

EL VOLCANISMO DEL COMPLEJO MARIFIL EN ARROYO VERDE, VERTIENTE SURORIENTAL DEL MACIZO DE SOMÚN CURA, CHUBUT

Marcelo J. MÁRQUEZ^{1,2}, Gabriela I. MASSAFERRO^{2,3} y María I. FERNÁNDEZ²

¹ SEGEMAR, Comodoro Rivadavia. Email: marcelo28marquez@yahoo.com.ar

² Departamento de Geología, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Comodoro Rivadavia. Email: petrology@unpata.edu.ar

³ CONICET- CENPAT, Puerto Madryn. Email: gim@cenpat.edu.ar

RESUMEN

Se describen en este trabajo las facies volcánicas pertenecientes al Complejo Marifil que afloran en la localidad de Arroyo Verde, vertiente suroriental del macizo de Somún Cura, provincia del Chubut. Se discriminan facies de ignimbritas riolíticas, brechas piroclásticas, domos y domos vítreos traquíticos y diques riolíticos. Las relaciones de campo indican que las ignimbritas fueron el primer evento eruptivo que se alternaron con esporádicas coladas de bloques y cenizas. Luego se produjo la intrusión de las facies dómicas y por último la de los diques riolíticos. Las facies descriptas tienen composiciones que varían entre riolitas y traquitas con altos contenidos de K, característicos de las rocas pertenecientes a este complejo. Teniendo en cuenta las características observadas se propone un mecanismo fisural de erupción en esta localidad.

Palabras clave: *Somún Cura, Volcanismo liásico, Litofacies volcánicas, Erupciones fisurales*

ABSTRACT: *The volcanism of the Marifil Complex in Arroyo Verde, Southeastern slope of the Somun Cura Massif, Chubut.* Marifil Complex volcanic facies that crop out in the locality of Arroyo Verde, SE slope of Macizo de Somún Cura, are described here. Rhyolitic ignimbrite facies, pyroclastic breccias, traquitic domes and vitreous domes, and rhyolitic dikes are distinguished. Field relationships point out the ignimbrites as the first effusive event. Some sporadically block and ash flows are intercalated within the ignimbrites. These deposits were intruded by domes; the latest event is represented by the intrusion of the rhyolitic dykes. Chemical composition of these rocks varies between high K rhyolites and traquites, which correspond to typical characteristics of the Marifil Complex rocks. The observations allow proposing a fissural mechanism of eruption for these facies in this locality.

Keywords: *Somún Cura, Liasic volcanism, Volcanic lithofacies, Fissural eruptions*

INTRODUCCIÓN

El volcanismo riolítico jurásico medio a superior se encuentra ampliamente extendido en toda la Patagonia. En la provincia del Chubut, los afloramientos se agrupan bajo la denominación de Formación Marifil o Complejo Marifil, correlacionable litológica y genéticamente con el Complejo Volcánico Bahía Laura (Srouga *et al.* 2008) que se desarrolla en la comarca del Deseado, provincia de Santa Cruz (Fig. 1). Si bien este volcanismo forma parte de una de las provincias riolíticas (LIPs) más grandes del mundo (Pankhurst *et al.* 1998, Féraud *et al.* 1999) en el macizo de Somún Cura todavía no se conocen bien los mecanismos eruptivos que dieron ori-

gen al enorme volumen de lavas, intrusivos, ignimbritas y tobas que componen este complejo. Malvicini y Llambías (1974) y Demichelis *et al.* (1994) postulan derrames de tipo fisural como mecanismo de extrusión, mientras que Cicciarelli (1990) y Aragón *et al.* (1996) proponen la existencia de calderas de distinto tamaño. En general, las rocas que integran el Complejo Marifil han sido mapeadas con escasa discriminación de los tipos litológicos dominantes y de las relaciones entre ellos, lo que ha imposibilitado confirmar los mecanismos eruptivos actuantes.

En esta contribución se analizan con detalle las litofacies que constituyen el Complejo Marifil en la localidad de Arroyo Verde, abarcando aspectos tales como li-

tología, yacencia, relaciones y estructuras, de modo tal de poder establecer un modelo eruptivo para este sector.

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

Desde la óptica regional, la zona de trabajo integra el borde suroriental de la comarca o macizo de Somún Cura (Fig. 1) que está compuesto por rocas ígneo-metamórficas, sedimentitas eopaleozoicas y volcanitas y piroclastitas del Mesozoico inferior. Participan también de modo subordinado sedimentitas marinas terciarias y un extendido volcanismo básico de la misma edad. Hacia el norte, el macizo está limitado por la cuenca Neuquina y

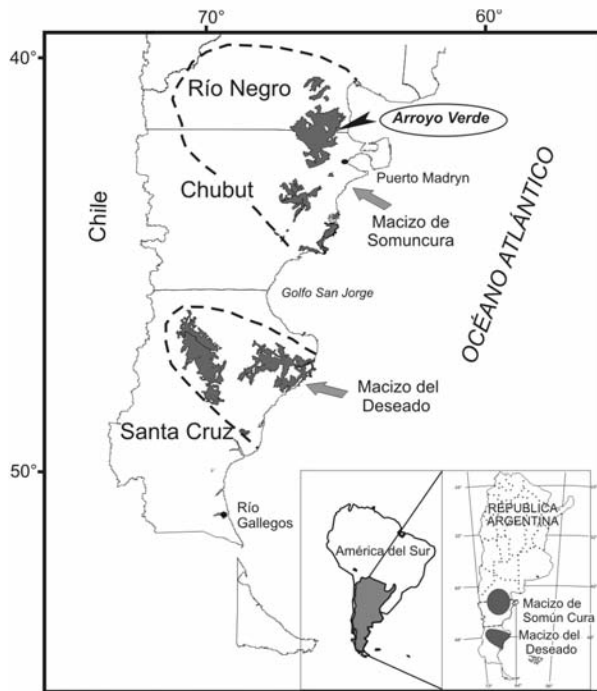


Figura 1: Ubicación de la zona de trabajo en el contexto de América del Sur y Argentina, donde está señalada la posición de las unidades morfoestructurales del macizo de Somún Cura y macizo del Deseado y los afloramientos del Complejo Marifil y Complejo Chon Aike respectivamente dentro de dichas unidades.

quienes definieron allí la Formación Marifil y su perfil tipo, compuesto por “riolitas silicificadas, ignimbritas y riolitas intrusivas apoyando sobre andesitas”. Posteriormente Cortés (1981) considera a la unidad como un complejo volcánico-piro-clástico riolítico, que incluye a las andesitas identificadas por Malvicini y Llambías (1974). Rapela y Pankhurst (1993) realizaron una isocrona Rb/Sr que arrojó una edad de 183 ± 2 Ma en tanto que Alric *et al.* (1996) obtuvieron por el método Ar/Ar en sanidina edades de $186,2 \pm 1,5$ Ma y $187,4 \pm 0,6$ Ma.

En la década del 90 este sitio se constituyó en un prospecto minero, debido a que las volcanitas alojan vetas epitermales con contenidos económicos de Au, menor proporción de metales base y áreas de alteración hidrotermal. En los trabajos mineros, Caranza y Paolini (1996) y Davicino y Caranza (2001) describen la presencia de flujos riolíticos subhorizontales ricos en sanidina, ignimbritas estratificadas y pórfiros riolíticos. Busteros *et al.* (1998) y Haller *et al.* (1997) describen detalladamente los afloramientos de las volcanitas mesozoicas en el ámbito del macizo Norpatagónico.

En general, todos los autores reconocen para el Complejo Marifil la existencia de una secuencia que inicia con un conglomerado basal expuesto en afloramientos saltuarios (Formación Puesto Piris, Cortés 1981), una facies lávica de composición andesítica a traquiandesítica y riolítica, una facies piroclástica compuesta por tobas e ignimbritas riolíticas a dacíticas y una facies hipabisal conformada por cuerpos subvolcánicos. Llambías *et al.* (1984) describen la presencia de domos riolíticos (internos y externos) como facies asociadas a este volcanismo en el borde suroriental del Macizo. Corbella (1973) realiza una descripción de los cuerpos subvolcánicos ácidos que afloran en los alrededores de la localidad de Sierra Grande, distinguiendo pórfiros graníticos y riolíticos, stocks graníticos y diques de felsitas riolíticas. Estos cuerpos intruyen a la asociación volcanosedimentaria jurásica y se vinculan espacialmente con la mineralización epitermal

cuenca del Salado, hacia el sur por la cuenca del Golfo de San Jorge y al oeste por la Pre cordillera Patagónica.

El basamento precámbrico-cámbrico de la región está constituido por esquistos cuarzosos, micáceos y anfibólicos, gneises anfibólicos, anfibolitas y cuerpos ígneos graníticos del Complejo Mina Gonzalito (Giacosa 1987) y, por metamorfitas de bajo grado denominadas Formación El Jagüelito (Giacosa 1987). Estas rocas se hallan cubiertas en discordancia por las sedimentitas marinas silúricas de la Formación Sierra Grande (Harrington 1962, Valvano 1954, De Alba 1964, Zanettini 1981, entre otros). Los granitoides del Paleozoico superior que constituyen el Complejo Pailemán (Giacosa 1993), intruyen a las unidades litoestratigráficas mencionadas.

Durante el Jurásico se produjo la efusión de un enorme volumen de volcanitas (cubren 50.000 km^2 según Page *et al.* 1999) preponderantemente silíceas de la Formación Marifil (Malvicini y Llambías 1974) o Complejo Marifil (Cortés 1981). Hacia el oeste y en discordancia angular, se depositan sobre las volcanitas, sedimentitas y tobas continentales del Grupo Chubut (Lesta 1968) de edad cretácica superior, y

sobre ellas las sedimentitas eoterciarias de la Formación La Colonia (Pesce 1979). Algunos kilómetros al sureste, son cubiertas por las sedimentitas marinas de la Formación Arroyo Verde asignada inicialmente al Paleoceno (Malvicini y Llambías 1974) y posteriormente al Eoceno (Rossi de García y Levy 1977); mientras que hacia el sur y el este, asoma la Formación Gaiman (Haller y Mendía 1980) y la Formación Puerto Madryn (Haller 1979), constituidas por sedimentitas marinas de ambiente de plataforma y costero, respectivamente. En tanto que hacia el oeste, se desarrolla el volcanismo de la meseta de Somún Cura completando así el cuadro de las unidades pre-cuaternarias de la región. El Cuaternario está representado por espesos depósitos fluvio-glaciares, aluviales y coluviales.

Características del complejo Marifil en el sureste del macizo de Somún Cura

El sitio de estudio se encuentra sobre el arroyo Verde, en el límite entre las provincias de Chubut y Río Negro ($65^{\circ}20' \text{LO}$, $42^{\circ}01' \text{LS}$) y cubre una superficie de 6 km^2 (Figs. 1 y 2).

La geología del área fue descrita en primer lugar por Malvicini y Llambías (1974)

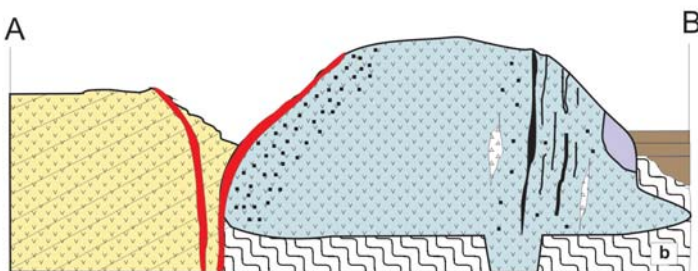
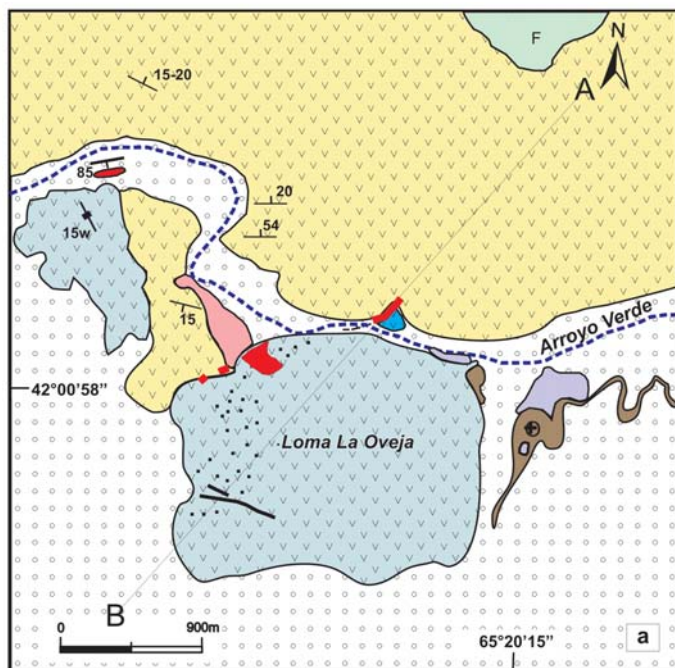


Figura 2: a) Mapa geológico del área de Arroyo Verde, con discriminación de las litofacies volcanoclasticas del Complejo Marifil; b) Sección esquemática idealizada y fuera de escala, que muestra las litofacies identificadas y sus relaciones de contacto.

de fluorita que es frecuente en la zona. Este autor menciona que las tobas y calizas intruidas por los pórfiros graníticos presentan incipiente metamorfismo de contacto. En el arroyo Verde, el complejo no presenta su base expuesta; en las barrancas afloran solo rocas volcánicas y piroclásticas integrantes de la unidad, aunque a unos 15 km al sur en proximidades de la

estancia El Refugio afloran metamorfitas y sedimentos paleozoicos cubiertas en discordancia por el conglomerado basal Puesto Piris, cuyo espesor fue determinado en 170 m (Cortés 1987).

Es importante resaltar que en los sondeos realizados por la empresa Minera Portal del Oro en arroyo Verde (www.portalresources.net/i/maps/section-line-4100.gif)

se ha interceptado el basamento paleozoico metamórfico por debajo de la cubierta cuaternaria. Estas rocas de basamento que pertenecen a la Formación Mina Gonzalito y Formación El Jaguelito, junto a los asomos de los alrededores de la estancia El Refugio, confirman la existencia de un alto basamental al sur del arroyo Verde, producto de la extensión triásica tardía-jurásica temprana.

Es notable la ausencia de las unidades mesozoicas tardías, ya que las rocas del Paleozoico-Mesozoico temprano son cubiertas por las sedimentitas Eocenas (F. Arroyo Verde) o por los sedimentos cuaternarios, lo cual permite interpretar que la zona se comportó como un elemento positivo durante gran parte de su evolución geológica meso-cenozoica, con escaso desarrollo de cuencas interiores e ingresos marinos someros y periféricos.

DESCRIPCIÓN DE LITOFACIES

En el sector estudiado, se han reconocido una facies ignimbrítica y una facies brechosa piroclástica intruidas por una facies dómica y de domos vítreos asociadas al desarrollo de un episodio hidrotermal. El conjunto es atravesado por facies de diques riolíticos que intruyen a las precedentemente mencionadas. Por último, la secuencia volcánica es parcialmente cubierta por rocas sedimentarias de origen marino y edad terciaria. Su distribución y relaciones pueden observarse en el mapa geológico de la figura 2a y en el corte esquemático de la figura 2b.

Facies ignimbrítica

Estas rocas conforman una secuencia que se localiza al norte del domo principal (Loma La Oveja). El conjunto posee rumbo general E-O e inclinaciones entre 15° y 54° al norte (Fig. 2a). La secuencia está integrada por una sucesión de aproximadamente 13 unidades de enfriamiento delgadas, con potencias del orden de los 2 o 3 m, el espesor total de la secuencia en torno al cerro La Oveja se estima pró-

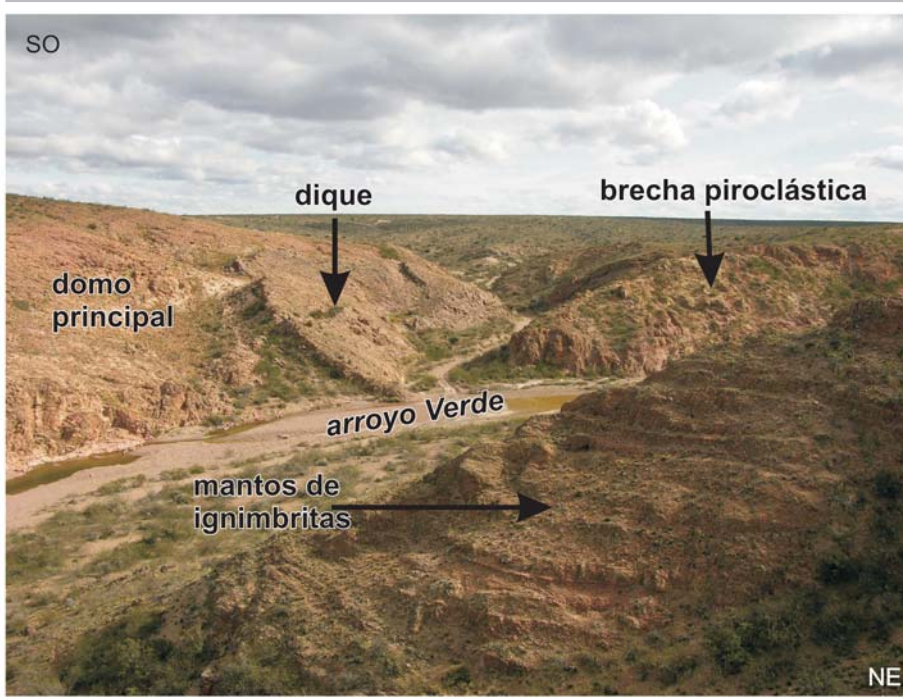


Figura 3: Vista general del borde nor-noroeste del domo principal en Arroyo Verde tomada hacia el suroeste; en primer plano se observa la secuencia de depósitos piroclásticos, al fondo de izquierda a derecha, el domo principal alterado y mineralizado intruido por un dique riolítico que aparece como una superficie plana (tabular) inclinando hacia la derecha y luego de atravesar el arroyo, los potentes asomos irregulares de la brecha piroclástica. Por último las rocas en el horizonte son psefitas cuaternarias subhorizontales.

Facies dómica

En la zona de estudio afloran al menos dos cuerpos mayores constituidos por rocas magmáticas con foliación de flujo. El domo, aquí denominado principal (loma La Oveja), tiene en planta una forma circular con un diámetro promedio de 1500 m, se comporta como un elemento de morfología redondeada y positiva, que destaca en el paisaje de la comarca como su punto de máxima altura. El techo del domo presenta bordes congelados y autobrechas de clastos centimétricos. En los flancos se reconocen fracturas por enfriamiento asignadas a diaclasamiento catafilar o estructuras de caparazón, típica de los bordes de cuerpos magmáticos emplazados en cercanías de la superficie, con fuerte contraste térmico.

La roca es de color castaño con pátinas limoníticas castaño rojizas, de textura escasamente porfírica. La proporción de fenocristales varía entre 5 y 10 % y corresponden a sanidina y biotita, en secciones de alrededor de 2 mm.

Los fenocristales de feldespatos alcalinos con frecuencia se ven parcialmente reemplazados por agregados de cuarzo hidrotermal. La biotita es muy escasa, en general está alterada a óxidos de hierro o desferizada. La pasta de la roca tiene textura microgranosa difusa, compuesta por un agregado de feldespatos alcalinos y cuarzo, ambos anhedrales y de granulometría muy fina. El feldespatos está alterado a sericita y arcilla cristalizada, en forma suave a moderada. Además en la pasta se distribuyen numerosas motas pardas rojizas difusas, formadas por óxidos que preservan relictos de pirita euhedral, asignada tentativamente a la alteración hidrotermal asociada al domo.

Esta facies ha sido afectada por procesos de hidrotermalismo en la etapa póstuma del emplazamiento que originaron vetas de cuarzo aurífero, stockworks, venilleo y brechas hidrotermales (Caranza y Paolini 1996, Massaferrero y Haller 2000).

Por sectores se observan venillas muy finas (2 mm) de jaspe y sílice blanquecina micro a criptocristalina y otros con fuerte li-

ximo a los 300 metros (Fig. 3). La roca es de color rosa mediano, muy compacta y presenta textura eutaxítica, con abundantes fragmentos de cristales leucocráticos inmersos en una matriz donde son notables los fragmentos pumíceos grisáceos aplastados de buen desarrollo (*fiammes*). Los cristaloclastos comprenden el 40 % de la muestra y poseen una dimensión máxima de 6 mm; están compuestos por cuarzo, feldespatos alcalinos, plagioclasa y biotita. Aparecen también *fiammes* difusos, de coloración ligeramente distinta a la de la roca, con dimensiones de hasta 70 mm, que suelen incluir numerosos cristaloclastos, no tan abundantes como los de la matriz. Se observan algunas secciones de pirita euhedrales diseminadas en la muestra. La matriz es vítrea y posee textura eutaxítica muy marcada, la cual se acentúa por la limonización que la afecta. Debido a su elevada viscosidad, el material de la matriz se pliega y forma recumbencias alrededor de los cristaloclastos. Todas estas características permiten defi-

nir a las ignimbritas de arroyo Verde como ignimbritas de alto grado o reoignimbritas. Las ignimbritas no han sido afectadas intensamente por la intrusión de la facies dómica; sólo en proximidades del contacto se observa un incremento en la inclinación de las unidades de flujo que se atribuye a una actividad posterior al enfriamiento de los mismos. Asimismo las ignimbritas están atravesadas por delgadas venillas silíceas asociadas a la etapa hidrotermal póstuma del domo. Observadas al microscopio, rodean o atraviesan a los cristaloclastos y dispersan a la matriz que adquiere un aspecto brechoso. Su distribución es irregular y la frecuencia baja. Los mantos ignimbriticos ubicados al sur del arroyo Verde presentan una disposición subhorizontal con una débil inclinación de 15° hacia el sur. Los lugares donde se observan los contactos ignimbrita-domo están parcialmente ocupados por los cuerpos de la facies diqueforme. Dadas las características señaladas, se estima que el domo intruye a las ignimbritas.

monitización. La meteorización provoca en el domo manchones blanquecinos muy notorios, que tanto por observaciones mesoscópicas como microscópica corresponden a una paragénesis arcillosa. Siguiendo unos 1500 m aguas arriba por el curso del arroyo, se puede observar la ocurrencia de un cuerpo magmático de características texturales y mineralógicas similares a las del domo principal. No genera un relieve importante y tiene foliación magmática de rumbo 15° oeste, que se orienta en dirección al domo principal.

Facies dómica vítrea

Esta facies aflora sobre la margen sur del arroyo Verde y hacia el este del domo principal constituyendo pequeños asomos (Fig. 2a), ubicados en la parte baja del complejo volcánico, por lo cual ha sido interpretado por otros autores como la base local de la secuencia volcánica. El contacto con el domo principal no está bien expuesto, aunque en forma local se puede observar la relación de intrusividad del domo vítreo en el domo principal. Esta evidencia permite interpretar a este domo como un pulso magmático tardío del domo principal, que perdió temperatura abruptamente provocando la vitrificación de la pasta. Esta relación implica que los procesos magmáticos han sido coetáneos a levemente diacrónicos. Esta facies está cortada por venas y vetas de óxidos de manganeso, que suelen ocupar también las fracturas perlíticas provocadas por la hidratación del vidrio en las primeras etapas de enfriamiento. Asimismo, soporta en relación de discordancia un nivel de conglomerados de 3 m de espesor con clastos del domo riolítico, granitoides y metamorfitas de basamento en una matriz arenosa con concreciones de manganeso (Fig. 4a). Por encima del conglomerado de base siguen calizas fosilíferas y areniscas calcáreas.

La roca que compone el domo es de coloración castaño violáceo oscuro con marcada fluidalidad vertical y numerosas grietas perlíticas visibles macroscópicamente (Fig. 4b). Presenta textura porfírica con bajo porcentaje de fenocristales (10 %).

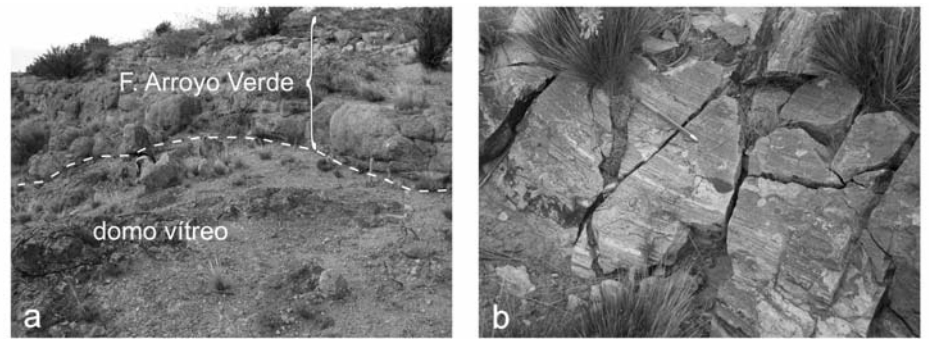


Figura 4: a) Afloramiento de la Formación Arroyo Verde apoyada sobre el domo vítreo. En línea punteada se observa el contacto entre ambas; b) Dique riolítico con foliación magmática.

Estos corresponden a feldespato y mafitos totalmente desferrizados. Como feldespato se reconocen secciones de plagioclasa, en ocasiones lixiviada, o alteradas a arcillas y sericita. Los mafitos son biotita ó anfíbol con acumulación de minerales opacos sobre los bordes cristalinos y dispersos en el interior de las secciones. Como consecuencia de la alteración, estos minerales han sido reemplazados por un mineral incoloro al que se asocia epidoto teñido por los óxidos de hierro.

La pasta originalmente vítrea está desvitrificada (Figs. 5a y b) a un agregado criptocristalino a microgranoso difuso, suavemente alterado a arcilla y sericita. La fluidalidad de la pasta queda indicada por sectores elongados de disposición subparalela desvitrificados. Como minerales accesorios se encuentran numerosos cristales de apatita de color castaño claro y circón. De acuerdo a las características petrográficas la roca se clasificaría megascópicamente como una fenoandesita, si bien co-

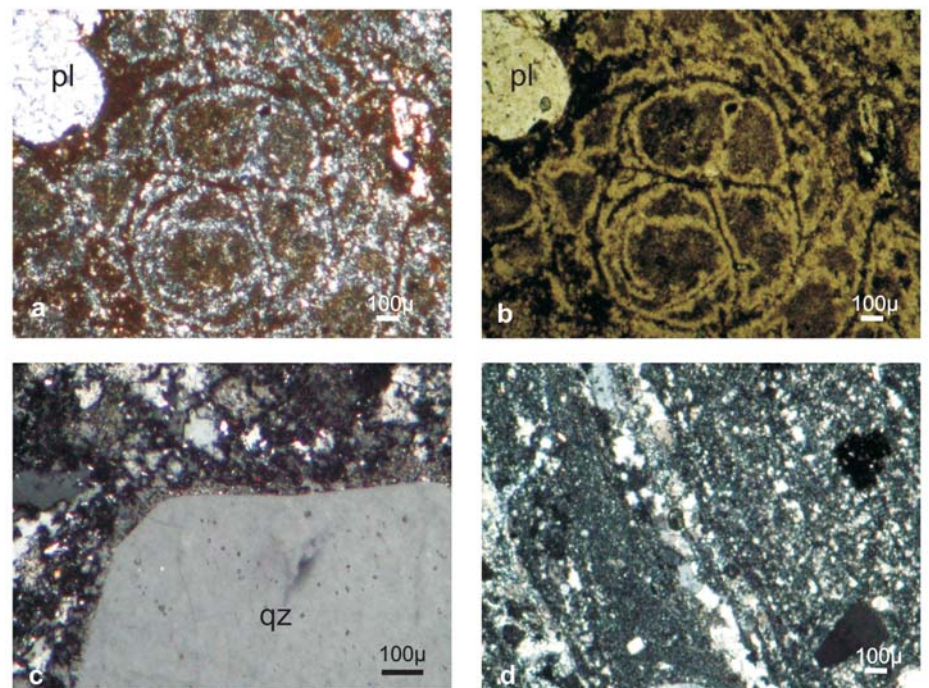


Figura 5: a) Domo vítreo con fenocristal de plagioclasa (pl) y pasta con grietas perlíticas; nicols paralelos; b) Idem anterior, con nicols cruzados, en la que se aprecia la desvitrificación de la pasta a un agregado microgranoso difuso alterado a arcillas y sericita; c) Detalle parcial de un fenocristal de cuarzo (qz) en el dique foliado, mostrando el fino borde que lo rodea, nicols cruzados; d) Dique con textura porfírica y foliación marcada por líneas de distinta granulometría; nicols cruzados.

mo se verá más adelante, su composición química corresponde a una traquita, dado el alto contenido de Si y K de la pasta.

Facies de brechas piroclásticas

El sector comprendido entre el domo y el arroyo Verde (Fig. 2a), está ocupado por un depósito de brechas piroclásticas con bloques de gran tamaño (hasta 1 m³) y de morfología angular. Es un afloramiento elongado en sentido NO-SE de 500 m de largo, 100 m de ancho y una potencia aproximada de 30 m. Está separado del domo principal por los diques riolíticos y por un valle, sin exponer sus relaciones de contacto. Hacia el oeste, estas rocas están cubiertas por flujos de ignimbritas de rumbo E-O y suave inclinación al sur. La composición de los clastos es predominantemente ignimbrítica. La matriz es de color castaño rosado muy claro, y está compuesta por material de origen piroclástico, trizas vítreas, cristaloclastos de feldespato alcalino, cuarzo y escasa biotita. Las trizas vítreas por lo general presentan en su parte central alteración a sericita y arcilla y hacia los bordes tienen incipiente desvitrificación a un mineral de n menor que el bálsamo (feldespato alcalino?). Se señala la presencia de cuarzo secundario formando agregados y venillas cortas. Esto sugiere que la brecha ha sido afectada por los procesos de alteración hidrotermal asociados al emplazamiento del domo principal.

Sistemas hidrotermales tardío magmáticos

Los sistemas hidrotermales mencionados y que afectan a las litofacies descritas, se asocian espacial y temporalmente a las facies dómicas (principal y vítrea) y son previos a la intrusión de los diques. Sus características pueden resumirse de la siguiente manera:

El domo principal expone en su flanco oeste un sistema epitermal con vetas de cuarzo, stockworks y brechas portadoras de metales nobles/base asociados con alteración metasomática pervasiva, que representan las etapas finales del volcanismo riolítico.

Se distinguen dos vetas principales de rumbo dominante E-O e inclinación subvertical, con potencias máximas de 2 m, una con una corrida de 400 m, y típicas texturas de relleno de espacios abiertos, bandeadas, coliformes-costriformes, en peine y masivas. Al microscopio, se han reconocido en el cuarzo texturas de recristalización (plumosas y llameantes) y de reemplazo (fantasmas y pseudomorfo de calcita laminar por cuarzo) (Massaferrero y Haller 2000). Se han distinguido numerosos pulsos de cuarzo incluyendo uno tardío de amatista. Hacia el centro de la veta principal, se desarrolla una brecha hidrotermal con un espesor aproximado de 30 cm. Los fragmentos de cuarzo están cementados por sílice roja (jasperoide) y se reconocen al menos dos episodios de brechamiento. Estas brechas también se desarrollan sobre sectores oeste-noroeste del domo principal con un diseño irregular asociados a silicificación. En otros sectores del domo, se presentan las brechas hidrotermales controladas por estructuras, con una morfología lineal.

El *stockwork* se desarrolla en el domo principal, preferentemente en el borde oeste del mismo, y está conformado por numerosas venillas de cuarzo y adularia que se distribuyen en diversas direcciones con espesores que varían desde milímetros hasta 1 cm. Venillas de cuarzo y manganeso cortan a las ignimbritas y al domo vítreo. Tanto las ignimbritas como el domo, se encuentran atravesadas por venillas de cuarzo. La alteración hidrotermal provoca cambios mineralógicos, de coloración y dureza, en las rocas del domo, que macroscópicamente corresponden a reemplazos metasomáticos silíceos y arcillosos. Se estudiaron tres muestras por termometría de inclusiones fluidas (Massaferrero 2001). Las muestras corresponden a las vetas de cuarzo y a cuarzo del stockwork. Si bien los valores de temperaturas de homogeneización se distribuyen entre 117° C y 261° C, la mayor frecuencia de datos se encuentra en el rango entre 180 y 190° C y la salinidad (calculada a partir de las temperaturas de fusión y la fórmula de Potter *et al.* 1978) varía entre 0,5 y 6

%. Las bajas salinidades de los fluidos indican un aporte o mezcla de las aguas magmáticas con aguas meteóricas.

Facies de diques riolíticos

Se distinguen en el área varios cuerpos subvolcánicos elongados que intruyen a los domos y a los mantos ignimbríticos, tienen composición riolítica y marcada foliación magmática (Figs. 3 y 4b). El cuerpo mayor se localiza sobre el flanco noroccidental del domo principal, emplazado en la zona de contacto entre las ignimbritas y las brechas piroclásticas (Fig. 2). Otro dique asoma en el cauce del arroyo en el sector noroeste del área de estudio, como un cuerpo menor sin relaciones de contacto, aunque en posición claramente discordante con la disposición espacial de las unidades de enfriamiento ignimbríticas (Figs. 2a y b). El cuerpo mayor es tabular, de orientación e inclinación muy variable, desde subvertical hasta 45° al O, con cambios frecuentes de espesor.

La roca presenta color castaño violáceo mediano, con pátinas limoníticas castaño anaranjadas a violáceas y textura porfírica. La pasta es afanítica con fluidalidad muy marcada y pequeñas motas de óxidos.

Los fenocristales presentan escaso desarrollo y están constituidos por sanidina, cuarzo y escasa biotita. La pasta es granofírica, formada por un denso intercrecimiento de cuarzo y feldespato alcalino. Ocasionalmente se observa al feldespato totalmente alterado a arcilla y a las secciones de cuarzo con delgado borde de reacción en continuidad óptica. (Fig. 5c).

La fluidalidad se destaca por la alternancia de bandas de disposición paralela formadas en algunos casos por arcillas y en otros por material microgranoso (cuarzo feldespático) que incluyen a los fenocristales (Fig. 5d).

Los diques riolíticos intruyen al domo principal, a las ignimbritas y con dudas a las brechas, cortan a las zonas alteradas y mineralizadas y no son atravesados por venillas ni afectados por la alteración. El conjunto de características, en especial su composición y yacencia, permiten asignarle una edad tardía en el proceso de

evolución del complejo magmático, con posterioridad al desarrollo del hidrotermalismo y mineralización, aunque directamente vinculado.

CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS

Para delinear las características químicas de las facies presentes se realizaron análisis de elementos mayoritarios y minoritarios en los laboratorios de ALS Chemex Argentina por el método ICP-MS (Cuadro 1) sobre cuatro muestras alejadas de las zonas de alteración y mineralización. Se escogieron como representativas muestras del domo principal, del domo vítreo, de las ignimbritas riolíticas al norte del arroyo Verde y de los diques riolíticos con foliación de flujo. Se asume por las relaciones de campo y similitud composicional (petrográfica) que las muestras son comagmáticas y corresponden a diversos episodios durante la evolución de este centro eruptivo.

Los contenidos de SiO₂ varían entre 65 y 76 % y la suma de los álcalis varía desde 9 hasta 12 %. De acuerdo a estos contenidos recalculados a 100 % en base anhidra, las rocas se clasifican según el diagrama TAS (Fig. 6) como riolitas (dique riolítico e ignimbrita) y traquitas (domo y domo vítreo). Esta última clasificación fue corroborada utilizando el contenido en volumen de cuarzo normativo según Le Bas *et al.* (1986). Asimismo, teniendo en cuenta la alteración hidrotermal que presentan algunas muestras, se graficaron las muestras en el diagrama de Wynchester y Floyd (1977) para rocas volcánicas. La única diferencia de clasificación se observa en el domo, que se encuentra empobrecido en Zr respecto de las otras rocas y clasifica como una riolita/dacita. La facies más ácida es la diqueforme con foliación de flujo que a su vez presenta los contenidos más bajos en álcalis y clasifica como riolita subalcalina. En general, todas las muestras presentan alto contenido de K₂O (6,73-11,4%). Este rango es comparable al de las rocas que componen la provincia riolítica de Chon Aike de alto

CUADRO1: Resultados de análisis químicos de las rocas seleccionadas. Elementos mayoritarios expresados en % en peso y elementos menores y trazas en ppm.

Muestra	AV-59 (domo vítreo)	AV-68 (domo)	AV-69 (dique)	AV-70 (ignimbrita)	AV-70	AV-69
SiO ₂	64,69	65,23	76,38	67,20	67,56	76,08
Al ₂ O ₃	15,73	14,74	10,19	15,22	15,30	10,16
TiO ₂	0,61	0,50	0,11	0,59	0,60	0,10
Fe ₂ O ₃	3,61	3,69	1,44	1,20	1,21	1,39
MnO	0,11	0,14	0,14	0,10	0,10	0,14
MgO	0,49	0,65	0,07	0,15	0,16	0,07
CaO	0,39	1,07	0,08	0,12	0,15	0,07
Na ₂ O	3,17	3,94	1,11	0,90	0,70	0,99
K ₂ O	7,68	6,73	7,99	11,40	11,43	7,93
P ₂ O ₅	0,24	0,23	0,01	0,07	0,08	0,00
LOI	2,06	2,00	0,92	1,06	1,11	0,91
Total	98,78	98,92	98,43	98,00	98,41	97,82
Ag	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	
As	8	<5	10	7	<5	
Ba	>2000	1174	846	>2000	>2000	
Co	2	5	<1	1	<1	
Cr	13	19	26	24	22	
Cu	10	12	10	11	9	
Ga	22	20	17	21	21	
Hg	<2	<2	<2	<2	<2	
La	116	75	37	108	111	
Li	25	34	44	8	8	
Mn	823	1028	1036	748	721	
Mo	5	5	4	4	4	
Nb	21	18	25	20	19	
Ni	6	6	3	6	4	
P	730	703	39	237	225	
Pb	21	15	40	13	13	
S	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	
Sb	<5	<5	<5	<5	<5	
Sc	7	<5	<5	7	8	
Sr	227	336	73	258	263	
Tl	<5	<5	<5	9	8	
V	56	51	6	43	45	
W	<20	<20	<20	<20	<20	
Y	30	28	26	34	34	
Zn	102	44	61	26	24	
Zr	482	81	107	496	499	
A/CNK	1,10	0,94	0,96	1,13	0,98	
A/NK	0,86	0,93	1,03	0,88	1,01	

potasio, con contenidos promedio entre 4 y 9 % (Pankhurst *et al.* 1998). Los valores de CaO y MgO son bajos, otra característica común en las rocas pertenecientes a este complejo.

El quimismo del complejo volcánico en Arroyo Verde es transicional entre las rocas alcalinas y subalcalinas, característica ya mencionada por Rapela y Pankhurst (1993) quienes las incluyen en un campo de rocas transalcalinas en el sentido de

Middlemost (1991). La divisoria entre las alcalinas y transalcalinas está dada por la presencia de Q o Ne en la norma. Las rocas investigadas tienen Q normativo. El índice de Shand las ubica en los campos peraluminoso y metaluminoso, excepto a las riolitas que son débilmente peralcalinas. Si bien está mencionado dentro de la literatura la intercalación de términos de composición andesítica o basáltica dentro del complejo, no se han encontrado rocas

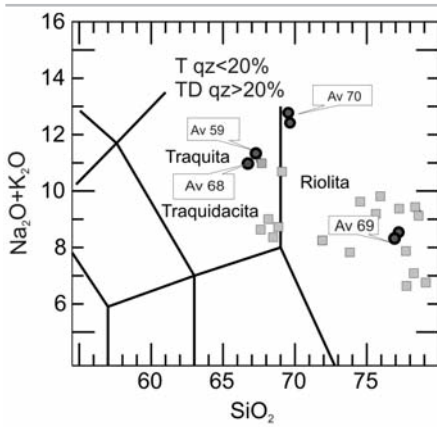


Figura 6: Diagrama TAS de clasificación (Le Maitre *et al.* 1989). Datos recalculados a 100 % en base anhidra. T= Traquitas y TD= traquidacitas de acuerdo al criterio de Le Bas (1986). Con un círculo están señaladas las rocas analizadas en este trabajo. Los cuadrados representan datos del Complejo Marifil en Arroyo Verde (Llambías *et al.* 1984), Sierra Negra, Dique Ameghino y Punta Camarones (Pankhurst y Rapela 1995) y Sierra de Pailleman y alrededores (Busteros *et al.* 1998).

en esta localidad que respondan a esa composición, ni en superficie ni en perforaciones de subsuelo.

En general, se aprecia que las composiciones químicas de las rocas que componen este complejo son muy homogéneas, obteniendo diferentes autores (Llambías *et al.* 1984, Haller *et al.* 1997, Pankhurst y Rapela 1995, entre otros) diagramas de clasificación muy similares a los de este trabajo. Por lo tanto, se puede considerar que las muestras elegidas son representativas del quimismo del complejo.

En cuanto al contenido de elementos traza, comparados con condritos de acuerdo a las constantes de Thompson *et al.* (1984)

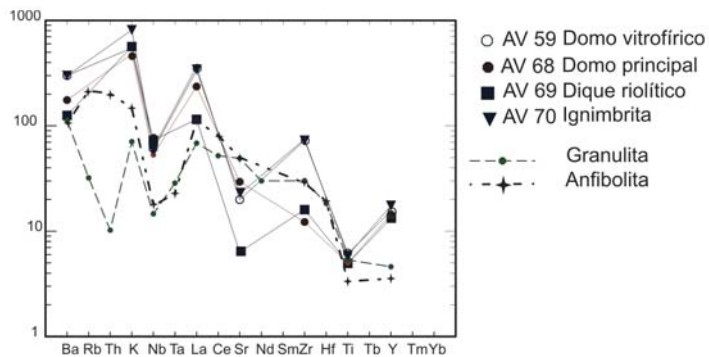


Figura 7: Diagrama normalizado de elementos minoritarios según constantes de Thompson *et al.* (1984). Se grafican las rocas seleccionadas del Complejo Marifil junto con muestras patrón de gneises en facies de anfibolita y granulita para su comparación.

se advierte un fuerte enriquecimiento en LILE (típico de rocas muy diferenciadas), menos marcado en los HFSE generando diseños empinados con pendiente general negativa (Fig. 7).

Como rasgo distintivo se observa un pico negativo en Nb, característico de las rocas derivadas de la corteza. A efectos comparativos, se incluyen en el mismo diagrama los contenidos de corteza superior (gneiss en facies anfibolita) e inferior (gneiss en facies granulita) tomados de Weaver y Tarney (1981). Los patrones muestran diseños paralelos aunque levemente más enriquecidos lo que permite inferir un origen cortical para las rocas analizadas. Los valores de Rb y las relaciones iniciales de ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr para la Formación Marifil en la estancia de Arroyo Verde publicados por Rapela y Pankhurst (1993) son compatibles con la derivación de una fuente de tipo corteza en facies de anfibolita.

Los contenidos de Y y Nb (Fig. 8) son equiparables a los de otras rocas analizadas pertenecientes al Complejo Marifil y grafican en el límite entre el campo de intraplaca y retro arco.

DISCUSIÓN

Los interrogantes sobre los mecanismos de emplazamiento del volcanismo extensional jurásico temprano que integra el Complejo Marifil persisten en la actualidad. Se plantean dos hipótesis alternativas para explicar el origen, emplazamiento y evolución del magmatismo: una vinculada al desarrollo de calderas y otra que

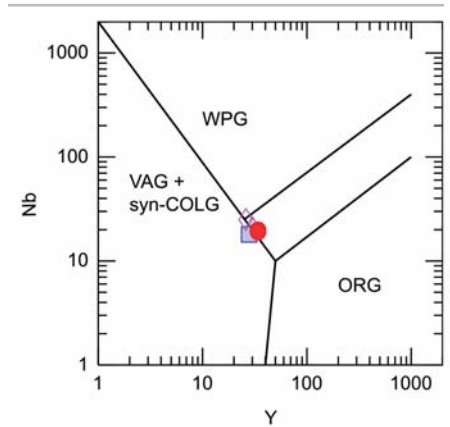


Figura 8: Diagrama discriminador de ambientes tectónicos Y vs. Nb (Pearce *et al.* 1984). Las muestras no grafican en ningún campo específico.

explica el plateau ignimbrítico como resultado de efusiones de tipo fisural. Este cuestionamiento impulsó a reunir datos que contribuyan a aclararlo, utilizándose como herramienta la determinación y mapeo de las litofacies volcánicas en sitios estratégicos del plateau. Debe aclararse que la información geológica presentada en este trabajo, corresponde a un área de 6 km², en la localidad tipo de la Formación Marifil en las márgenes del arroyo Verde. Asimismo, se aclara que este sector es una pequeña parte, aunque representativa e integrante, del volcanismo riolítico mesozoico del macizo de Somún Cura.

A partir del análisis de los modelos clásicos de erupciones volcánicas asociadas a calderas (Elston 1984, Lipman 1997, Cole *et al.* 2005) surge que están constituidas por flujos ignimbríticos, megabrechas, depósitos sedimentarios y domos asociados a rasgos circulares o semi circulares que puedan considerarse evidencias de la existencia de una estructura de colapso. A las erupciones fisurales se las entiende como un mecanismo de extrusión controlado por una serie de fallas alineadas que drenan una cámara magmática somera de manera tranquila y con frecuencia asociada a magmas básicos (Gary *et al.* 1974). Sin embargo, debe mencionarse que es frecuente en el macizo de Somún Cura encontrar evidencias de erupciones fisurales de composición ácida, como por ejemplo cuerpos hipabisales riolíticos atra-

vesando las rocas del basamento (zona de mina Gonzalito, Río Negro) y también la presencia de diques domo o lavas domo caracterizadas por un diseño elongado que permite la extrusión de un magma viscoso con abundantes filetes y pliegues de flujo (Márquez *et al.* 2005). Los volúmenes de magma extruidos, observables en las proximidades de la estructura son poco significativos, aunque debe considerarse que representan la obturación del conducto y la finalización del proceso volcánico. Durante la erupción de los flujos ignimbríticos de alta temperatura, es posible que puedan arrojarse a la superficie grandes volúmenes a través de estructuras aproximadamente lineales.

Las condiciones de esfuerzo en la superficie de la corteza continental durante el Triásico-Jurásico temprano pueden establecerse, ya que las diversas litofacies volcánicas del Complejo Marifil apoyan discordantemente sobre un basamento metamórfico y sedimentario de edad cámbrica-silúrica. Conforman el relleno de sistemas de *hemigrabens* subparalelos, que responden a un régimen extensional fuerte en tiempos previos a la ruptura del Gondwana (Uliana y Biddle 1987). Una propuesta similar fue realizada por Ciccirelli (1990) para explicar el emplazamiento de las vetas de fluorita en el macizo de Somún Cura.

Para tratar de determinar, al menos en forma localizada, el mecanismo de extrusión del volcanismo, se describen y analizan en forma sumaria, los datos obtenidos en la investigación de la zona del arroyo Verde. Se identificaron diversas litofacies a partir de la determinación de las características litológicas, su distribución y relaciones de contacto (Figs. 2a y 2b). Las litofacies reconocen un arreglo espacial que muestra al domo como el elemento destacado central, el sector norte está ocupado por numerosos depósitos ignimbríticos (rumbo este-oeste con inclinación al norte), al oeste un potente afloramiento de brechas piroclásticas está cubierto por un manto de ignimbritas que inclinan hacia el sur y otro cuerpo dómico de menores dimensiones aflora

al noroeste del área, siguiendo la traza del arroyo. Hacia el este, aflora un domo traquítico vítreo que intruye el borde oriental del domo principal y aparece cubierto por una delgada secuencia sedimentaria marina terciaria. Al sur del domo y por debajo de la cubierta cuaternaria, aparece un extenso bloque de basamento metamórfico. La diferencia de altura topográfica entre el basamento paleozoico inferior (cubierto) y los flujos ignimbríticos aflorantes en el arroyo Verde (del orden de 100 m), expresa la existencia de un resalto topográfico entre ambas unidades que se interpreta como el resultado del desarrollo de la cuenca extensional hacia el norte. Esto concuerda con la mayor extensión areal y la posición espacial de los flujos ignimbríticos en ese sector.

No se han encontrado rasgos o lineamientos circulares o semicirculares que puedan evidenciar la existencia de una caldera. Tampoco hay depósitos característicos producidos por el colapso de una caldera, o restos de los sedimentos que se habrían depositado en una caldera ocupada por un lago. La facies sedimentaria aflorante en Arroyo Verde corresponde a un evento marino de edad terciaria (Malvicini y Llambías 1974).

En cambio, se puede apreciar como los domos están alineados según la traza del arroyo Verde, y la distribución de las ignimbritas parcialmente controlada por este lineamiento. Esto es coherente con la determinación de una falla de rumbo E-O y magnitud regional que levanta el basamento metamórfico en los sondeos del proyecto minero Arroyo Verde.

Dadas las evidencias, se concuerda con Malvicini y Llambías (1974) sobre un origen vinculado a una erupción de tipo fisural para las litofacies volcánicas en Arroyo Verde, sin descartar posibles erupciones centrales o calderas en otros sectores del macizo.

Teniendo en cuenta las características geológicas establecidas se realiza una propuesta sobre la evolución del volcanismo en Arroyo Verde:

- Comienza con una serie de episodios explosivos que habrían dado origen a los

mantos de ignimbritas, resultado de la superposición de flujos piroclásticos calientes de poco volumen dado el escaso espesor (2-3 m) de las unidades de enfriamiento. Evidencias de alta temperatura son la presencia de *fiammes*, la textura eutáctica y el elevado grado de soldadura de las rocas.

- Las brechas piroclásticas se interpretan tentativamente como una intercalación en las ignimbritas de una colada de bloques y ceniza.

- Luego de la efusión de las ignimbritas, se habría producido la intrusión del domo principal y de domos menores (vítreos) en una fractura de orientación aproximada O-E, en una secuencia levemente diacrónica. Los domos fueron afectados por procesos de alteración hidrotermal que produjeron vetas de cuarzo auríferas, stockworks, zonas de alteración arcillosa y silícea.

- El último evento magmático está vinculado a la intrusión de los diques riolíticos. En un contexto regional, se repiten asociaciones de litofacies similares a las descritas en Arroyo Verde, quizás vinculadas a otros centros eruptivos cuyo desarrollo sería independiente y contemporáneo. Se reconoce un dominio de ignimbritas intruidas por cuerpos subvolcánicos granudos, porfíricos y felsíticos coetáneos, en tanto que los afloramientos de rocas piroclásticas de caída y carbonáticos son minoritarios y afloran 12 km al SE de Arroyo Verde (Cortés 1987), al sur de sierra Grande (Arnolds 1951, Zanettini 1980); en el entorno de la mina de fluorita La Lechosa al oeste de Sierra Grande (Busteros *et al.* 1998) y otros asomos sin ubicación precisa en la región (Corbella 1973).

Las litofacies descritas indican que se está en presencia de una singularidad, que es un complejo dómico que representa parcialmente al Complejo Marifil. Teniendo en cuenta que las rocas piroclásticas no representan una única secuencia de eventos, ni necesariamente un apilamiento de litologías, es de esperar la presencia de numerosas singularidades. El espesor y características de los depósi-

tos volcanoclásticos también reconoce la influencia del diseño y magnitud de los *hemigrabens* que los contienen.

El domo vítreo que fue descrito y clasificado previamente por Malvicini y Llam-bías (1974) como un cuerpo andesítico co-responde geoquímicamente a una traquita. Esto implica la carencia de rocas mesosilícicas en la secuencia tipo de la Formación Marifil en Arroyo Verde y destaca la escasa participación andesítica en el volcanismo del borde oriental del macizo de Somún Cura.

CONCLUSIONES

Se ha realizado el mapeo de litofacies volcánicas en el área de Arroyo Verde, identificándose facies de ignimbritas, de domos, de diques y de brechas piroclásticas. Se propone la siguiente secuencia en la evolución del Complejo Volcánico Marifil: La actividad comenzaría con la extrusión de flujos piroclásticos calientes de columnas de baja altura (litofacies de ignimbritas), con intercalaciones esporádicas de coladas de bloques y cenizas (litofacies de brechas). Está seguido por la intrusión del domo principal y del domo vítreo (litofacies del domo vítreo) que activan celdas hidrotermales provocando la mineralización y alteración del sector (sistemas hidrotermales tardío-magmáticos). Como último evento, se reconoce el emplazamiento de diques riolíticos en las superficies de debilidad que concuerdan con los bordes del domo (litofacies de diques riolíticos).

Debe destacarse que las relaciones entre las facies no son de apilamiento sino que los flujos ignimbriáticos son intruidos por complejos dómicos y diques, como así también se destaca la ausencia de rocas de composición andesítica integrando el complejo

La distribución de las facies está controlada por un lineamiento coincidente con la traza E-O del arroyo Verde, remarcada por el emplazamiento alineado de los complejos dómicos y la inclinación de los afloramientos ignimbriáticos. No se han encontrado evidencias de la existencia de

una caldera, en cambio la mayoría de los rasgos descriptos son coherentes con mecanismo de erupción fisural.

Este conjunto de rocas ígneas representa eventos levemente diacrónicos, identificables en la evolución de un episodio magmático, que está caracterizado por composiciones traquíticas y riolíticas transalcalinas.

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 los alumnos Gabriel Mendes Rosa y César Navarrete que han contribuido durante los trabajos de campo. A las autoridades de la Delegación Comodoro Rivadavia del SEGEMAR que han facilitado la concreción de las actividades de Investigación. Al Dr. Iván Petrinovic por la lectura crítica del manuscrito y sus valiosas sugerencias. Asimismo agradecemos a los árbitros del trabajo, Dr. Eduardo Llam-bías y Dra. Patricia Srouga cuyos comentarios contribuyeron a mejorar y enriquecer el manuscrito.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Alric, V., Haller, M. J., Féraud, G., Bertrand, H., y Zubia, M. 1996. Geocronología 40Ar/39Ar del volcanismo jurásico de la Patagonia Extraandina. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 5: 243-250, Buenos Aires.
- Aragón, E., Iniguez Rodríguez, A. and Benialgo, A. 1996. A calderas field at the Marifil Formation, new volcanogenic interpretation, Norpatagonian Massif, Argentina. *Journal of South American Earth Science* 9(5-6): 321-328
- Arnolds, A. 1951. Contribución al conocimiento de los recursos minerales del distrito Sierra Grande, territorio de Río Negro. Dirección Nacional de Minería, 53 p., Buenos Aires.
- Busteros, A., Giacosa, R., Lema, H. 1998. Hoja Geológica 4166-IV, Sierra Grande, Provincia de Río Negro. Subsecretaría de Minería de la Nación, 75 p., Buenos Aires.
- Caranza, H., y Paolini, M. 1996. Proyecto Arroyo Verde. Pegasus Gold Internacional Inc. Su-cursal Argentina, (inédito), 10 p., Mendoza.
- Cicciarelli, M. 1990. Análisis Estructural del Sector Oriental del Macizo Nordpatagónico y su significado metalogenético. Tesis doctoral 555, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, (inédita), 152 p., La Plata.
- Cole, J., Millner, D. y Spinks, K. 2005. Calderas and caldera structures: a review. *Earth-Science Reviews* 69:1-26.
- 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 metalogenética. *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.
- Cortés, J.M. 1987. Descripción geológica de la Hoja 42h, Puerto Lobos, provincia del Chubut. Dirección Nacional de Minería y Geología, Boletín 97. 68 p., Buenos Aires.
- Davicino, R. y Caranza, H. 2001. Manifestaciones epitermales con oro en Arroyo Verde, Chubut. 7° Congreso Argentino de Geología Económica, Actas 1: 195-198, Salta.
- 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.
- Demichelis, A.H., M.J. Haller, H. Miller y J. Cabrereros. 1994. Effusionsmechanismen im Jurassischen Ignimbrit-Plateau Nordpatagoniens. 14. Geowissenschaftliches Lateinamerika-Kolloquium, Tübingen. Terra Nostra, Schriften del Alfred-Wegener-Stiftung 2-94: 16-17, Hamburgo.
- Elston, W. 1984. Mid Tertiary ash flows cauldrons southwestern New Mexico. *Journal of Geophysical Research* 89: 8733-8750.
- Féraud, G., Alric, 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 40Ar/39Ar data. *Earth and Planetary Science Letters* 172: 83-96.
- Gary M., McAfee Jr. R., y Wolf, C.L. 1974. Glossary of Geology with a foreword by Ian Campbell. American Geological Institute, D.C. 805 p., Washington.

- Giacosa, R. 1987. Caracterización de un sector del basamento metamórfico migmatítico en el extremo surorietal del Macizo Nordpatagónico, provincia de Río Negro. 10° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 51-54, San Miguel de Tucumán.
- Giacosa, R. 1993. El ciclo eruptivo Gondwánico en el área de Sierra de Pailemán, Macizo Norpatagónico, Argentina. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de exploración de Hidrocarburos, Actas 4: 113-119, Buenos Aires
- Haller, M.J. 1979. Estratigrafía de la región al poniente de Puerto Madryn, provincia del Chubut, República Argentina. 7° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 285-297, Buenos Aires.
- Haller, M. y Mendía, J. 1980. Las sedimentitas del ciclo Patagoniano en el litoral atlántico norpatagónico. Coloquio "R. Wichmann". En J.E. Mendía y Bayarsky, A. (eds.) Estratigrafía del Terciario en el valle inferior del río Chubut. 8° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 593-606, Buenos Aires.
- Haller, M. J., Meister, C., Monti, A. J. y Weiler, N. 1997. Hoja Geológica 4366-II, Puerto Madryn, provincia del Chubut. Dirección Nacional del Servicio Geológico, (inédito), 50 p., Buenos Aires.
- Harrington, H. 1962. Paleogeographic development of South America. *Bulletin American Association of Petroleum Geologist* 46(10): 1773-1814.
- Le Maitre, R.W. (ed.) con Bateman, P., Dubek, J., Keller, J., Lameyre, M., Lebas, 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.
- Le Bass, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A. y Zanettin, B. 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology* 27: 745-750.
- Lesta, P. J. 1968. Estratigrafía de la Cuenca del Golfo de San Jorge. 3° Jornadas Geológicas Argentinas, Actas: 251-289, Buenos Aires.
- Lipman, P. 1997. Subsidence of ash-flow calderas: Relation to caldera size and magma chamber geometry. *Bulletin of Volcanology* 59: 198-218.
- Llambías, E., Caminos, R. y Rapela, C. 1984. Las plutonitas y vulcanitas del ciclo eruptivo gondwánico. En Ramos, V.A. (ed.) *Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Río Negro*, 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, Buenos Aires.
- Márquez, M., Giacosa, R. Fernández, M. y Parisi, C. 2005. Nuevos datos geológicos de la Sierra Mora y sus implicancias tectónicas (Chubut Extrandino). 16° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 17-18, La Plata.
- Massaferro, G. 2001. Depósitos epitermales del Macizo Norpatagónico, Argentina. 20° Curso Internacional de Posgrado en Metalogenia, Universidad Central del Ecuador, Memorias: 50-54, Quito.
- Massaferro, G.I. y Haller, M.J. 2000. Texturas de las vetas epitermales del Macizo Norpatagónico. 5° Congreso de Mineralogía y Metalogenia, Actas: 312-319, La Plata.
- Middlemost, E. 1991. Towards a comprehensive classification of igneous rocks and magmas. *Earth Science Reviews* 31: 73-87.
- Page, R., Ardolino, A., de Barrio, R., Franchi, M., Lizuain, A., Page, S. y Silva Nieto, D. 1999. Estratigrafía del jurásico y cretácico del Macizo de Somún Curá, provincias de Río Negro y Chubut. En Caminos, R. (ed.) *Geología Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Mineros, Anales 29(3): 460-488.
- 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.
- 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.
- Pesce, A. 1979. Estratigrafía del Arroyo Perdido en su tramo medio e inferior, Provincia del Chubut. 7° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 315-333, Buenos Aires.
- Potter, R., Clynne, M.A. y Brown, D. L. 1978. Freezing point depression of aqueous sodium chloride solutions. *Economic Geology* 73: 284-285.
- Rapela, C. y Pankhurst, R. 1993. El Volcanismo Riolitico del Noreste de la Patagonia: Un Evento Meso-Jurásico de Corta Duración y Origen Profundo. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Explotación de Hidrocarburos, Actas 4: 179-188, Buenos Aires.
- Rossi de García, E. y Levy, R. 1977. La fauna de la Formación Arroyo Verde, Eoceno de la provincia de Río Negro, Argentina. *Revista Ameghiniana* 12(1-4): 45-52.
- 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 de la Asociación Geológica Argentina* 63(4): 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. y Biddle, K. 1987. Permian to Late Cenozoic evolution of northern Patagonia: main tectonic events, magmatic activity, and depositional trends. En McKenzie, G.D. (ed.) *Gondwana Six: Structure, Tectonics and Geophysics*, American Geophysical Union Geophysical, Monograph 40:271-186.
- Valvano, J.A. 1954. Génesis de los yacimientos de hierro de Sierra Grande. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 9(4): 193-209.
- Weaver, S. y Tarney, J. 1981. Lewisian geochemistry and Archean crustal development models. *Earth and planetary Science Letters* 55: 171-180.
- Winchester, J. y Floyd, P., 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology* 20: 325-343.
- Zanettini, J. C. 1981. La Formación Sierra Grande (provincia de Río Negro). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 36(2): 160-179.

Recibido: 21 de octubre, 2009

Aceptado: 7 de abril, 2010