

CARACTERIZACIÓN PETROLÓGICA Y NUEVAS EDADES DE LOS BASALTOS DE CHUCULAQUI, PUNA AUSTRAL, PROVINCIA DE SALTA

Emma Beatriz MAISONNAVE¹ y Stella POMA^{1,2}

¹ Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires (IGEBA), Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. E-mail: beatriz@gl.fcen.uba.ar

² CONICET.

RESUMEN

Se estudió un campo de lavas basálticas y basandesíticas que se exponen en Puna Austral, en cercanías de la estación ferroviaria Chuculaqui, ubicada al oeste del salar de Arizaro en la sierra de Caipe, provincia de Salta. Como resultado se presentan nuevos datos químicos y edades de estas volcanitas. De acuerdo con las relaciones de campo y las características petrográficas y geoquímicas, se reconocen dos unidades lávicas. La primera, de edad pliocena, está formada por basaltos porfíricos con fenocristales de olivina y plagioclasa. La segunda unidad, de edad pleistocena, está constituida por basandesitas porfíricas con fenocristales de plagioclasa, piroxeno y anfíbol. Con esta información se caracterizaron petrológicamente estos afloramientos y se modificó su asignación estratigráfica, ampliando el registro volcánico del Plioceno en esa región.

Palabras clave: *Volcanismo, Plioceno, Pleistoceno, Puna*

ABSTRACT

Petrological Characterization and new ages of Estación Chuculaqui Basalts, Southern Puna, Province of Salta

A basaltic and basandesite field is located west of Salar de Arizaro on Caipe range, near the old railroad Chuculaqui Station, in Southern Puna, Salta province. New ages and geochemical data set of these volcanic rocks are presented. Based on their petrographic, geochemical characteristics and field relationships, two lava flow units have been recognized. The first one, of Pliocene age, is formed by porphyritic basalts with olivine and plagioclase phenocrysts. The second one, of Pleistocene age, is a porphyritic basandesite with plagioclase, pyroxene and amphibole phenocrysts. This information allows the petrologic characterization and new stratigraphic assignation of these rocks, extending the volcanic record of Pliocene age in this region.

Keywords: *Volcanism, Pliocene, Pleistocene, Puna*

INTRODUCCIÓN

El volcanismo neógeno y cuaternario desarrollado en la Puna se vincula con la actividad del margen continental activo y los procesos que provocaron acortamiento horizontal con engrosamiento, bajo condiciones predominantemente compresivas. En la Puna salteña durante los últimos 7 Ma ocurrieron episodios distensivos a los que se asocia la efusión de lavas fisurales de composiciones básicas a intermedias, de gran dispersión areal y escaso volumen.

En la sierra de Caipe, ubicada al oeste del salar de Arizaro en la Puna salteña, al nordeste de la estación Chuculaqui del ramal C¹⁴ del ferrocarril Belgrano, se exponen

afloramientos predominantemente basálticos, que fueron incluidos por Méndez *et al.* (1979) entre sus fenobasaltos y posteriormente denominados como Basaltos de Chuculaqui en la Hoja Geológica Socompa (Zappettini y Blasco 2001).

Por el grado de preservación de la morfología de las coladas y las relaciones estratigráficas con las volcanitas de Arizaro, Zappettini y Blasco (2001) los asignaron al Pleistoceno.

En esta contribución se completa la información aportada en publicaciones anteriores (Maisonnavé y Poma 2010) presentando datos químicos, microanálisis cuantitativos de las fases minerales predominantes y edades obtenidas mediante dataciones radimétricas. Esta nueva

información permite caracterizar petrológicamente a las volcanitas estudiadas y proponer una nueva ubicación estratigráfica así como interpretar su significado en la evolución geológica del sector estudiado.

METODOLOGÍA

Un conjunto de muestras frescas y representativas de las unidades estudiadas fueron enviadas para su análisis a Activation Laboratories Ltd. de Canadá, donde mediante activación neutrónica y espectrometría de plasma por emisión, se determinaron tanto los elementos mayoritarios como los minoritarios y traza. Para los microanálisis cuantitativos de

detalle en cristales de las fases minerales dominantes se utilizó un equipo CAME-BAX SX-50 con 4 espectrómetros, de la Universidad de Barcelona, España. Las determinaciones se efectuaron con un potencial de aceleración de 20 kV, empleando para las fases minerales una corriente de 15 nA.

Una de las determinaciones de edad se efectuó mediante el método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en vidrio en el Laboratorio de Geocronología del Servicio Geológico de Canadá, y la restante determinación se realizó por el método K/Ar en roca total en el Laboratorio de Geocronología del Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile.

AFLORAMIENTOS ESTUDIADOS

En las cercanías de la estación ferroviaria Chuculaqui ($24^{\circ}45'00''\text{S}$ y $68^{\circ}03'45''\text{O}$) se extiende un afloramiento lávico melancrático de unos 6 m de potencia. Los espesores fueron medidos en los cortes laterales y el afloramiento, que cubre una superficie de unos 13 km^2 (Fig. 1), se apoya sobre una secuencia volcánica mesosilíceo a ácida de color gris claro verdoso que integra el Complejo volcanosedimentario Quebrada del Agua, asignada al Oligoceno – Mioceno inferior (Zappettini y Blasco 2001).

Las volcanitas estudiadas forman dos unidades lávicas independientes, de espesores similares (hasta 5-6 metros en su fase distal), que constituyen derrames fisurales extruídos a partir de una fractura, expresión estructural de un lineamiento mayor de rumbo aproximadamente N-S reconocido por Zappettini y Blasco (2001). Estos dos flujos lávicos se extienden en direcciones opuestas, la colada más antigua se derrama hacia el oeste y la restante hacia el este. Las rocas que forman las coladas son de color gris oscuro a negro, presentan un relieve suave y se diferencian entre sí por sus características mineralógicas y texturales. La colada más antigua es de composición basáltica, menos extensa y se encuentra emplazada sobre una superficie de relieve relativamente plano, mientras que el flujo lávico más

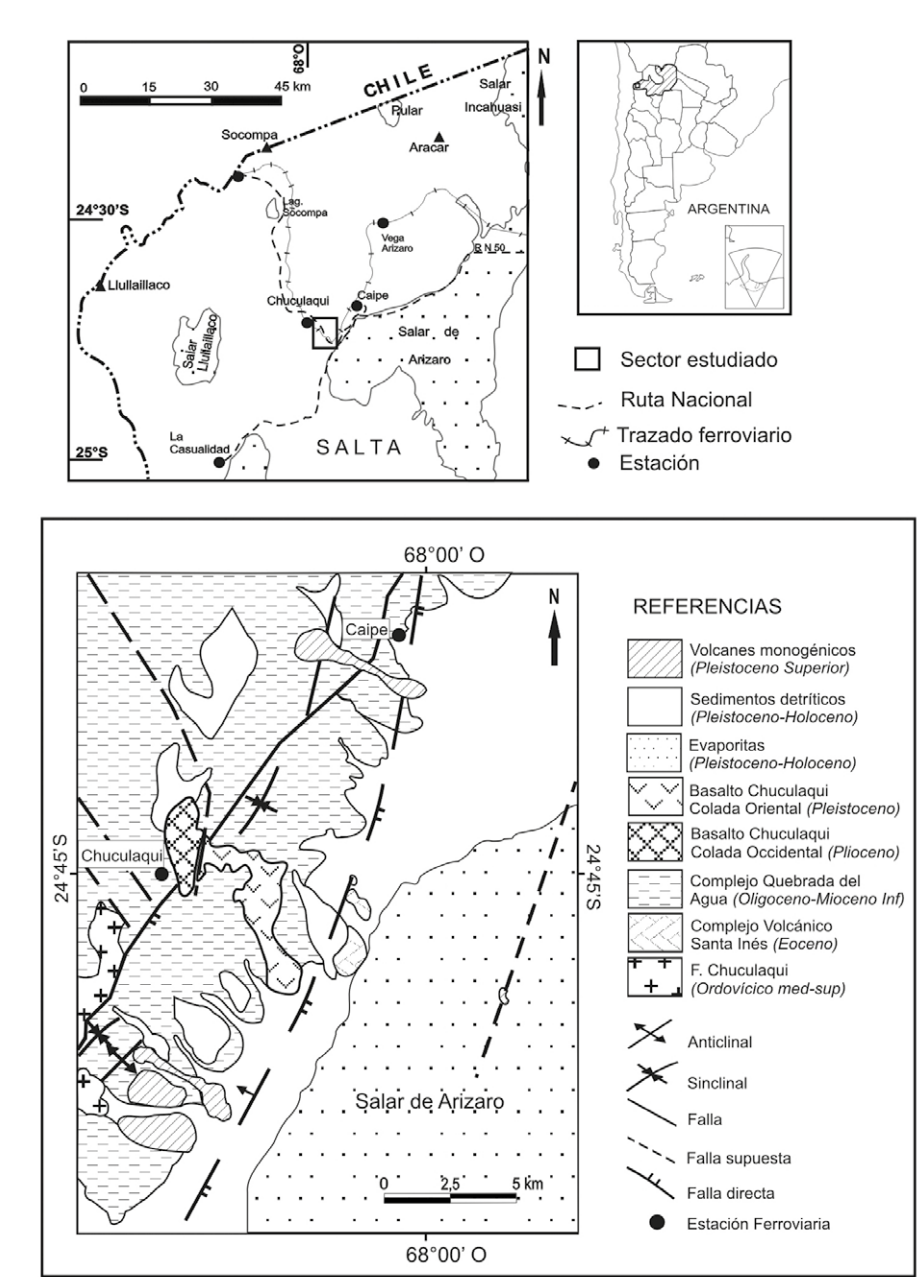


Figura 1: Croquis de ubicación y bosquejo geológico del área estudiada. Modificado de Zappettini y Blasco (2001).

joven conforma una colada más extendida y de composición basandesítica que cubre un sector de topografía accidentada en la cumbre de la sierra de Caipe. Las rocas de la colada occidental, la más antigua, presentan estructura marcadamente vesicular y textura porfírica dada por abundantes fenocristales de olivina, mientras que las rocas de la colada oriental son escasamente vesiculares y la textura porfírica está caracterizada por la

presencia de fenocristales de piroxeno y anfíbol (Fig. 2). En ambas coladas se preservan amígdalas irregulares de hasta 1 cm de longitud máxima, con relleno de material secundario de color blanco. El material piroclástico asociado es escaso.

Petrografía

La colada occidental está formada por lava en bloques y abarca unos 3 km^2 , con un espesor de 4 a 5 m. Es de diseño irre-

gular y está constituida por fenobasaltos de color gris oscuro a negro, que presentan una conspicua estructura vesicular caracterizada por abundantes cavidades subredondeadas, de 1 a 15 mm de longitud máxima, que le confieren a la roca un aspecto pumíceo a escoriáceo. La textura porfírica está determinada por fenocristales de olivina (10%) y en cantidad subordinada cristales de plagioclasa (5%) distribuidos en una pasta afanítica. Se observan algunas amígdalas de hasta 1 cm de longitud, con relleno de color blanquecino, probablemente conformado por sílice de alta temperatura y zeolitas. En sección delgada se observa un gran número de vesículas muy pequeñas de diseño irregular y que ocupan, aproximadamente, el 20% del volumen de la roca. Los fenocristales (15%) están mayoritariamente constituidos por olivina fresca de hábito euhedral a subhedral y plagioclasa en menor proporción. Ésta conforma fenocristales y microfenocristales tabulares subhedrales, en general frescos y con maclado polisintético irregular, son escasos los individuos con zonalidad. Se identificaron escasos microfenocristales de clinopiroxeno subhedral.

Los fenocristales se encuentran inmersos en una pasta hialopilitica a intersertal, integrada, por orden de abundancia, por microlitos dispuestos al azar de plagioclasa fresca, abundantes gránulos subhedrales de clinopiroxeno, frecuentemente maclados, cristales de olivina y cristales subhedrales de minerales opacos. El conjunto está amalgamado en una mesostasis de vidrio castaño oscuro. Es común observar en la pasta cristales de diseño irregular de clinopiroxeno agrupados en glomérulos.

El segundo flujo lávico es más extendido, abarcando una superficie de unos 10 km². Se derrama hacia el oriente y presenta una planta de diseño irregular con unos 6 m de espesor reconocido. Está conformado por rocas de color gris oscuro a negro en las que se reconoce un arreglo mineral más evolucionado, respecto de la colada occidental, y escasa proporción de vesículas. La textura es porfírica y está caracterizada por fenocristales de plagioclasa,

piroxeno y más escasos de anfíbol, con tamaños entre 1 y 3 mm. Macroscópicamente se reconocen agregados de cristales de piroxeno, de formas irregulares y hasta 1 cm de largo.

En sección delgada se observan escasas vesículas irregulares y la textura porfírica está determinada, en orden de abundancia, por fenocristales de plagioclasa (50%), clinopiroxeno (30%) y ortopiroxeno (15%) y escasos fenocristales de anfíbol (5%). La plagioclasa se presenta en tablillas frescas, frecuentemente con macla polisintética y más raramente con zonalidad, sus núcleos tienen composición bitownítica (An_{76-80}) y los bordes corresponden a labradorita (An_{72-65}). El clinopiroxeno es augita ($Wo_{36-45} - En_{45-54}$), se observa en gránulos de pequeño tamaño, a menudo zonales, mientras que los individuos de ortopiroxeno, cuya composición corresponde a enstatita incolora y no pleocroica ($En_{72-81} - Wo_{3-5}$), desarrollan prismas largos subhedrales. El mineral máfico de mayor desarrollo es el anfíbol, que forma cristales elongados de hasta 3 mm, con un conspicuo borde de resorción formado por una orla de minerales opacos. Los fenocristales se encuentran distribuidos en una mesostasis hialopilitica formada por microlitos de plagioclasa de composición más sódica distribuidos al azar, clinopiroxeno y anfíbol, en una base de vidrio castaño.

Una característica remarcable que exhiben estas volcanitas es la presencia de texturas de reacción. Estas texturas se interpretan como consecuencia de la incorporación de gránulos de cuarzo en la lava basáltica. Se observan xenocristales de cuarzo con diferentes grados de preservación, desde individuos de varios milímetros rodeados por una delgada película vítrea con crecimiento epitáxico de cristales aciculares de clinopiroxeno, hasta sectores en los que el cuarzo ha sido completamente consumido y se reconoce su existencia previa por relaciones texturales y el desarrollo particular de los cristales de piroxeno (Fig. 2f). Estas rocas presentan escasas vesículas, parcialmente rellenas por un material que por sus propiedades ópticas se identificó como cristobalita.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Las rocas analizadas contienen en base anhidra entre 51 y 55% en peso de SiO₂ y entre 3,9 y 4,9% de álcalis. El contenido de Al₂O₃ oscila entre 15,7 y 17%. Los datos obtenidos mediante análisis químicos se presentan en el cuadro 1. En el diagrama TAS (Total Alkali vs Silica, Le Maitre 1989) las muestras de la colada occidental de las volcanitas de Estación Chuculaqui se clasifican químicamente como basaltos, mientras que las muestras representativas de la colada oriental se clasifican como basandesitas, todas ellas con tendencia calcoalcalina normal (Fig. 3).

Al graficar los contenidos de álcalis, FeO* y MgO en un diagrama AFM (Irvine y Baragar 1971) se observa que las rocas muestran una tendencia evolutiva sin enriquecimiento en hierro y con enriquecimiento en álcalis, como es esperable en rocas de la serie calcoalcalina (Fig. 4).

El diagrama para las concentraciones de los elementos de las tierras raras (Fig. 5), normalizados a condrito según los valores propuestos por Sun (1982), muestra un diseño similar para ambos grupos de rocas, aunque las volcanitas de la colada más joven presentan una pendiente más empinada con valores para la relación La/Yb entre 13 y 17,8 [(La/Yb) N=8,7 a 11,9] mientras que las volcanitas correspondientes a la colada basal, tienen cocientes La/Yb cercanos a 5 [(La/Yb) N=3,3 a 3,8]. Se observa una leve depresión en las tierras raras intermedias y una pequeña anomalía de Eu, lo que podría sugerir anfíbol y plagioclasa retenidos en la fuente. Estas características permiten inferir que los fundidos se habrían generado a presiones relativamente bajas, las que en un corto período de tiempo habrían evolucionado hacia condiciones de fusión a mayor presión, durante la generación de los fundidos que dieron origen a los flujos lávicos más jóvenes.

En un diagrama multielemental normalizado (valores de MORB de acuerdo con Pearce 1983), las muestras representativas de ambas unidades presentan diseños en los que se reconocen características inherentes a los fundidos de arco (por ej.

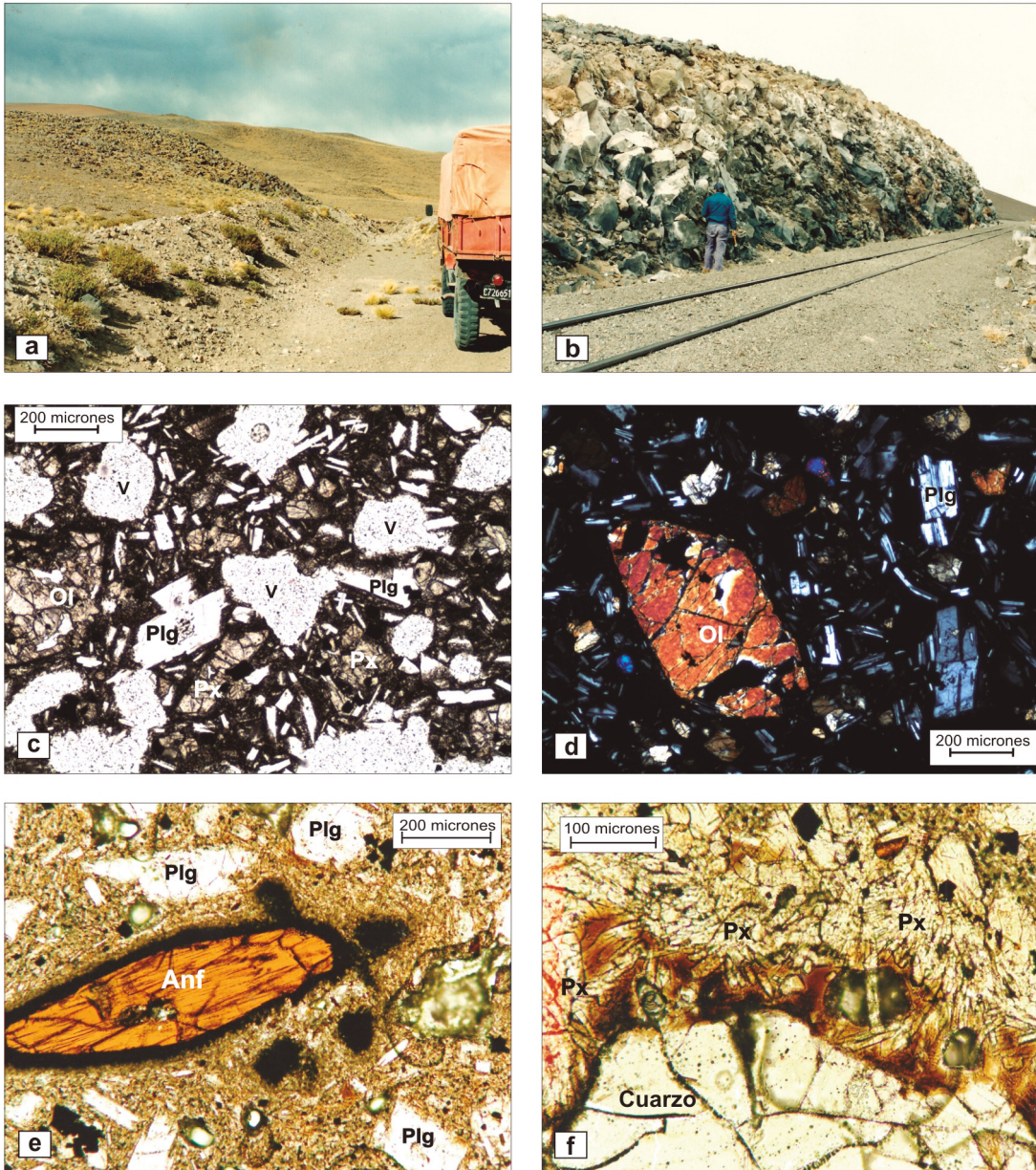


Figura 2: a-b) Aspecto del afloramiento, a) colada occidental, b) colada oriental, c-d) Fotomicrografías de la colada occidental; e) Textura porfírica con fenocristales de olivina (Ol), microfenocristales de plagioclasa (Plg) y piroxeno (Px), y abundantes vesículas (V); d) Detalle de fenocristal de olivina (Ol); e-f) Fotomicrografías de la colada oriental: (e) textura y detalle de fenocristal de anfíbol (Anf), (f) Detalle de xenocristal de cuarzo con crecimiento epitáxico de cristales aciculares de piroxeno (Px). Fotomicrografías sin analizador interpuesto, excepto c).

anomalía negativa de Nb), sin embargo en las muestras pertenecientes a la colada más joven, si bien perduran las características de arco, se hace evidente una impronta de intraplaca (Fig. 6).

EDAD

Dadas las diferencias composicionales, morfológicas y petrográficas observadas en el flujo lávico oriental con respecto a la colada occidental, se consideró necesario establecer con precisión la edad de esta manifestación eruptiva por lo que se efectuaron estudios geocronológicos en

muestras representativas de ambas coladas. En el marco del proyecto MAP (Multinational Andean Project) del que participó el Servicio Geológico Mineero Argentino, se efectuó una datación en una volcanita fresca de la colada occidental obteniéndose una edad $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (en vidrio) de $3,4 \pm 0,1$ Ma, lo que permite asignarla al Plioceno (Fig. 7).

Por otra parte, se analizó una muestra representativa de la colada oriental utilizando el método K/Ar en roca total en el laboratorio de Geocronología dependiente del Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile, obteniéndose una edad de

$2,1 \pm 0,3$ Ma, por lo que este derrame lávico se asigna al Pleistoceno (Cuadro 2). Las diferencias observadas entre estas dos unidades se explican entonces, al considerar que existió un lapso entre las emisiones lávicas que las originaron, ya que una es de edad pliocena y la otra pleistocena.

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Estos afloramientos fueron incluidos en los denominados Basaltos de Chuculaqui y Samenta y asignados al Pleistoceno en la Hoja Geológica Socompa (Zappettini

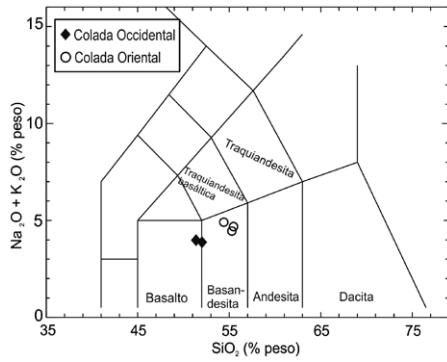


Figura 3: Diagrama TAS (Total Alcalis versus Silica) para la clasificación química de rocas volcánicas (Le Maitre 1989) para las volcanitas estudiadas.

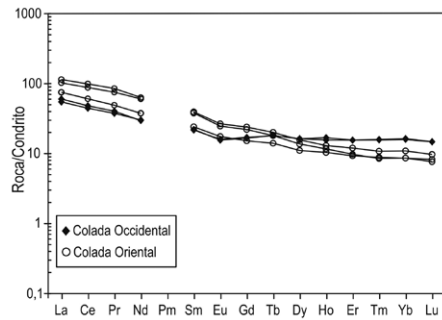


Figura 4: Diagrama AFM (Irvine y Baragar 1971) para las rocas estudiadas.

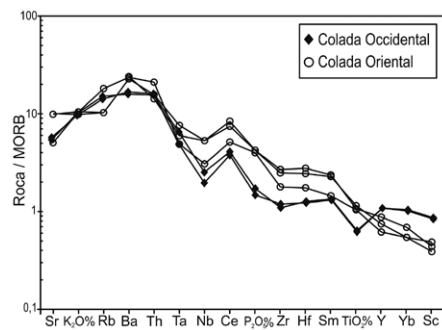


Figura 5: Diagrama de elementos de las Tierras Raras normalizados a condrito de acuerdo con los valores propuestos por Sun (1982).

y Blasco 2001). En el marco de investigaciones posteriores, Maisonnave y Poma (2010) con base en el análisis textural, la paragénesis mineral y las relaciones de campo de estos afloramientos, establecieron una edad pliocena para el flujo lávico occidental y otra pleistocena para la colada que se derrama hacia el oriente. Estas edades se confirmaron mediante estu-

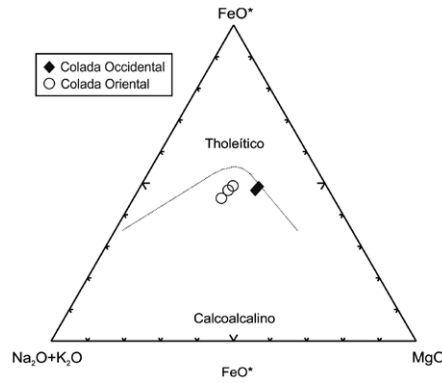


Figura 6: Diagrama multielemental para los elementos traza, normalizados respecto del MORB definido por Pearce (1983).

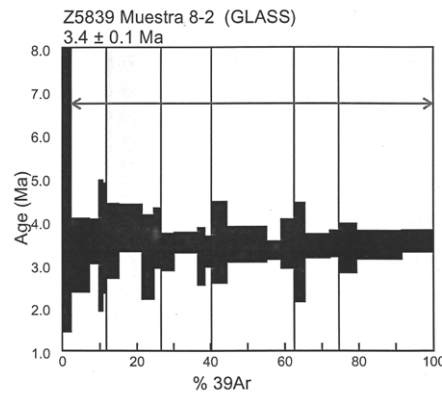


Figura 7: Datación $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en vidrio de la colada oriental (muestra BM8-2). Edad obtenida: $3,4 \pm 0,1$ Ma. Alicuotas con edades reproducibles en cada etapa, sin evidencias de disrupción.

dios geocronológicos cuyos resultados se presentan en esta contribución.

Los afloramientos estudiados representan dos eventos independientes. Las diferencias texturales, composicionales y en las paragénesis minerales observadas, sugieren que los fundidos que originaron las rocas de la colada pliocena son menos evolucionados y habrían tenido un tiempo menor de residencia en el reservorio magmático, respecto a los fundidos que generaron las volcanitas del derrame más joven, de edad pleistocena.

La caracterización petrográfica y química de estas rocas indica una rápida evolución de los fundidos hacia productos de fusión a mayor presión, lo que podrían interpretarse como indicativo del aumento en el espesor cortical durante el período de generación de estos magmas. De acuerdo a

CUADRO 1: Análisis químicos de las coladas estudiadas. Concentraciones de óxidos expresadas en porcentaje en peso (p.p.%), concentraciones de elementos de las Tierras Raras y trazas expresados en ppm.

Colada:	Occidental		Oriental			
	Muestra	BM	BM	BM	BM	BM
	8-1	8-2	8-3	8-5	14-3	
SiO ₂	51,58	50,98	55,19	55,32	52,86	
TiO ₂	0,97	0,942	1,60	1,646	1,767	
Al ₂ O ₃	17,17	16,73	16,77	15,71	15,45	
Fe ₂ O ₃	10,41	9,91	8,62	9,55	9,22	
MnO	0,18	0,181	0,12	0,135	0,118	
MgO	6,14	5,98	4,13	4,43	4,29	
CaO	9,77	9,28	7,98	8,28	8,19	
Na ₂ O	2,45	2,31	3,06	2,85	3,26	
K ₂ O	1,55	1,48	1,60	1,61	1,51	
P ₂ O ₅	0,21	0,18	0,49	0,52	0,52	
LOI	0,42	0,39	0,72	0,68	1,14	
TOTAL	100,84	98,36	100,27	100,7	98,33	
La	19,8	18	24,7	37,6	33,8	
Ce	41,8	38,5	52,5	85,7	76,1	
Pr	5,25	4,9	6,4	11,1	9,81	
Nd	18,6	19	23,7	39,8	38,1	
Sm	4,5	4,4	4,9	8	7,7	
Eu	1,2	1,23	1,35	2,05	1,9	
Gd	4,6	4,7	4,2	6,6	6,1	
Tb	0,9	0,9	0,7	1	0,9	
Dy	5,6	5,6	3,8	5,4	4,7	
Ho	1,2	1,3	0,8	1	0,9	
Er	3,5	3,5	2,1	2,7	2,2	
Tm	0,55	0,56	0,31	0,38	0,3	
Yb	3,5	3,6	1,9	2,4	1,9	
Lu	0,5	0,5	0,28	0,33	0,26	
Y	33,0	33,0	19,0	27,0	23,0	
Sr	665,0	703,0	621,0	1212,0	1231,0	
Rb	31,0	29,0	37,0	21,0	21,0	
Ba	327,0	344,0	482,0	464,0	490,0	
Cs	0,7	0,9	1,5			
U	1,0	1,1	1,3	0,8	0,8	
Th	3,1	3,3	4,3	3,2	2,9	
Hf	2,9	3,0	4,3	6,8	6,0	
Ta	1,7	0,9	0,9	1,4	1,1	
Sc	35,5	35,0	20,0	18,0	16,0	
Cr	137,0	130,0	30,0	40,0	50,0	
Ni	21,0		20,0			
Co	33,7	26,0	25,0	24,0	21,0	
Nb	9,0	7,0	11,0	19,0	19,0	
Zr	119,0	109,0	165,0	248,0	229,0	
Cu	37,0	40,0	70,0	20,0	30,0	
V	274,0	279,0	201,0	233,0	231,0	

los rasgos texturales descriptos, se interpreta que los fundidos magmáticos involucrados habrían ascendido y enfriado rápidamente, incorporando escaso material de roca de caja, y alcanzado la superficie a través de estructuras de falla de dirección ENE-OSO generadas o reactivadas durante episodios distensivos.

Asimismo, la asignación geocronológica de estos eventos, permite ampliar el registro de la actividad volcánica en la región estudiada, que habría sido prácticamente continua a lo largo del Plioceno y Pleistoceno, aunque volumétricamente menos importante que la intensa actividad magmática que caracterizó al Mioceno.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente financiado por los proyectos UBACyT /628BA y PIP 2011-2013 GI /453. Las autoras expresan su agradecimiento al Dr. Eduardo Zappettini por posibilitar una datación a través del Proyecto MAP-SEGEMAR, y a las Dras. Brígida Castro de Machuca y Silvia L. Lagorio por las valiosas observaciones y sugerencias que permitieron mejorar el manuscrito original.

CUADRO 2: Datación K/Ar en roca total de la colada occidental (muestra BM8-5). Edad obtenida: $2,1 \pm 0,3$ Ma.

Muestra	Material	%K	Ar rad. nl/g	%Ar atm.	Edad Ma	Error 2σ
BM 8-5	Roca Total	1,455	0,137	93	2,4	$\pm 0,7$
BM 8-5	Roca Total	1,455	0,121	85	2,1	$\pm 0,3$
Media ponderada de estos dos análisis:					2,1	$\pm 0,3$

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Irvine, T.N. y Baragar, W.R.A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Science* 8: 523-548.
- Le Maitre, R.W. 1989: A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms. Blackwell, 193 p., Oxford.
- Maisonnave, E.B y Poma, S. 2010. Basaltos de Chuculaqui, Puna salteña: caracterización petrográfica y química. 10° Congreso de Mineralogía y Metalogénia. *Avances en Mineralogía, Metalogénia y Petrología*: 303-306, Río Cuarto.
- Mendez, V., Turner, J.C.M., Navarini, A., Amengual, R. y Viera, V.O. 1979. Geología de la región noroeste, provincias de Salta y Jujuy, República Argentina. DGFm, 118 p., Buenos Aires.
- Pearce, J.A. 1983. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. En: C.J.Hawkesworth y M.J.Norry (eds.), *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*: 230-249.
- Sun, S.S. 1982: Chemical composition and origin of the earth's primitive mantle. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 46: 179-192.
- Zappettini, E.O. y Blasco, G. 2001. Hoja Geológica 2569-II, Socompa, provincia de Salta. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, *Boletín* 260: 62 p., Buenos Aires.

Recibido: 2 de diciembre, 2015
Aceptado: 8 de septiembre, 2016