

COMPLEJOS DE DOMOS JURÁSICOS (~150 MA) LA JOSEFINA Y MARIA ESTHER, SECTOR CENTRAL DEL MACIZO DEL DESEADO, PATAGONIA

Pilar MOREIRA^{1,2}, Raúl FERNANDEZ^{1,3}, Ricardo ETCHEVERRY^{1,2} e Isidoro A. SCHALAMUK^{1,2}

¹Instituto de Recursos Minerales (INREMI), Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP-CICBA). La Plata (BA).
Email: pilimoreira@yahoo.es

²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

³Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires (CICBA).

RESUMEN

Se describe la geología de los complejos de domos jurásicos La Josefina y María Esther (~150 Ma), localizados en el sector central de la provincia geológica Macizo del Deseado. Se han determinado facies efusivas (domos y coladas de lavas dacíticas y riolíticas), subvolcánicas (diques y filones capas basandesíticos, andesíticos y dacíticos), volcániclasticas (subfacies de flujo de bloques y cenizas) y facies epiclásticas subordinadas. Estas rocas pertenecen a la serie calcoalcalina y están vinculadas genéticamente, confirmando la bimodalidad del volcanismo jurásico en el macizo del Deseado. Se trata de complejos de domos post-caldéricos, tardíos con respecto a los depósitos volcániclasticos de flujo, pero con los cuales se encuentran espacial, genética y temporalmente relacionados. La distribución de estos complejos dómicos se ajusta a un lineamiento regional de rumbo NO que pone en evidencia uno de los centros emisores de los grandes volúmenes de material volcániclastico del área.

Palabras clave: *Complejos de domos, Volcanismo jurásico, Macizo del Deseado.*

ABSTRACT: *La Josefina and Maria Esther Jurassic dome complexes, central sector of the Deseado Massif, Patagonia.* This article describes La Josefina and Maria Esther Jurassic dome complexes found in the central sector of the Deseado Massif geological province. These domes are composed of effusive facies (dacitic and rhyolitic domes and lava flows), subvolcanic facies (andesitic-basalt, andesitic and dacitic dikes and sills), volcanoclastic facies (block and ash deposits) and minor epiclastic facies. They are subalkalic rocks with calc-alkaline affinities. They are genetically related, supporting the bimodality of the Jurassic magmatism for the Deseado Massif. These dome complexes are classified as late post-caldera domes. The distribution of the dome complexes adjust to NW lineament, evidencing a main emission center of the wide volcanoclastic materials from the area.

Keywords: *Domes complex, Jurassic volcanism, Deseado Massif.*

INTRODUCCIÓN

El evento geológico de mayor relevancia en la provincia geológica Macizo del Deseado, consiste en un extenso *plateau* (30.000 km²) de rocas piroclásticas con rocas efusivas y epiclásticas subordinadas, producto de una fuerte actividad eruptiva durante el Jurásico Medio a Superior y posiblemente parte del Cretácico Inferior (Alric *et al.* 1996, Féraud *et al.* 1999, Tessone *et al.* 1999, Pankhurst *et al.* 2000). En la última década, estas volcanitas han adquirido especial importancia debido a su vinculación genética y espacial con mineralizaciones de tipo epitermal portado-

ras de metales preciosos (Au-Ag).

Las rocas que representan este magmatismo han sido agrupadas tradicionalmente en la Formación Bajo Pobre y el Grupo Bahía Laura (Lesta y Ferrello 1972). La Formación Bajo Pobre está formada por basaltos, andesitas y aglomerados volcánicos básicos, con escasas rocas sedimentarias y tobas (de Barrio *et al.* 1999). Las rocas del Grupo Bahía Laura son volcanitas de composición riolítica, ricas en potasio y pobres en calcio y minerales ferromagnesianos. Estas rocas son las más representadas en el conjunto de rocas volcánicas del Jurásico y comprenden a las Formaciones Chon Aike (ignimbritas,

tobas, brechas, aglomerados, lavas y cuerpos subvolcánicos) y La Matilde (depósitos interdigitados de tobas y tufitas con ignimbritas intercaladas).

La nomenclatura y subdivisión de estas volcanitas son cuestiones de debate desde hace mucho tiempo. Alperín *et al.* (2007) realizaron estudios y mapeos detallados de estas unidades, y a partir del análisis estadístico de datos geoquímicos de las volcanitas jurásicas, determinaron que en estas rocas no es posible la asignación formacional clásica de unidades volcánicas definidas por sus características de campo y composición química, ya que algunas de ellas presentan características

texturales afines a una formación y composición química similar a otra. Estos autores indicaron que si bien las formaciones son unidades de gran utilidad para el mapeo geológico e implican concepciones fundamentales para el trabajo de campo, cuando se trata de relevamientos a escala de detalle, resulta más adecuado el mapeo de unidades litológicas (volcánicas) y/o litofacies, ya que permiten una mejor reconstrucción de la evolución del volcanismo de una región. Se conocen estudios pioneros con enfoques litofaciales en esta provincia geológica, utilizados por Palma (1987), Hechem y Homocv (1987) y Sruoga (1989), y más recientes como los de Guido *et al.* (2004) y Sruoga *et al.* (2008a, b). El objetivo de la presente contribución es caracterizar la geología de los complejos de domos jurásicos La Josefina y María Esther (~150 Ma). El estudio de las relaciones de los cuerpos que los integran, de su petrografía y de sus características geoquímicas permitió fijar con mayor precisión la relación entre las diferentes manifestaciones lávicas de edad jurásica, así como sus características composicionales y geoquímicas en el sector central del macizo del Deseado (Fig. 1). Las rocas que integran estos complejos de domos fueron mapeadas a escala de detalle (1:5000) en unidades volcánicas con sus respectivas litofacies siguiendo los conceptos de sucesiones volcánicas de Cas y Wright (1982) y McPhie *et al.* (1993).

MARCO GEOLÓGICO

Las rocas más antiguas aflorantes en el área estudiada corresponden a metamorfitas paleozoicas de bajo grado de la Formación La Modesta, representadas por esquistos, metacuarcitas, rocas calcosilicáticas, metavolcanitas intermedias a básicas, turmalinitas y bancos de óxidos de Fe y Mn (Moreira *et al.* 2005a). Estas rocas se disponen en dos pequeños bloques. El bloque occidental conforma una faja N-S mientras que el oriental es una zona de orientación NO. Este último se encuentra aproximadamente a 3 km al oeste del casco de la estancia La Josefina.

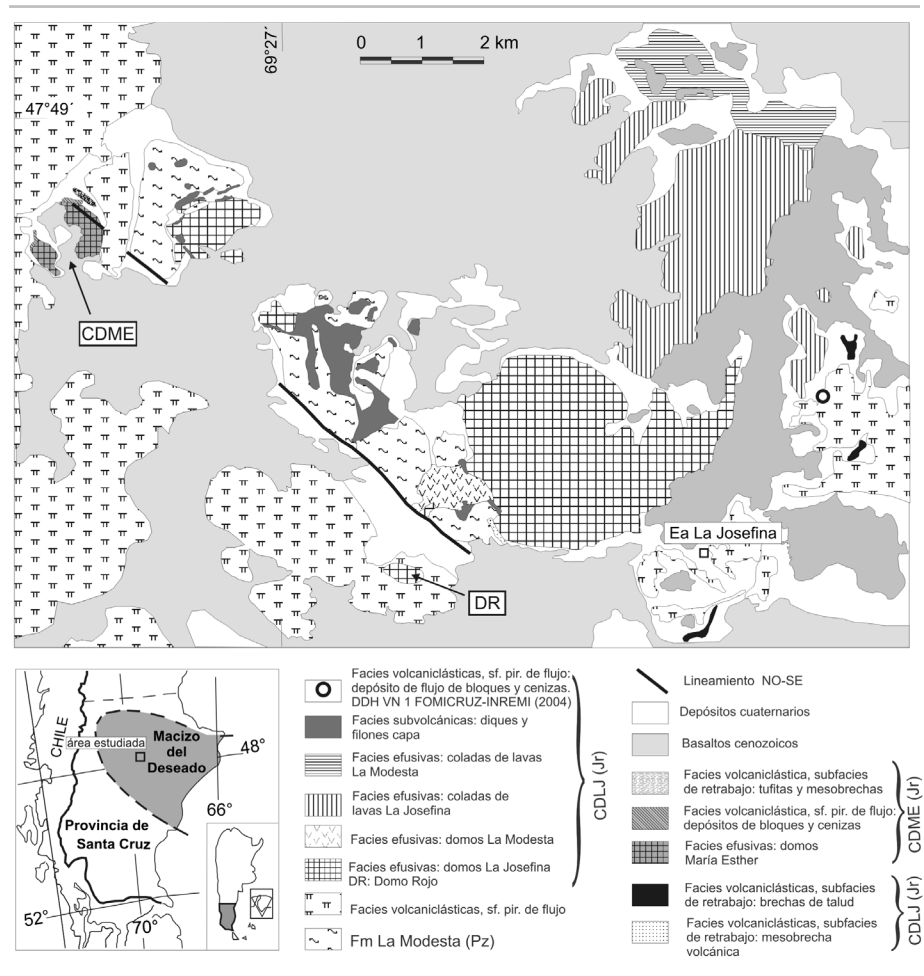


Figura 1: Ubicación y mapa geológico de los complejos de domos jurásicos La Josefina (CDLJ) y María Esther (CDME).

El evento geológico mejor representado en el área es el volcanismo jurásico. Los asomos de las volcanitas ácidas son los más importantes en extensión. Moreira (2005) los dividió en 6 Miembros: Piedra Labrada, Mogote Hormigas, Cerro Jorge Paz, La Josefina, María Esther y Valenciana, y a su vez, las litologías que componen cada miembro fueron subdivididas con un enfoque litofacial de sucesiones volcánicas. Se trata principalmente de rocas riolíticas a dacíticas en las que predominan facies volcanoclásticas que comprenden principalmente a las subfacies piroclástica de flujo (ignimbritas, brechas co-ignimbriticas, tobas lapillíticas y depósitos de bloques y cenizas) acompañadas por subfacies de caída y de oleadas así como facies epiclásticas. Los complejos de domos La Josefina y

María Esther, se han desarrollado dentro de este ambiente explosivo jurásico. Están conformados por unidades ácidas representadas principalmente por facies efusivas como domos y coladas acompañadas por facies volcanoclásticas (subfacies piroclásticas de flujo). Asimismo, se asocian a unidades intermedias, dentro de las que se identificaron facies efusivas (coladas y domos) y facies subvolcánicas (filones capa y diques), en bastante menor proporción facies epiclásticas. Asociadas principalmente a las facies volcanoclásticas ácidas (Miembros Piedra Labrada y Mogote Hormigas) se presentan mineralizaciones epitermales de metales preciosos. Se trata de rocas alteradas hidrotermalmente que llevan sistemas de vetas y vetillas de cuarzo (Del Blanco *et al.* 1994, Fernández *et al.* 1996, Moreira 2005).

Asimismo, al noreste de los sistemas de vetas, se identificaron manifestaciones superficiales del sistema geotermal tales como precipitados silíceos y de travertino, así como también brechas de erupción hidrotermal y alteraciones provocadas por fluidos ácidos (Echeveste *et al.* 1995, Rolando *et al.* 1996, Moreira *et al.* 2002).

Luego de la evolución del complejo efusivo-piroclástico jurásico se desarrollaron extensas coladas de basaltos cenozoicos, fundamentalmente de la Formación La Angelita (Panza 1982), y afloramientos más reducidos de la Formación Cerro del Doce (Panza 1982), y depósitos cuaternarios (aluviales, coluviales y de bajos).

COMPLEJO DE DOMOS LA JOSEFINA

El complejo de domos La Josefina (CDLJ) se localiza ligeramente al oeste del casco de la Estancia La Josefina (Fig. 1) y se dispone a lo largo de un lineamiento de orientación NO-SE de aproximadamente 7 km de longitud (Fig. 1), definido por Moreira *et al.* (2008) como una zona de falla regional. En general se trata de afloramientos discontinuos, donde en la mayoría de los casos los contactos con las rocas aledañas están cubiertos. La expresión morfológica de estas rocas corresponde a lomadas bajas y redondeadas que están generalmente cubiertas por materiales regolíticos, lajas o bloques sueltos y que, ocasionalmente, forman relieves que se destacan en el paisaje. Muchas veces estas rocas presentan una superficie redondeada, producto de la meteorización esferoidal.

En el cuadro 1 se presentan las diferentes facies y subfacies determinadas dentro de este sistema eruptivo. Se incluyen facies efusivas, subvolcánicas, volcanoclásticas y epiclásticas.

Facies efusivas

Domos La Josefina: La parte principal del complejo de domos La Josefina está conformada por varios cuerpos potentes (≤ 80 m) y poco extendidos (~ 500 m de diámetro) que no son fáciles de diferenciar entre sí. Todo el conjunto, visto en plan-

CUADRO1: Facies y subfacies litológicas propuestas para los complejos de domos La Josefina y María Esther.

Complejo de domos La Josefina	Facies efusivas		Domos La Josefina, Rojo y La Modesta Coladas de lavas La Josefina y La Modesta
	Facies subvolcánicas		Filones capa Diques (Oriental y Occidentales)
	Facies volcanoclásticas/epiclásticas?		Depósito de flujo de bloques y cenizas ó brechas volcánicas monomícticas
Complejo de domos María Esther	Facies epiclásticas		Brecha de deslizamiento Mesobrechas
	Facies efusivas		Domos María Esther
	Facies volcanoclásticas	Subfacies piroclástica de flujo	Depósito de flujo de bloques y cenizas
	Facies epiclásticas		Mesobrechas y tufitas

ta, presenta una forma circular a ovalada en una superficie de aproximadamente 10 km² (Figs. 1 y 2a). Están asociados regionalmente a lineamientos curvilíneos, observables en imágenes satelitales y fotos aéreas.

A 5 km al noroeste del conjunto de domos (occidentales) descrito precedentemente, se encontró un cuerpo (o conjunto de cuerpos?) de forma sub-circular que tiene un diámetro promedio de ~ 500 m y

una altura de ~ 100 m.

Las rocas que componen estos cuerpos son afaníticas, de color gris a negro frescas y blanca a amarillenta cuando están alteradas. Tienen una composición modal riolítica (Cuadro 2). Presentan superficies onduladas formadas por bandas rosadas a grisáceas que representan fluidalidad de tipo convoluto. Estos planos son muy continuos y en sectores se curvan y contorsionan.

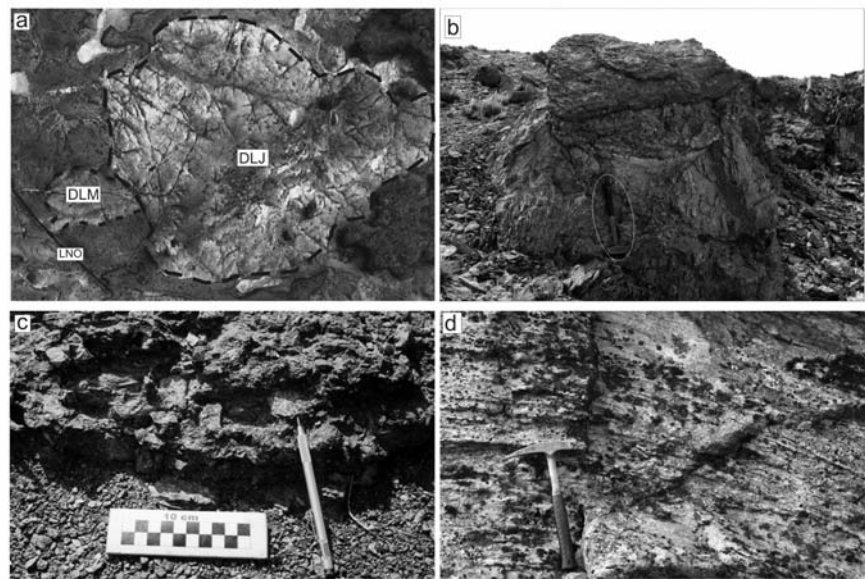


Figura 2: Fotografías de diferentes facies que integran el complejo de domos; a) Combinación de imagen satelital LANDSAT con fotos aéreas que muestra los domos La Josefina (DLJ) y los domos La Modesta (DLM) y parte del lineamiento regional (LNO); b) Afloramiento de brecha de deslizamiento; c) Detalle de los niveles de mesobrechas epiclásticas; d) Lavas con estructura fluidal del complejo de domos María Esther.

CUADRO 2: Descripción al microscopio de las facies efusivas que integran el complejo de domos La Josefina.

Facies efusivas CDLJ	Textura	Fenocristales	Textura de la pasta	Alteración	Clasificación modal
Domos La Josefina	Afanítica a microporfírica	≤ 10% (200 μm a 2 mm) Ppal: Qz, Sa y Plag. (MML: Olig.) Otros: Bt.	Ppal: Felsítica Otras: traquítica, esferulítica	Prop. débil y parches de Ser.	riolita
Coladas de lavas La Josefina	Afanítica a microporfírica	≤ 5% (200 μm a 0,5 mm) Ppal: Qz, Sa y Plag.(MML: Olig.) Otros: Bt.	Ppal: felsítica Otras: traquítica, microlítica fluidal, esferulítica	Prop. débil y parches de Ser. Prop. moderada a	riolita dacita
Domos La Modesta	Porfírica	15-20 % Ppales: Plag (≤ 5 mm- MML: Olig. a Labr.) Bt (1-2 mm) Otros: Hbl y escaso Qz (≤ 200 μm) Líticos: abundantes de esquistos, 1-2 mm.	Ppal: pilotáxica (Plag. y Bt) Otra: felsítica	fuerte y parches de Ser.	
Coladas de lavas La Modesta	Porfírica a glomeroporfírica	10-25 % Ppal: Plag. zonal (200 μm a 2-3 mm- MML: And.) Otro: Cpx (Aug?-promedio 0.5 mm) Líticos: de esquistos, 0,5-1 mm.	Ppal: intergranular Otra: felsítica	Prop. débil y parches de Ser.	andesita
Filonés capa	Porfírica a glomeroporfírica	25% Ppal: Plag tabular zonada (≤ 10 mm - MML: And- Labr.) Otros: Hbl (≤ 7 mm) y Cpx (Aug?- de 100 μm a 1 mm)	Ppal: pilotáxica Otras: felsítica y esferulítica	Prop. incipiente a fuerte y parches de Ser.	andesita a dacita
Diques orientales	Afaníticas (en el contacto con roca de caja) a porfírica (hacia el centro)	Ppales: Plag (≤ 4 mm, MML: And). Cpx? (2-3 mm). Bt (0.5 mm) Otro: escaso Qz	Ppal: pilotáxica (tabillas de Plag de ~100 μm) a intergranular (escasos mafitos) Otra: escasa felsítica	Prop. moderada a fuerte	andesita
Diques occidentales	Afanítica a porfírica (en parte con pasta microgranuda)	Ppales: Plag tabular zonada (500 μm a 1 cm). Cpx? (1-3 mm). Bt (500 μm a 4 mm). Otro: escaso Qz con rebordes granofíricos (1-5 mm), con inclusiones de Bt.	Ppal: intergranular a micro-poiquilítica (representada por Plag.). Otra: felsítica.	Prop. fuerte	andesita a dacita

Abreviaturas: Plag: Plagioclasa, Bt: Biotita; Qz: cuarzo, Sa: Sanidina, Hbl: Hornblenda, Cpx: Clinopiroxeno, Aug: Augita, MML: Método Michel Levy, And.: andesina, Olig.: Oligoclasa, Lab.: Labradorita. Alteraciones: Prop.: Propilitica, Ser: Sericitica.

Ligeramente al suroeste del conjunto de cuerpos dómicos mencionados anteriormente y localizado en el centro de una zona deprimida respecto al relieve circundante, se presenta un pequeño domo, denominado Domo Rojo (DR). Se trata de un cuerpo de unos 450 m de diámetro por 100 m de alto, que se manifiesta en el terreno como una lomada con la parte superior en forma de manto. Las rocas que lo forman son lavas de composición modal riolítica de color rojizo con textura afanítica y con láminas de flujo blanquecinas de 2 a 3 mm de espesor. Asocia-

das a las lavas se encuentran brechas autoclásticas de fragmentos angulosos y textura clasto soporte.

Domos La Modesta: Corresponden a cuerpos globosos que se distribuyen en una superficie de ≤ 1 km² (Fig. 1) de ~700 m de diámetro promedio y ≤ 70 m de altura. En conjunto presentan una forma aproximadamente elíptica y están compuestos por rocas grises a verdosas de composición modal dacítica con estructura fluidal (Cuadro 2).

Coladas de lava La Josefina: Se distribuyen en una superficie de ~12 km² localizada

al noreste de los domos riolíticos (Fig. 1). Forman suaves lomadas cubiertas por fragmentos centimétricos de rocas de grano fino y tonalidades amarillentas. Los afloramientos son pequeños (10 m²) pero en conjunto forman como una "lengua". Se trata de una roca afanítica coherente de color gris a gris blanquecino en fractura fresca y con fluidalidad paralela. Tiene una composición modal riolítica (Cuadro 2). Están asociadas a brechas autoclásticas con textura en rompecabezas, compuestas por fragmentos subangulosos de hasta 4 cm. Estas brechas afloran como

niveles intercalados o como interdigitaciones laterales de las coladas coherentes. Por su corta trayectoria con respecto a los domos La Josefina, estas coladas se podrían interpretar como coladas de tipo dómicas, formadas por el derrame de algunos de los domos en un terreno inclinado tomando una forma asimétrica hacia el noreste.

Coladas de lavas La Modesta: Se disponen en una faja de orientación ONO-ESE que ocupa un área de 2,5 por 0,7 km, localizada al norte de las coladas de lavas La Josefina. Los espesores son difíciles de estimar debido a los escasos desniveles que se observan.

Están compuestas por rocas de color castaño a verde oscuro con estructura de flujo, de texturas porfírica a glomeroporfírica y que tienen una composición modal andesítica (Cuadro 2). Se presentan asociadas a brechas conformadas por fragmentos angulosos de hasta ~20 cm de diámetro de rocas de grano más grueso y más rica en cristales (autolitos?). Estas brechas presentan una matriz de grano fino y coloración gris violácea, que además cuenta con pequeños fenocristales de plagioclasa. Se las interpreta como autobrechas, producto del enfriamiento rápido de las paredes externas de la colada, que se fracturan cuando la lava sigue fluendo en su interior.

Facies subvolcánicas

Filonés capa: Se presentan en asomos asociados espacialmente con los esquistos de la Formación La Modesta y formando una faja orientada NNO de unos 300 por 1500 metros. En general son rocas masivas de color verde claro a grisáceo, de textura porfírica a glomeroporfírica y de composición modal andesítica a dacítica (Cuadro 2).

Estas volcanitas se disponen concordantemente con la fábrica planar de las metamorfitas, conformando cuerpos de unos 5 m de espesor, que permiten señalar que estos asomos corresponden a filones capa. Localmente tienen tramos discordantes (diques alimentadores?).

Dique oriental: En el contacto de las metamorfitas de la Formación La Modesta y la

parte principal de los domos La Josefina, aflora un cuerpo que corta a las lavas riolíticas. Es subvertical y alargado en sentido NO-SE, y está conformado por dos afloramientos principales, el norte de 100 por 20 m y el sur de 150 por 40 m, de largo y ancho, respectivamente. Este último forma parte de la ladera y la base de las lomadas de lavas riolíticas. Las rocas que componen este cuerpo son de color castaño verdoso con texturas porfíricas en las porciones centrales a afaníticas hacia el contacto con la roca de caja. Cuando se observa el contacto, está conformado por superficies planas paralelas entre sí. Se trata de rocas de composición modal andesítica (Cuadro 2).

Intruyendo al domo La Modesta en su porción sur, se identificó una apófisis (~80 m²) posiblemente asociada a este dique, ya que está compuesta por rocas de color verde oscuro, textura afanítica y es de similar composición.

Por la morfología y las relaciones con la roca de caja, se interpreta a este cuerpo como un dique tardío con respecto a los domos La Josefina y La Modesta. Por su ubicación posiblemente corresponda a un dique de tipo anular formado en el borde del complejo de domos La Josefina.

Diques occidentales: En las proximidades del contacto de los esquistos de la Formación La Modesta y los domos La Josefina más occidentales, se reconocieron cuerpos discordantes de formas alargadas. Estos cuerpos se disponen alrededor de parte de los domos siguiendo un recorrido curvilíneo con diseño subcircular.

Están formados por rocas con una composición modal andesítica a dacítica (Cuadro 2), intensamente alteradas y muy fragmentadas, de coloración verde, grisácea a castaña.

Hay varios asomos de entre 150 y 300 m de largo y espesores de hasta 50 m que tienen una orientación NE. Los menos extensos están conformados principalmente por rocas de textura afanítica, mientras que en los más largos la cantidad de cristales aumenta definiéndose una textura porfírica. Por otro lado, los afloramientos más australes conforman un cuer-

po discontinuo de orientación NO que está compuesto por una roca con grandes y abundantes fenocristales de plagioclasa (y en menor medida clinopiroxeno) dispersos en una escasa pasta que grada de porfírica a microgranuda (pórfido). Por su morfología y disposición, se interpreta como un enjambre de diques anulares emplazados alrededor de los asomos occidentales de domos La Josefina.

Además, alojados en los esquistos de la Formación La Modesta, se hallaron algunos asomos equidimensionales ($\leq 10 \text{ m}^2$), compuestos por una roca verde oscura, con textura afanítica y composición modal andesítica, que podrían correlacionarse con estos diques.

Facies volcanoclásticas / epiclásticas?

Esta roca se encontró a lo largo de unos 10 m, a partir de los 80 m de profundidad en una perforación localizada en el sector más oriental de la figura 1 (DDH VN 01, INREMI-FOMICRUZ 2004). Se trata de una brecha con abundantes clastos de lava rosados y grises, de formas subangulosas a subredondeadas, comúnmente de 1 a 3 cm y algunos > 4 cm (por tratarse de un testigo de perforación no se han podido reconocer bloques más grandes). En algunos clastos pudo observarse la estructura fluidal y textura microporfírica. Otros fragmentos de entre 2-3 cm y menos abundantes son de coloración blanquecina y están argilizados (vitroclastos?). Estos fragmentos se disponen en una matriz fina (~15 %) formada por pequeños individuos de la misma roca, fragmentos de cristales y un agregado muy fino, no diferenciable bajo el microscopio, que probablemente corresponda a ceniza. Esta unidad tiene una fuerte propilitización y está atravesada por vetillas de sílice y sulfuros (pirita + galena + esferalerita + calcopirita).

La limitación de que esta roca solo se encontró en una perforación y la alteración hidrotermal superpuesta que enmascara sus características originales, dificulta su clasificación precisa. Preliminarmente se propone que podrían ser el producto generado por el colapso de un domo lávico áci-

do como los de La Josefina con los que se encuentran asociados espacialmente. Podría corresponder a depósitos de flujo de bloques y cenizas en el caso de poseer vitroclastos o interpretar como algún depósito de brechas volcánicas monomíticas.

Facies epiclásticas

Brecha de deslizamiento: Aflora saltuariamente en una faja de aproximadamente 6 km de largo con una orientación NNE-SSO (Fig. 1). Los afloramientos más representativos se encuentran en las cercanías del casco de la Estancia La Josefina. Se trata de pequeños afloramientos en general aislados, que por lo general sobresalen no más de 0,5 a 1 m en los bajos constituidos por relleno moderno.

Se trata de una unidad heterogénea con textura clasto sostén conformada por grandes bloques, a veces algo redondeados, de diferente composición y tamaño, dispuestos en una matriz brechosa (Fig. 2b). Por lo general son depósitos macizos a débilmente estratificados. Los bloques comúnmente no superan los 2 m³ y son principalmente de una ignimbrita rica en cristales. Los fiammes dentro de los clastos están orientados de tal forma que le otorgan a la roca una marcada lajosidad, que varía drásticamente su orientación de un bloque a otro. En el sector norte, los bloques corresponden a una ignimbrita con abundantes pómez irregulares y escasos cristaloclastos. Integran también esta unidad, fragmentos de una ignimbrita morada de unos 0,5 m de diámetro, que es soldada, rica en fiammes y lleva abundantes líticos grises. Además otros bloques que corresponden a una roca blanquecina argilizada y silicificada de grano fino. La matriz de esta unidad es escasa y está integrada por fragmentos predominantemente subredondeados de rocas volcánicas, cuyos tamaños varían desde 1-2 cm hasta 10 cm de diámetro. En algunos asomos la matriz es del mismo material pero de tamaño más fino (psamo-pelítico) y presenta en parte una laminación, que en ocasiones tiene aspecto curvado y parece estar envolviendo a los fragmentos mayores.

Se considera que este depósito ha sido el relleno de una zona topográficamente baja y es el producto de un deslizamiento originado durante la tectónica extensional que generó la zona de falla NNE definida por Moreira *et al.* (2008), que está relacionada al emplazamiento de la actividad efusiva que generó los complejos de domos del área La Josefina.

Mesobrechas: Se trata de un depósito mantiforme de dimensiones reducidas (< 1 m de espesor) de muy baja inclinación y un arrumbamiento NO-SE (Fig. 2c).

La roca tiene una pobre selección, textura clasto soportada y está compuesta por líticos subangulosos a redondeados en una escasa matriz de aspecto masivo que lleva numerosos fragmentos de cristales. Predominan los clastos de lavas tipo La Modesta de color verde (hasta 7 cm) y en menor proporción de lavas tipo La Josefina, de coloración amarillenta a rosada (entre 2 y 5 cm). Además se han encontrado líticos de esquistos y cuarzo metamórfico provenientes de la Formación La Modesta (de 2 mm hasta 3 cm). También se han reconocido clastos de volcanitas color verde intenso, totalmente cloritizados, los que han perdido completamente su identidad original.

Se interpreta que estas mesobrechas integradas predominantemente por fragmentos de origen volcánico y de composición intermedia, son el producto del retrabajamiento de materiales volcánicos posiblemente en los márgenes o frentes empinados de los flujos lávicos o domos La Modesta. Se interpreta que por su escaso desarrollo corresponden a eventos de deslizamiento localizados.

COMPLEJO DE DOMOS MARIA ESTHER

El complejo de domos María Esther (CDME) está ubicado a unos 10 km al noroeste del casco de la Estancia La Josefina y está relacionado a la fractura NO-SE asociada al complejo de domos La Josefina. Se encuentra cubierto en su porción central por una colada de basalto neógeno (Fig. 1).

En el cuadro 1 se presentan las diferentes facies y subfacies determinadas dentro de este sistema eruptivo. Se incluyen facies efusivas o lávicas, facies volcánicas (subfacies piroclástica de flujo: depósito de bloques y cenizas) y facies epiclásticas.

Facies efusivas

Domos María Esther: Se trata de un conjunto de cuerpos dómicos que tienen una forma subcircular de aproximadamente 700 m de diámetro con espesores aflorantes de ~40 metros.

Las rocas que los componen tienen coloración gris, gris lilácea a morada, con textura porfírica que presenta una matriz afanítica con marcada fluidalidad (Fig. 2d). La composición modal es riolítica (Cuadro 3). La matriz, está formada por una masa de cuarzo y feldespato que forman bandas que responden a las distintas capas generadas por el movimiento laminar durante el flujo. Los cuerpos lávicos presentan diseños de flujos muy viscosos, curvos y replegados.

Por otra parte, afloran pequeños cuerpos de vitrófros cuyas dimensiones no superan los 10 m². Estos se localizan en la ladera norte del complejo de domos María Esther, ya sea incluidos en el complejo de domos o en el contacto entre este con los depósitos con facies volcánicas. Están constituidos por vidrio macizo (obsidiana), color negro, brillo vítreo y fractura concoide, tiene textura perlítica con fracturas curvas y concéntricas producidas por expansión de volumen y fracturación por hidratación y/o brusco enfriamiento. Presentan una composición modal riolítica (Cuadro 3). En ciertos sectores están afectados por desvitrificación y recristalizados, tienen coloración verdosa a blanquecina y presentan textura esferulítica.

Facies volcánicas, subfacies piroclástica de flujo

Depósitos de flujo de bloques y cenizas: Se disponen lateralmente a los domos María Esther. Sus dimensiones son reducidas y no superan los 150 m de largo por 40 m de ancho. Sus espesores son inferiores a 4 metros. Se trata de rocas poco soldadas compues-

CUADRO 3: Descripción al microscopio de las facies efusivas que integran el complejo de domos María Esther.

Facies efusivas CDME	Textura	Fenocristales	Textura de la pasta	Alteración	Clasificación modal
Domos	Porfírica	3-5 % 0,6 y 1 mm Ppales: Sa, Qz y Bt	Ppal: felsítica en bandas de distinta granulometría, desde muy fina (< 2 µm) a más gruesa (1-2 mm)	Prop. débil	riolita
	Vitrofirica	5-7 % Ppales: Plag (1,5 mm, MML: Olig.), Sa (500 µm) y Qz (200 µm a 1 mm) Otros: Bt (500 µm)	Ppal: Vítreo Otra: perlítica, esferulítica	Prop. débil a moderada	riolita

Abreviaturas: Plag: Plagioclasa, Bt: Biotita; Qz: cuarzo, Sa: Sanidina, Hbl: Hornblenda, Cpx: Clinopiroxeno, Aug: Augita, MML: Método Michel Levy, And.: andesina, Olig.: Oligoclasa, Lab.: Labradorita. Alteraciones: Prop.: Propilítica, Ser: Sericitica.

tas por abundantes fragmentos de formas angulosas en una matriz violácea. La mayoría son de rocas blanquecinas afaníticas con tamaños mayores a 3 cm (lavas?). Además se registran escasos líticos oscuros de textura afanítica y tamaños menores a 1 cm. Al microscopio se observó que hay algunos clastos que están compuestos por fantasmas de trizas vítreas (paredes o burbujas completas) recristalizadas a agregados de cuarzo-feldespatos (vitroclastos?) y que otros están totalmente recristalizados a esferulitas. La matriz es de igual composición que los fragmentos y contiene fragmentos de cristales de cuarzo (1,5 mm), plagioclasa (700 µm), sanidina (600 µm) y biotita (500 µm).

La presencia de fragmentos de lava, de vitroclastos y la matriz piroclástica de esta unidad, así como su relación espacial con los domos María Esther, permiten interpretarla como un posible depósito de flujo de bloques y ceniza, producto del colapso de un domo lávico.

Facies epiclásticas

Tufitas y mesobrechas: Una secuencia de tufitas se presenta al norte del complejo de domos María Esther (Fig. 1). Se trata de un banco de aproximadamente 2 m de espesor por 100 m de largo, con una orientación NO-SE y levemente inclinándose al NE. Los estratos no superan los 5 cm de

espesor y son de distintas granulometrías. Algunos niveles están formados por fragmentos menores a 1 mm, otros con clastos que tienen un tamaño promedio de 0,5 cm y finalmente otro cuyo tamaño promedio estaría comprendido entre los dos anteriores. En su mayoría son piroclastos, blanquecinos a rosados, de formas subangulosas a subredondeadas. También contienen escasos clastos de una roca gris morada silicificada y de otra verdosa a rojiza con textura porfírica (lavas?). Por otra parte se observaron cristales de cuarzo y de biotita en la matriz morada a castaño clara.

En la base de esta secuencia, aunque su contacto no es visible, aflora una brecha constituida por clastos subredondeados a angulosos de hasta 10 centímetros. La mayoría de los fragmentos son de una roca piroclástica con cristaloclastos de cuarzo, feldespatos y biotita, y pómez aplastados de color rosado. Al microscopio se observaron numerosos fragmentos pumíceos que llevan cristales rodeados de vesículas deformadas que no han llegado a romperse. La matriz es escasa, de un material muy fino (psamo-pelítico) y de coloración más oscura que los clastos.

Estas unidades se interpretan como facies epiclásticas producto de una re-sedimentación de partículas piroclásticas y/o autoclásticas contemporáneas con la

erupción de las facies lávicas que integran los domos María Esther.

GEOQUÍMICA DE LOS COMPLEJOS DE DOMOS

Se realizaron análisis geoquímicos por elementos mayores, minoritarios y trazas sobre 28 muestras de volcanitas jurásicas correspondientes a los complejos de domos La Josefina (23) y María Esther (5). Estos análisis se llevaron a cabo en el Departamento de Mineralogía y Petrología de la Universidad de Padova (Italia). Las muestras se trituraron y luego fueron comprimidas en pastillas y analizadas con un espectrómetro XRF *Phillips* PW 1404, siguiendo el procedimiento propuesto por *Phillips* (*X40 Software Operation Manual*) para la corrección del efecto matriz. El LOI fue obtenido por calentamiento a 1.100°C por 12 horas y corregido por la oxidación de Fe⁺²; mientras que el Fe⁺² fue determinado por titulación. Los resultados de los análisis químicos se exponen en los cuadros 4 y 5.

Algunas muestras presentan concentraciones elevadas de ciertos elementos o relaciones entre ellos, como es el caso de K₂O/Na₂O. En algunas, los valores de esta relación son >7, lo que estaría indicando una alteración potásica debido tanto a procesos deutéricos como hidrotermales. Como resultado de estas observaciones, se prestó un especial cuidado en los resultados de algunas muestras como por ejemplo las que tienen un LOI alto o relaciones K₂O/Na₂O elevadas.

Los datos geoquímicos en el diagrama TAS (Le Maitre 1989, Fig. 3a) permiten confirmar la composición riolítica y dacítica de los domos La Josefina y María Esther así como también la presencia de dacitas en los domos y coladas de lavas La Modesta asociados al complejo de domos La Josefina. Las muestras de diques y filones capas muestran un rango composicional que varía de basandesitas, andesitas a dacitas.

Utilizando los diagramas de Irvine y Baragar (1971, Fig. 3b) se evidencia que las rocas son subalcalinas y según el dia-

CUADRO 4: Resultados de los análisis químicos realizados en muestras de los domos La Josefina, Rojo y La Modesta.

Muestras	Domos La Josefina						Domo Rojo		Domos La Modesta			
	2017	2002	2004	2005	2006	2008	2016	2763	PT 10	2007	2010	2011
SiO ₂	73,1	71,4	72,6	73,4	73,5	71,4	73,2	72,8	63,54	70,1	63,3	67,1
TiO ₂	0,08	0,08	0,09	0,08	0,08	0,09	0,28	0,27	0,43	0,14	0,46	0,28
Al ₂ O ₃	17	16,2	15,1	15,1	16,7	17,2	15,1	13,5	17,68	17,8	17,8	18
MnO	0	0,03	0,03	0,01	0,01	0,06	0,02	0,02	0,06	0,05	0,06	0,05
MgO	0,18	0,16	0,16	0,17	0,19	0,17	0,71	0,43	1,77	0,44	2,31	1,04
CaO	0,05	1,51	1,66	1,23	0,07	0,06	1,02	0,86	4,38	2,61	2,92	3,94
Na ₂ O	3,71	3,48	3,95	3,78	3,49	4,26	3,22	3,2	5,46	3,9	4,9	3,44
K ₂ O	4,86	5,05	4,36	4,53	5,16	5,06	4,52	4,47	2,3	2,74	3,2	3,02
P ₂ O ₅	0,02	0,05	0,03	0,03	0,01	0,03	0,05	0,06	0,13	0,09	0,14	0,1
Fe ₂ O ₃	0,61	1,42	0,86	0,87	0,42	1,39	1,72	0,44	0,49	0,31	0,97	1
FeO	0,41	0,72	1,23	0,92	0,32	0,37	0,26	1,35	3,62	1,85	4,01	2,13
<i>L.O.I.</i>	<i>1,41</i>	<i>2,17</i>	<i>1,24</i>	<i>0,81</i>	<i>1,25</i>	<i>1,43</i>	<i>3,19</i>	<i>2,9</i>	<i>4,6</i>	<i>3,43</i>	<i>3,67</i>	<i>4,54</i>
Cr	2	7	2	0	5	0	1	55	14	6	13	7
Ni	0	0	0	1	0	0	2	2	6	1	3	3
Ba	871	1141	726	772	1334	834	1147	1184	624	346	730	516
Rb	211	227	193	171	186	217	166	166	85	113	140	151
Sr	71	108	134	107	80	70	161	168	207	154	196	118
La	36	35	37	34	35	38	33	41	21	23	20	27
Ce	77	68	77	71	74	78	59	48	35	43	35	46
Nd	33	21	29	29	27	36	22	16	24	18	14	18
Zr	172	175	174	133	160	187	203	185	153	103	152	148
Y	14	13	12	5	13	19	31	23	8	8	10	7
Nb	10	11	11	9	12	13	10	7	8	8	9	8
Sc	na	na	na	na	na	na	na	15	na	na	na	na
V	na	na	na	na	na	na	na	22	na	na	na	na
Co	na	na	na	na	na	na	na	3	na	na	na	na
Cu	na	na	na	na	na	na	na	4	na	na	na	na
Zn	na	na	na	na	na	na	na	34	na	na	na	na
Ga	na	na	na	na	na	na	na	13	na	na	na	na
Pb	na	na	na	na	na	na	na	15	na	na	na	na
Th	na	na	na	na	na	na	na	14	na	na	na	na
U	na	na	na	na	na	na	na	6	na	na	na	na

Elementos mayores expresados en % y trazas en ppm. na: no analizado.

grama AFM, se localizan en el campo de las rocas calcoalcalinas (Fig. 3c).

El índice de peralcalinidad o grado de saturación en Al₂O₃ calculado para las litologías ácidas, arrojó tenores de 0,66 a 0,89, por lo que se trata de rocas peraluminosas; esto concuerda mayormente con lo que refleja el gráfico de Maniar y Piccoli (1989, Fig. 3d). Con respecto a la relación K₂O y SiO₂, en el gráfico de Le Maitre (1989) la mayoría de las riolitas caen en el campo de alto potasio, mientras que las rocas intermedias se ubican en el campo de contenidos medios de este elemento (Fig. 3e).

Mediante la utilización de los diagramas petrogénicos de Pearce (1976, Fig. 3f) es clara la afinidad de las unidades más básicas con las rocas de tipo orogénico, al

igual que lo que refleja el gráfico Nb versus Y de Pearce y Norry (1979, Fig. 3g), donde las rocas coinciden con el campo de rocas de arco volcánico (*VAG*).

Los elementos traza de las unidades riolíticas (Fig. 4a) y dacíticas a basandesíticas (Fig. 4b) se representan en diagramas tipo *spider* normalizados a MORB (Thompson 1982). En cuanto a su distribución muestran similitud en las distintas litologías, con enriquecimiento respecto a los basaltos de referencia en los elementos litófilos (Rb, Ba, K) y empobrecimiento en los de alta carga iónica (Nb, Ti, Zr) junto a una marcada anomalía negativa en Nb. Además de la de Nb, pueden observarse anomalías negativas en P y Ti, más notables en las rocas riolíticas que son términos más evolucionados que las dacitas y basan-

desitas. Este tipo de distribución es común en magmas relacionados a procesos de subducción y fusión parcial de corteza continental (Rollinson 1993).

GEOCRONOLOGÍA

El volcanismo mesozoico en el área estudiada tuvo su clímax en el Jurásico Superior (Oxfordiano), durante un período de aproximadamente 4 Ma (Moreira 2005). En este lapso temporal tuvieron lugar varios procesos volcano-sedimentarios relacionados a erupciones magmáticas tanto explosivas como no explosivas asociadas a una tectónica extensional activa.

No es simple resolver las relaciones estratigráficas entre las diferentes unidades que integran un complejo volcánico co-

CUADRO 5: Resultados de los análisis químicos realizados en muestras de las coladas La Modesta, filones capa, diques y domos María Esther.

Muestras	Coladas La Modesta				Filones capa			Diques				Domos María Esther				
	PT 9	2395	2396	2399	PT 12	BP	2733	2760	2766	2716	2723	2120	2121	2410	2408A	2701
SiO ₂	68,5	66,3	63,9	62,9	66,97	60,2	58,8	57,5	49,4	50,1	64,8	74,6	80,1	74,6	79,33	77
TiO ₂	0,52	0,49	0,52	0,51	0,46	0,51	0,5	0,45	0,5	0,56	0,49	0,11	0,09	0,11	0,1	0,04
Al ₂ O ₃	15,7	16,9	16,6	17,1	16,15	15,9	15,4	14,6	14,3	14,1	15,2	13,5	10,7	15,3	11,03	12,5
MnO	0,03	0,02	0,04	0,08	0,04	0,08	0,13	0,13	0,14	0,13	0,07	0,03	0,03	0,02	0,01	0,06
MgO	2,13	2,42	3,98	3,34	2,99	2,25	2,55	3,07	5,48	5,37	1,67	0,08	0,05	0,21	0,06	0,09
CaO	0,64	0,78	0,47	4,37	0,3	5,19	6,64	6,02	8,28	9,52	2,03	0,13	0,12	0,42	0,22	0,6
Na ₂ O	3,43	6,61	6,18	3,82	6,83	3,37	2,46	2,59	2,24	1,88	3,95	1,02	1,2	1,61	1,24	3,3
K ₂ O	4,55	1,22	1,09	2,33	0,68	1,33	1,4	1,52	1,67	0,84	3,44	9,76	6,98	6,84	7,4	4,84
P ₂ O ₅	0,11	0,13	0,14	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,1	0,12	0,13	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01
Fe ₂ O ₃	3,49	3,47	5	1,8	3,41	4,44	3,71	5,06	6,22	5,51	2,95	0,51	0,41	0,73	0,44	0,42
FeO	1,13	2,07	2,56	3,89	2,25	0,58	1,37	0,53	0,83	1,61	0,96	0,36	0,38	0,28	0,19	0,46
L.O.I.	2,66	3,6	3,37	4,24	2,76	5,49	7,02	8,22	10,1	9,77	3,78	0,98	0,76	2,09	0,8	0,88
Cr	63	140	178	85	155	99	182	409	787	800	111	6	5	7	2	62
Ni	29	19	23	12	20	12	28	82	146	189	9	0	0	0	0	0
Ba	817	146	197	787	69	952	725	554	428	612	730	1205	918	1029	675	86
Rb	154	65	41	84	26	48	49	81	95	41	140	401	292	290	243	270
Sr	148	126	130	327	61	334	278	321	218	313	246	54	46	65	40	31
La	19	21	29	23	12	32	18	28	7	16	26	33	34	43	37	23
Ce	39	40	36	34	42	28	44	28	23	25	61	61	52	71	61	34
Nd	15	15	25	15	18	3	6	13	1	2	17	22	23	26	25	22
Zr	142	148	157	141	130	125	116	109	91	99	158	128	98	121	108	66
Y	23	16	19	17	15	13	15	13	17	13	19	34	32	33	35	25
Nb	8	8	9	8	9	9	8	8	8	8	9	10	8	12	9	9
Sc	na	na	na	na	na	4	8	6	18	0	17	na	na	na	na	11
V	na	na	na	na	na	97	105	113	167	157	80	na	na	na	na	8
Co	na	na	na	na	na	19	18	22	22	39	13	na	na	na	na	4
Cu	na	na	na	na	na	24	32	29	54	55	17	na	na	na	na	4
Zn	na	na	na	na	na	66	69	98	105	87	57	na	na	na	na	23
Ga	na	na	na	na	na	18	16	6	15	13	21	na	na	na	na	8
Pb	na	na	na	na	na	5	7	8	7	5	11	na	na	na	na	35
Th	na	na	na	na	na	4	5	6	8	4	13	na	na	na	na	22
U	na	na	na	na	na	2	2	3	3	2	5	na	na	na	na	10

Elementos mayores expresados en % y trazas en ppm. na: no analizado.

mo el desarrollado en la zona estudiada, por lo que su cronología no puede establecerse taxativamente.

No hay evidencias estratigráficas que permitan establecer la relación entre los complejos de domos La Josefina y María Esther, aunque a partir del análisis geológico regional realizado se establece con dudas que el complejo de domos María Esther es más joven. Arribas *et al.* (1996) determinaron una edad (K-Ar en biotitas) de $148,8 \pm 3,6$ Ma para un conjunto de lavas riolíticas de similares características a las de los domos María Esther, aflorantes unos 15 km al sur de estas. Por otra parte, Fernández *et al.* (1999) dataron por el método Rb-Sr seis muestras de lavas riolíticas, una proveniente de los

Domos La Josefina y las 5 restantes de las lavas similares a los domos riolíticos María Esther y a la datada por Arribas *et al.* (1996). Obtuvieron una errorcrona que arrojó una edad de 150 ± 4 Ma. Si bien estas edades fueron obtenidas por métodos diferentes, los resultados que arrojaron son coherentes entre sí y se ubican dentro de los márgenes de error obtenido por cada metodología. Por lo tanto, se puede establecer a partir de estos datos que la edad de las manifestaciones volcánicas correspondientes a estos complejos de domos estaría comprendida alrededor de los ~ 150 Ma.

Estas edades son ligeramente más jóvenes que las determinadas para los depósitos volcánicoclásticos de flujo del área estu-

diada, aflorantes en los alrededores de los complejos de domos (Arribas *et al.* 1996: K-Ar $153,2 \pm 3,6$ Ma, Moreira *et al.* 2006: SHRIMP $152 \pm 2,8$ Ma). Se interpreta que los procesos efusivos tuvieron mayor relevancia en los estadios finales del volcanismo jurásico en el área estudiada.

DISCUSIÓN

Evolución

Es frecuente que los episodios volcánicos de composiciones andesíticas a riolíticas, comiencen con fases eruptivas explosivas volumétricamente importantes y finalicen con fases efusivas lávicas, constituyendo un ciclo característico que suele repetirse. Estos episodios cíclicos han

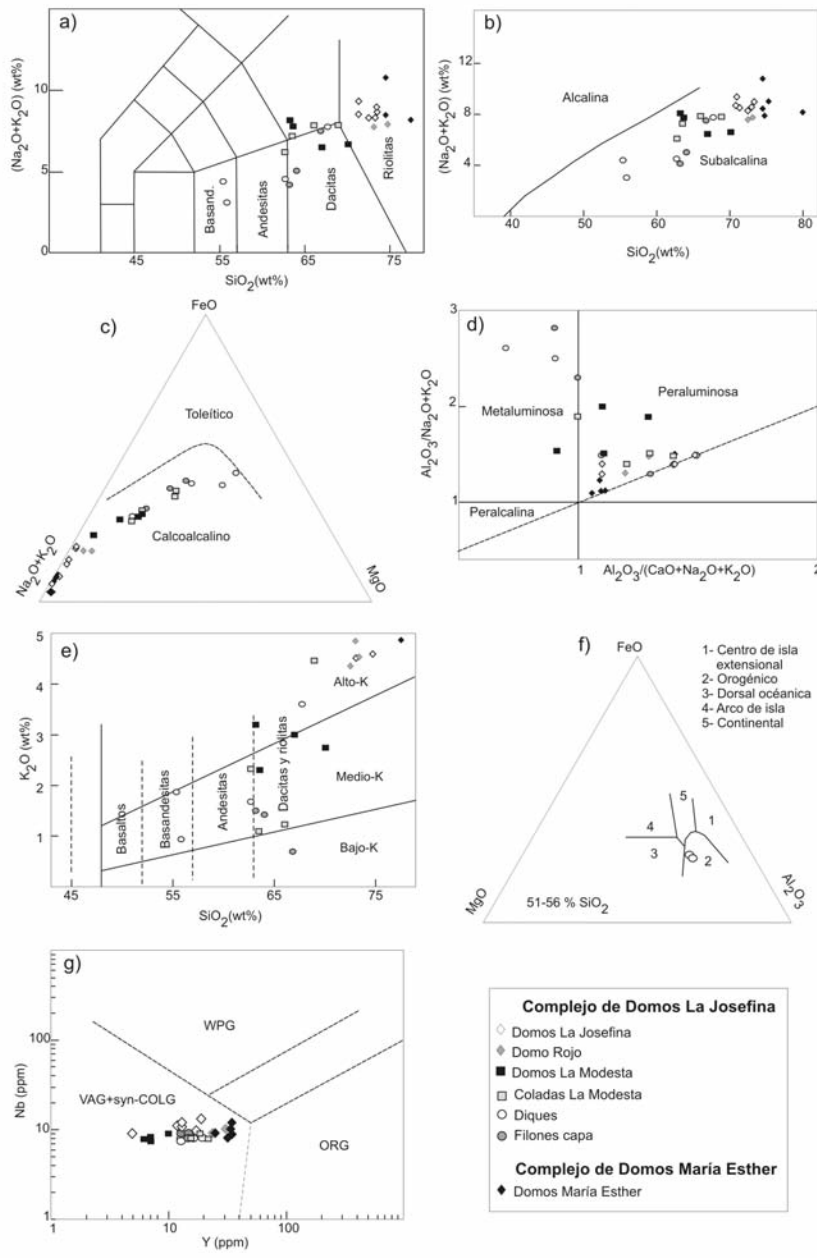


Figura 3: Diagramas de caracterización geoquímica; a) TAS de Le Maitre (1989); b) Diagrama de Irvine y Baragar (1971); c) AFM de Irvine y Baragar (1971); d) Maniar y Piccoli (1989); e) Le Maitre (1989); f) Pearce (1976); g) Pearce y Norry (1979).

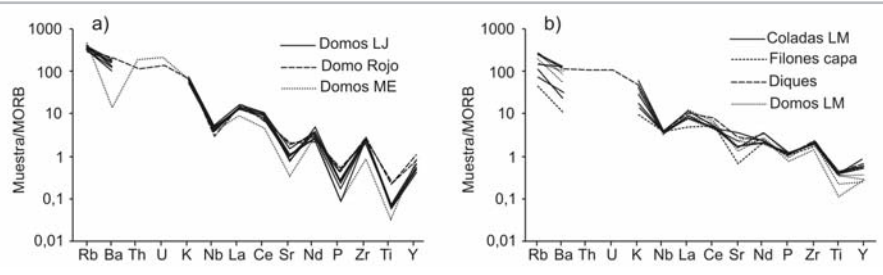


Figura 4: Diagramas de tipo *spider* normalizados a MORB; a) Unidades riolíticas; b) Unidades dacíticas a basandesíticas. No se han graficado muestras con valores de LOI > 5%.

sido descriptos en volcanitas jurásicas de distintos sectores del macizo del Deseado (Sruoga 1989, Fernández *et al.* 1996, Guido 2004, Echavarría *et al.* 2005, Sruoga *et al.* 2008a y b, entre otros). Para la región considerada, a una actividad explosiva de ~152 Ma (Arribas *et al.* 1996, Moreira *et al.* 2006), le siguió un período de erupciones lávicas riolíticas que formaron los primeros domos La Josefina (Fig. 5a). En la etapa final la actividad magmática fue más desgasificada dando lugar a los cuerpos dómicos y coladas de lavas ácidas de La Josefina (Fig. 5b). Asociados espacial, genética y temporalmente, se presentan las coladas de lavas andesítico-dacíticas y los domos dacíticos La Modesta.

La presencia de diques y filones capas andesítico-dacíticos tardíos con respecto a los domos La Josefina, indican que el magma que predominó en los estadios póstumos tenía menor contenido de SiO₂. La orientación de parte de estos diques coincide con la dirección NO-SE del lineamiento regional que controla estos sistemas eruptivos, que posiblemente se reactivó en los estadios finales de estas efusiones lávicas. En los afloramientos más occidentales de los domos riolíticos La Josefina, estos cuerpos permiten inferir diques anulares en estrecha vinculación con dicho complejo dómico. Asimismo los filones capa están directamente asociados a estos diques. Pequeños cuerpos andesíticos, con características petrográficas similares a los diques y a los filones capas, que intruyen a los domos dacíticos La Modesta y a rocas metamórficas, permiten inferir que el domo La Modesta (y probablemente las coladas de lavas de similar composición química) se formaron antes que estas rocas de naturaleza más básica. La relación entre estos cuerpos dacíticos y las lavas riolíticas que integran los domos La Josefina, no se pudo definir. El desarrollo de un nuevo ciclo efusivo está representado por las lavas María Esther del complejo de domos María Esther (Fig. 5c). De acuerdo a Fernández *et al.* (1999), estas últimas tienen edades cerca-

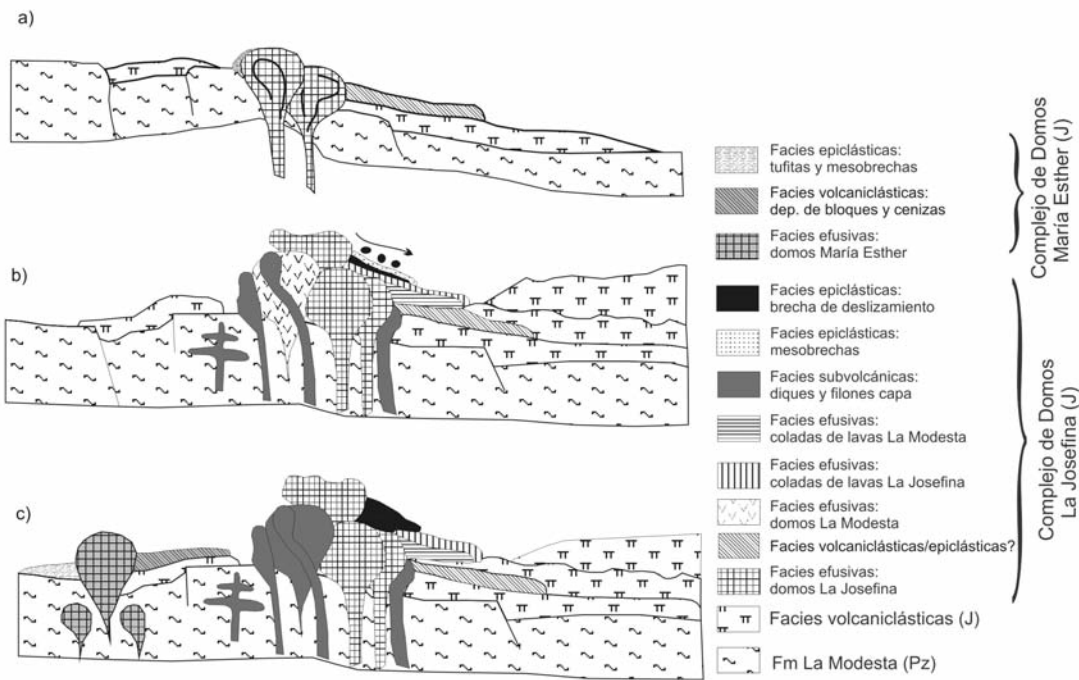


Figura 5: Esquema interpretativo que muestra la evolución de los complejos de domos; a) Efusión de los primeros domos La Josefina y subfacies asociadas; b) Desarrollo principal del complejo de domos La Josefina; c) Desarrollo del complejo de domos María Esther.

nas a los 149 Ma (Titoniano) y constituyen uno de los últimos procesos volcánicos jurásicos del área. Los restringidos depósitos de flujo de bloques y cenizas asociados al complejo son el producto del colapso de un domo, por lo tanto serían coetáneos con las efusiones lávicas riolíticas correspondiente a este complejo de domos. Además se han encontrado brechas de deslizamiento que reflejan los procesos tectónicos simultáneos con el emplazamiento de los domos.

En el macizo del Deseado es difícil determinar la forma de los edificios volcánicos originales que han generado las diferentes unidades volcánicas. Se trata de un evento predominantemente ignimbrítico, con algunas propuestas de calderas documentadas (Fernández *et al.* 1996, Echavarría *et al.* 2005, Chernicoff y Salani 2002, Guido 2004, Ruiz *et al.* 2008, Sruoga *et al.* 2008a). Se interpreta que los materiales volcánicos que conforman los complejos dómicos en el área La Josefina, fluyeron hacia el norte desde la zona de fractura de rumbo NO representada por el lineamiento regional (Fig. 1). Esto concuerda con lo propuesto por Panza (1995), que sostiene que los centros emisores de los materiales volcánicos que originan los complejos de

domos jurásicos en el macizo del Deseado, principalmente coinciden con grandes fracturas de rumbo NO-NNO, o con intersecciones de fracturas que son el resultado de un complejo sistema extensional. Los complejos de domos estudiados en este trabajo podrían corresponder a los productos lávicos, que caracterizan la etapa de desgasificación póstuma en la evolución de una caldera, ya que son tardíos con respecto a los extensos depósitos volcániclasticos de flujo en el área, pero se encuentran espacial, genética y temporalmente relacionados. Estos domos por lo general se emplazan en el centro de la caldera pero también a través de las fracturas que la limitan (Llambías 2003).

Origen y procedencia de los materiales volcánicos

El origen y marco tectónico de este importante volcanismo ha sido objeto de intenso debate en el ámbito de la investigación en los últimos años (Gust *et al.* 1985, Kay *et al.* 1989, de Barrio 1993, Pankhurst *et al.* 1993a y b, Pankhurst y Rapela 1995, Pankhurst *et al.* 1998, Féraud *et al.* 1999, Riley *et al.* 2000, Busá *et al.* 2000, Fantauzzi 2003). El ambiente tectónico en el momento de

la formación de este volcanismo era extensional, íntimamente relacionado con el inicio del desmembramiento de Gondwana y a procesos de subducción a lo largo del margen occidental del continente (Pankhurst *et al.* 1998) y posiblemente a una pluma del manto en la base de la litósfera (Fantauzzi 2003). De acuerdo a estos autores, el régimen de subducción que se produce desde el Pérmico-Triásico al Jurásico Medio-Cretácico Inferior en el oeste del macizo del Deseado, tiene una velocidad de convergencia lenta a muy lenta, por lo que la corteza continental al este del arco estaba preferentemente sujeta a un régimen extensional con desarrollo de hemigrábenes NNO. Este proceso extensional culmina con la apertura del océano Atlántico Sur y el inicio de la subducción.

Este régimen extensional ha sido favorable para el emplazamiento de magmas a una profundidad de entre 5 y 10 km, esto sumado a zonas de debilidad en la porción superior de la corteza desencadenaron mecanismos explosivos que dieron lugar a los depósitos ignimbríticos ácidos, que se desarrollaron hasta más de 500 km del arco. La extensión de este proceso hacia el sur (Territorio Antár-

tico) y el norte (Macizo Nordpatagónico) ya fue propuesta por Pankhurst *et al.* (1998) quienes relacionaron este volcanismo dentro de lo que denominaron provincia volcánica Chon Aike. Además, dicho volcanismo posiblemente se desarrolla hacia Australia (Doleriti de Tasmania) y Sudáfrica (Provincia del Karoo) como un importante proceso magmático asociado a la pre-ruptura y ruptura de Gondwana. Luego, desde el Pérmico-Triásico al Jurásico Medio-Cretácico Inferior, el régimen de subducción lenta a muy lenta en el margen occidental y el inicio de la apertura del Atlántico, combinado con la presencia de una anomalía térmica vinculada a la pluma Karoo-Antartic-Tasmania, fueron las causas de un período prolongado de extensión cortical que generó el intenso volcanismo de arco y retroarco de edad jurásica media a superior.

Los productos de este volcanismo son los rasgos más típicos del macizo del Deseado y específicamente para el área estudiada están representados por una amplia variedad litológica.

Las rocas de los complejos de domos La Josefina y María Esther pertenecen a la serie calcoalcalina, de mediano a alto potasio y son peraluminosas. Esta tendencia general que presentan junto con la distribución de los elementos traza y de tierras raras, muestran una fuerte vinculación genética y evolutiva para todos los tipos litológicos. Varios autores (Pankhurst y Rapela 1995, Pankhurst *et al.* 1998, Guido 2002, entre otros) han descrito al volcanismo jurásico del macizo del Deseado como bimodal representado por andesitas basálticas-andesitas y riolitas que son las que predominan, con un intervalo en los términos intermedios. Conforme a su distribución en el diagrama TAS, entre las volcanitas de los complejos de domos La Josefina y María Esther es notoria la presencia de abundantes rocas de composición dacítica. La presencia de estas composiciones también es coincidente en los datos presentados por Echeveste *et al.* (1999, 2001) y Alperín *et al.* (2007).

Ruiz *et al.* (2008) presentan para las volcanitas jurásicas del área Cerro 1ro de Abril,

evidencias de mezcla de magmas (ignimbritas líticas con pómez riolíticos y otros andesíticos, y lavas dacíticas con texturas de desequilibrio). La mezcla homogénea de magmas podría explicar entonces, la presencia de al menos parte de las rocas de composición intermedia.

Moreira *et al.* (2005b) determinaron las relaciones isotópicas de Pb en las facies efusivas La Modesta (domo La Modesta, filones capa y diques) y facies volcánicas ácidas del área estudiada. Estos autores indican que las rocas analizadas tendrían la misma fuente de origen (orógeno) y que es producto de una mezcla de material proveniente del manto y de la corteza, según el modelo de Zartman y Doe (1981) y que el magma originado asimila materiales provenientes de la corteza superior en distintas proporciones. Asimismo, Moreira (2005) indica que en el área estudiada, las rocas efusivas andesíticas podrían haber sufrido un mayor grado de fusión de la fuente y tendrían, a su vez, ligeramente menor grado de influencia de la corteza superior que las unidades volcánicas riolíticas. Esto último también puede deducirse de las anomalías negativas en Nb y Ti que presentan estas rocas. La afinidad con un ambiente de tipo arco magmático se evidencia muy bien en los diagramas petrotectónicos presentados y en el patrón definido por los elementos traza. En el área estudiada, Fernández *et al.* (1999) determinaron para las lavas riolíticas una relación inicial (Ri) de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de $0,70754 \pm 0,00037$ que se encuentra comprendida dentro del rango de valores establecidos para otras volcanitas jurásicas del macizo del Deseado (de Barrio 1989, Pankhurst *et al.* 1993, Pankhurst y Rapela 1995).

CONCLUSIONES

Las rocas que integran los complejos dómicos del área La Josefina se han estudiado según un criterio litofacial de secuencias volcánicas. Siguiendo a Alperín *et al.* (2007), se ha prescindido el uso de los términos Grupo Bahía Laura y Forma-

ción Bajo Pobre debido a que no han sido claramente diferenciables a la escala de detalle utilizada en este trabajo.

Sobre la base de la interpretación integrada de los datos de campo, de la petrografía, de los resultados geoquímicos y de las características geológicas del complejo de domos La Josefina y el complejo de domos María Esther, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Las rocas de ambos complejos pertenecen a la serie calcoalcalina con una distribución composicional integrada por basandesitas, dacitas y riolitas. Por las relaciones espaciales y distribución de algunos de los cuerpos volcánicos estudiados se interpreta que el magma en los estadios póstumos tenía menor contenido de SiO_2 .

- La tendencia composicional junto con la distribución de los elementos traza y los datos isotópicos ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ y relaciones de isótopos de Pb), muestran una fuerte vinculación genética y evolutiva para todos los tipos litológicos.

- La afinidad con un ambiente de tipo arco magmático (o ambientes volcánicos cercanos a subducción como el retro-arco) se evidencia muy bien en los diagramas petrotectónicos presentados y en el patrón definido por los elementos traza.

- La distribución de los complejos dómicos se ajusta a una zona de fractura regional de rumbo NO que podría estar poniendo en evidencia uno de los centros emisores de los grandes volúmenes de material volcánico del área estudiada.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se ha realizado en el marco del proyecto de investigación PID 32/98: "Investigación metalogénica por metales preciosos (oro, plata) en los sectores oriental y noroccidental del macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz", financiado conjuntamente por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica y la Empresa Minera Estatal FOMICRUZ S.E. Se agradece al Dr. Giuliano Bellieni del Departamento de Mineralogía y Petrología de la Universidad de Padova (Italia), por su colaboración en la realiza-

ción de parte de los estudios geoquímicos. Se agradece al Dr. Guillermo Albarado (Universidad de Costa Rica) por la lectura crítica del manuscrito y sugerencias en beneficio del mismo. Los árbitros del trabajo aportaron valiosas sugerencias para enriquecer la versión original del mismo. Los resultados obtenidos forman parte del trabajo de tesis doctoral sobre depósitos epitermales, que uno de los autores (PM) realizó en la Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la UNLP.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Alperín, M., Echeveste, H., Fernández, R. y Bellieni, G. 2007. Análisis estadístico de datos geoquímicos de volcanitas Jurásicas del macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 62 (2): 200-209.
- Alric, V., Haller M. J., Feraud, G., Bertrand, H. y Zubia, M. 1996. Cronología $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ del volcanismo jurásico de la Patagonia extrandina. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 5: 243-250. Buenos Aires.
- Arribas JR, A., Schalamuk, I., de Barrio, R., Fernandez, R. e Itaya, T. 1996. Edades Radimétricas de Mineralizaciones Epitermales Auríferas del Macizo del Deseado, Provincia de Santa Cruz, Argentina. IGCP Project 342: Age and isotopes of South American Ores. 39° Congreso Brasileiro de Geología, Actas: 254-257. Salvador de Bahía.
- Busá, T., Bellieni, G., Clocchiatti, R., Echeveste, H., Fernández, R., Piccirillo, E.M. y Fantauzzi, G. 2001. Preliminary data on orthopyroxene and quartz-trapped melt inclusions from patagonia igneous province: evidence on the evolution of magmatic system. *GEOITALIA*, 30 Forum FIST 28: 833-834.
- Cas, R. y Wright, J. V. 1987. Volcanic successions, modern and ancient. Chapman & Hall Eds., 528 p. Londres.
- Chernicoff, C.J. y Salani, F.M. 2002. Identificación de calderas asociadas a las volcanitas de la Formación Chon Aike en la región del Río Seco, provincia de Santa Cruz. 15° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 23-28. Calafate.
- De Barrio, R. 1989. Aspectos geológicos y geoquímicos de la Formación Chon Aike (Grupo Bahía Laura) en el noroeste de la provincia de Santa Cruz. Tesis doctoral, Facultad Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, Nro. 528, (inédito), 177 p.
- De Barrio, R. 1993. El volcanismo ácido jurásico en el noroeste de Santa Cruz, Argentina. 12° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 289-298. Mendoza.
- De Barrio, R., Panza, J. L., y Nullo, F. 1999. Jurásico y Cretácico del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. En, Caminos R. (ed.) *Geología Argentina, anales* 29 (17): 511-527.
- Del Blanco, M., Echavarría, L., Echeveste, H., Etcheverry, M., Tessone, M. y Mondelo, R. 1994. Estancia La Josefina, un nuevo prospecto aurífero en el Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz, Argentina. Encuentro Internacional de Minería, Actas 1: 93-99. Buenos Aires.
- Echavarría, L.E., Schalamuk, I.B. y Etcheverry, R.O. 2005. Geologic and tectonic setting of the Deseado Massif epithermal deposits, Argentina, based on El Dorado-Monserrat. *Journal of South America Earth Sciences* 19: 451-432.
- Echeveste H., Echavarría, L. y Tessone, M. 1995. Prospecto aurífero "La Josefina", un sistema hidrotermal tipo Hot Spring, Santa Cruz, Argentina. 5° Congreso Nacional de Geología Económica, Actas: 414-425.
- Echeveste, H., Fernández, R. Llambias, E., Tessone, M., Schalamuk, I., Bellieni, G., Piccirillo, E. y De Min, A. 1999. Ignimbritas tardías de alto grado en la Formación Chon Aike, Macizo del Deseado, Santa Cruz, Argentina. 14° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 182-186. Salta.
- Echeveste, H., Fernández, R. Bellieni, G., Tessone, M., Llambias, 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 de Estancia El Fénix-Cerro Huemul, zona centro-occidental del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 56 (4): 548-558.
- Fantauzzi, G. 2003. Magmatismo Giurassico del Macizo del Deseado (Argentina): studio petrologico e sue implicazioni geodinamiche. Dottorato di Ricerca in "Geofisica della litosfera e geodinamica" XIV ciclo. Università Degli Studi di Trieste, (inédito), 221 p.
- Féraud, G., Alric, B., Fornari, M., Bertrand, H. y Haller M. 1999. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the Jurassic volcanic province of Patagonia: migrating magmatism related to Gondwana break-up and subduction. *Earth and Planetary Science Letter* 172: 83-96.
- Fernández, R., Echeveste, H., Echavarría, L. y Schalamuk, I. 1996. Control volcánico y tectónico de la Mineralización epitermal del área La Josefina, Macizo del Deseado, Santa Cruz. Argentina. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 3: 41-54. Buenos Aires.
- Fernández, R., Echeveste, H., Tassinari, C. y Schalamuk I. 1999. Rb-Sr age of the La Josefina epithermal mineralization and its relation with host volcanic rocks. Macizo del Deseado, Santa Cruz Province. Argentina. 2° Simposio Sudamericano de Geología Isotópica, Actas: 462-465. Córdoba.
- Guido, D. M. 2002. Geología y Metalogénesis del Sector Oriental del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, (inédito), 226 p.
- Guido, D. M. 2004. Subdivisión litofacial e interpretación del volcanismo jurásico (Grupo Bahía Laura) en el este del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 59 (4): 727-742.
- Gust, D., Biddle, D., Phelps y Uliana, M. 1985. Associated Middle to Late Jurassic volcanism and extention in southern South America. *Tectonophysics* 116: 223-253.
- Hechem, J. y Homocv, J. 1987. Facies y paleoambientes volcanoclásticos en el Nesocratón del Deseado. *Boletín de Informaciones Petroleras* 16: 2-23.
- INREMI-FOMICRUZ, 2004. Prospecto La Josefina, Santa Cruz, Argentina. Programa de perforaciones primer semestre de 2004. Informe técnico y 5 anexos, (inédito), 33 p.
- Irvine, T. y Baragar, W. 1971. Guide to the chemical classifications of the common volcanics rocks. *Canadian Journal of Earth Science* 8: 523-548.
- Kay, S. M., Ramos, V. A., Mpodozis, C. y Sruoga, P. 1989. Late paleozoic to Jurassic silicic magmatism at the Gondwanaland margin: analogy to the Middle Proterozoic in North America? *Geology* 17(4): 324-328.
- Le Maitre, R. 1989. A classification of igneous rocks and glossary of terms. Blackwell Edi-

- torial, 153 p. Oxford.
- Lesta, P. y Ferello, R. 1972. Región Extraandina del Chubut y Norte de Santa Cruz. En: *Geología Regional Argentina*, Academia Nacional de Ciencias, 2: 602-687. Córdoba.
- Llambías, E. 2003. *Geología de los cuerpos ígneos*. Asociación Geológica Argentina, Serie B Nro. 27. Instituto Superior de Correlación Geológica, Serie Correlación Geológica Nro. 15: 232 p.
- Maniari, P. y Piccoli, P. 1989. Tectonic discrimination of granitoids, *Geological Society of America Bulletin* 101: 635-643.
- McPhie, J., Doyle, M y Allen, R., 1993. *Volcanic Textures: a guide to the interpretation of textures in volcanic rocks*. CODES, University of Tasmania. 198 p.
- Moreira, P. 2005. *Geología y Metalogénesis del Prospecto La Josefina, Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz*. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo Nro. 862, Universidad Nacional de La Plata, (inédito), 360 p.
- Moreira, P., Fernández, R., Schalamuk, I. A. y Etcheverry, R. 2002. Depósitos carbonáticos de hot spring relacionados a manifestaciones epitermales (Au-Ag), Distrito La Josefina. Macizo del Deseado, Provincia de Santa Cruz. 6° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 324-329. Santa Cruz.
- Moreira, P., González, P., Fernández, R., Echeveste, H., Schalamuk, I., Etcheverry, R. 2005a. El basamento de bajo grado de las Estancias La Modesta y La Josefina, Macizo del Deseado, Provincia de Santa Cruz. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 60 (1): 49-63.
- Moreira P., Fernández R. R., Schalamuk I. A., Etcheverry R. O. y Rolando A. P. 2005b. Jurassic magmatism and Au-Ag mineralization in the Deseado Massif (Patagonia Argentina): Lead and Sulfur isotopic studies. *Mineral Deposit Research: meeting the global challenge*, Actas 1: 801-804. Beijing.
- Moreira, P., Echeveste, H., Fernández, R., Hartmann, L. y Santos, J. 2006. Ajuste geocronológico de la Formación Chon Aike y mineralizaciones epitermales asociadas mediante determinaciones isotópicas U-Pb SHRIMP en circones. 11° Congreso Geológico Chileno, Actas 2: 311-314. Antofagasta.
- Moreira, P., Fernández, R., Cabana, C. y Schalamuk, I.A. 2008. Análisis estructural de las mineralizaciones jurásicas en el proyecto epitermal La Josefina (Au-Ag), Macizo del Deseado, Santa Cruz. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 63 (2): 244-253.
- Palma, M. 1987. *Geología y evolución tectónica de la región adyacente al curso inferior al Río Deseado*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, (inédito), 161 p.
- Panza, J. L. 1982. Descripción geológica de las Hojas 53e, Gobernador Moyano y 54e Cerro Vanguardia, provincia de Santa Cruz. Servicio Geológico Nacional, (inédito), 197 p.
- Panza, J. L. 1995. Hoja Geológica 4969-II Tres Cerros, escala 1:250.000, provincia de Santa Cruz. Servicio Geológico Nacional. Boletín 213, 103 p.
- Pankhurst, R. S. y Rapela, C. W. 1995. Production of Jurassic rhyolite by anatexis of the lower crust of Patagonia. *Earth and planetary Science Letters* 134: 23-36.
- Pankhurst, R., Rapela C. y Marquez, M. 1993a. Geocronología y petrogénesis de los granitoides jurásicos del noreste del Macizo del Deseado. 12° Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 134-141. Buenos Aires.
- Pankhurst, R., Sruoga, P. y Rapela, C. 1993b. Estudio Geocronológico Rb-Sr de los complejos Chon-Aike y El Quemado a los 47°30' L.S. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 4: 171-178. Buenos Aires.
- 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 (5): 605-625.
- Pearce, J. A. 1976. Statistical analysis of major element patterns in basalts. *Journal of Petrology* 17: 15-43.
- Pearce, J. A. y Norry, M. J. 1979. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 69: 33-47.
- Riley, T., Leat, P., Pankhurst, R. y Harris, C. 2000. Origin of large volume rhyolitic volcanism in Antarctic Peninsula and Patagonia by crustal melting. *Journal of Petrology* 42 (6): 1043-1065.
- Rolando, P. A. y Fernández, R. R. 1996. Alteración hidrotermal del sector nororiental del prospecto epitermal La Josefina, Santa Cruz. 3° Reunión de Mineralogía y Metalogénesis, Actas 5: 209-216. La Plata.
- Rollinson, H. R. 1993. *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, interpretation*. Logman Scientific & Technical, 352 p.
- Ruiz, R., Páez, G., Guido, D., Schalamuk, I.B. 2008. Ambiente volcánico y mineralizaciones del área Cerro 1ero de Abril, sector sudoccidental del Macizo del Deseado, Santa Cruz, Argentina. 18° Congreso Geológico Argentino, Actas: 897-898, Jujuy.
- Sruoga, P. 1989. Estudio petrológico del Plateau ignimíbrico jurásico a los 47°30' de latitud sur. Tesis doctoral, Facultad Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, (inédito), 400 p.
- Sruoga, P., Japas, S., Salani, F. y Kleiman, L. 2008a. Caldera La Peligrosa (47°15' S, 71°40' O): Un evento clave en la provincia silíceo Chon Aike. 18° Congreso Geológico Argentino, Actas: 903-904, Jujuy.
- Sruoga, P., Busteros, A., Giacosa, R., Martínez, H., Kleiman, L., Japas, S., Maloberti, A. y Gayone, M.R. 2008b. Análisis litofacial y estructural del Complejo Volcánico Bahía Laura en el área el Dorado-Monserrat, provincia de Santa Cruz, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 63 (4): 653-664.
- Tessone, M., Del Blanco, M., Macambira, M. y Rolando, A. 1999. New Radiometric Ages of the Chon Aike and Bajo Pobre Formations in the Central Zone of the Deseado Massif, Argentina. 2° South American Symposium on Isotope Geology, Actas: 132-135. Villa Carlos Paz.
- Thompson, R. N. 1982. British Tertiary volcanic province. *Scottish Journal of Science* 18: 49-107.
- Zartman, R. E. y Doe, B. R. 1981. Plumbotectonic-the model. *Tectonophysics* 75: 135-162.

Recibido: 14 de octubre, 2009

Aceptado: 7 de abril, 2010