

# EL CENTRO VOLCÁNICO SIERRA GRANDE: CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DEL MAGMATISMO EXTENSIONAL LIÁSICO, NORESTE DE LA PATAGONIA

Marcelo J. MÁRQUEZ<sup>1,2</sup>, Gabriela I. MASSAFERRO<sup>3</sup>, María I. FERNÁNDEZ<sup>1</sup>, Nilda MENEGATTI<sup>1</sup> y César R. NAVARRETE<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Sede Comodoro Rivadavia. Facultad de Ciencias Naturales.

E-mail: marcelo28marquez@yahoo.com.ar

<sup>2</sup> SEGEMAR, Delegación Comodoro Rivadavia, Comodoro Rivadavia.

<sup>3</sup> Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Sede Puerto Madryn, Puerto Madryn.

## RESUMEN

El trabajo expone los datos, interpretaciones y conclusiones, obtenidos del mapeo litofacial de un área de aproximadamente 400 km<sup>2</sup> del Complejo Marifil en la localidad de Sierra Grande sector noreste del macizo de Somún Cura, provincia de Río Negro. En el complejo volcánico del Jurásico Inferior se identificaron facies intrusivas (*stocks*, diques, filón capa y domos) y facies piroclásticas (ignimbritas con distinto grado de soldamiento y tobas de caída) asociadas a sedimentos volcanogénicos y niveles de calizas. Las litofacies se distribuyen de manera inhomogénea, con los flujos piroclásticos dominando en la parte sur, los *stocks* en el sector oeste y los diques, domos y filones concentrados en la sierra Grande. A través de microscopía, se determinaron rocas riolíticas con abundante sanidina y cuarzo, proporciones variables de plagioclasa y biotita englobadas en una mesostasis de similar mineralogía y con grados diversos de desvitrificación. Los análisis geoquímicos de las litofacies principales establecen la presencia de riolitas y riolacitas. La orientación N y NNO de los diques, domos y filón capa muestra fuerte coincidencia con la estructura del basamento sedimentario paleozoico, lo que se interpreta como una actividad estructural múltiple sobre fallas regmáticas que controlan el emplazamiento del centro volcánico Sierra Grande, para el que se propone un origen fisural. Se postula asimismo una secuencia relativa del volcanismo que se inicia con conglomerados sedimentarios, sedimentos volcanogénicos, ignimbritas, filón capa, tobas de caída y calizas, *stocks* y finaliza con el emplazamiento de domos seguidos por diques.

**Palabras clave:** *Volcanismo riolítico, Patagonia, Jurásico, litofacies volcánicas.*

## ABSTRACT

*Sierra Grande volcanic center: petrographical and geochemical characterization of the extensional liasic magmatism, northeastern Patagonia.*

The data, interpretations and conclusions obtained from the lithofacial mapping of Marifil Complex, in an area of 400 km<sup>2</sup> near Sierra Grande, northeast of Somún Cura Massif, Río Negro province are presented here. Intrusive facies (*stocks*, dykes, sills and domes) and pyroclastic ones (ignimbrites with different extent of welding and tuffs) associated with volcanogenic sedimentites and limestones were indentified. The lithofacies are not homogeneously distributed, the pyroclastic flows dominate in the south, the *stocks* in the western region and the domes, dykes and sills concentrated in the Sierra Grande. Microscopic analysis show rhyolitic rocks with phenocrysts of sanidine and quartz and subordinate biotite and plagioclase set in a groundmass with different degrees of devitrification. The chemical analyses show rhyolitic and rhyodacitic composition. The N and NNO orientation of the domes, dykes and sills is coincident with the structures of the Paleozoic sedimentary basement and allow interpreting that the emplacement of the Sierra Grande volcanic center was controlled by reactivation of regmatic faults. In this way, we proposed a fisural origin for this volcanism and that the relative sequence of events would have started with the deposition of sedimentary conglomerates and volcanogenic sedimentites, and continued with ignimbrites, sill, tuffs and limestones, *stocks* and finally domes and dykes.

**Keywords:** *Rhyolitic volcanism, Patagonia, Jurassic, volcanic lithofacies.*

## INTRODUCCIÓN

El sector estudiado se encuentra ubicado

en el sureste de la provincia de Río Negro (Fig. 1), en los alrededores de la localidad de Sierra Grande. Forma parte de la

provincia geológica de Somún Cura (Ramos 1999), en el ámbito de la hoja geológica Sierra Grande (Busteros *et al.* 1998).

Queda delimitado por los paralelos de 45°40' y 45°46'S y los meridianos de 65°14' y 65°20'O.

La región entorno a Sierra Grande constituye un centro volcánico jurásico donde se exponen diversas facies eruptivas correlacionadas con el Complejo Volcánico Marifil, cubriendo un basamento paleozoico. El estudio detallado de las litofacies volcánicas, su distribución y sus relaciones de yacencia, permitieron establecer sus dimensiones y elaborar un esquema de evolución para este centro volcánico, aplicable, en forma tentativa, a otros centros eruptivos del macizo de Somún Cura. El término "centro volcánico" se utiliza en el sentido de definir una concentración notable de rocas producidas por actividad volcánica con dominio de cuerpos intrusivos de tipo, *stock* diques y domos, que sugieren una proximidad con la cámara magmática, rodeados por un extenso plateau de depósitos piroclásticos asociados. Sería similar a lo que Németh y Martín (2007) definen como un complejo volcánico (*volcanic complex*).

El volcanismo extensional jurásico es reconocido en la Patagonia extraandina como Complejo Volcánico Marifil en el sector noreste de Patagonia, o como Complejo Bahía Laura en el sector sureste de Patagonia. A pesar de su extensión, sólo en las cercanías de Sierra Grande hay excelentes afloramientos donde se observan las diversas facies y sus relaciones, motivo por el cual resulta una localidad clave para comprender los mecanismos eruptivos que le dieron origen.

Los lineamientos geológicos de la comarca fueron dados a conocer por Wichmann (1926), seguido por Feruglio (1949) y Valvano (1954). De Alba (1964) reúne los datos existentes hasta esa fecha. Posteriormente merecen destacarse los trabajos de Corbella (1973), Llambías *et al.* (1984), Giacosa (1994) y Busteros *et al.* (1998), orientados al estudio de diversos aspectos geológicos regionales de la comarca.

La investigación, cuyos resultados integran este trabajo, conforman la segunda etapa del proyecto denominado El volca-

nismo extensional Jurásico en el macizo de Somún Cura: litofacies, mecanismos de extrusión intrusión y su relación con la formación de depósitos minerales, avalado por el CIUNPAT de la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco (Facultad de Ciencias Naturales, Departamento de Geología, Comodoro Rivadavia).

## MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

El basamento de la zona está constituido por esquistos, gneises, anfíbolitas, calizas (facies de anfíbolita) y granitoides agrupados en el Complejo Mina Gonzalito (Giacosa 1999) y rocas metamórficas de bajo grado (metagrauvas a filitas cuarzosas) de la Formación El Jaguelito (Giacosa 1999) datados en el Proterozoico superior (Linares *et al.* 1990, Varela *et al.* 1998, Basei *et al.* 2005) y ubicados en el límite Cámbrico-Ordovícico por Giacosa (1999) y más específicamente en el lapso Cámbrico-Tremadociano por González *et al.* (2002). Este conjunto está intruido por granitoides de edad ordovícica denominados Complejo Plutónico Punta Sierra (Busteros *et al.* 1998).

Sobre las unidades descriptas se depositan en discordancia angular sedimentitas marinas de la Formación Sierra Grande (von Müller 1965). Son areniscas cuarcíticas grises y blancas de grano medio a fino con intercalaciones de niveles portadores de hematita oolítica que corresponden a un ambiente de plataforma. Sobre la base de su contenido fosilífero fueron atribuidas al Silúrico Medio-Devónico Temprano (Spalletti *et al.* 1991).

En la comarca del macizo de Somún Cura, Llambías (1999) denominó Provincia Mágica Choiyoi (ciclo eruptivo Gondwánico) al conjunto de rocas plutónicas y volcánicas comprendidas entre el Pérmico y el Triásico Inferior alto. Este magmatismo está representado en el sector de estudio por el Complejo Plutónico Pailemán (Giacosa 1993).

En forma discordante, se deposita la Formación Marifil (Malvicini y Llambías 1974)

o Complejo Volcánico Marifil (Cortés 1981) de edad jurásica temprana. Este complejo, objetivo principal del trabajo, está integrado por facies extrusivas (lavas, ignimbritas y tobas) e intrusivas (diques y domos) localmente intercaladas con facies sedimentarias químicas y epiclásticas. En la literatura se menciona como la base del complejo a una secuencia sedimentaria denominada Formación Puesto Piris (Nuñez *et al.* 1975), que se inicia con un conglomerado polimítico rojizo y continúa con tobas arenosas y tobas vitrocrystalinas. Si bien la composición de las volcanitas jurásicas es predominantemente ácida, Busteros *et al.* (1998) describen la presencia de andesitas y traquiandesitas hacia la base del complejo, en la zona de la sierra de Pailemán. De acuerdo a dataciones <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar de Alric *et al.* (1996) el período de actividad volcánica en el macizo de Somún Cura abarcaría desde 187,4 ± 1,2 Ma hasta los 176,9 ± 1,6 Ma, en concordancia con lo sugerido por Pankhurst *et al.* (2000). Este volcanismo ácido jurásico está representado en la provincia de Santa Cruz donde se lo conoce como Grupo Bahía Laura o Complejo Volcánico Bahía Laura (Sruoga *et al.* 2008). Los afloramientos se extienden hasta el oeste de Antártida y en conjunto todas las volcanitas ácidas jurásicas de Patagonia y Antártida fueron reunidas por Kay *et al.* (1989) en la provincia Chon Aike, criterio seguido más tarde por Pankhurst *et al.* (1998).

El Cretácico está representado por escasos asomos de la Formación Arroyo Salado (Weber 1983) constituida por rocas carbonáticas y siliciclásticas depositadas en un ambiente de *offshore* (Spalletti *et al.* 1993). Durante el Terciario, se repiten las intrusiones y regresiones marinas, interrumpidas únicamente por los depósitos continentales de la Formación Sarmiento y por los derrames basálticos oligocenos de la Formación Somún Cura. Completan la columna estratigráfica los Rodados Patagónicos pliocenos y los depósitos aluviales y coluviales pleistoceno-holocenos.

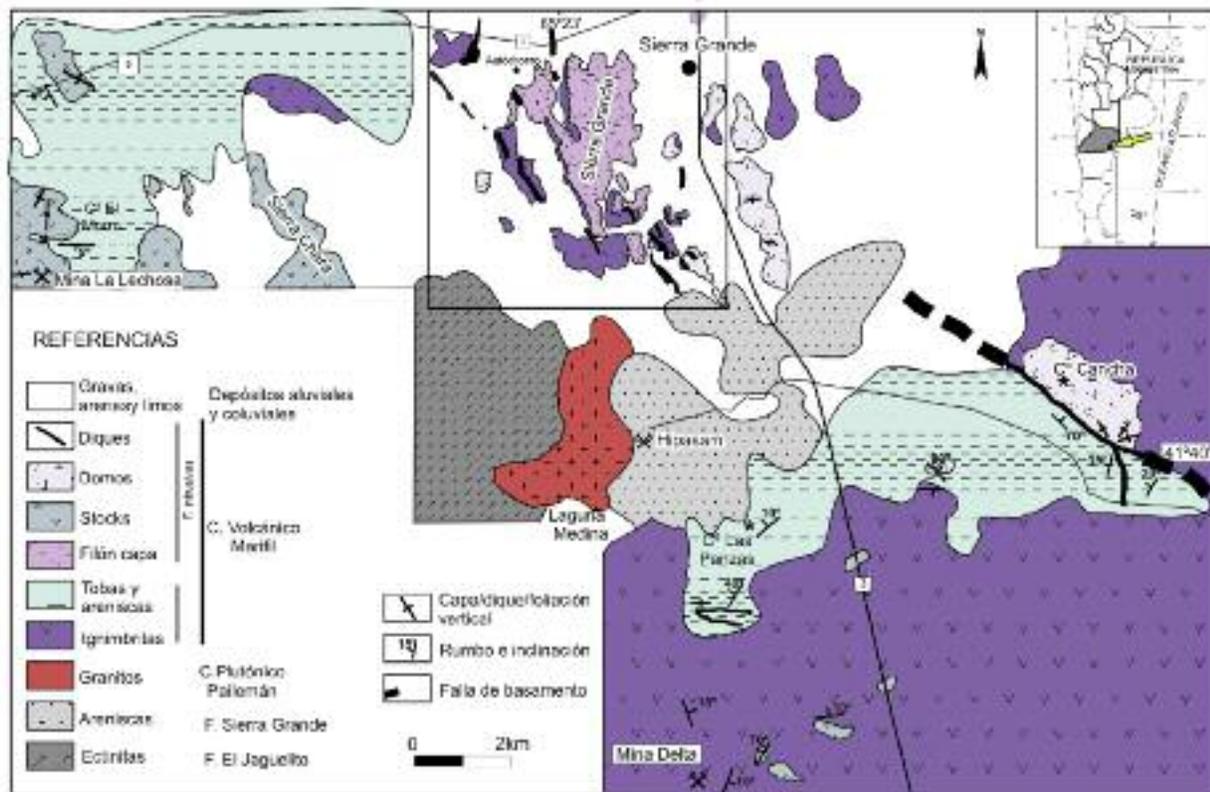


Figura 1: Mapa de ubicación del área de estudio y mapa geológico.

## MARCO TECTÓNICO DEL VOLCANISMO JURÁSICO

El borde este del macizo de Somún Cura tiene una historia geológica que registra, durante el Pliensbaquiano, el inicio de la separación de Gondwana en los bloques continentales oriental y occidental, al implantarse el centro dispersor de calor del Karoo, lo que promovió el inicio de la subducción en el margen oeste de Sudamérica (Kay *et al.* 1989, Mpodozis y Ramos 2008). Desde el Triásico Tardío hasta el Cretácico Temprano, la velocidad absoluta de la placa Sudamericana tuvo un *roll-back* negativo que provocó que Sudamérica estuviera sometida a un régimen extensional (Ramos 1999). Los esfuerzos distensivos en la Patagonia se habrían iniciado en el N-NE (187 Ma) y migraron hacia el S-SO (144 Ma) (Féraud *et al.* 1999) generando hemigrábenes con orientación variable en un margen pasivo de placa inferior (Uliana *et al.* 1985, Ciciarelli 1990, Ramos 1996) que culmina-

ron con la formación de la cuenca de trasarco conocida como Rocas Verdes (Dallziel *et al.* 1974, Bruhn *et al.* 1987). La etapa extensional fue acompañada por la efusión de un volumen muy importante de volcánitas predominantemente silíceas (235.000 km<sup>3</sup>, Pankhurst *et al.* 1998) cubriendo un área de 10<sup>6</sup> km<sup>2</sup> (Féraud *et al.* 1999). Si bien este volcanismo fue en mayor medida de composición ácida en los Complejos Volcánicos Marifil y Bahía Laura, se describen también rocas básicas en la Formación Bajo Pobre en Santa Cruz, e intermedias en la Formación Lonco Trapial en Chubut de edad similar (Alric *et al.* 1996, Echeveste *et al.* 2001). En este contexto de extensión por cizalla simple (Ciciarelli 1990) y ubicada en un margen pasivo inferior, se habría generando la fusión de la corteza que dio origen al volcanismo jurásico en sentido amplio.

## GEOLOGÍA LOCAL

La región investigada que se ubica en el

sureste de la provincia de Río Negro (Fig. 1), en los alrededores de la localidad de Sierra Grande, cubre una superficie de alrededor de 500 km<sup>2</sup> y queda delimitada por las coordenadas de 41°34'S a 41°44'S y 65°12'O a 65°32'O. A grandes rasgos se reconoce una zona centro oeste donde afloran las rocas pre-devónicas, mientras que la mitad inferior, que incluye el extremo sureste, está cubierto por ignimbritas y el rincón NNO exhibe numerosos asomos de cuerpos subvolcánicos (Figs. 1 y 2). Esta distribución inhomogénea de las litofacies y la concentración de intrusivos y domos permitió identificar al área de Sierra Grande como un megacentro volcánico (Márquez *et al.* 2009).

Como resultado del mapeo y muestreo detallado de los afloramientos del Complejo Volcánico Marifil se reconocieron litofacies intrusivas y volcánicas, se determinó su distribución y las relaciones de contacto, lo que permitió elaborar la estratigrafía relativa de los episodios ocu-

rridos durante la evolución del centro eruptivo en el Jurásico Inferior.

La facies intrusiva está compuesta por diques, *stocks*, un extenso filón capa y numerosos domos. Los domos se incluyen como intrusivos debido a que resulta difícil establecer si conforman cuerpos extrusivos o si en realidad representan a criptodomas exhumados por meteorización. La facies volcániclastica es equivalente a los materiales producto de explosiones volcánicas, flujos piroclásticos interdigitados con depósitos de caída retrabajados/resedimentados. Esta división es coincidente en sentido amplio con la clasificación genética propuesta por McPhie *et al.* (1993).

La descripción de las litofacies se realizará en un orden que responde a la distribución temporal de los eventos: tobas y sedimentitas volcánicas, ignimbritas, filón capa, *stocks*, domos y diques. Las relaciones entre estas facies están esquematizadas en la figura 3.

**Tobas y sedimentitas volcánicas**

Estos depósitos se distribuyen en los sectores actualmente más deprimidos de la comarca y sus afloramientos son escasos y muy cubiertos por regolito. Por el diseño y asociación litológica se puede reconocer, con algunas dudas, la existencia de dos cuencas. La primera aloja a los depósitos de la base de la secuencia piroclástica y se ubica al sur de Sierra Grande con su eje mayor orientado en dirección EO (Fig. 1). Muestra una secuencia compuesta por conglomerados matriz sostén, calizas y areniscas que fueron correlacionadas por Zanettini (1980) con la Formación Puesto Piris y asignadas al Triásico. Cortés (1981) incluye la Formación Puesto Piris dentro del Complejo Volcánico Marifil, asignándole una edad liásica.

La otra cuenca se localiza al oeste de Sierra Grande y tiene una orientación N, aloja tobas de caída y calizas en relación de discordancia sobre las ignimbritas. El conjunto se encuentra intruido (al menos en forma local) por *stocks* riolíticos y es atravesado por vetas de fluorita y cuarzo. Constituirían depósitos más jóvenes en la

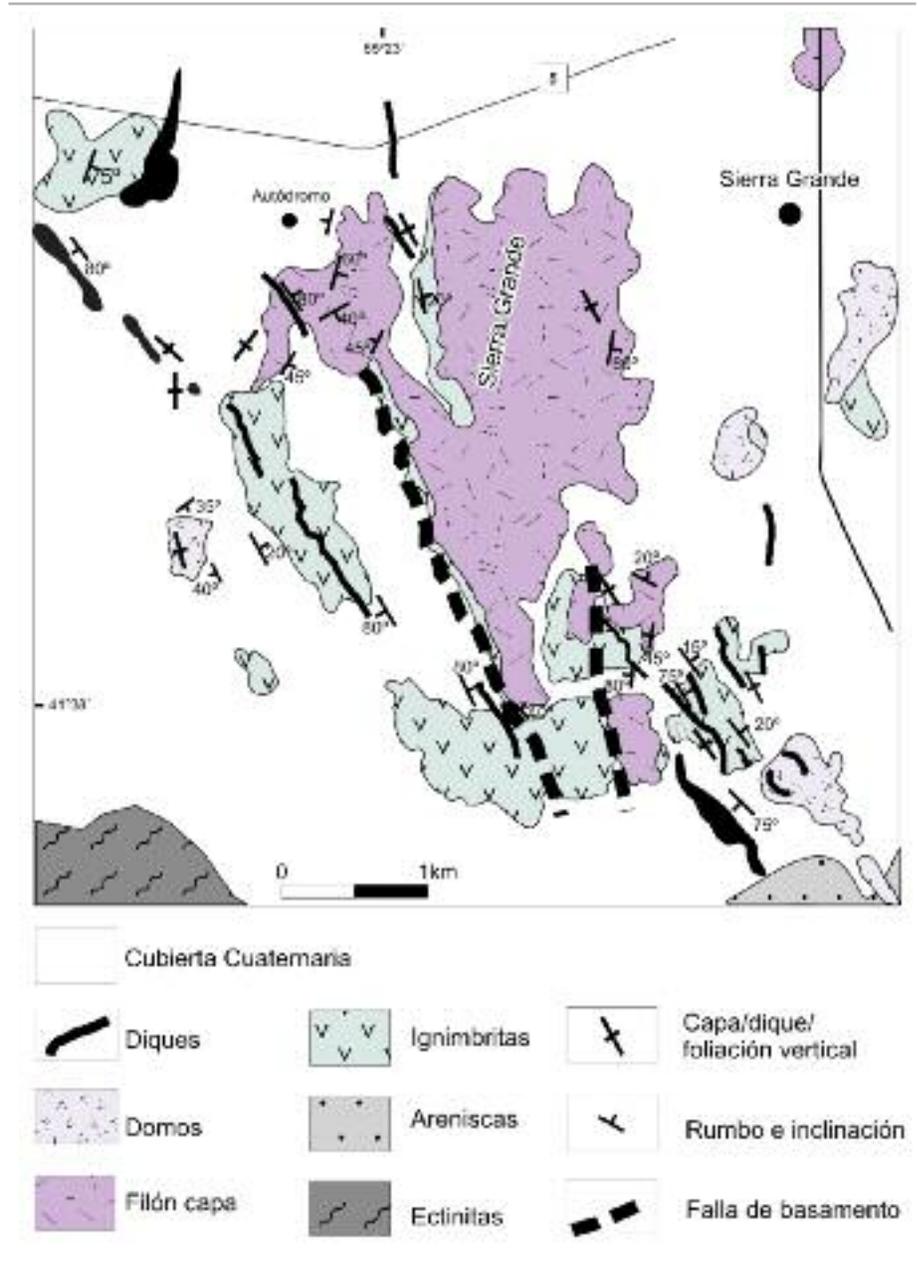


Figura 2: Detalle geológico del área de la sierra Grande.

secuencia volcánica.

Las tobas poseen textura cristaloclastica (20 %) compuesta por cuarzo, feldespato y escasa biotita en una matriz afanítica. El cuarzo es límpido y ligeramente redondeado. Los cristales de feldespato están totalmente transformados en arcilla o ceolitas de baja birrefringencia por lo que apenas se diferencian de la matriz. La biotita es muy fina, suele estar flexurada y totalmente desferizada.

La matriz es vitroclástica con abundantes

trizas y pumicitas inmersas en una base de vidrio fino (pulvícula) y arcilla recristalizada. El contorno de las trizas queda marcado por la presencia de minerales opacos, lo que las hace resaltar de la base incolora. Las trizas están completamente desvitrificadas a cuarzo microgranular muy límpido, o bien este mineral se ubica sobre sus bordes, mientras que hacia el centro se observa el mismo tipo de arcillas que han reemplazado a los cristaloclastos de feldespato. Las pumicitas están

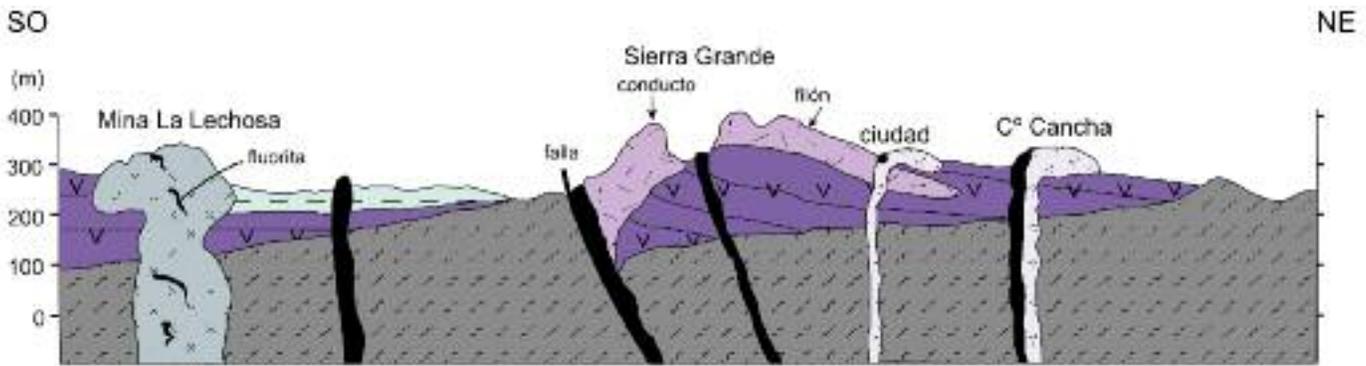


Figura 3: Sección esquemática idealizada. Referencias iguales que en figura 2.

transformadas a arcilla cristalizada y sericita. Como mineral accesorio se observó circón.

Algunas tobas de caída poseen laminación paralela muy bien marcada constituida por finas bandas con variaciones de color y espesores que oscilan de 0,5 a 2 mm. Otras, en zonas de contacto con cuerpos intrusivos, tienen evidencias de metamorfismo de contacto.

Las areniscas poseen textura clástica con predominio de un 80 % de la fracción clástica sobre el cemento y matriz. La dimensión de los clastos mayores alcanza el tamaño de arena gruesa y entre ellos se distinguen fragmentos monominerales, vitroclastos y fragmentos líticos. Los cristaloclastos están constituidos por feldespato, cuarzo, opacos y biotita. Los vitroclastos están representados por pumicitas y trizas vítreas alteradas a arcillas o totalmente desvitrificadas y convertidas en agregados finos de cuarzo-feldespato con textura microgranosa difusa o esferulítica. Dentro de los litoclastos se distinguen fragmentos de andesitas, rocas piroclásticas y areniscas. La matriz dominante es pelítica con fuerte limonitización y el cemento se compone de arcillas, limonitas y en algunos casos ceolitas (Fig. 4a).

### Ignimbritas

Si bien a nivel regional la facies ignimbrítica es la dominante, en el área de trabajo sus afloramientos no son destacados (Figs. 1 y 2); poseen morfología redondeada y son escasos por la abundante cubierta regolítica que los enmascara. Ocupan en

forma mayoritaria la zona sur y se las identifica en ambos costados de la Sierra Grande.

Constituyen flujos de espesores variables y difíciles de medir pero en general menores a 10 m, donde se identifican ignimbritas soldadas muy compactas y de coloración rojiza con abundantes *fiammes*. Los afloramientos son masivos o presentan disyunción columnar marcada. En forma restringida aparecen asomos de ignimbritas no soldadas de tonalidades claras a blanquecinas integradas por pómez centimétricas irregulares (con vesículas redondeadas y tubulares). Se encuentran por debajo de las ignimbritas soldadas y en ellas son fácilmente reconocibles litoclastos de color gris oscuro a negro que pertenecen a las rocas de basamento metamórfico que afloran al SO de la sierra. Fragmentos pumíceos similares, aunque de menor tamaño, se identificaron en los sedimentos volcánoclasticos.

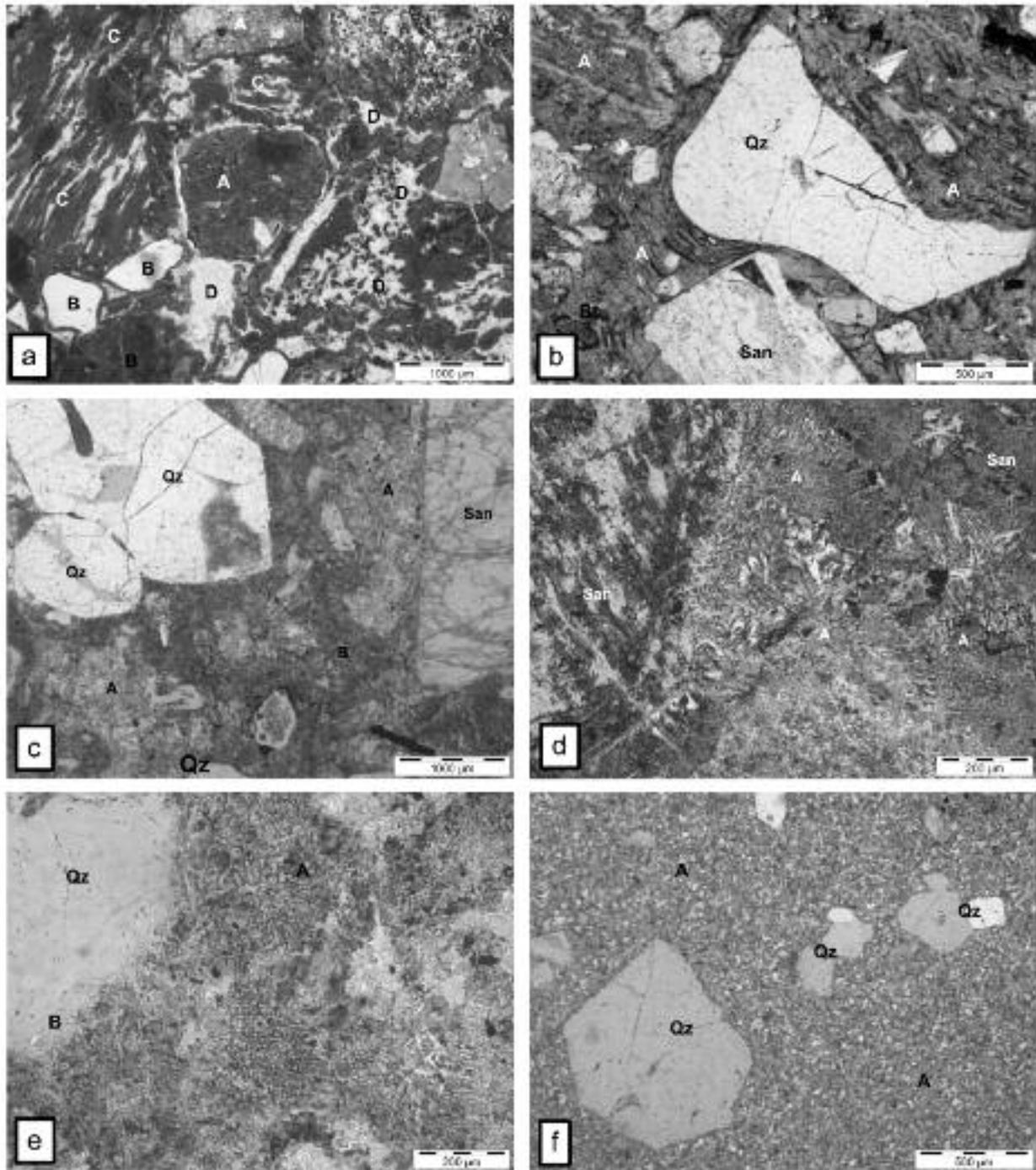
Las ignimbritas ocupan la parte inferior de la secuencia volcánoclastica, cubren conglomerados/ brechas matriz sostén compuestos por fragmentos de metamorfitas y rocas riolíticas de diámetro variable que alcanzan los 20 cm, a los que se asocian calizas en la zona del cerro Las Panzas (Valvano 1954, Zanettini 1980). Son cubiertas en concordancia por depósitos de caída (cantera Municipal) y calizas estromatolíticas (cerro El Morro) en el acceso a la mina La Lechosa. Las ignimbritas alojan al filón capa, son atravesadas por numerosos diques, son intruidas por los *stocks* e infrayacen a los domos.

Los mantos en el entorno de la sierra se disponen con rumbo NNO e inclinaciones suaves al NE (10° a 20°) en una disposición espacial que es coincidente y que controla el emplazamiento del filón capa (Fig. 5). Similar disposición de las ignimbritas se determinó en los alrededores de mina Delta (fluorita). Sobre el faldeo oeste de la sierra Grande se observan las mejores exposiciones del apilamiento de numerosas (más de 10) unidades de enfriamiento resaltadas por los procesos de erosión diferencial.

La textura de las ignimbritas soldadas es eutaxítica y se compone por 30 a 40 % de cristaloclastos de feldespatos, cuarzo y biotita, los que llegan hasta los 6 mm de tamaño (Fig. 4b).

Los cristaloclastos de feldespato potásico son subhedrales; algunos poseen pertitas. La plagioclasa (oligoclasa) es escasa con variable grado de alteración a arcilla y sericita. El cuarzo se presenta límpido, en grandes cristales subhedrales algo redondeados y fragmentados. La biotita es abundante, con alteración a clorita y minerales opacos.

La matriz es vitroclástica con *fiammes* totalmente desvitrificados, convertidos en un agregado microgranoso fino a muy fino de composición cuarzo-feldespática. Algunos *fiammes* contienen cristaloclastos de cuarzo y/o feldespatos rodeados por vidrio original desvitrificado. La matriz también está desvitrificada, es microgranosa fina compuesta por muy pequeños cristales de cuarzo y feldespato con índice menor que el bálsamo. Como minera-



**Figura 4:** a) Muestra de sedimentita volcánica: A litoclasto volcánico, B cristaloclasto, C vitroclasto tubular, D cemento ceolítico; b) ignimbrita con textura eutáxica: Qz cuarzo, San sanidina, A matriz soldada; c) muestra del filón capa: Qz cuarzo, San sanidina, A pasta desvitrificada Qz+FK, B pasta vítrea; d) muestra del *stock*. Qz cuarzo, San sanidina, A pasta desvitrificada micrográfica; e) muestra del domo: Qz cuarzo, A pasta desvitrificada esferulítica, B borde de crecimiento sobre cuarzo; f) muestra de dique: Qz cuarzo, A pasta microgranular cuarzo-feldespato potásico. Microfotografías sin analizador.

los accesorios hay apatita y circón. Algunas ignimbritas tienen los *fiammes* plegados y/o la matriz desvitrificada adaptada a los cristaloclastos (reomorfismo?), mientras que en otras la matriz es homo-

génea con numerosos fantasmas de trizas. Estas diferencias corroboran la existencia de distintas unidades de enfriamiento dentro de la secuencia ignimbrítica.

#### Filón capa

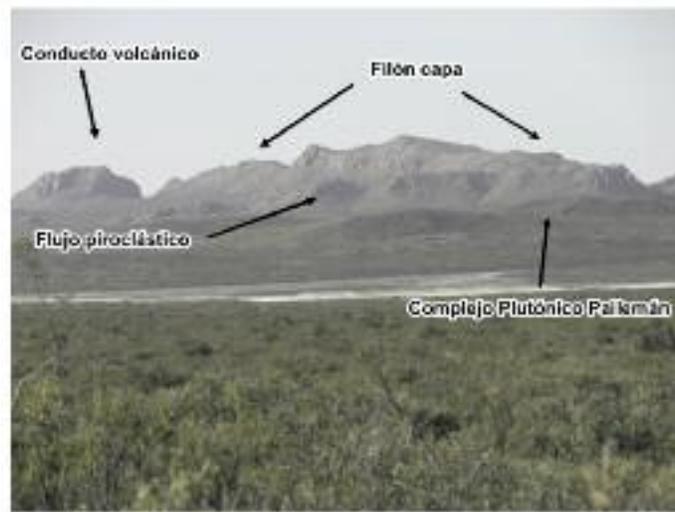
El cuerpo de mayores dimensiones es un filón capa o un conjunto de filones paralelos/subparalelos que constituyen el cordón de mayor altura y el faldeo orien-

tal de la sierra Grande (Figs. 1 y 2). Se extienden sin solución de continuidad hacia el este, donde intruyen a las ignimbritas. El cuerpo se expone a lo largo de 4 km en el sentido del rumbo, en coincidencia con la elongación NNO de la sierra y muestra unos 3 km de ancho máximo, con una inclinación que varía entre 10° y 15° al E, concordante con la foliación magmática subhorizontal.

La distribución de los afloramientos del filón muestra un perfil topográfico asimétrico, con el faldeo occidental subvertical donde se exhibe el espesor real del cuerpo (Fig. 5), mientras que el faldeo oriental es tendido con una pendiente regional controlada por el techo del intrusivo. Los espesores estimados varían entre 40 y 70 m, con los mayores valores ubicados en el extremo norte de la sierra, mientras que hacia el este se adelgaza de manera progresiva alcanzando los 4 ó 5 m de potencia (a 1 km de la cumbre) en la parte sur. En forma general las relaciones del cuerpo son de concordancia con las ignimbritas que lo sub/sobreyacen, aunque en forma local los cortan en discordancia angular suave.

Está compuesto por una roca gris rosada a parda de textura porfírica, con fenocristales menores a 10 mm de longitud y una rugosidad fina (milimétrica a centimétrica) en superficie atribuible a la meteorización diferencial de la foliación de flujo. Este rasgo que se destaca aún en la imagen satelital, muestra buena continuidad lateral coincidente con el arrumbamiento del filón. La foliación de flujo está bien desarrollada y se dispone en forma paralela al piso y al techo del cuerpo, donde las folias de continuidad métrica se reconocen por la variación de color, tamaño de grano y/o mineralogía.

En el extremo NO de la sierra, al sur del autódromo, la foliación magmática del cuerpo cambia de rumbo y se verticaliza, lo que se interpreta como la localización de la zona de conducto de alimentación del cuerpo. El sector es de planta groseramente elipsoidal con su eje mayor de 1.500 m de longitud con una orientación de 20°-30° al E, coincidente con la folia-



**Figura 5:** Vista del borde occidental del filón capa en la Sierra Grande, tomada desde Laguna Medina hacia el norte.

ción, que hacia el este se horizontaliza hasta tomar la posición de filón capa. Busteros *et al.* (1998) identificaron parte de este sector como un centro eruptivo. En las proximidades de los tanques de agua de Sierra Grande, el filón es cortado por un domo con marcada foliación magmática y por numerosas vetillas de sílice rojiza que superan los 300 m de largo. El filón provoca una débil recristalización de la pasta (que se evidencia por la fractura concoidea en inmediaciones del contacto) acompañada por tinción rojiza de las ignimbritas de la base y techo. En la zona del conducto es atravesado por un dique de riolita porfírica (rumbo N 20° O e inclinación subvertical al E) de aproximadamente 5 m de ancho. Este dique presenta bordes de enfriamiento simétricos de grano fino que pasan gradualmente a la parte central donde los fenocristales alcanzan los 3 cm de longitud. Al microscopio, las rocas tienen textura porfírica seriada gruesa con fenocristales de feldespatos, cuarzo y biotita, que ocupan entre un 40 a 50% de su volumen y alcanzan hasta 10 mm de diámetro. Domina ligeramente el feldespato potásico con respecto a la plagioclasa de mayor tamaño, que aparece alterada a arcillas y sericita en forma intensa. El feldespato alcalino es sanidina que se presenta como cristales euhedrales límpidos, ocasionalmente con macla de Carlsbad o con perfitas muy finas. El cuarzo es euhedral y de

menor tamaño con algunos bordes afectados por corrosión por despresurización, en tanto que la biotita es subhedral y exhibe flexuración y desferrización parcial. La pasta tiene granulometría variable entre criptocristalina a microgranosa y corresponde a granos de cuarzo y feldespato potásico. Es producto de desvitrificación y se presenta como sobrecrecimientos en los fenocristales de cuarzo y en menor medida sobre los feldespatos (Fig. 4c). Se observan fenocristales de cuarzo fragmentados *in situ*, cuyas partes tienen encastre de tipo *zigzag*, continuidad óptica, igual birrefringencia y están separados por una corta distancia entre ellos.

Clasificados en forma modal corresponden a pórfiros riolíticos, por el neto predominio del feldespato alcalino (Cuadro 1).

### Stocks

Los cuerpos intrusivos que siguen en orden de abundancia de acuerdo a la extensión de sus afloramientos son los *stocks*; se localizan en las zonas más deprimidas del relieve de la región (Fig. 1). Sus asomos más conspicuos se encuentran en la sierra Chara, al oeste de la sierra Grande, conformando una serranía baja sin orientación definida aunque con resaltos topográficos controlados estructuralmente en dirección NO. Esta característica se repite en asomos menores sobre la ruta provincial n° 5 en cercanías de mina La Le-

**CUADRO 1:** Síntesis de las características petrográficas y clasificación de las muestras analizadas.

| Muestra N°                         | Clasificación petrográfica | Textura y granulometría | Foliación          | Q c/ pasta | Reacción      | FK             | PI     | Bi    | Pasta          | Feno/ Pasta | Clasificación química |  |
|------------------------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------|------------|---------------|----------------|--------|-------|----------------|-------------|-----------------------|--|
| <b>Filón Capa</b>                  |                            |                         |                    |            |               |                |        |       |                |             |                       |  |
| SG 49                              | Pórfiro riolítico          | porfírica gruesa        |                    | xxx        | engolfamiento | xxx            | xx     | xx    | D-MG fina      | 50/50       | Riodacita-dacita      |  |
| SG 65                              | Pórfiro riolítico          | porfírica gruesa        | sí                 | xxx        | engolfamiento | xxx            | xx     | xx    | D-MG fina      | 40/60       | Riodacita-dacita      |  |
| <b>Stocks</b>                      |                            |                         |                    |            |               |                |        |       |                |             |                       |  |
| SG 2                               | Pórfiro riolítico          | porfírica muy gruesa    |                    | xx         | crecimiento   | xxx            | xxx    | xx    | D-MG gruesa    | 50/50       | Riodacita-dacita      |  |
| SG 11                              | Pórfiro riolítico          | porfírica media         |                    | xxx        | crecimiento   | xxx            | x      | xx    | D              | 50/50       | Dacita                |  |
| SG 12                              | Pórfiro riolítico          | porfírica gruesa        |                    | xxx        | crecimiento   | xxx            | xx     | xx    | D-MG           | 40/60       |                       |  |
| SG 67                              | Pórfiro riolítico          | porfírica fina          |                    | xxx        | crecimiento   | xx             | x      | xx    | D-MG           | 30/70       |                       |  |
| SG 69                              | Pórfiro riolítico          | porfírica media         | sí                 | xxx        | crecimiento   | xxx            | xx     | x     | D Esf          | 40/60       |                       |  |
| SG 74                              | Pórfiro riolítico          | porfírica gruesa        |                    | xxx        | crecimiento   |                | x      | x     | D-MG           | 30/70       |                       |  |
| <b>Diques</b>                      |                            |                         |                    |            |               |                |        |       |                |             |                       |  |
| SG 26                              | Riolita                    | porfírica fina          | sí                 | xxx        | crecimiento   | xxx            |        |       | GF             | 10 90       |                       |  |
| SG 39                              | Riolita                    | porfírica fina          | sí                 | xxxx       | crecimiento   | xxx            |        |       | D-GF           | 20/80       | Riolita               |  |
| SG 71                              | Riolita                    | porfírica fina          | sí                 | xxxx       | crecimiento   | xxx            |        |       | D-MG           | 20/80       | Riolita               |  |
| SG-85 B                            | Riolita                    | porfírica fina          | sí                 | xxx        | crecimiento   | xxx            |        |       | D-MG           | 40/60       |                       |  |
| <b>Domos</b>                       |                            |                         |                    |            |               |                |        |       |                |             |                       |  |
| SG 25                              | Riolita                    | porfírica fina          | sí                 | xxxx       | crecimiento   | xxx            | xx     | x     | D-MG           | 30/70       |                       |  |
| SG 28                              | Riolita                    | porfírica media         | sí                 | xxx        | crecimiento   | xxx            |        | xx    | D Esf          | 40/60       | Riolita               |  |
| SG 30                              | Riolita                    | porfírica media         | sí                 | xxx        | crecimiento   | xxx            |        | xx    | D-MG           | 30/70       |                       |  |
| SG 52                              | Riolita                    | porfírica fina          | sí                 | xxx        | crecimiento   | xxx            |        | x     | D-MG           | 15/85       |                       |  |
| SG-91                              | Riolita                    | porfírica fina          | sí                 | xxxx       | crecimiento   |                |        |       | D-MG           | 15/85       |                       |  |
| <b>Piroclastitas</b>               |                            |                         |                    |            |               |                |        |       |                |             |                       |  |
|                                    |                            |                         | <b>Fiammes</b>     |            |               |                |        |       | <b>Matriz</b>  |             | <b>Comp/matriz</b>    |  |
| SG 4                               | Ignimbrita riolítica       | crystaloclastica media  |                    | Ct xx      |               | Ct xxx         | Ct xx  | Ct xx | vitroclástica  | 30/70       | Riodacita-dacita      |  |
| SG 16                              | Ignimbrita riolítica       | crystaloclastica media  | sí                 | Ct xx      |               | Ct xx          | Ct xx  |       | vitroclástica  | 40/60       |                       |  |
| SG 37                              | Ignimbrita riolítica       | crystaloclastica media  | sí                 | Ct xxx     |               | Ct xxx         | Ct xx  | Ct xx | vitroclástica  | 30/70       | Riolita               |  |
| SG 54                              | Ignimbrita riolítica       | crystaloclastica media  | sí                 | Ct xxx     |               | Ct xxx         | Ct xx  | Ct xx | vitroclástica  | 10 90       |                       |  |
| SG 61                              | Ignimbrita riolítica       | crystaloclastica media  | sí                 | Ct xx      |               | Ct xxx         | Ct xxx | Ct xx | vitroclástica  | 30/70       |                       |  |
| SG-79                              | Ignimbrita riolítica       | crystaloclastica media  |                    | Ct xx      |               | Ct xxx         |        |       | vitroclástica  | 20/70       |                       |  |
| <b>Tobas</b>                       |                            |                         |                    |            |               |                |        |       |                |             |                       |  |
|                                    |                            |                         | <b>Componentes</b> |            |               | <b>Cemento</b> |        |       |                |             |                       |  |
| SG-86                              | Toba riolítica             | vitroclástica.          | Vt>Ct>Lt           | Ct xx      |               | Ct xxx         |        |       | abundante      | 20/80       |                       |  |
| SG-35                              | Toba                       | vitroclástica fina      | Vt>Ct>Lt           | Ct xx      |               | Ct x           |        | Ct x  | abundante      | 20/80       |                       |  |
| SG-75                              | Toba laminada              | vitroclástica.          | Vt>>>Ct>Lt         | Ct xx      | calcita       | Ct x           | Ct x   | Ct x  | dominio matriz | 95/5        |                       |  |
| <b>Sedimentitas Volcanogénicas</b> |                            |                         |                    |            |               |                |        |       |                |             |                       |  |
| SG-51                              | Arenisca volcanogénica     | clástica media          | Ct>Vt>Lt           | Ct xxx     | ceolita       | Ct xx          |        | Ct x  | escasa         | 80/20       |                       |  |
| SG-51 A                            | Vaque tobácea              | clástica media          | Vt>>>Ct>Lt         | Ct xx      | limonita      | Ct xx          |        | Ct x  |                | 50/50       |                       |  |

Abreviaturas: texturas y/o estado de la pasta: D desvitrificada, MG microgranosa, Esf esferulítica, GF granofírica; Abundancia de cristales: x escasa, xx media, xxx abundante.

Tamaño fenocristales: > 7 mm gruesa, entre 4 y 7 mm mediana, < 4 mm fina.

Componentes Vt vitroclasto, Ct cristaloclasto, Lt litoclasto.

chosa y, hacia el N, fuera del área de trabajo, en la zona del puesto La Aguadita como un plutón de grandes dimensiones. Unos 20 km al sur de Sierra Grande y a ambos lados de la ruta nacional 3, Corbella (1973) señaló la presencia de varios pórfiros de textura gruesa y fina. Cuerpos menores afloran esporádicamente en la zona de mina Delta, sobre rutas y huellas vecinales. En los sondeos de exploración de la mina, el mismo autor describe la intersección de apófisis de pórfiros intruidos en los flujos ignimbriáticos.

La relación de contacto más frecuente es la intrusión en las ignimbritas, que aparece como un contacto milimétrico neto de diseño irregular penetrativo, que no le provoca ninguna variación colorimétrica, textural o de cambio de compacidad a las piroclastitas. El pórfiro que constituye el *stock* no muestra cambios en la proporción o tamaño de los fenocristales en la zona de contacto. Sin embargo según Corbella (1973) los intrusivos porfíricos tienen variaciones texturales abruptas, disminución del tamaño de los fenocristales

en las proximidades del contacto y establece la existencia de una aureola de contacto de 1 m sobre las ignimbritas.

Los *stocks* son atravesados por los diques riolíticos. En el ángulo noroeste del área de trabajo, donde se encuentra la cantera de la Municipalidad de Sierra Grande, pocos metros al sur de la ruta provincial 5 se puede ver la intrusión de uno de los plutones porfíricos en las tobas laminadas que se utilizan como lajas. En excavaciones próximas al cuerpo, las tobas son más compactas y rompen con fractura

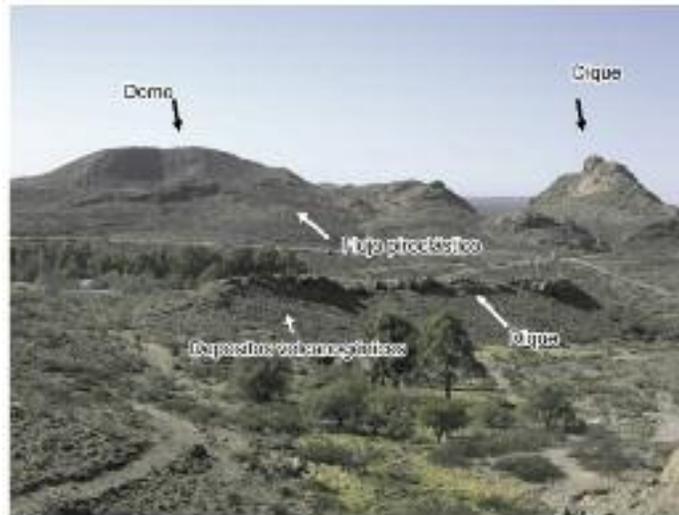
concoidea lo que se interpreta como un efecto térmico provocado por la intrusión. Con frecuencia se observan enclaves oscuros englobados por los intrusivos porfíricos, que se destacan por su color y estructura foliada, y se asignan a metamorfitas de basamento.

Los *stocks* están compuestos por rocas de textura porfírica gruesa a muy gruesa, con fenocristales de feldespato que alcanzan 4 cm de longitud con zonación observable a simple vista. Guardan una relación fenocristales-pasta de 40/60 a 50/50 % aproximadamente.

Los fenocristales de feldespatos, cuarzo y biotita están inmersos en pastas granudas, con frecuencia atravesadas por finas guías de cuarzo y/o fluorita. Los fenocristales mayores son de feldespato potásico. Tienen morfología subhedral-anhedral, macla de Carlsbad y son peritíticos, en ocasiones se presentan manteados por feldespato potásico producto de la desvitrificación de la pasta. La plagioclasa (oligoclasa) que es subhedral tiene maclas de Albita-Carlsbad. Ambos feldespatos exhiben parches de alteración a arcilla y sericita. El cuarzo es límpido, subhedral a anhedral, muestra engolfamientos y numerosas fracturas, la biotita está flexurada y desferrizada y se reconocen secciones de anfíbol enmascaradas por fuerte alteración a clorita. Las pastas son siempre de naturaleza cuarzo-feldespática y varían desde microgranosa difusa a granofírica (Fig. 4d) que en algunos casos incluso coexisten con estructuras esferulíticas bien desarrolladas.

### Domos

Sus asomos suelen constituir afloramientos conspicuos del relieve (Fig. 6), uno de cuyos mejores ejemplos es el cerro Cancha. En general se los reconoce concentrados en las proximidades al este de Sierra Grande (Figs. 1 y 2). Son de perfil romo suave donde destaca una intensa foliación magmática, que en general acompaña la orientación elongada de los cuerpos. La foliación tiene pliegues de flujo de posición variable en las zonas de bordes y no exhiben zonas de brechas, autobre-



**Figura 6:** Vista tomada desde el extremo sur de la Sierra Grande hacia el suroeste.

chas o vitrófros. Otro elemento importante es la presencia de innumerables cavidades redondeadas que corresponden: a) esferulitas afectadas por meteorización de los minerales lábiles y b) al desarrollo de pequeñas litofisas tapizadas por diminutos cristales euhedrales de cuarzo.

Resulta difícil ubicarlos como intrusivos, ya que las relaciones de campo los muestran sobrepuestos al resto de las litologías comagmáticas o con relaciones de contacto tectónicas. En forma local, afloran en depresiones con emplazamientos espaciales similares a los diques aunque con fuerte foliación magmática, constituyendo quizás criptodomas, mientras que los cuerpos mayores y expuestos como resaltos del relieve pueden corresponder a asociaciones de tipo dique/domo o domo/lava. Se emplazan en estructuras lineales, de similar orientación y ubicación que las estructuras del basamento. En repetidas oportunidades han sido asignados como riolitas, sugiriendo en forma explícita o implícita su carácter lávico.

Sus relaciones de contacto los muestran intruyendo o cubriendo a las ignimbritas, a los depósitos volcanoclasticos y al filón capa. Se disponen en coincidencia espacial con los diques, que con frecuencia se ubican sobre alguno de sus bordes, lo que indica el mismo control estructural en el emplazamiento y evidencia el carácter comagmático de diques y domos, hecho que se ve reforzado por su similar

composición mineralógica y química.

La foliación magmática observable en forma macroscópica y microscópica es característica en estos cuerpos. Las rocas poseen textura porfírica con fenocristales de cuarzo, feldespato potásico y biotita que ocupan un 15 a 35% de volumen y alcanzan dimensiones entre los 3 y 9 mm (Fig. 4e). Las mesostasis son siempre afáníticas de similar composición mineralógica y en ocasiones están atravesadas por finas venillas de cuarzo.

Predominan los fenocristales de cuarzo euhedral a anhedral a veces con crecimiento secundario sobre sus bordes (Fig. 4e), o sobre caras de buen desarrollo. Poseen trenes de inclusiones fluidas y fracturas rellenas por arcillas y calcita. El feldespato potásico expone secciones euhedrales límpidas con macla de Carlsbad y son asignables a sanidina. Con menor frecuencia presentan perititas alteradas a arcillas y sericita. La biotita que es escasa y de menor tamaño, está parcialmente alterada a clorita según líneas de clivaje y con mineral opaco fino sobre sus bordes. Las secciones más pequeñas se encuentran totalmente oxidadas.

Las pastas constituyen un agregado microgranoso fino de cuarzo y feldespato como resultado de un proceso de desvitrificación. Desarrollan numerosas esferulitas, y agregados de cuarzo microgranulares de bordes irregulares turbios por inclusiones diminutas.

Petrográficamente se clasifican como riolitas porfíricas (Cuadro 1).

### Diques

Estos cuerpos tabulares poseen orientación general NNO, son subverticales, se alojan atravesando a las rocas que integran la facies volcániclaística (ignimbritas, depósitos de caída y retrabajados), al filón capa en la zona de conducto, a los diversos *stocks* y se emplazan sobre las mismas estructuras que alojan a los domos. Sus asomos se concentran en torno a la sierra Grande.

Tienen grandes dimensiones, exponen corridas continuas de hasta 2.000 m y espesores máximos de 30/40 m. Es común el desarrollo de disyunción columnar, que aparece en posición horizontal a subhorizontal (Fig. 6). Las morfologías poliédricas alcanzan diámetros menores a 1 m. Los cuerpos suelen tener forma recta con variaciones locales menores, sus bordes son netos y se emplazan en fracturas extensionales, en algún caso en zonas de *jog* que marcan la existencia de transtensión asociada a la presencia de estructuras de desplazamiento de rumbo de carácter sinistral. En varios diques se observa una zonación perpendicular al rumbo, ya descrita por Busteros *et al.* (1998) y atribuida a una yacencia tipo dique en dique. La zonación consiste en un borde de dimensiones métricas con textura porfírica fina, que se interpreta como un borde enfriado y un núcleo donde la textura pasa gradualmente a porfírica gruesa con pasta afanítica.

Muestran una granulometría más fina que los domos, *stocks* y filón capa, tanto en los fenocristales como en la pasta. Tienen textura porfírica, con un contenido de fenocristales (tamaños entre 1 y 3 mm) variable entre el 10 y el 40 %. Las pastas son afaníticas, presentan líneas de fluididad magmática y están atravesadas, en numerosos asomos, por guías de cuarzo. Dominan los fenocristales de cuarzo aunque su tamaño es inferior al del feldespato. El cuarzo se presenta como cristales aislados o en agregados irregulares, con morfologías euédricas a subédricas de

bordes ligeramente corroídos (Fig. 4f) y rodeados por la pasta de la que participa ocasionalmente fluorita. El feldespato potásico es euédrico, con macla de Carlsbad y suele orientarse según la fluididad de la pasta. La plagioclasa, de composición oligoclasa sódica, es escasa al igual que la biotita que se encuentra desferrizada. Las pastas están constituidas por un agregado equigranular cuarzo-feldespático con texturas que varían de microgranosa a granofírica, no producto de desvitrificación sino de cristalización a partir del magma.

Por la proporción modal de sus minerales esenciales y su textura se clasifica a los diques como pórfiros riolíticos (Cuadro 1).

### GEOQUÍMICA

Se seleccionaron nueve muestras para los análisis geoquímicos que representan a todas las litofacies identificadas durante el mapeo. Las determinaciones se realizaron en los laboratorios de Alex Stewart Argentina S.A. por el método ICP-MS (<http://www.alexstewart.com.ar/geoquimica.php>) y los valores obtenidos fueron controlados mediante tres determinaciones en el Laboratorio de FRX de la Universidad Nacional de Salta. El equipo utilizado fue un espectrómetro Rigaku RIX-2000, dispersivo en longitud de onda, con tubo de Rh, detector de centelleo SC, flujo gaseoso PC y cristales monocromadores: LIF, PET, TAP y GE. Las muestras fueron porfirizadas en molino tipo Hersog con cazoleta de carburo de tungsteno, secadas a 105°C en estufa durante 24 hs. Los elementos mayoritarios fueron determinados sobre pastillas fundidas con tetraborato de litio (rel. 1 g muestra en 6 g fundente). La fusión se realizó en un equipo perlador marca Claisse Fluxy. Los elementos minoritarios fueron determinados sobre pastillas prensadas, con agregado de aglomerante (elvacite/acetona, 20/ 80) a una presión de 1.400 kg/cm<sup>2</sup>. La cuantificación se efectúa contra curvas de calibración medidas con rocas *standard*: para elementos mayoritarios, JG2-JG3-JA3-JA2-JB3-JP1-JR2-JF2:

Geological Survey of Japan. SDC1-SCO1-BIR1-W2-DNC1-STM1: United States Geological Survey; y para elementos trazas, JGB1, JR2, JB3, JF2, JG3, JA2, JG2, JP1: Geological Survey of Japan. SCO1-DNC1-SGR1-W2-BIR1-SDO1-G1-AGV1-W1-G2-PCC1-GSN-BE/N: United States Geological Survey. AN/G: Grupe International de Travail / International Working Group. GA-GH-BR: Center de Recherches Petrographique et Geochimiques. DRN-DTN-UBN-FKN: Association National de la Recherche Technique. SY2: Canadian Certified Reference Material Project.

Los elementos mayoritarios están expresados en porcentajes de óxidos en peso y las trazas en partes por millón (Cuadro 2). Las rocas analizadas tienen valores de pérdida por calcinación (LOI) en general menores a 1%, indicando que corresponden a rocas no alteradas, en coincidencia con las determinaciones petrográficas.

Para la clasificación química de las rocas se utilizó el diagrama TAS (Le Maitre *et al.* 1989) en el cual las muestras que poseen contenidos de SiO<sub>2</sub> entre 66 y 70 % se ubican próximas o sobre el límite entre los campos de las traquidacitas/traquitas y el de las riolitas (*stocks*, filón capa e ignimbritas). Mientras que las que varían entre un 75 a 76 % de SiO<sub>2</sub> (domos y diques) corresponden a riolitas de alta sílice, lo que permite identificar dos grupos litológicos con un brecha de 5 % de SiO<sub>2</sub> (Fig. 7a). Sin embargo, considerando todos los análisis de rocas de Formación Marifil en el borde oriental del macizo de Somún Cura disponibles en la literatura (Uliana *et al.* 1985, Rapela y Pankhurst 1993, Pankhurst y Rapela 1995, Busteros *et al.* 1998), se aprecia una variación química continua entre los términos extremos mencionados (Fig. 8a) por lo que se considera que esta brecha está causada por el número escaso de muestras analizadas. El diagrama propuesto por Winchester y Floyd (1977), que utiliza elementos inmóviles, marca una clasificación coincidente para las riolitas, con el resto de los valores ubicados en el campo de las riodacitas/dacitas (Fig. 7b). La

**CUADRO 2:** Resultados de análisis químicos de las rocas seleccionadas.

| Roca                           | Riodacita - Dacitas |        |        |            |       | Riolitas |       |        |       |
|--------------------------------|---------------------|--------|--------|------------|-------|----------|-------|--------|-------|
|                                | Ignimbrita          | Stocks |        | Filón Capa |       | Domos    |       | Diques |       |
| Muestra                        | SG-4                | SG-2   | SG-11  | SG-49      | SG-65 | SG-28    | SG-37 | SG-39  | SG-71 |
| SiO <sub>2</sub>               | 68,74               | 66,89  | 69,10  | 69,86      | 68,64 | 75,07    | 76,21 | 75,10  | 75,46 |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,52                | 0,58   | 0,49   | 0,44       | 0,45  | 0,29     | 0,08  | 0,09   | 0,18  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 13,77               | 14,69  | 14,31  | 13,21      | 13,71 | 11,35    | 11,41 | 11,47  | 10,50 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3,58                | 4,09   | 3,29   | 3,22       | 3,34  | 2,56     | 1,73  | 1,85   | 2,14  |
| MnO                            | 0,15                | 0,14   | 0,10   | 0,13       | 0,15  | 0,09     | 0,15  | 0,09   | 0,10  |
| MgO                            | 0,75                | 0,73   | 0,52   | 0,39       | 0,43  | 0,26     | 0,16  | 0,08   | 0,31  |
| CaO                            | 1,61                | 2,00   | 1,13   | 0,51       | 0,93  | 0,27     | 0,50  | 0,23   | 0,18  |
| Na <sub>2</sub> O              | 3,25                | 3,31   | 3,76   | 1,30       | 1,78  | 0,85     | 0,24  | 0,42   | 0,31  |
| K <sub>2</sub> O               | 5,84                | 6,14   | 6,32   | 8,47       | 8,01  | 8,10     | 8,23  | 9,02   | 8,47  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,18                | 0,19   | 0,12   | 0,18       | 0,15  | 0,05     | 0,02  | 0,05   | 0,05  |
| LOI                            | 1,29                | 0,57   | 1,84   | 1,48       | 1,43  | 0,22     | 0,59  | 0,10   | 0,36  |
| Total                          | 99,68               | 99,33  | 100,98 | 99,19      | 99,02 | 99,11    | 99,32 | 98,50  | 98,06 |
| V                              | 38                  | 23     | 33     | 24         | 21    | 18       | 35    | 9      | 42    |
| Cr                             | 17                  | 18     | 15     | 17         | 18    | 16       | 13    | 23     | 9     |
| Co                             | 3                   | 2      | 3      | 3          | 3     | 1        | 2     | 1      | 1     |
| Ni                             | 8                   | 9      | 12     | 9          | 8     | 7        | 7     | 9      | 9     |
| Cu                             | 14                  | 11     | 12     | 14         | 13    | 10       | 13    | 23     | 15    |
| Zn                             | 47                  | 29     | 49     | 90         | 102   | 23       | 20    | 109    | 27    |
| Ga                             | 16                  | 17     | 18     | 17         | 18    | 15       | 20    | 18     | 10    |
| Sr                             | 245                 | 244    | 202    | 80         | 170   | 60       | 79    | 121    | 70    |
| Y                              | 43                  | 47     | 44     | 37         | 40    | 42       | 17    | 56     | 32    |
| Zr                             | 116                 | 73     | 104    | 110        | 101   | 110      | 107   | 147    | 123   |
| Nb                             | 18                  | 19     | 17     | 30         | 27    | 24       | 45    | 58     | 29    |
| Ba                             | 919                 | 894    | 1129   | 569        | 547   | 363      | 369   | 103    | 549   |
| La                             | 78                  | 114    | 120    | 84         | 79    | 69       | 47    | 40     | 55    |
| Ta                             | <10                 | <10    | <10    | <10        | <10   | <10      | <10   | <10    | <10   |

Elementos mayoritarios expresados en % en peso y elementos menores y trazas en ppm.

diferencia en el quimismo, analizada desde la petrografía de los fenocristales, se corresponde con la presencia o incremento de plagioclasa como fenocristal en las rocas con menos de 70% de sílice.

Los porcentajes de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> varían de 10,5 a 14,7 %, los de álcalis de 8,5 a 10 % con relaciones K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O > 1 y los de CaO de 0,2 a 2 % lo cual permite asignar las rocas estudiadas a las series subalcalinas, de carácter calcoalcalino y ricas en K. De acuerdo al grado de saturación en alúmina los domos, diques y las muestras del filón capa son peraluminosas (en coincidencia con la presencia de corindón normativo), en tanto que los *stocks* e ignimbritas son metaluminosas (Fig. 7c). Los bajos tenores en TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO y MgO son los normales para este tipo de rocas de carácter ácido.

Los diagramas de variación de los elementos mayores respecto a SiO<sub>2</sub> (excep-

to K<sub>2</sub>O y MnO) y para los traza como Sr, Ba y La, muestran correlación negativa. Para el Nb la pendiente es positiva, en tanto que para el K<sub>2</sub>O, MnO y resto de los elementos traza los valores no muestran una tendencia definida. En el diagrama discriminante Y vs. Nb (Pearce *et al.* 1984) las rocas se ubican en el ambiente de intraplaca (Fig. 7d). Esto es coherente con el contexto geotectónico de la comarca durante el Jurásico Temprano, que corresponde a un bloque continental (placa sudamericana) en proceso de extensión y desmembramiento asociado al intenso volcanismo ácido.

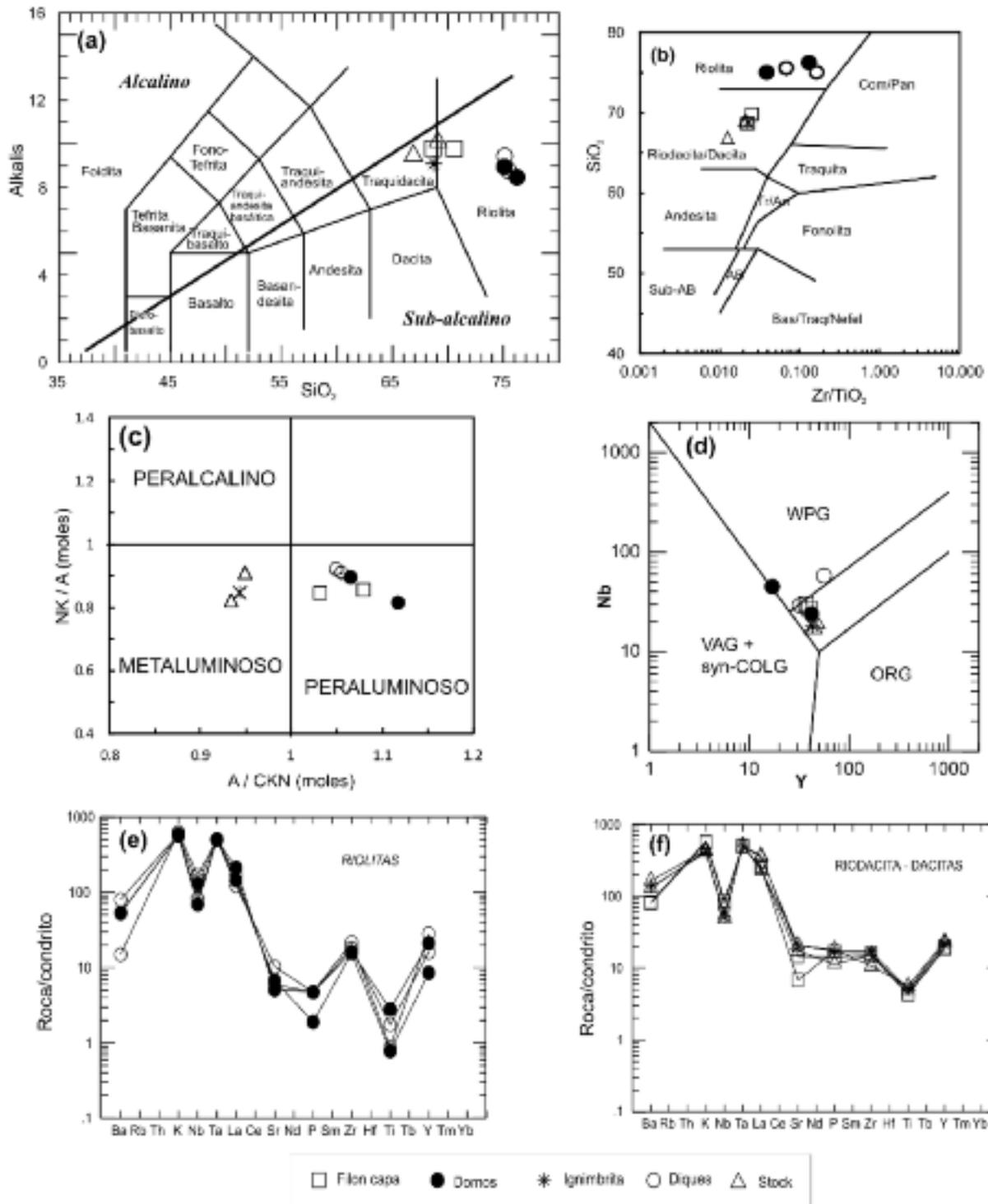
El diagrama de multielementos normalizado a condrito (Thompson *et al.* 1984) muestra enriquecimiento en elementos LILE, acorde al patrón generalizado que poseen los magmas evolucionados. Si bien la pendiente general es negativa y con un diseño semejante en ambos grupos de ro-

cas identificados químicamente, lo que indica su carácter comagmático, las riolitas tienen un patrón ligeramente más empobrecido respecto a las riodacitas/dacita (Figs. 7e y f). La anomalía negativa en Nb en ambos grupos se vincula a la participación cortical y permite acordar con la propuesta de un origen vinculado a fusión de la corteza profunda planteado por Pankhurst y Rapela (1995).

Las diferencias están marcadas principalmente en las rocas clasificadas químicamente como riodacitas que exponen un mayor enriquecimiento en Ba, La, Sr, P, Ti e Y, y un empobrecimiento en Nb respecto a las riolitas; los valores en K, Ta y Zr son semejantes en los dos grupos. Se interpreta que estas pequeñas diferencias, podrían explicarse como dos pulsos magmáticos de un mismo evento, con una leve diferencia en su quimismo, lo que se refleja en la variación en la mineralogía de sus fenocristales (presencia/ausencia de plagioclasa).

Un análisis comparativo con las volcanitas ácidas de Arroyo Verde (Márquez *et al.* 2010), Sierra Grande (Pankhurst y Rapela 1995) y Chadileuvú (Quenardelle y Llamblás 1997) (Figs. 8a y b) indica en líneas generales semejanzas geoquímicas en cuanto a la clasificación basada en el diagrama de Winchester y Floyd (1977). Las rocas de las distintas regiones mencionadas son todas de carácter calcoalcalino y se corresponden con las series ricas en K, lo que es un rasgo característico de las litofacies del Complejo Volcánico Marifil, tal como lo han mencionado diversos autores (Pankhurst *et al.* 1998).

Si bien los grupos de rocas que se comparan son subalcalinos, las rocas de Arroyo Verde revisten carácter transalcalino (Pankhurst y Rapela 1995, Márquez *et al.* 2010), debido a un mayor contenido de álcalis respecto a las restantes. En cuanto al grado de saturación en alúmina, las rocas de Sierra Grande que clasifican como dacita/riodacitas (excepto el filón capa) y dos muestras de Arroyo Verde son metaluminosas, en tanto que las restantes son peraluminosas. La distinción más notable entre el grupo de rocas que se compara

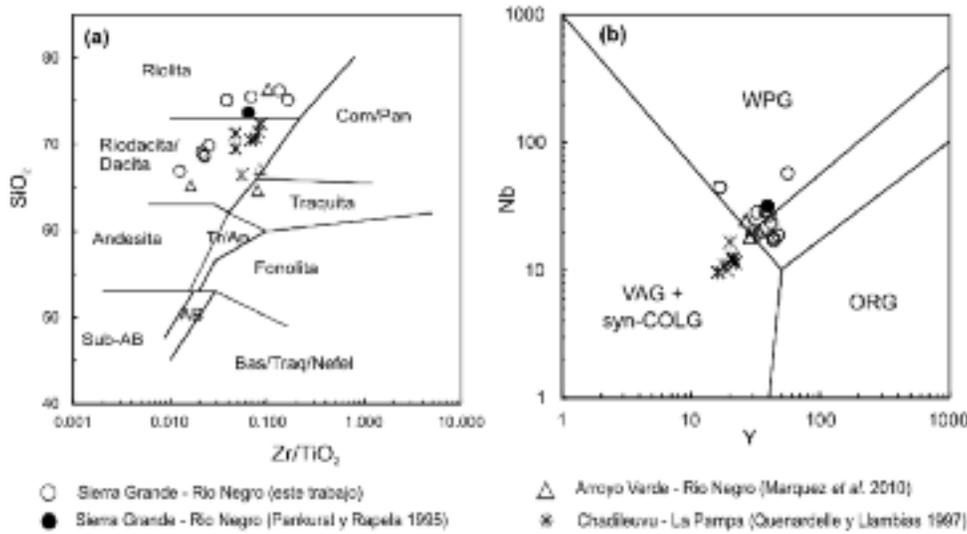


**Figura 7:** a) Diagrama TAS (Le Maitre *et al.* 1989); b) diagrama de clasificación de Winchester y Floyd (1977); c) índice de saturación en alúmina (Shand 1927) según Rapela (1982); d) diagrama discriminador de ambientes tectónicos Y vs. Nb (Pearce *et al.* 1984); e-f) diagramas multielementos normalizados a condrito según constantes de Thompson *et al.* (1984).

es en el ambiente tectónico que caracteriza a las rocas del Grupo Choiyoi de Chaldileuvú (La Pampa), las cuales toman po-

siciones claramente diferentes, remarcando la diferencia de ambientes, intraplaca para el Complejo Volcánico Marifil y re-

troarco-sincolisional para el Grupo Choiyoi en La Pampa (Fig. 8b).



**Figura 8:** a) Diagrama TAS para rocas del Complejo Marifil en Sierra Grande y localidades próximas; b) diagrama de clasificación Winchester y Floyd (1977) para las rocas de Sierra Grande y localidades próximas.

## DISCUSIÓN

La cronología relativa de eventos del Complejo Marifil, acorde con las relaciones de campo, indica que el primer proceso es la erupción de flujos piroclásticos calientes y la depositación intercalada de tobas de caída. Estas piroclastitas se asientan discordantemente sobre un pre-relieve constituido por bloques elevados y deprimidos de basamento ígneo-metamórfico y sedimentario paleozoico (*riff*). En forma local (cerro Las Panzas), en la base de las ignimbritas hay conglomerados polimícticos con granulometría variable y calizas asignadas por Zanettini (1980) a la Formación Puesto Piris. El filón capa constituye la parte principal de la serranía de Sierra Grande, intruye a las ignimbritas en forma discordante en la base y paraconcordantemente asociada a débil metamorfismo de contacto en el techo. La intrusión de los domos en las ignimbritas se ha podido observar en numerosas exposiciones, lo cual indica que es un evento posterior a la depositación de las piroclastitas. Los diques intruyen a las litofacies descritas previamente y en ocasiones se emplazan en fracturas en el borde de los domos, desarrollando disyunción columnar en el contacto con los mismos, señalando que se trata de un episodio más joven. Asociada con la erupción y en forma sincrónica se produce la

caída de las cenizas en las depresiones del sistema volcánico que rodea a Sierra Grande por el sur y oeste. En la depresión ubicada al sur dominan las areniscas tobáceas medianas y de color blanquecino, mientras que en la del oeste dominan las tobas riolíticas de grano fino cubiertas por calizas estromatolíticas (cerro El Morro, 900 m al norte de mina La Lechosa). Los *stocks* de pórfidos riolíticos, que constituyen un episodio sin ubicación cronológica precisa, intruyen a estos depósitos y a las ignimbritas.

En síntesis, la secuencia de eventos sería: conglomerados y calizas, ignimbritas, tobas y areniscas tobáceas, filón capa, *stocks*?, domos y diques. Esta misma secuencia de distribución de eventos que provocan litofacies características puede ser identificada en otros centros volcánicos del macizo de Somún Cura como por ejemplo Arroyo Verde (Márquez *et al.* 2010) y zona de Florentino Ameghino (Márquez *et al.* 2011).

Desde el punto de vista del volcanismo físico la secuencia de litofacies identificadas se puede interpretar como un proceso integrado por tres episodios principales. El primero implica la conexión de una cámara magmática somera, emplazada en rocas del basamento paleozoico, a través de una falla regmática extensional con la superficie. Esto provoca la vesiculación del magma y una erupción plinia-

na con formación de flujos piroclásticos y los depósitos de caída asociados. Continúa con el emplazamiento del filón capa. El segundo episodio estaría conformado por el emplazamiento de cuerpos dómicos y diques asociados que muestran mineralogía y quimismo comparables. El tercer episodio sería la intrusión de los *stocks* porfíricos que representan un magma que no ha perdido sus volátiles, a los que se asocian las mineralizaciones de fluorita y calcedonia del distrito Sierra Grande.

Comparando con la secuencia de Arroyo Verde (Márquez *et al.* 2010), las litofacies tienen un ordenamiento cronológico similar pero distinta orientación espacial. Las estructuras principales en Sierra Grande son NNO-SSE y en Arroyo Verde son E-O.

Los datos estratigráficos-estructurales encontrados en el sector relevado (400 km<sup>2</sup>) indican que la sierra Grande constituye un depocentro singular identificable, en el contexto de la LIP (*Large Igneous Province*) del Complejo Volcánico Marifil. Las evidencias son: el arrumbamiento del borde oeste del filón capa es similar al de los domos y diques, está orientado al NNO, con variaciones que alcanzan una posición NO. En el sector sur del área mapeada hay diques que tienen orientación E. El espesor del filón capa sumado al de las ignimbritas que intruye muestra una dis-

minución progresiva desde aproximadamente 200 m hasta desaparecer en relación de traslape (*onlap*) sobre las sedimentitas paleozoicas en proximidades de la costa atlántica.

La presencia de un extenso bloque de basamento ígneo metamórfico al sureste de la sierra Grande constituye una evidencia de la proximidad del borde activo del posible hemigraben, lo cual permite interpretar que el espesor de roca expuesto en el borde oeste de la sierra es cercano al máximo. Allí se localizan los depósitos clásticos gruesos (conglomerados) de mayor energía en la base del complejo.

Se observa una coincidencia espacial en la distribución de afloramientos y de las estructuras entre la cuenca de la Formación Sierra Grande y el Complejo Volcánico Marifil en Sierra Grande. Esta coherencia es especialmente notable en la orientación de las fallas que controlan los plegamientos de la Formación Sierra Grande y las estructuras que controlan el emplazamiento de diques y domos riolíticos. Esto implicaría que las fracturas que posibilitaron la extensión mesozoica sean fallas regmáticas del basamento silúrico, en acuerdo con lo sugerido por Ramos (1996). Una observación regional en torno a Sierra Grande permite ver al complejo limitado al SSO, NNE y E por rocas del basamento paleozoico. En resumen, se puede plantear que el Complejo Volcánico Marifil en Sierra Grande constituye el relleno de un hemigraben de orientación NNO basculado hacia el O, cuyo magmatismo muestra un fuerte control estructural paralelo a la orientación del bloque rotado (Fig. 1b). En este sentido se coincide con el planteo de Uliana *et al.* (1985) quienes describen el desarrollo de hemigrabenes de orientación NNO-SSE como respuesta a la extensión que afectó a la Patagonia durante el Jurásico. Sin embargo, cabe aclarar que estos autores mencionan un basculamiento de bloques hacia el E, en sentido contrario al aquí propuesto. La orientación y basculamiento del hemigraben planteados en este trabajo no coincide con el esquema propuesto por Ciciarelli (1990) quien de-

nomina a la región como semigraben de Sierra Grande con orientación NE y basculamiento al NO.

En términos geomorfológicos, la sierra Grande constituye un elemento positivo destacado, de forma elongada en sentido NNO-SSE cuyo núcleo sobresale 200 a 300 m por encima del nivel de planicies que la rodean. La sierra está conformada casi totalmente por un filón capa y en su entorno inmediato concentra numerosos domos y diques, que en su conjunto destacan del entorno constituido por depósitos ignimbríticos y tobas. Esta concentración de litofacies intrusivas sumado a la determinación de foliaciones magmáticas verticales en la zona de alimentación del filón, permiten definir a este sector como un megacentro volcánico jurásico preservado (Márquez *et al.* 2009).

Desde el punto de vista mineralógico las rocas del Complejo Volcánico Marifil se agruparon en dos asociaciones de fenocristales/cristaloclastos 1) Q+FK+PINa ±Bi y 2) Q+FK. Esta diferencia mineralógica define rocas riódacíticas y riolíticas respectivamente. Debe destacarse que en todas las rocas que integran las facies intrusivas (a excepción de los diques) y piroclásticas presentan pastas o matrices originalmente vítreas con diversos grados de desvitrificación. Las texturas resultantes de la desvitrificación son microgranosas, micrográficas y esferulíticas.

Los análisis geoquímicos de elementos mayoritarios obtenidos permiten separar las muestras en dos grupos: riódacitas/dacitas y riolitas con una brecha en el contenido de SiO<sub>2</sub> entre 70 y 75 %. Sin embargo, al considerar los análisis de la misma unidad realizados por otros autores esta brecha desaparece. Los diagramas que involucran a los elementos traza de ambos grupos muestran tendencias similares, lo que permite postular un origen comagmático para estas rocas.

En este sector de 400 km<sup>2</sup> relevados se destaca la ausencia de rasgos circulares, evidencias de colapsos o depósitos de megabrechas, no se observan flujos de lavas riolíticas ni de autobrechas. Si a esto se suma que la morfología de los cuerpos

intrusivos es elongada en el sentido de las estructuras, se puede plantear un origen fisural para el volcanismo del Complejo Volcánico Marifil en Sierra Grande.

## CONCLUSIONES

Se ha mapeado un área de 400 km<sup>2</sup> en el borde suroriental del macizo de Somún Cura compuesto en su mayoría por rocas del Complejo Volcánico Marifil que muestra una notable concentración de litofacies volcánicas proximales en torno a Sierra Grande, lo que permite definirlo como un centro eruptivo de morfología irregular con un diámetro estimado de 7 km. Los estudios petrográficos y las relaciones de campo posibilitan identificar filones capa, *stocks*, diques y domos como facies intrusivas y mantos ignimbríticos, arciscas y tobas de caída integrando las facies piroclástica.

Sobre la base de las evidencias observadas se postula una secuencia de eventos que comienza con flujos piroclásticos y tobas de caídas asociadas, sigue con la intrusión de un filón capa y continúa con la intrusión de domos y diques. Se reconoce un episodio de emplazamiento de *stocks* de posición incierta pero que intruye a las ignimbritas y a las tobas de caída. Este esquema evolutivo se repite en otros centros volcánicos del macizo de Somún Cura.

El quimismo de las muestras indica composiciones riódacítica/dacítica para ignimbritas, tobas, *stocks* y filón capa, y riolítica para domos y diques, en concordancia con los datos existentes para el Complejo Volcánico Marifil.

Se identifica un hemigraben localizado en la sierra Grande de orientación NNO con basculamiento al O rodeado por rocas de basamento ígneo-metamórfico y sedimentario paleozoico que controla la depositación de las litofacies volcánicas. La coincidencia de los depocentros de la Formación Sierra Grande y del Complejo Volcánico Marifil, permite postular que las fallas que habilitan el depocentro jurásico de Sierra Grande serían fallas regmáticas silúricas reactivadas.

La disposición elongada y tabular de filo-

nes capa, diques y domos sugiere un mecanismo fisural de emplazamiento, lo que tentativamente se hace extensivo para los flujos piroclásticos.

## AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco que ha posibilitado la realización del Proyecto de Investigación. A las autoridades de la Delegación Comodoro Rivadavia del SEGEMAR que han facilitado la concreción de las actividades de Investigación. A la Dra. Flavia Salani y un árbitro anónimo por las sugerencias que han permitido mejorar la calidad del trabajo.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Alic, V., Haller, M., Féraud, G., Bertrand, H. y Zubia, M. 1996. Cronología  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  del vulcanismo jurásico de la Patagonia Extrandina. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 5: 243-250, Buenos Aires.
- Basei, M., Varela, R., Passarelli, C., Siga Jr., O., Cingolani, C., Sato, A., y González, P. 2005. The crystalline Basement in the north of Patagonia: isotopic ages and regional characteristics. *Gondwana* 12, Abstracts: 62, Mendoza.
- Bruhn, R.L., Stern, C.R., y De Wit. 1978. Field and geochemical data bearing on the development of a Mesozoic volcano-tectonic and back arc basin in southernmost South America. *Earth and Planetary Science Letters* 41: 32-46.
- Busteros, A., Giacosa, R. y Lema, H. 1998. Hoja Geológica 4166-IV, Sierra Grande, Provincia de Río Negro. Subsecretaría de Minería de la Nación, Boletín 241, 75 p, Buenos Aires.
- Cicciarelli, M. 1990. Análisis Estructural del Sector Oriental del Macizo Nordpatagónico y su significado metalogénico. Tesis doctoral, Universidad Nacional de La Plata (inédita), 152 p., La Plata.
- Corbella, H. 1973. Acerca de la existencia de cuerpos hipoabisales granito-riolíticos en el distrito minero de Sierra Grande (provincia de Río Negro) y su posible importancia metalogénica. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 28(4): 353-363.
- Cortés, J. M. 1981. El sustrato precretácico del extremo nordeste de la provincia del Chubut. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 36 (3):217-235.
- Dalziel, I.W.D., de Wit, M.J. y Palmer, K.F. 1974. Fossil marginal basin in the southern Andes. *Nature* 250: 291-294.
- De Alba, E. 1964. Descripción geológica de la Hoja 44j Sierra Grande (provincia de Río Negro). Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín 97, 69 p., Buenos Aires.
- Echeveste, H., Fernández, R., Bellieni, G., Tessone, M., Llambías E., Schalamuk, I., Piccirillo, E. y De Min, A. 2001. Relaciones entre las Formaciones Bajo Pobre y Chon Aike (Jurásico Medio a Superior) en el área Estancia El fénix-Cerro Huemul, zona centro-occidental del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 56: 548-558
- Féraud, G., Alic, V., Fornari, M., Bertrand, H., y Haller, M. 1999. The Mesozoic silicic volcanic Province of Patagonia synchronous with the Gondwana Break-up and subduction: space-time evolution evidenced by  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  data. *Earth and Planetary Science Letters* 172: 83-96.
- Feruglio, E. 1949. Descripción geológica de la Patagonia. Tomo II. Dirección General de Yacimientos Petrolíferos Fiscales, 349 p., Buenos Aires.
- Giacosa, R. 1993. El ciclo eruptivo Gondwánico en el área de Sierra de Pailemán, Macizo Nordpatagónico, Argentina. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de exploración de Hidrocarburos, Actas 4: 113-119, Buenos Aires.
- Giacosa, R. 1994. Geología y petrología de las rocas pre-Cretácicas del área arroyo Salado-arroyo Tembrao, sector oriental del Macizo Nordpatagónico, Río Negro. Tesis doctoral, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco (inédita), Comodoro Rivadavia.
- Giacosa, R. 1999. El basamento pre-silúrico del extremo este del Macizo Nordpatagónico y del Macizo del Deseado. En Caminos, E. (ed.) *Geología Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales 29: 118-123, Buenos Aires.
- González, P., Poiré, P y Varela, R. 2002. Hallazgo de trazas fósiles en la Formación El Jagüelito y su relación con la edad de las metasedimentitas, Macizo Nordpatagónico Oriental, provincia de Río Negro. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 57(1): 35-44.
- Kay S., Ramos, V., Mpodozis, C. y Sruoga, P. 1989. Late Paleozoic to Jurassic silicic magmatism at the Gondwana margin: Analogy to the Middle Proterozoic in North America? *Geology* 17: 324-328.
- Le Maitre, R.W., Bateman, P., Dudek, J., Keller, J., Lameyre, M., Le Bas, P., Schmid, H., Sorensen, A., Streckeisen, A., Wooley, A., y Zanettin, B. 1989. Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences. Subcommission on the Systematic of Igneous Rocks. Blackwell, 193 p., Oxford.
- Linares, E., Ostera, H. y Parica, C. 1990. Edades radimétricas del Basamento Cristalino de las vecindades de Mina Gonzalito y de Valcheta, provincia de Río Negro, Argentina. 11° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 251-253, San Juan.
- Llambías, E. 1999. El Magmatismo gondwánico durante el Paleozoico superior-Triásico. En Caminos, E. (ed.) *Geología Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales 29: 349-363, Buenos Aires.
- Llambías, E., Caminos, R. y Rapela, C. 1984. Las plutonitas y vulcanitas del ciclo eruptivo gondwánico. 9° Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 85-117, San Carlos de Bariloche.
- Malvicini, L. y Llambías, E. 1974. Geología y génesis del depósito de manganeso Arroyo Verde, provincia del Chubut, República Argentina. 5° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 185-202, Villa Carlos Paz.
- Márquez, M., Fernández, M., Massaferró, G., Menegatti, N. y Navarrete, C. 2009. Sierra Grande: un megacentro eruptivo riolítico jurásico, Río Negro, Argentina. 12° Congreso Geológico Chileno, Actas CD: S7017, 4 p., Santiago.
- Márquez, M., Massaferró, G. y Fernández, M. 2010. El vulcanismo del Complejo Marifil en Arroyo Verde, vertiente suroriental del Macizo de Somún Cura, Chubut. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 66: 314-324.
- Márquez, M., Fernández, M., Menegatti, N. y Navarrete, C. 2011. Características del vulca-

- nismo Jurásico Inferior en Florentino Ameghino (43° 42' LS- 66° 28' LO), provincia del Chubut: Litofacies y Petrografía. 18° Congreso Geológico Argentino, Actas CD: 107, Neuquén.
- McPhie, J., Doyle, M. y Allen, R., 1993. Volcanic Textures. Centre for Ore Deposits and Exploration Studies. University of Tasmania, 198 p., Tasmania.
- Mpodozis, C. y Ramos, V.A. 2008. Tectónica Jurásica en Argentina y Chile: Extensión, subducción oblicua, rifting, deriva y colisiones. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 63: 481-497.
- Núñez, E., Bachmann, E., Ravazzoli, I. Britos, A., Franchi, M., Lizuain, A. y Sepúlveda, E. 1975. Rasgos geológicos del sector oriental del Macizo Somuncurá, provincia de Río Negro, Argentina. 2° Congreso Iberoamericano de Geología Económica, Actas 4: 247-266, Salta.
- Pankhurst, R. y Rapela, C. 1995. Production of Jurassic rhyolite by anatexis of the lower crust of Patagonia. *Earth and Planetary Science Letters* 134: 23-36.
- Pankhurst, R., Leat, P., Sruoga, P., Rapela, C., Marquez, M., Storey, B. y Riley, T. 1998. The Chon Aike province of Patagonia and related rocks in West Antarctica: A silicic large igneous province. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 81: 113-136.
- Pankhurst, R., Riley, T., Fanning, C. y Kelley, S. 2000. Episodic Silicic Volcanism in Patagonia and the Antarctic Peninsula: Chronology of Magmatism Associated with the Break-up of Gondwana. *Journal of Petrology* 41: 605-625.
- Pearce, J., Harris, N. y Tindle, A. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology* 25: 953-956.
- Quenardelle, S. y LLambías, E. 1997. Las riolitas de Sierra Chica (37°48'S, 65°26'O): un centro eruptivo gondwánico en el bloque del Chadileuvú, provincia de La Pampa, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 52: 549-558.
- Ramos, V.A. 1996. Evolución tectónica de la plataforma continental. En Ramos, V.A. y Turic, M.A. (eds.) *Geología y Recursos Naturales de la plataforma continental Argentina*, 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Relatorio: 385-404, Buenos Aires.
- Ramos, V.A. 1999. Las provincias geológicas del territorio argentino. En Caminos, E. (ed.) *Geología Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales 29: 41-96, Buenos Aires.
- Rapela, C.W. 1982. Aspectos geoquímicos y petrológicos del batolito de Achala, provincia de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 37(3): 313-330.
- Rapela, C. y Pankhurst, R. 1993. El volcanismo riolítico del noreste de la Patagonia: Un evento meso-jurásico de corta duración y origen profundo. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 4: 179-188, Mendoza.
- Shand, S.J. 1927. *Eruptive rocks*. John Wiley & Sons, 360 p., New York.
- Spalletti, L., Cingolani, C. y Merodio, J. 1991. Ambientes y procesos generadores de las sedimentitas portadoras de hierro en la plataforma silúrico-co-devónica de la Patagonia, República Argentina. *Revista del Museo de La Plata (nueva serie)* 10: 305-318.
- Spalletti, L., Matheos, S. y Merodio, J. 1993. Sedimentitas carbonáticas Cretácico-terciarias de la Plataforma Norpatagónica. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de hidrocarburos, Actas 1: 249-257, Mendoza.
- Sruoga, P., Busteros, A., Giacosa, R., Martínez, H., Kleinman, L., Japas, S., Maloberti, A. y Gayone, M.R. 2008. Análisis litofacial y estructural del complejo volcánico Bahía Laura en el área El Dorado-Montserrat, provincia de Santa Cruz. *Revista Asociación Geológica Argentina* 63: 653-664.
- Thompson, R.N., Morrison, M.A., Hendry, G.L. y Parry, S.J. 1984. An assessment of the relative role of a crust and mantle in magma genesis: an elemental approach. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A* 310: 549-90.
- Uliana, M.A., Biddle, K.T., Phelps, D.W. y Gust, D. 1985. Significado del vulcanismo y extensión mesojurásicas en el extremo meridional de Sudamérica. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 40: 231-25.
- Valvano, J.A. 1954. Génesis de los yacimientos de hierro de Sierra Grande. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 9: 193-209.
- Varela, R., Basei, M., Sato, A., Siga Jr., O., Cingolani, C. y Sato, K. 1998. Edades isotópicas Rb/Sr y U/Pb en rocas de Mina Gonzalito y Arroyo Saldado. Macizo Norpatagónico Atlántico, Río Negro, Argentina. 10° Congreso Latinoamericano de Geología y 6° Congreso Nacional de Geología Económica, Actas 1: 71-76, Buenos Aires.
- von Müller, H. 1965. Zur Altersfrage der Eisenerzlagerstätte Sierra Grande, Río Negro. En *Nordpatagonien Aufgrund Neuer Fossilfunde*. Sonderd. *Geologische Rundschau* 54: 715-132.
- Weber, E.I. 1983. Descripción Geológica de la Hoja 40j Cerro El Fuerte, provincia del Río Negro. Servicio Geológico Nacional, Boletín 196, 70 p., Buenos Aires.
- Wichmann, R. 1926. Observaciones geológicas en la parte central y oriental del Territorio del Río Negro. Dirección Nacional de Geología y Minería (inédito) 16p., Buenos Aires.
- Winchester, J.A. y Floyd, P.A. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Geochemical Geology* 20: 325-343.
- Zanettini, J.C. 1980. Sedimentitas triásicas al sur de Sierra Grande (pcias. de Río Negro y Chubut). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 35: 301-307.

Recibido: 21 de octubre, 2010.

Aceptado: 2 de septiembre, 2011.