Patagonia extrandina, Paleógeno-Neógeno*

**ABSTRACT.** *Stratigraphy and petrology of the Northeastern sector of Sierra de Apas. Chubut Province.* The volcanic building of Sierra de Apas (located on the limit between the Río Negro and Chubut provinces) is part of the Paleogene-Neogene intraplate magmatism of the northern Extrandean Patagonia. This contribution is focused on the northeastern of the Sierra where five effusive facies were recognized within the volcanic pile. The lowermost unit is represented by phenocryst-poor dark trachytes which classify as trachytes and benmoreites. The dark trachytes are overlain either by light trachytes or by pyroclastic flows. The former are porphyritic rocks classified as comendites and yielded an age of  $19 \pm 2$  Ma. The pyroclastic flows are mainly pumiceous, of trachyandesite composition; both petrography and chemical features suggest a genetic link with the light trachytes. An exogene dome is represented by the Cerro Colorado, composed of a peralkaline rhyolite (comendite) which yielded an age of  $24 \pm 1$  Ma. The uppermost effusive unit is represented by basaltic lava flows which are found resting upon either the light trachytes or the pyroclastic flows. Basaltic rocks may be grouped into porphyritic and aphyric. On the basis of their chemical composition, the latter are transitional olivine basalts, whereas the former may be further divided in alkaline olivine basalts and hawaítas. Both stratigraphy and chemical data suggest that the described volcanic pile is the result of at least two evolutionary stages. One of them includes the basalts, light trachytes, pyroclastic flows and comendites which display an evolutionary trend likely resulting from fractional crystallization. The oldest dark trachytes would belong to another evolutionary stage.

Key words: *Petrology, Volcanism, Extra-andean Patagonia, Paleogene-Neogene*

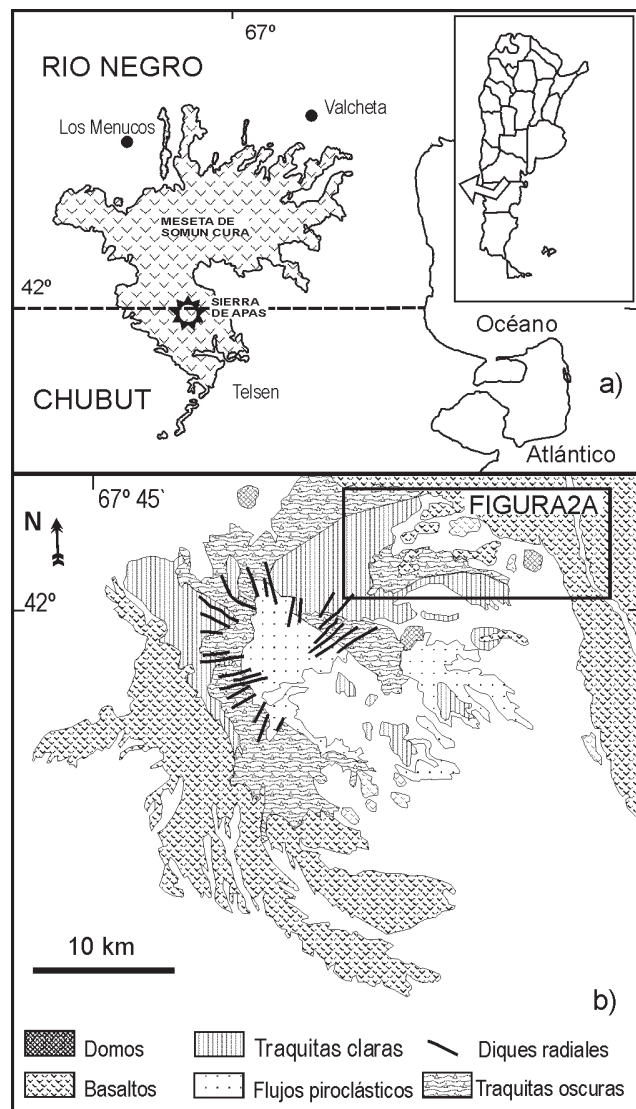
## Introducción

La meseta basáltica de Somún Curá y las erupciones postmeseta asociadas espacialmente a ésta, constituyen un conspicuo magmatismo de intraplaca emplazado durante el Paleógeno-Neógeno en el norte de la Patagonia extrandina.

La sierra de Apas, uno de los núcleos volcánicos más representativos de la unidad postmeseta, está ubicada a la latitud del paralelo  $42^\circ$  en el sector austral de la meseta

basáltica de Somún Curá, entre las provincia del Chubut y Río Negro (Fig. 1a). Es una asociación volcánica que se distribuye conformando una serranía de planta circular de aproximadamente 30 km de diámetro, y con evidencias importantes de erosión. Se caracteriza por la participación de efusiones lávicas básicas y mesosilícicas, brechas, flujos piroclásticos y depósitos de caída y en menor proporción domos de composiciones mesosilícicas a ácidas.

Este trabajo se propone aportar al conocimiento estratigráfico y petrológico del sector nororiental de la sierra de



**Figura 1:** a) Mapa de ubicación. Extensión de la meseta basáltica de Somún Curá y ubicación relativa de la sierra de Apas. b) Bosquejo geológico de sierra de Apas basado en Ardolino (1981) con indicación del área de trabajo.

Apas (Fig. 1b) presentando los datos adquiridos durante el relevamiento de campo e integrándolos a la información obtenida del análisis petrográfico, geoquímico, a los nuevos datos radimétricos y a la interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales.

### Antecedentes

Las primeras referencias geológicas a cerca de la sierra de Apas informan de su litología dominada por traquitas, con traquibasaltos y basaltos subordinados (Croce 1963). El conocimiento se amplía con la caracterización peralcalina de la asociación de basaltos, traquitas y riolitas que constituyen la sierra, el reconocimiento de una red radial de diques traquíticos peralcalinos y la presencia de intrusivos subvolcánicos (Corbella 1975;

Corbella y Linares 1977). Estudios petrológico-estratigráficos fueron realizados por Remesal (1988) en el marco de un análisis integral del macizo de Somún Curá. Trabajos de índole regional en los que se incluyen estudios parciales de la sierra de Apas figuran en los levantamientos de las Hojas Geológicas Telsen (Ardolino y Franchi 1996), Cona Niyeu (Franchi *et al.* 2001) y Maquinchoa (Remesal *et al.* 2001).

La construcción del edificio volcánico de la sierra de Apas se habría iniciado con una fase explosiva, indicada por el amplio desarrollo areal de una facies piroclástica (constituida por brechas, tobas lapilíticas, aglomerados volcánicos y tobas), sucedida por una facies lávica (con un evento temprano de tipo riolítico y otro más tardío de traquitas porfíricas oscuras), ambas facies emitidas desde un único centro. El desarrollo posterior de pequeños centros monogénicos controlados por fracturas circulares habría permitido la emisión de nuevas lavas traquíticas y básicas, así como también el emplazamiento de destacados bulbos traquíticos (Ardolino 1981, 1987).

### Estratigrafía

La columna estratigráfica integrada a partir de los distintos perfiles relevados en el sector norte de la sierra de Apas (Fig. 2) se compone de base a techo por: 1-traquitas oscuras, 2- flujos piroclásticos, traquitas claras y domos riolíticos y 3-basaltos porfíricos y afíricos.

Las efusiones de traquitas oscuras son las más antiguas y dan lugar a un paisaje de lomadas que ocupan topográficamente alturas intermedias dentro de la sierra. Se caracterizan por su coloración gris-rosado oscura, textura pobremente porfírica y bandeamiento a veces irregular. Este rasgo se pone en evidencia por variaciones de diseño y tamaño de grano, que en parte pueden ser consecuencia de diferencias en la concentración de volátiles durante el emplazamiento.

Los flujos piroclásticos, de composición mesosilícica, de aproximadamente 3 m de espesor, se reconocen tanto en el perfil de la quebrada de Galaz como en puesto Contreras (Figs. 2b y c). Estos flujos constituyen un episodio explosivo posterior al de las efusiones de traquitas antiguas y fueron protegidos de la erosión por los flujos basálticos que culminan la secuencia.

Reposando sobre las traquitas oscuras se observan flujos lávicos potentes, a veces con varios niveles de enfriamiento, de traquitas claras, de color gris, porfíricas que alcanzan casi 10 km de recorrido, en el puesto Contreras (Fig. 2b) y en algunos perfiles son el techo de la secuencia. Constituyen bardas de hasta 30 metros de altura. Se caracterizan por su textura rugosa, con notable desarrollo de crestas de presión claramente identificables tanto en fotografías aéreas como en imágenes satelitales. En la quebrada de Galaz (Fig. 2c) el flujo muestra una base lajosa y un sector superior con grandes cavidades producidas por escape de volátiles, que se interrumpen poco antes del techo de la colada. Un dato nuevo de  $19 \pm 2$  Ma (Cuadro 1) determinado sobre una muestra proveniente de

**Cuadro 1:** Datos analíticos geocronológicos de muestras provenientes del noreste de la sierra de Apas.

Muestra	<sup>40</sup> Ar atm	<sup>40</sup> Ar rad. (mol/g)	<sup>40</sup> K (mol/g)	Concentración de K	Error porcentual	EDAD
15 (Domo riolítico)	23,8%	1,00x10 <sup>-10</sup>	7,254x10 <sup>-8</sup>	2,43%	3,7%	24±1Ma
700 (Traquitas Claras)	24,2%	1,049x10 <sup>-10</sup>	9,254x10 <sup>-8</sup>	3,10%	9,6%	19±2Ma

INGEIS- Laboratorio Potasio-Argón

\*Muestra 15: Domo riolítico cerro Colorado; muestra 700: traquita clara perfil puesto Contreras.

los afloramientos de puesto Contreras fue realizada en los laboratorios de K-Ar de INGEIS.

En el extremo oriental del área relevada se destaca un cerro de casi 1.200 metros de altura, denominado cerro Colorado, que forma parte de un conjunto de domos extrusivos que rodean la estructura volcánica principal (Figs. 1b y 2a). En el flanco sudoccidental el domo habría intruido una colada basáltica semicubierta con la consecuente deformación. Este cuerpo, tiene la morfología propia de los domos exógenos, y típicas fracturas de expansión; está compuesto por riolitas lajas, grises con características pátinas rojizas, afíricas y de grano fino. Una datación K-Ar sobre roca total, realizada para el presente trabajo, arrojó un valor de  $24 \pm 1$  Ma (Cuadro 1). Esta edad permite ubicar temporalmente al domo como poco anterior a las traquitas claras. Sin embargo, si se consideran los errores analíticos de las edades obtenidas para ambas unidades, se podría establecer una posible contemporaneidad entre los dos eventos.

Las lavas básicas cubren tanto a los depósitos piroclásticos (quebrada de puesto Galaz y puesto Contreras, Figs. 2b y c) como a los flujos de traquitas claras (puesto Contreras). Se identifican dos variedades de basaltos olivínicos: porfíricos y afíricos. En la quebrada del puesto Galaz, la secuencia está integrada por tres flujos basálticos porfíricos con potencias de entre 3 y 15 metros; y dos episodios estrombolianos intercalados (de aproximadamente dos metros de espesor cada uno), estratificados y de tamaño lapilli, el superior con estratificación gradada inversa. Al sureste del puesto Contreras, sobre los flujos piroclásticos ya descriptos afloran basaltos con fenocristales de olivina. Los basaltos afíricos se circunscriben al sector periférico a la sierra, parecen vincularse a centros con escaso relieve y en ocasiones a fracturas. Éstos constituyen la fase póstuma de la secuencia basáltica.

## Petrografía

### Traquitas oscuras

Presentan una baja relación fenocristales/pasta (10/90). Los primeros -fenocristales y microfenocristales- generalmente se agrupan en glomérulos de: 1) olivina fayalítica, parcial o completamente reemplazada por iddingsita y con bordes engolfados; 2) plagioclasa sódica ( $An_{28-30}$ ), zonal

y/o con maclas complejas, presenta bordes reabsorbidos y anillo marginal dendrítico con inclusiones vítreas; 3) anortoclasa muy redondeada por corrosión magmática; 4) clinopiroxeno augítico de color verde pálido, con bordes de reacción y 5) minerales opacos primarios y secundarios (probable reemplazo de máficos) subhedrales. También son muy abundantes los microfenocristales de apatita coloreada que con frecuencia se asocian a los glomérulos, y pueden estar incluidos en la olivina. El clinopiroxeno de los glomérulos en ocasiones presenta coronas parciales constituidas por una asociación de clinofibrol-opacos, interpretadas como resultado de la interacción del glomérulo con el líquido. El clinofibrol es incoloro a amarillo pálido, de características ópticas compatibles con la serie richterita-ferrichterita.

La pasta es de textura traquítica a pobremente seriada, muy fina; compuesta por tablillas de sanidina y una mesostasis desvitrificada a intercrecimientos granofíricos. Se pueden observar cristales con crecimiento esquelético con formas *bow tie*. Intercrecidos en la trama de feldespatos hay pequeños cristales de minerales máficos como clinopiroxenos, en algunas muestras acompañados por anfíboles subhedrales de cristalización tardía. Abundantes cristales prismáticos, de color castaño caramelo, con pleocroísmo del castaño amarillento al castaño rojizo (con la menor absorción según  $\alpha$ ), de alto relieve, fueron asignados, por sus características ópticas, a kataforita. Como accesorios hay una alta proporción de minerales opacos de hierro y titanio, y también cristales de apatita incolora.

Como productos relacionados a la cristalización de la fase vapor se reconocen las asociaciones: clinofibrol-tridimita, flogopita-tridimita, flogopita-feldespatos alcalino.

En la quebrada del puesto Galaz se diferencia en el tope de la secuencia de la facies traquitas oscuras una variedad con estructuras de corrugamiento por flujo, de color gris verdoso, con superficie de alteración rojiza principalmente en el techo de la colada. Es una roca porosa y liviana, caracterizada por una mayor proporción de fenocristales que las traquitas de niveles inferiores y presenta algunas variaciones texturales que indican diferencias en la concentración de volátiles. En estas rocas los glomérulos pierden definición y se desagregan, se puede notar el aumento en el porcentaje de fenocristales de plagioclasa y también en la pasta donde forman una trama más gruesa y holocristalina. Se observa una disminución en la proporción de apatita como microfenocristal, y aparecen cristales de zircón con formas anhedral y tamaño destacado. Otra característica es la presencia de xenocristales de cuarzo parcialmente reabsorbidos.

### Flujos piroclásticos

Son depósitos friables de color castaño claro, matriz sostén, con abundantes fragmentos pumíceos de color gris claro que pueden alcanzar los 5 cm de diámetro, aunque en general promedian 1-2 cm, constituyendo entre el 65-80% de la roca. Los cristales y los fragmentos líticos

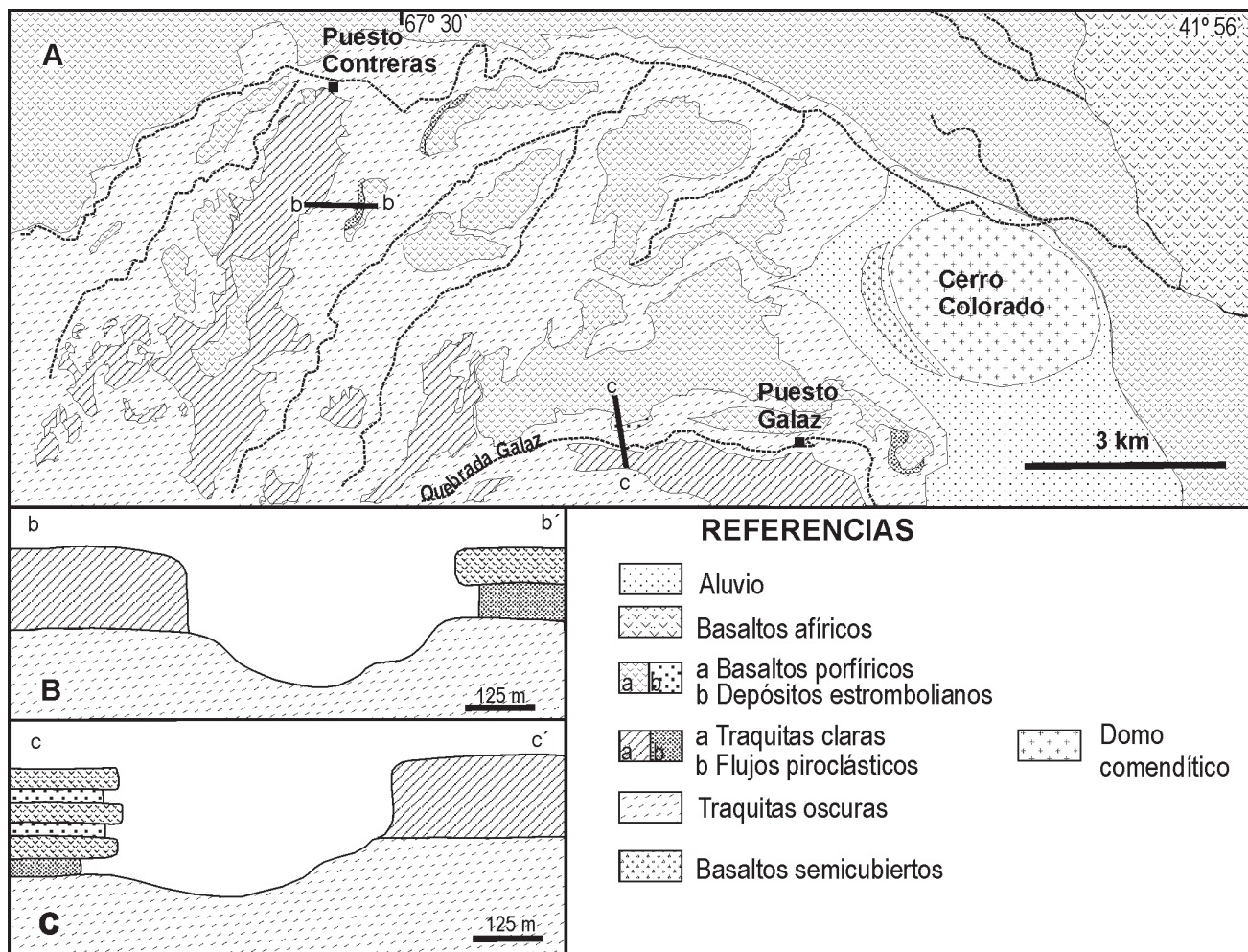


Figura 2: a) Bosquejo geológico del sector noreste de sierra de Apas. b y c) perfiles transversales en puesto Contreras y puesto Galaz respectivamente.

están subordinados en tamaño y abundancia. Petrográficamente es una toba lapillítica de textura vitroclástica a vitrocristaloclástica.

La fracción cristalina representa más del 20 % de la roca. Está compuesta por sanidina, clinopiroxeno, olivina y escasa plagioclasa. La sanidina se presenta en cristales euhedrales a subhedrales, límpidos, con macla de Carlsbad. El clinopiroxeno es de color verde intenso (hedenbergita y aegirina), a veces zonal, con inclusiones de opacos y apatita. Se presenta en secciones subhedrales y euhedrales y suele asociarse a cristales de feldespato alcalino. La olivina (fayalítica) forma cristales anhedrales con rebordes de minerales opacos euhedrales ó pulverulentos; se encuentra asociada al clinopiroxeno y menos frecuentemente a cristales de sanidina. La plagioclasa es subhedral, con fino maclado polisintético, límpida y constituye <1% de esta fracción. En cuanto a los tamaños de los cristales, los más desarrollados tienen entre 1 y 2 mm y cuando forman parte de la matriz sus dimensiones varían entre 0,014 y 0.7 milímetros.

Los vitroclastos están representados por fragmentos pumíceos redondeados, de bordes bien definidos por material oscuro, no colapsados, y en general afíricos. En los

casos que presentan fenocristales son de clinopiroxeno verde intenso y olivina con minerales opacos en los rebordes, similares a los descritos en la fracción cristalina. Formando parte de la matriz aparecen parches de vidrio de colores pardos, a veces perlíticos, trizas en general pumíceas y en menor proporción trizas de pared de burbuja concavo-convexas y monoaxónicas.

Los elementos líticos constituyen un 15 % de la roca, son subangulosos y corresponden a vulcanitas mesosilíceas. En general, fueron clasificados como traquitas, dentro de las que se distinguen: a) holocristalinas con plagioclasa, clinopiroxeno y opacos en pastas traquíticas con mesostasis desvitrificadas a intercrecimientos granofíricos (asimilables a los de la facies traquitas oscuras) y b) hialotraquitas de colores pardos con distintas proporciones de microlitos de feldespato. Siempre de menor tamaño, aparecen líticos provenientes de vulcanitas de composiciones más ácidas, cubiertos por pátina de material arcilloso y oscurecidos por finas partículas de opacos. Puede reconocerse una variedad porfírica y otra afírica con textura fluidal, relacionadas a efusiones comendíticas. Están también presentes líticos de rocas basálticas en escasa proporción.

### *Traquitas claras*

Son rocas de color gris claro, fuertemente porfíricas (relación fenocristales/pasta: 40-60). Los fenocristales de feldespato se destacan por su tamaño y abundancia, son principalmente de sanidina, y están acompañados por escasos microfenocristales máficos oxidados, asignados a olivina y clinopiroxeno. La mayoría de los minerales máficos, principalmente la olivina, tienen rasgos de desequilibrio con el líquido (bordes redondeados y engolfados) a diferencia de los feldespatos que aparecen siempre euhedrales. La olivina, en menor proporción que el clinopiroxeno, es de composición fayalítica, aparece con coloración pardo-verdosa y rebordes oxidados (ya sea como un reborde oscuro que limita el cristal o bien como una corona de opacos cerca del borde). El clinopiroxeno es de coloración verde intenso, no pleocroico y ángulo de extinción de aproximadamente 40°. Fue asignado a la serie diópsido-hedenbergita y presenta una zonación que en los bordes del cristal llega a un color verde más intenso, con algo de pleocroismo y menor ángulo de extinción, correspondiente a una composición más alcalina (con enriquecimiento en Na), aegirínica. Los cristales de clinopiroxeno suelen presentar inclusiones de pequeño tamaño de apatita incolora y minerales opacos, y en algunos casos se han observado alteraciones parciales a un agregado fibroso pseudomórfico, ópticamente indeterminable. La pasta presenta textura traquítica con sanidina y anfíboles de cristalización tardía, incluidos en una mesostasis conformada por un intercrecimiento granofírico de cuarzo y feldespato. Los anfíboles alcalinos de la pasta corresponden a arfvedsonita y se presentan como cristales subhedrales pleocroicos del verde/pardo claro al amarillo verdoso, con ángulo de extinción de hasta 15° y cristales anhedrales, con pleocroismo de castaño al verde intenso (mayor absorción según  $\alpha$ ). Asociado a los anfíboles se reconocen cristales castaño-oscuro y rojizos, de muy alto relieve, asignados a aenigmatita. Microscópicamente se pueden apreciar algunas variaciones texturales, aunque no composicionales, con sectores de mayor tamaño de grano en los cuales hay intercrecimientos de feldespato y anfíbol. En estos sectores se destacan plagioclasas sódicas con núcleos cribados y bordes irregulares marcados por el intercrecimiento con cristales de minerales opacos. Como mineral accesorio importante hay apatita, particularmente abundante en las muestras provenientes del perfil de puesto Galaz. En el perfil del puesto Contreras se ha muestreado una variedad de color oscuro y mayor peso relativo, con abundancia de óxidos entre los que predominan los de manganeso que se distribuyen a través de numerosas fracturas.

### *Domos exógenos*

En el área de estudio esta facies está representada por el cerro Colorado emplazado en el extremo noreste de la sierra de Apas (Fig. 2a). Este cuerpo presenta una planta elíptica (ejes de 3 y 2 km) elongada en sentido E-O.

El domo está compuesto por rocas de coloración gris, con un destacado bandeamiento señalando la fluidalidad. El mineral más importante es el feldespato alcalino perteneciente a la serie sanidina-anortoclasa. Los cristales mejor desarrollados llegan a formar microfenocristales y por gradación de tamaño marcan una textura que podría definirse como seriada. Los feldespatos con hábito tabular, límpidos, de formas elongadas y con macla de Carlsbad (frecuentemente interpenetradas), corresponden a sanidina. La anortoclasa, en cambio, se caracteriza por formas ecuanter y ausencia de maclas. Todos los cristales presentan netos rebordes en continuidad óptica que pueden ser adjudicados a albita como parte de la misma serie sanidina-anortoclasa-albita de alta temperatura. Los minerales félsicos están acompañados de piroxeno y anfíboles alcalinos: 1) aegirina pleocroica del verde intenso al castaño amarillento, en cristales subhedrales 2) arfvedsonita azulada con marcado pleocroismo de azul oscuro a gris claro, casi incoloro 3) aenigmatita de color castaño oscuro, a veces con pleocroismo rojizo y alto índice de refracción, generalmente subhedral a euhedral. Se han observado pasajes transicionales entre el piroxeno y el anfíbol.

La mesostasis corresponde generalmente a un intercrecimiento felsítico a granofírico y microgranoso compuesto por sílice y feldespatos. La disposición en bandas que marcan la fluidalidad de la roca se refleja en una variación en el tamaño de grano del intercrecimiento.

La sílice aparece bajo distintas formas, entre ellas el cuarzo es un mineral poco abundante que siempre se presenta en cristales pequeños y anhedrales. En los intercrecimientos más finos la sílice es ópticamente indiferenciable excepto por la alteración de los feldespatos que lo acompañan. Se reconoce tridimita intersticial como resultado de la cristalización de la fase vapor.

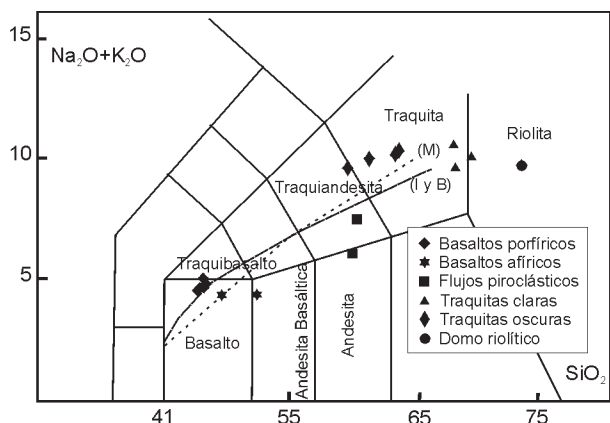
### *Lavas básicas*

Las rocas incluidas en esta facies pueden ser descritas según dos grupos: basaltos porfíricos y basaltos afíricos.

*Basaltos porfíricos:* Son rocas de colores grises, con diferentes grados de oxidación y variable proporción de fenocristales. La relación fenocristales/pasta es de 30/70, aunque disminuye significativamente en algunas variedades (15/85).

La fase fenocristalina (con tamaños del orden de 0,5-2cm) está compuesta por olivina iddingsitizada (fácilmente reconocible aún en muestra de mano), clinopiroxeno y plagioclasa, a veces formando glomérulos. Los fenocristales presentan engolfamientos y corrosión propios de desequilibrio con el líquido. El clinopiroxeno, augita, se caracteriza por el desarrollo de una zona marginal delgada, "esponjosa", con inclusiones vítreas, de color verde claro.

La plagioclasa ( $An_{32-68}$ ) tiene textura cribada en la zona marginal que puede generalizarse a todo el cristal y exsoluciones que producen extinciones anómalas. En



**Figura 3:** Clasificación geoquímica según Le Maitre *et al.* (1989). Las curvas en líneas de puntos corresponden a las propuestas de (M) MacDonal (1968) y (I y B) Irving y Baragar (1971) para separar tendencias alcalinas de subalcalinas.

aquellas muestras que presentan feldespatos con un espectro composicional grande, es posible encontrar fenocristales con rebordes más alcalinos.

La pasta es fina, frecuentemente intergranular, a veces fluidal y en otros casos muestra una cristalización en parches ofíticos. La composición de la plagioclasa de la pasta tiene un rango más restringido ( $An_{46-50}$ ) que el observado para los fenocristales y el clinopiroxeno mantiene su composición augítica. En algunas variedades la plagioclasa ( $An_{30-55}$ ) se intercrece con clinopiroxeno titanífero. Completan la pasta olivina y minerales opacos abundantes. Como última etapa de cristalización hay un feldespato anhedral de desvitrificación y también arcillas rellenando intersticios, probablemente como producto de alteración de vidrio.

Una variación significativa dentro del grupo de los basaltos porfíricos son los que presentan olivina iddingsitizada como única fase fenocristalina en cristales de tamaño  $<0,5\text{cm}$ . En particular las coladas que cubren los flujos de traquitas claras desde puesto Contreras hacia el norte están compuestas por 20-25% de fenocristales de olivina que gradan en tamaño a los microlitos de la pasta. Todos los cristales están iddingsitizados pero se pueden reconocer dos poblaciones entre los mejor desarrollados: 1) totalmente iddingsitizados y profundamente fracturados y 2) con núcleos frescos de olivina y reborde oxidado que conservan mejor sus formas. La pasta de grano fino se compone de gránulos de clinopiroxeno, minerales opacos, olivina iddingsitizada y tablillas euhedrales de plagioclasa ( $An_{42-64}$ , siendo más frecuente  $An_{50}$ ). Finalmente hay plagioclasas con formas irregulares y extinción difusa y zonal, de cristalización más tardía. Este feldespato y la presencia de arcilla también intersticial definen una textura intersertal para la pasta. Hay rellenos amigdaloides con arcilla y carbonato.

**Basaltos afíricos:** En estas rocas el tamaño de grano es relativamente más grueso y en general homogéneo, eventualmente pueden presentar algunos glomérulos de

plagioclasa con clinopiroxeno. Presentan una trama muy abierta, con cavidades irregulares que definen una textura dictyotaxítica. La olivina es el único mineral más destacado en tamaño constituyendo pequeños microfenocristales parcial o completamente oxidados. Es típico de estas rocas el reborde de olivina fresca en los cristales con iddingsitización, reconstruyendo el contorno euedral original. La composición de la plagioclasa oscila entre  $An_{44-54}$ . Se observan cristales de plagioclasa con texturas de corrosión y zonalidad. La pasta es intergranular con plagioclasa, clinopiroxeno (titanoaugita), olivina, minerales opacos y feldespato intersticial. Como mineral secundario rellenando intersticios en la pasta hay arcillas, que también aparecen en las vesículas donde están acompañadas por carbonatos y ceolitas.

Las diferencias entre las muestras de los afloramientos analizados se observan como variaciones en el tamaño de grano, la proporción de olivina y el grado de oxidación. También se puede marcar como diferencia la variable zonalidad en la plagioclasa y la presencia de cristales esqueléticos de olivina en algunas muestras.

## Geoquímica

Se han realizado un total de 16 análisis químicos sobre rocas correspondientes a perfiles representativos en el noreste de la sierra de Apas. En el cuadro 2 se enlistan los datos de elementos mayores, menores y traza de las muestras analizadas. Las determinaciones se realizaron sobre roca total por los métodos ICP e INAA, en los Laboratorios de Actlabs, Canadá. El procesamiento del material piroclástico se efectuó seleccionando especialmente muestras de flujos con el mayor porcentaje de vitroclastos y separando los elementos líticos de la fracción gruesa.

Cuando se utiliza el diagrama de clasificación álcalis vs. sílice de Le Maitre *et al.* (1989) las rocas definen una serie transicional con afinidades alcalinas que comprende desde basaltos hasta riolitas (Fig. 3). En general, se puede observar una falta de datos para los términos intermedios de la serie, en parte cubierta por las composiciones de rocas piroclásticas. Una secuencia de tendencia más definitivamente alcalina, en coincidencia con la mineralogía, se obtiene al utilizar el gráfico  $Zr/TiO_2$  vs.  $Nb/Y$  de la figura 4 (Winchester y Floyd 1977) en el cual la relación de alcalinidad  $Nb/Y$  es superior a 1 para casi todas las muestras analizadas y llega a valores de 7 para las rocas más diferenciadas (la muestra del domo clasifica como fonolita por los anómalos valores de Y). Las rocas clasificadas como riolitas y traquitas con más de 67% de  $SiO_2$  (Fig. 3), pueden ser denominadas comenditas según la definición de Macdonald (1974). Esta nominación está de acuerdo con su carácter sobresaturado y peralcalino, la presencia de *acmita* en la norma y altos índices *appaíticos*. También es coherente con la petrografía descrita previamente (presencia de cuarzo, máficos altamente alcalinos y características texturas granofíricas). En relación al índice de Shand los basaltos y las traquitas oscu-

**Cuadro 2:** Análisis químicos de elementos mayores, menores (en % en peso) y trazas (en ppm) agrupados por unidad efusiva.

MUESTRA	BASALTOS PORFÍRICOS				B.AFÍRICOS		TRAQUITAS OSCURAS				TRAQUITAS CLARAS			F.PIROCL.		DOMO
	687	689	690	702	694	703	691	692	692A	699	693	700	700A	688	701	T15
SiO <sub>2</sub>	48.35	47.81	47.70	48.14	49.67	52.77	63.53	59.47	63.23	61.17	67.85	69.25	68.12	60.22	59.97	73.37
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.01	15.52	15.92	14.79	15.08	15.81	15.66	17.00	15.99	15.92	14.38	13.29	13.22	15.09	14.64	11.45
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.43	10.73	11.35	11.35	10.95	10.79	5.60	6.43	5.89	6.40	4.56	4.58	3.79	5.13	6.15	4.65
MnO	0.17	0.15	0.13	0.14	0.16	0.15	0.12	0.17	0.13	0.14	0.14	0.13	0.95	0.15	0.14	0.08
MgO	4.88	6.38	4.41	6.55	7.00	4.78	0.53	0.64	0.53	0.78	0.07	0.14	0.10	1.01	1.89	0.01
CaO	8.60	8.69	8.36	8.44	8.31	8.21	1.36	2.12	1.61	2.33	0.55	0.79	0.46	1.93	2.85	0.23
Na <sub>2</sub> O	3.45	3.27	3.29	3.39	3.27	3.55	5.36	5.27	5.30	5.44	5.71	5.24	5.01	3.47	3.10	5.39
K <sub>2</sub> O	1.34	1.30	1.21	1.57	1.11	0.96	5.18	4.50	5.08	4.77	5.11	5.04	4.88	4.16	3.15	4.60
TiO <sub>2</sub>	2.48	2.44	2.42	2.51	1.64	1.56	0.70	0.82	0.77	0.91	0.31	0.34	0.32	0.59	0.78	0.25
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.64	0.56	0.54	0.70	0.41	0.32	0.24	0.23	0.22	0.35	0.04	0.05	0.05	0.13	0.14	0.01
LOI	1.18	1.03	2.62	1.73	0.70	0.73	1.00	1.06	1.43	0.70	0.18	0.27	0.94	6.78	7.12	0.08
TOTAL	98.54	97.87	97.95	99.31	98.30	99.62	99.29	97.72	100.20	98.91	98.90	99.11	97.84	98.66	99.93	100.12
Cr	158	181	142	253	212	164	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	21	nd
Co	35	35	33	42	42	30	nd	2	2	2	nd	nd	nd	5	8	nd
Ni	96	103	91	151	145	43	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Rb	20	22	21	28	19	18	107	58	112	102	167	175	181	101	80	329
Sr	720	680	640	783	526	395	154	253	233	273	9	13	77	101	196	4
Y	30.7	22.7	22.2	23.6	21.9	24.8	41.7	42.3	38.8	40.2	55.3	67.8	57.8	51.0	38.9	35.6
Zr	169	151	156	240	134	119	543	531	561	548	885	775	767	560	448	1,46
Nb	37.6	36.6	34.6	58.5	25.5	21.6	92.0	102	94.6	97.5	169	137	137	98.8	82.1	256
Cs	nd	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	1.0	0.6	1.6	0.8	0.7	1.0	1.9	2.0	1.7	2.5
Ba	772	618	477	602	723	607	1,42	1,35	1,24	1,02	97	59	321	553	514	15
La	32.8	29.0	25.0	39.4	20.3	19.6	71.5	74.3	70.5	69.3	99.7	98.8	98.3	71.6	56.8	77.6
Ce	60.6	58.2	48.2	73.5	38.5	33.1	130	141	123	127	183	196	260	134	107	177
Pr	8.05	7.39	6.48	9.04	5.09	4.65	15.3	16.6	15.3	14.9	19.6	21.3	21.2	15.5	12.5	17.1
Nd	32.8	29.7	26.5	34.3	20.7	19.5	53.9	59.2	54.1	53.0	65.4	74.5	72.1	54.3	43.6	59.4
Sm	6.83	6.02	5.65	6.87	4.72	4.82	9.79	11.2	10.1	10.2	11.5	14.1	13.9	10.3	8.62	11.4
Eu	2.83	2.63	2.35	2.49	1.97	1.91	3.00	3.16	2.93	2.92	1.00	1.30	1.16	1.98	1.90	1.02
Gd	7.25	6.19	5.96	6.72	5.05	5.42	9.25	10.5	9.51	9.70	10.3	13.2	11.5	10.1	8.07	9.26
Tb	1.03	0.86	0.86	0.93	0.76	0.84	1.38	1.56	1.40	1.48	1.66	2.06	2.10	1.59	1.31	1.53
Dy	5.38	4.46	4.40	4.53	4.11	4.51	7.59	8.53	7.44	7.80	9.52	12.0	11.7	9.06	7.35	8.15
Ho	1.04	0.83	0.81	0.81	0.78	0.87	1.45	1.63	1.44	1.50	1.91	2.33	2.27	1.81	1.42	1.52
Er	2.89	2.20	2.25	2.15	2.24	2.42	4.41	4.63	4.17	4.28	5.92	7.01	6.93	5.47	4.16	4.56
Tm	0.384	0.287	0.283	0.272	0.287	0.330	0.654	0.685	0.607	0.615	0.918	1.06	1.04	0.807	0.623	0.720
Yb	2.20	1.68	1.73	1.62	1.72	1.93	3.87	4.00	3.55	3.78	5.75	6.40	6.40	5.10	3.81	4.86
Lu	0.320	0.242	0.246	0.221	0.254	0.270	0.582	0.576	0.509	0.554	0.837	0.947	0.900	0.754	0.537	0.717
Hf	3.9	3.8	4.0	5.6	3.3	2.9	12.3	13.2	12.2	12.7	21.2	18.6	18.8	13.4	10.6	34.5
Ta	2.2	2.1	2.0	3.3	1.4	1.1	5.2	5.6	5.3	5.6	9.5	8.0	8.2	5.8	4.7	14.7
W	0.4	0.2	0.4	0.4	0.3	0.2	1.3	1.0	5.1	1.0	1.7	1.4	2.5	1.4	1.0	1.7
Tl	0.14	0.09	0.09	0.36	0.14	0.23	0.28	0.32	0.32	0.18	0.37	0.59	1.73	0.59	0.69	0.38
Pb	nd	nd	19	9	6	9	18	37	19	22	23	34	37	12	17	19
Th	2.10	2.12	2.00	3.34	1.90	1.67	9.23	10.2	9.26	9.27	16.7	16.8	17.1	10.5	7.71	23.6
U	0.62	0.60	0.61	0.89	0.47	0.42	2.40	1.96	2.32	2.50	3.63	2.88	4.43	2.45	1.75	3.56

ras son metaluminosas mientras que las traquitas claras y las rocas de los domos son peralcalinas. Los flujos pumíceos tienen características peraluminosas.

Se graficaron los óxidos y elementos traza en función de la sílice como índice de diferenciación (Figs. 5 y 6). El Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> refleja la cristalización fraccionada de plagioclasa a partir de un 60% de sílice; previo a esta etapa, el fraccionamiento de olivina genera el enriquecimiento en alúmina. El escalonamiento del MgO evidencia la cristalización de olivina aparentemente seguida por fraccionamiento de

clinopiroxeno hacia los términos intermedios. El TiO<sub>2</sub> muestra una correlación con pendiente negativa que indica la separación de fases accesorias ricas en Ti probablemente titanomagnetita y/o ilmenita. Los contenidos de MnO no muestran variaciones importantes a lo largo de la secuencia, sin embargo, una roca traquítica muestreada en el puesto Contreras como variación de traquitas claras, presenta una anomalía en Mn, acompañada por tenores altos de W (2,5 ppm), Bi (0,7 ppm), V (6 ppm), Tl (1,7 ppm), Zr, Ba, U y Ce. El Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, al igual que el CaO se mantienen

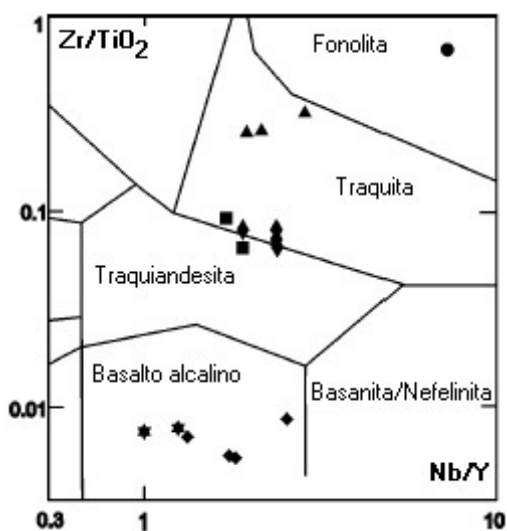


Figura 4: Clasificación geoquímica según Winchester y Floyd (1977). Véase referencias en figura 3.

constantes en los términos más básicos, y disminuyen a partir de los términos intermedios, definiendo una curva con pendiente inversa a partir de 60% de  $\text{SiO}_2$ . En el caso del  $\text{CaO}$  acompaña el comportamiento del  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e indica la participación de plagioclasa y posiblemente apatita en el conjunto mineral que se fracciona. El fraccionamiento de apatita queda reflejado también en los contenidos de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . La pendiente del  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , corroboraría la separación de clinopiroxeno a partir de los términos intermedios de la serie, como ya se mencionó. El  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$  muestran una distribución bimodal entre los grupos basálticos y traquíticos.

Los elementos traza (Fig. 6) se relacionan con la sílice a través de líneas de descenso casi continuas con pendientes positivas, excepto el Sr con correlación inversa, y Ba, Y y Cs que muestran dispersión. La correlación entre  $\text{P}_2\text{O}_5$  y Sr es prácticamente perfecta para toda la serie (desde los basaltos hasta las comenditas) indicando la participación en la composición de apatita. El grupo de los basaltos muestra una correlación positiva muy buena entre los contenidos de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y los contenidos de Ce. Elementos litófilos altamente incompatibles (Rb, U, Hf, Zr, Nb, Th), registran una correlación de pendiente positiva, mostrando enriquecimiento hacia los términos más ricos en sílice. Algunas excepciones en la tendencia se observan al analizar en detalle cada grupo de muestras, donde se nota que las traquitas oscuras siempre presentan un comportamiento más disperso.

Los gráficos de elementos incompatibles (Fig. 7), especialmente Hf-Zr y Nb-Zr muestran fuertes correlaciones positivas para todos los miembros de la serie. La intersección de las curvas de correlación con los ejes en el origen pone en evidencia relaciones constantes para los líquidos involucrados. Aunque menos exitosos los diagramas Hf-La, La-Ta, La-Ce también presentan buenas correlaciones.

## Consideraciones Petroológicas

### Traquitas

Las rocas traquíticas corresponden al menos a dos etapas en la evolución de este volcanismo, según sus relaciones estratigráficas y rasgos mineralógicos. La división es confirmada en el análisis geoquímico.

*Traquitas oscuras:* Es el grupo relativamente más antiguo, definido por sus rasgos megascópicos de colores rosados oscuros y bajo porcentaje de fenocristales. Son rocas que clasifican químicamente como traquitas en transición a benmoreítas. Tienen relaciones Nb/Y próximas a 2. El fraccionamiento de olivina, clinopiroxeno  $\pm$  anfíbol  $\pm$  óxidos (Ti, Fe y Mn) puede ser monitoreado a través de las variaciones de elementos mayores, menores y traza vs. índices de fraccionamiento (Figs. 5 y 6); igualmente la separación de una baja proporción de plagioclasa se confirma por una anomalía atenuada de Eu. Este grupo de rocas muestra altos valores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  y Ba.

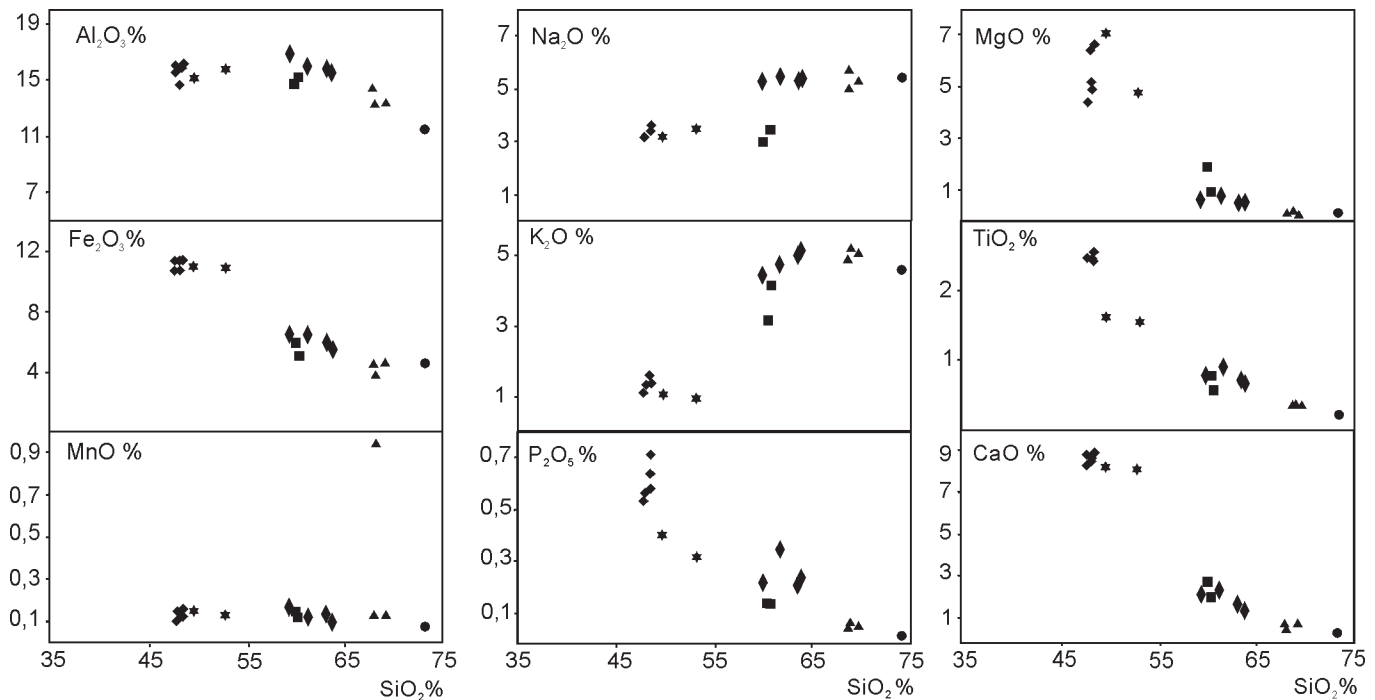
Las traquitas oscuras no presentan covariaciones significativas de elementos traza y TRP respecto de índices de evolución como MgO o Zr. Este grupo de traquitas se caracteriza no sólo por la débil anomalía de Eu sino también por la pendiente fuerte en las TRL (Fig. 8a). Tienen relaciones altas de TRL/TRP ( $[\text{La}/\text{Lu}]_{\text{cn}} \cong 13-14$ ).

*Traquitas claras:* Este grupo corresponde a efusiones más jóvenes y definitivamente porfíricas, que clasifican como comenditas según las proporciones de elementos mayores ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{FeO}$ ). Las relaciones de alcalinidad de elementos traza (Nb/Y) en estas rocas es de 2-3 acompañando la clasificación peralcalina que muestran sus elementos mayoritarios. Al analizar la variación de elementos menores y traza contra el MgO o Zr como índice de diferenciación, se observan tendencias de empobrecimiento de TRM y TRP con la secuencia de evolución. Este comportamiento se explicaría a través del fraccionamiento de minerales máficos (clinopiroxeno y anfíbol) los cuales forman glomérulos junto con olivina y plagioclasa. Las tendencias geoquímicas de  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , MgO,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ , y  $\text{P}_2\text{O}_5$  (Fig. 5) reflejan el fraccionamiento de estas fases acompañadas por accesorios tales como óxidos y apatita durante la evolución de los líquidos. El patrón de Tierras Raras muestra una pronunciada anomalía de Eu, que se correspondería con el fraccionamiento de la plagioclasa (Fig. 8b). La pendiente en las TRL se mantiene fuerte mientras que en el tramo TRM a TRP la pendiente es menor. Las relaciones TRL/TRP ( $[\text{La}/\text{Lu}]_{\text{cn}} \cong 11-12$ ) son ligeramente menores que en el grupo de traquitas oscuras.

### Flujos piroclásticos

Son depósitos de poco espesor, predominantemente vítreos con cristales y líticos subordinados. Se disponen cubriendo a las traquitas oscuras. Las características





**Figura 5:** Diagramas de variación de los óxidos de elementos mayores en función de la  $\text{SiO}_2$  como índice de diferenciación. Véase referencias en figura 3.

composicionales y texturales de los cristales que componen los fragmentos pumíceos en estos flujos parecen indicar la contemporaneidad con las traquitas claras. Las concentraciones de elementos mayores de estas rocas volcadas en los diagramas de discriminación clasifican como traquiandesitas y andesitas. Los elementos menores en cambio revelan composiciones traquíticas y traquiandesíticas, con valores  $\text{Nb}/\text{Y} \geq 2$ . Estas rocas presentan bajos tenores de sodio y relativamente bajo potasio y fósforo respecto de la secuencia general definida en la figura 5. No se observan anomalías dentro de la tendencia general para elementos tales como Mg, Fe, Mn y Ti. Ligeras diferencias en los tenores de Ca entre las muestras de este grupo están acompañadas por variaciones semejantes en Zr, Th, U, e Y. El Cs presenta enriquecimientos respecto de la tendencia general mientras que el Sr tiene valores empobrecidos (Fig. 6). Los patrones de TR son paralelos a los diseños de estos elementos en las traquitas claras, con una relación  $[\text{La}/\text{Lu}]_{\text{cn}} \cong 11-10$  muy semejante, pero con valores absolutos menores y una anomalía de Eu mucho menos marcada (Fig. 8b).

#### Domos

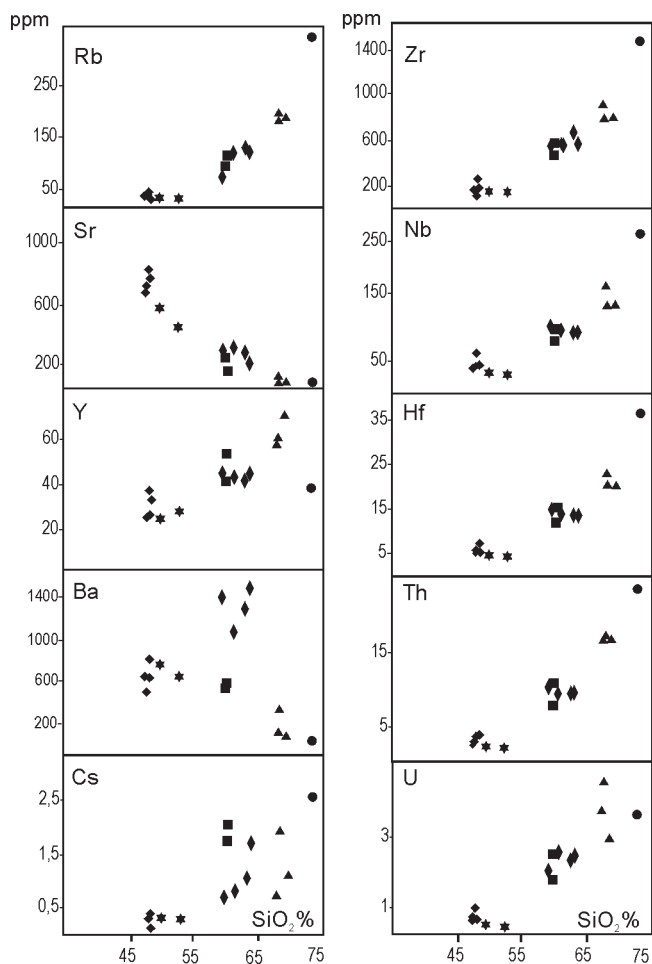
El único cuerpo de este tipo que aflora en el área corresponde al denominado cerro Colorado cuya composición litológica predominante es una roca rica en feldespatos y cuarzo que clasifica según sus contenidos en sílice, álcalis y alúmina como riolita peralcalina y se ubica en el campo de las comenditas por su proporción en las cantidades de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{FeO}_1$ . Estas rocas tienen relaciones  $\text{Nb}/\text{Y}$

muy altas ( $\approx 7$ ) y presentan pronunciada anomalía negativa de Eu (Fig. 8a), la cual confirma el fraccionamiento de plagioclasa durante la evolución del líquido. La pendiente de TRL es comparable a la de las lavas traquíticas y tiene valores absolutos intermedios entre los patrones de las traquitas oscuras y claras (Fig. 8a y b). En cuanto al diseño de TRM y TRP es similar al que presentan las traquitas oscuras pero ligeramente desplazado en el tramo Tm, Yb y Lu por enriquecimiento en estos elementos. El valor de la relación  $\text{TRL}/\text{TRP}$  ( $[\text{La}/\text{Lu}]_{\text{cn}} \cong 11,2$ ) queda comprendido dentro del rango que presentan las comenditas del grupo denominado traquitas claras.

#### Basaltos

A partir de datos petrográficos y estratigráficos fueron definidos dos grupos de rocas basálticas (basaltos africos y porfíricos) los cuales son confirmados a través del análisis geoquímico. Se propone denominar como basaltos olivínicos transicionales a las rocas que conforman el grupo de los basaltos africos y subdividir como basaltos olivínicos alcalinos y hawaiitas a aquellas que integran los basaltos porfíricos.

-Los basaltos olivínicos transicionales presentan características petrográficas donde se destacan la textura de grano mediano, homogéneo y el alto porcentaje de olivina siempre de gran tamaño y frecuentemente con crecimiento esquelético. Clasifican según elementos mayores como basaltos subalcalinos y andesitas basálticas y según los índices de elementos trazas como basaltos alcalinos con relaciones  $\text{Nb}/\text{Y}$  cercanas a 1. Tienen contenidos muy va-

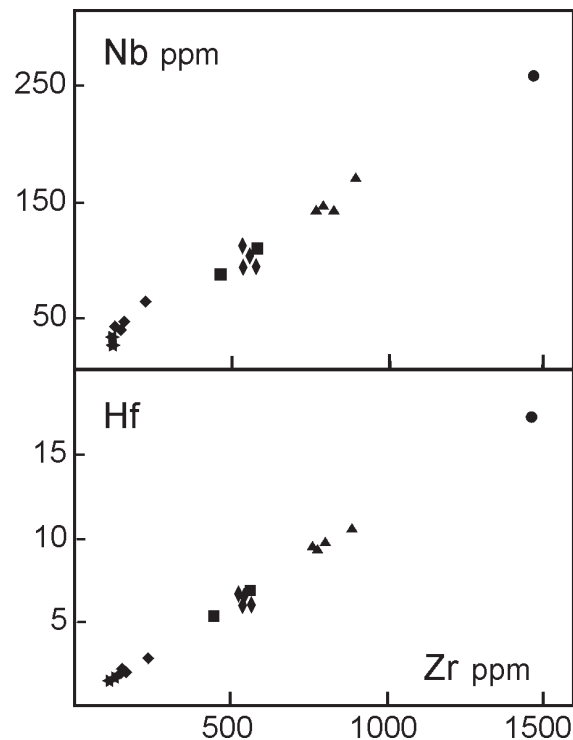


**Figura 6:** Diagramas de variación de los elementos traza utilizando la sílice como índice de diferenciación. Véanse referencias en figura 3.

riables de Ni (43-151 ppm), Cr (164-210 ppm) y MgO (7-4,78) y  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} > 1$ . Estas rocas presentan un patrón de TR (Fig. 8c) con baja pendiente ( $[\text{La}/\text{Lu}]_{\text{cn}} = 8,3-7,5$ ). Su diseño de elementos menores y traza (Fig. 9) se caracteriza por mostrar poco enriquecimiento en elementos de bajo potencial iónico (LIL).

-Los basaltos olivínicos alcalinos son rocas marcadamente porfíricas según olivina, clinopiroxeno y plagioclasa siempre en desequilibrio. Sus contenidos de Ni (91-103ppm), Cr (142-181ppm) y MgO (4,41-6,38%) son homogéneos, con tenores de elementos alcalinos y elementos de alto potencial iónico (HFS) más altos en relación al grupo de los basaltos olivínicos transicionales. Tienen índices de alcalinidad altos ( $\text{Nb}/\text{Y} > 1$ ;  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O} > 4\%$ ) y patrones empinados de TR ( $[\text{La}/\text{Lu}]_{\text{cn}} = 10,6-12,4$ ), paralelos entre sí y con ligeras variaciones en las concentraciones absolutas (Fig. 8d). Los diseños de elementos menores y trazas remarcan el carácter alcalino con enriquecimientos relativos en LIL y HFS (Fig. 9).

-Las hawaiitas fueron separadas como un tercer grupo sobre la base de sus rasgos petrográficos entre los cuales se destaca la abundancia de olivina bien desarrollada en una trama fina de microlitos de plagioclasa y clino-



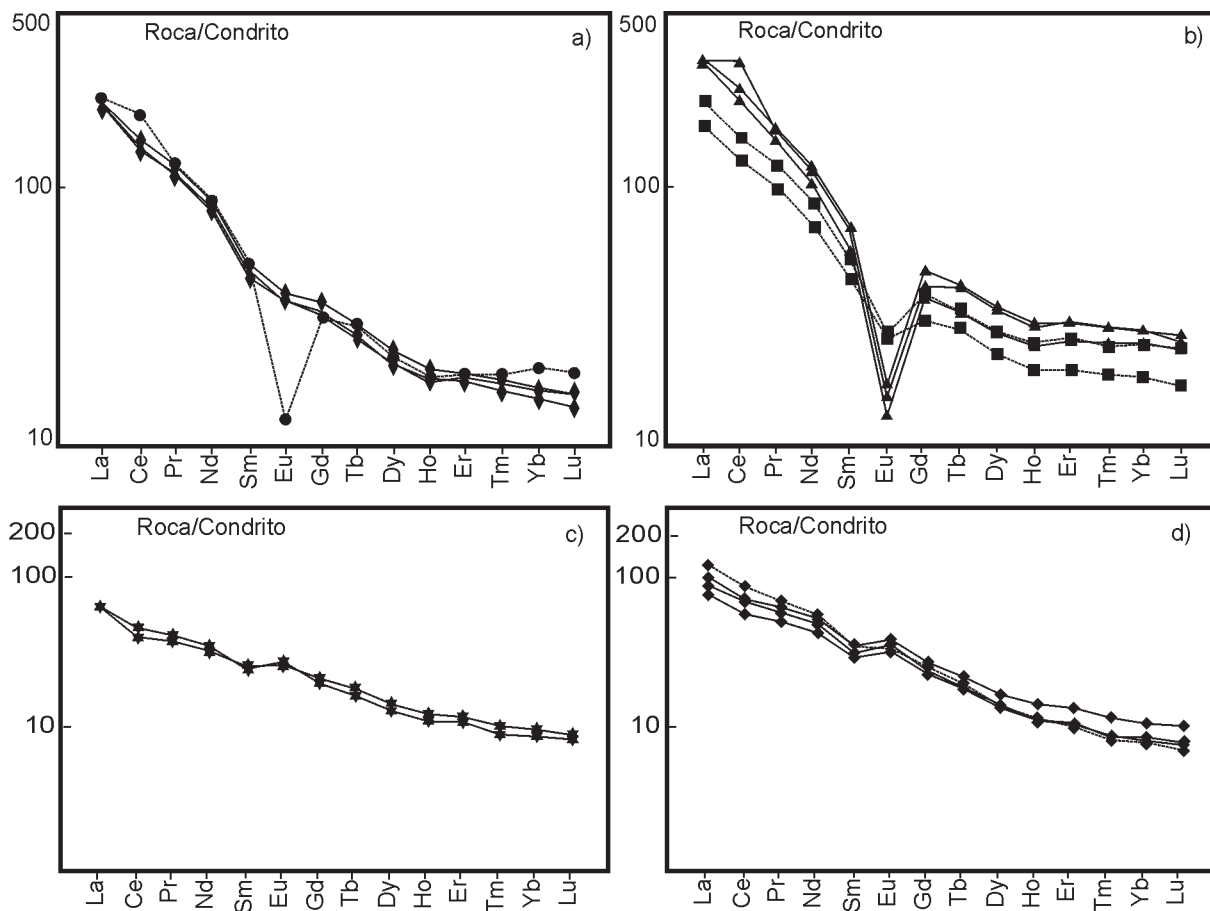
**Figura 7:** Covariación de elementos incompatibles, Hf-Zr y Nb-Zr. Véanse referencias en figura 3.

piroxeno. En gráficos discriminantes clasifican como basaltos alcalinos en el límite con las hawaiitas. Sus índices de alcalinidad ( $\text{Nb}/\text{Y} \approx 3$ ;  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O} \approx 5\%$ ) son los más altos de la secuencia básica así como sus relaciones ( $(\text{La}/\text{Lu})_{\text{cn}} = 18,5$ ). Los diagramas de elementos menores y trazas normalizados confirman el enriquecimiento marcado en elementos móviles (Fig. 9). Las hawaiitas se destacan por las concentraciones de elementos de alto peso atómico, con 151 ppm de Ni, 253 ppm de Cr y 6,55% de MgO.

## Discusión

La sierra de Apas es un aparato volcánico complejo cuya estratigrafía necesita aún de estudios de detalle para alcanzar una conclusión sobre su evolución. Las observaciones de campo y su análisis en laboratorio han permitido corroborar el esquema estratigráfico propuesto para ésta y otras asociaciones volcánicas terciarias en el ambiente extrandino de Río Negro y Chubut (Ardolino y Franchi 1996; Franchi *et al.* 2002; Remesal *et al.* 2001). Probablemente uno de los grandes temas a discutir es la relación temporal del volcanismo de Apas con el manto lávico basáltico de la Formación Somún Curá. La única evidencia de un basalto más antiguo posiblemente correlacionable con la Formación Somún Curá corresponde al afloramiento semicubierto en el sector nororiental intruido por el domo del cerro Colorado.

Las características que presentan algunos de los grupos de muestras en los diagramas de variación, sumado a



**Figura 8:** Diagramas multi-elementos de tierras raras normalizadas según los valores de Sun (1982). Véanse referencias en figura 3. **a)** Traquitas oscuras y domo riolítico (en línea de puntos). **b)** Traquitas claras y flujos piroclásticos (en línea de puntos). **c)** Basaltos africanos. **d)** Basaltos porfíricos y hawaiita (en línea de puntos).

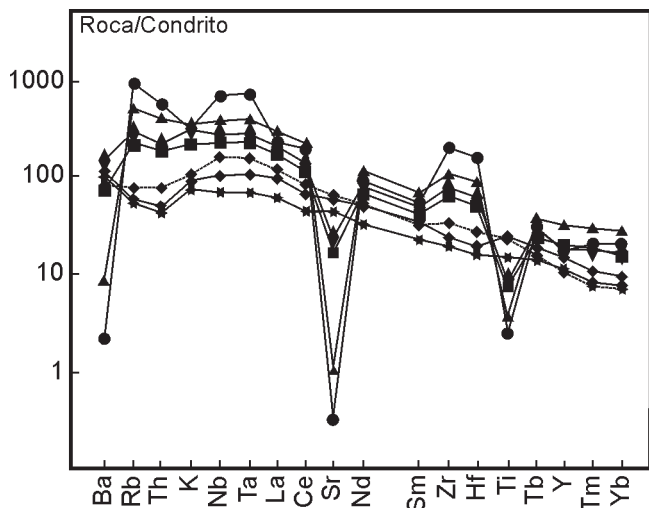
la constancia en las relaciones entre elementos incompatibles (Figs. 5, 6 y 7) indicarían que, si bien la génesis de los magmas puede estar relacionada a una evolución por variaciones en el grado y profundidad de la fusión y hasta por mezcla de magmas en reservorios corticales de sistemas abiertos, la cristalización fraccionada sería el principal proceso en el control de la variación composicional en estas rocas. Los líquidos habrían evolucionado por cristalización fraccionada dominada por olivina en primera instancia y luego por clinopiroxeno y plagioclasa (Fig. 5). La separación de estos últimos podría haber desarrollado la peralcalinidad de las rocas más evolucionadas.

Ninguno de los basaltos extruidos en este sector de sierra de Apas puede ser considerado según sus características geoquímicas como un genuino basalto primario dado que los basaltos primitivos equilibrados con la olivina del manto ( $Fo_{88-92}$ ) presentan  $\#Mg > 68$  (Irving 1971) y contenidos de Ni cercanos a 300ppm (Frey *et al.* 1978). Las muestras más primitivas en esta secuencia corresponden a un basáltico olivínico transicional ( $\#Mg=56$ ; Ni 145ppm) y una hawaiita ( $\#Mg=53$ ; Ni 151ppm) que parecen ser derivados de líquidos originados en reservorios más profundos en la corteza inferior o en el manto superior.

Así, la etapa inicial con fraccionamiento de olivina ( $\pm$  clinopiroxeno) en un sistema cerrado podría haber llevado a líquidos básicos evolucionados (incluso las hawaiitas) tales como los que fueron extruidos en las etapas finales de este volcanismo. Una etapa ulterior de fraccionamiento en sistemas abiertos a baja presión habría estado dominada por fases tales como clinopiroxeno acompañado de plagioclasa y algunos minerales accesorios clave y sería la responsable de una cámara estratificada en la que se diferenciaron líquidos traquibasálticos y traquíticos con extremos comendíticos.

La estratigrafía y las evidencias petrográficas obtenidas hasta el momento para parte de la secuencia de sierra de Apas no permiten interpretar una única cámara como la responsable de la serie basalto-benmoreita-traquita-comendita aflorante en el sector norte. Sin embargo, existe la posibilidad de una fuente común que vincule las rocas en más de una etapa efusiva.

La estrecha relación de las piroclastitas y traquitas claras queda demostrada tanto por su petrografía (fragmentos pumíceos porfíricos con cristales semejantes a los de traquitas claras) como por su geoquímica ya que los patrones de las traquitas diferenciadas y los flujos



**Figura 9:** Diagramas de elementos menores y traza normalizados según los valores de Thompson *et al.* (1984). Fueron graficadas muestras representativas de cada grupo de rocas. Véase referencias en figura 3, (hawaíta en línea de puntos).

piroclásticos, tienen diseños generales paralelos que demuestran evolución comparable y sólo difieren en la anomalía de Eu, menos marcada. La covariación de elementos incompatibles y los patrones de tierras raras implican la vinculación con la serie basáltica. Las traquitas oscuras presentan rasgos de contaminación evidenciados por xenocristales de cuarzo, altos contenidos de Ba y relaciones  $Ba/La \geq 20$  (marcadamente diferentes de las traquitas claras, inferiores a 10). Estas evidencias podrían indicar fraccionamiento en un reservorio distinto al de las traquitas claras. El domo comendítico representaría las rocas más evolucionadas probablemente en una cámara diferente y con vías de salida independientes. Los contenidos de Sr son mayores para los basaltos que para los términos diferenciados, por lo que se estima que estas rocas no han sufrido procesos de contaminación cortical importantes.

Se observa una disminución sistemática en la relación  $La/Lu$  con el aumento de  $SiO_2$  en los basaltos. Esta relación tiene una variación menos marcada en los términos más evolucionados, sin embargo, también se observa una disminución con la diferenciación.

Según las relaciones  $(Ce/Yb)_n$  (Saunders 1984) y  $Sr/Nd$  (Zindler *et al.* 1981) los basaltos parecen mostrar ligeras variaciones en las condiciones y/o porcentaje de fraccionamiento. Estas mismas relaciones de elementos traza permiten definir líneas de fraccionamiento a baja presión entre las traquitas claras y los flujos piroclásticos a partir de basaltos con grados intermedios de evolución.

La geoquímica de elementos mayores y traza nos permite realizar alguna inferencia sobre el ambiente geotectónico. Los contenidos de elementos traza son compatibles con rocas de intraplaca continental (Pearce y Cann 1973; Wood 1980). En los diagramas normalizados a condrito el enriquecimiento en incompatibles y las anomalías positivas en Nb-Ta, son también características de estos magmas (Fig. 9).

## Conclusiones

De acuerdo a las relaciones de yacencia y composición de las rocas aflorantes en el sector norte de la sierra de Apas, se identificaron cinco unidades eruptivas. Se han establecido correlaciones con las unidades propuestas para la región por Ardolino (1981) dentro de la Formación Quiñelaf, actualmente elevada al rango de Superunidad (Franchi *et al.* 2001). Se distinguió un primer estadio efusivo de lavas traquíticas denominadas traquitas oscuras, correlacionables con las lavas porfíricas oscuras de la facies lávica (Ardolino 1981); continúan emisiones de flujos piroclásticos que quedarían incluidas en la facies piroclástica definida por este autor; una facies lávica de traquitas claras, con una edad de  $19 \pm 2$  Ma, corresponderían a las lavas porfíricas grises y moradas definidas por Ardolino (1981). Las efusiones que dan lugar al domo del cerro Colorado (Facies Intrusiva según Ardolino 1981), datadas en  $24 \pm 1$  Ma, están relacionadas por su composición a las traquitas claras. La relación entre las rocas piroclásticas y las traquitas claras no es directa sino que también - como en el caso de los domos - se vinculan a través de los rasgos petrográficos y petrológicos. Por último se distingue un evento efusivo básico dentro del cual se definieron dos subgrupos: basaltos porfíricos y afíricos. Estos basaltos corresponderían en forma parcial a la Formación Somún Curá y en parte a la facies lávica básica de Ardolino (1981). Las subdivisiones en la facies basáltica ayudan en el reconocimiento general de las efusiones vinculadas a las etapas finales de esta secuencia volcánica, sin embargo, no permiten hacer correlaciones regionales o consideraciones sobre su posible interpretación en el marco del volcanismo de plateau.

Las rocas traquíticas conforman dos tipos de afloramientos con niveles de erosión diferente. Las más antiguas aparecen como suaves lomadas y con características de fluidalidad mientras que las correspondientes a episodios más jóvenes forman paredones verticales revelando una mayor viscosidad. Las primeras constituyen una asociación de afinidades traquibasálticas con una fase fenocrystalina rica en minerales máficos y accesorios. Las segundas están representadas por traquitas con cuarzo, que clasifican como comenditas y con grandes cristales de feldespatos. Los depósitos de rocas piroclásticas en general se presentan como flujos de pumíceos de poco espesor, de colores castaños y siempre al amparo de rocas basálticas o como piroclastitas de caída intercaladas con lavas basálticas y atribuidas a un evento menos explosivo. Los datos geoquímicos de los flujos piroclásticos indican composiciones traquibasálticas, mientras que la petrografía de los depósitos de caída señalan composiciones basálticas. Rocas riolíticas peralcalinas definen el domo exógeno en el sector nororiental, cuya morfología está gobernada por el emplazamiento de magmas de temperatura moderada y alta viscosidad que alcanzan la superficie donde forman aparatos volcánicos poco desarrollados. La última facies eruptiva considerada en esta secuencia es la correspondiente a emisiones lávicas de basaltos olivínicos. Se disponen en áreas marginales defi-

niendo parte del flanco norte y nororiental de la estructura volcánica principal o cubren a piroclastitas y traquitas del sector interno. Están asociados a aparatos volcánicos menores o fisuras. Pueden ser identificados petrográficamente y geoquímicamente como basaltos olivínicos con tendencias transicionales y alcalinas.

La información petrológica permitió diferenciar dos tendencias evolutivas: una representada por los basaltos basaltos olivínicos transicionales y basaltos alcalinos transicionales, flujos piroclásticos, traquitas claras y domo riolítico. La cristalización fraccionada sería el principal factor en el control de la variación composicional en la serie que habría evolucionado a partir de un líquido básico diferenciado. Las traquitas oscuras, serían parte de otra tendencia evolutiva parcialmente representada. Solamente la continuidad de los trabajos de investigación actualmente en desarrollo enfocados a completar la información de toda la sierra podrán aportar claridad a la evolución petrogenética de esta importante asociación magmática.

## Agradecimientos

Este trabajo se realizó en el marco de los Proyectos Ubacyt X628 y PEI 6410. Los autores desean expresar su agradecimiento a los Lic. Alberto Ardolino y Mario Franchi del Servicio Geológico Minero Argentino; a la Lic. Mariana Gagliardo y al Lic. Claudio Parica de la UBA y al Sr. Eduardo Llambias del CONICET. A la Dra. Poma y al Dr. Aragón por sus oportunas sugerencias durante el arbitraje del presente trabajo.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Ardolino, A.A., 1981. El vulcanismo cenozoico del borde suroriental de la meseta de Somuncurá. Provincia del Chubut. Actas VIII Congreso Geológico Argentino 1:65 y 3: 7-23, San Luis.
- Ardolino, A.A. 1987. Descripción geológica de la Hoja 42f, Sierra de Apas. Provincia de Chubut. Dirección Nacional de Minería y Geología Boletín 203, 91 pp.
- Ardolino, A.A y M. Franchi. 1996. Hoja Geológica 4366-1. Telsen. Boletín 215. Dirección Nacional del Servicio Geológico, Subsecretaría de Minería de la Nación, 110 pp., Buenos Aires.
- Croce, 1963. El Sistema del Somún Curá. Las Altas Sierras del Somún Curá y sus alrededores. Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, Ciencia e Instituto Nacional de Investigación de las Ciencias Naturales. Geológica, 6 (7): 303-321, Buenos Aires.
- Corbella, H., 1975. Diseño radial de diques traquíticos en la sierra de Apas, Macizo Nordpatagónico, provincia de Río Negro, Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 30 (1):110-11, Buenos Aires.
- Corbella, H. y Linares, E., 1977. Acerca de la naturaleza peralcalina de algunos afloramientos volcánicos y subvolcánicos de la sierra de Apas y de la sierra Negra (Telsen), provincias de Río Negro y Chubut, Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 33 (2):152, Buenos Aires.
- Franchi, M., Ardolino A.A. y Remesal, M., 2001. Hoja Geológica N°4166-III, Cona Niyeu. Provincia de Río Negro. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 262: 1-114, Buenos Aires.
- Frey, F. A., Green, D. H., y Roy, S. D., 1978. Integrated models of basalt petrogenesis: A study of quartz tholeiites to olivine melilitites from southeastern Australia using geochemical and experimental petrological data. Journal of Petrology, 19 (3): 463-513.
- Irving, A. J., 1971. Geochemical and high pressure experimental studies of xenoliths, megacrysts, and basalts from southeastern Australia (Ph. D. thesis). Australian National University, Canberra.
- Irving, T.N. y Baragar, W.R.A., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Sciences, 8: 523-548.
- Le Maitre, R.W, Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Lameyre, J., Le Bas, M.J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sorensen, H., Strekeisen, A., Woolley, A.R. y Zanettin, B., 1989. A classification of igneous rocks and glossary of terms. Blackwell, 193 pp., Oxford.
- Macdonald, R., 1974. Nomenclature and petrochemistry of peralkaline oversaturated extrusive rocks. Bulletin of Volcanology, 38: 498-516.
- MacDonald, G.A., 1968. Composition and origin of Hawaiian lavas. Geological Society of American Memoir 116: 477-522.
- Pearce, J. A. and Cann, J.R., 1973. Tectonic Setting of Basic Volcanic Rocks determined using trace element analyses. Earth and Planetary Science Letters, 19: 290-300.
- Remesal, M. 1988. Geología y petrología de los basaltos de la Meseta de Somuncura. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires (Inédito), 211 pp., Buenos Aires.
- Remesal, M., Salani, F., Franchi M. y Ardolino, A., 2001. Hoja Geológica 4169-IV, Maquinchao. Provincia de Río Negro. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 312: 1-72, Buenos Aires.
- Saunders, A.D. 1984. The rare earth element characteristics of igneous rocks from the ocean basins. En Henderson (Ed.): Rare Earth Elements Geochemistry. Developments in Geochemistry 2: 205-236, Elsevier.
- Sun, S.S., 1982. Chemical composition and origin of the Earth's primitive mantle. *Cheochimica et Cosmochimica Acta*, 46:179-192.
- Thompson, R. N, Morrison, M.A., Hendry, G.L. y Parry, S.J., 1984. An assessment of the relative roles of a crust and mantle in magma genesis: an elemental approach. *Philosophical Transaction Royal Society of London*. A310: 549-590.
- Wood, D. A., 1980. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary Volcanic Province. *Earth and Planetary Science Letters*, 50: 11-30.
- Winchester, J.A. y Floyd, P.A., 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements *Chemical Geology*, 20: 325-343.
- Zindler, A., Hart, S. R. and Brooks, C., 1981. The Shabogamo intrusive suite, Labrador: Sr and Nd isotopic evidence for contaminated mafic magmas in the Proterozoic. *Earth and Planetary Science Letters*, 54: 217-235.

**Recibido:** 20 de agosto, 2003

**Aceptado:** 10 de octubre, 2004