

ESTRATIGRAFÍA Y CENTROS ERUPTIVOS DE LA REGION DE PAIRIQUE, PUNA JUJEÑA

Pablo J. CAFFE^{1,2}, Miguel M. SOLER¹, Beatriz COIRA^{1,2}, Agustín P. CABRERA³, Patrocinio I. FLORES¹

¹ Instituto de Geología y Minería - Universidad Nacional de Jujuy. Avenida Bolivia 1661, San Salvador de Jujuy (4600). Fax: 0388-4232957. E-mails: pabcaff@idgym.unju.edu.ar; miguelmsoler@yahoo.com.ar; bcoira@idgym.unju.edu.ar; patro@idgym.unju.edu.ar

² CONICET

³ Departamento de Geología Básica. Universidad Nacional de Córdoba. Av. Vélez Sarsfield 1611, Córdoba (5000).

E-mail: agustincabrera@yahoo.com

RESUMEN

La región de Pairique en la Puna jujeña, hospeda un importante registro volcánico de edad miocena superior entre ~11,5 a ~6,6 Ma, que incluye unidades tanto piroclásticas como lávicas. Una estructura anular en el sector central de la zona de estudio fue interpretada previamente como la caldera de colapso más antigua relacionada al volcanismo cenozoico en la región del complejo volcánico Altiplano-Puna (APVC). En este trabajo se analiza la estratigrafía de la región de Pairique, en función de distinguir los productos de origen caldérico de aquéllos provenientes de otros centros. A partir de las propiedades litológicas y de las distribuciones geográfica y cronoestratigráfica, sugerimos que sólo algunas de las unidades volcánicas reconocidas se vinculan con la estructura anular de Pairique. Asimismo, no hay evidencia estratigráfica suficiente para modelar un colapso caldérico a lo largo de la misma. Consecuentemente, Pairique se redefine como un complejo volcánico, es decir un centro que experimentó volcanismo persistente durante un lapso de tiempo importante (>11.5 a ~10.3 Ma). Su modelo eruptivo deberá ser elaborado a la luz de nuevos datos estructurales y volcanológicos.

En esta contribución también se reconocen otras tres zonas de procedencia para algunas unidades antes consideradas como provenientes de Pairique: volcán compuesto Nevado Torona-San Pedro, complejo volcánico Lina y complejo dómico Pairique Grande. Al igual que en el "arco interno" peruano-boliviano, el volcanismo en Pairique ha tenido características composicionales peculiares, donde coexistieron unidades andesíticas a dacíticas de tendencia calcoalcalina y volcanitas félsicas de afinidad peraluminosa (con cordierita o granate magmáticos).

Palabras clave: *Calderas de colapso, estratigrafía volcánica, Mioceno superior, Pairique, Puna jujeña*

ABSTRACT: Stratigraphy and eruptive centers of the Pairique region, Puna Jujeña.

The Pairique region of northern Puna hosts an Upper Miocene volcanic record erupted from ~11.5 to ~6.6 Ma, which includes pyroclastic as well as lava units. A ring structure, which appears in the central zone of the study area, was previously interpreted as the oldest caldera structure related to Cenozoic volcanism in the broad Altiplano-Puna Volcanic Complex (APVC) region.

In this work we characterise the stratigraphy of the Pairique area, in order to distinguish the products of the postulated caldera collapse from those originated in other centers. Based on lithological attributes, as well as geographical and chronostratigraphical distribution, we suggest that only a few units recognised in this area are related to the Pairique ring structure. There is no conclusive evidence to propose a caldera collapse along the latter. Therefore, Pairique is re-defined as a volcanic complex, i.e. a center that experienced persistent volcanic activity during a long span of time, from >11.5 to 10.3 Ma. Its eruptive model will be established when more structural and volcanological data are available.

This work also identifies three other source areas for several volcanic rocks which were previously thought as related to the Pairique structure: the Nevado Torona-San Pedro compound volcano, the Lina volcanic complex and the Pairique Grande dome complex. Similar to the "inner arc" of Perú-Bolivia, volcanic rocks in the Pairique region show distinct compositional features, in which calalkaline basaltic andesite to dacite units coexisted with felsic lithologies of peraluminous (cordierite- or garnet-bearing) affinities.

Keywords: *Collapse calderas, northern Puna, Pairique, volcanic stratigraphy, Upper Miocene.*

INTRODUCCIÓN

La región de Puna jujeña (22°-24° S) hospeda parte de la extensa provincia volcánica cenozoica de retroarco de los Andes centrales (Coira y Kay 2004) que incluye, entre otras unidades, ignimbritas dacíticas de origen caldérico agrupadas bajo el nombre genérico de *Altiplano-Puna volcanic complex* (APVC, de Silva 1989; Fig. 1). A pesar de su importancia, el conocimiento de la estrati-

grafía volcánica de la región es poco detallado, resultado de lo cual han surgido modelos de calderas insuficientemente comprobados (veáse discusión en Caffé *et al.* 2007 y Soler 2005).

La zona de Pairique, ubicada a ~30 km al este-sureste del límite Argentina-Chile-Bolivia (cerro Zapaleri), forma parte de los afloramientos más orientales del complejo volcánico Altiplano-Puna en la Puna norte (Fig. 1). Esta área aloja importantes volú-

menes de material volcánico mioceno y una estructura aparentemente caldérica de edad ~11,5 Ma (Coira *et al.* 1996), que es a menudo citada (Coira y Caffé 1999, Lindsay *et al.* 2001, de Silva *et al.* 2006) como la más antigua del complejo volcánico Altiplano-Puna: la caldera del Pairique (Seggiaro *et al.* 1995). Otros centros eruptivos del sector fueron caracterizados sólo a partir de trabajos de mapeo geológico de gran escala (Coira *et al.* 2004), por lo que muchas unidades fueron

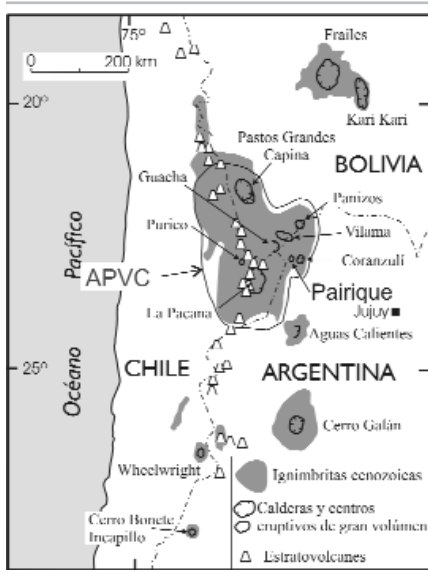


Figura 1: Mapa esquemático de parte de la zona volcánica central de los Andes (modificado de Lindsay *et al.* 2001). Se destacan el límite aproximado del complejo volcánico Altiplano-Puna (APVC), los afloramientos de ignimbritas cenozoicas y las principales estructuras volcánicas de la región.

integradas en una estratigrafía volcánica simplificada. Sin embargo, un conocimiento acabado de la estratigrafía volcánica es indispensable a la hora de identificar eventos de tipo caldérico, sobre todo en áreas donde varios centros eruptivos actuaron en forma coetánea y en las que las ignimbritas son de difícil correlación por su parecido petrográfico y geoquímico.

En esta publicación presentamos el primer ordenamiento estratigráfico de detalle para la zona de Pairique y sus alrededores (~780 km²), alcanzado gracias a un nuevo trabajo de correlación que integra información de campo, petrográfica y geoquímica. Sobre tal base se interpretan las áreas desde las cuales varias unidades de la zona habrían sido eruptadas. Este conocimiento estratigráfico sustenta otros estudios volcanológicos, geocronológicos y estructurales (Caffe *et al.* 2007 e inéditos) de la zona. Como Pairique constituye un interesante prospecto epitermal de Au y Sn (Coira 1990, Seggiaro *et al.* 1995), el presente aporte brinda además información de interés para la ponderación de su potencial como recurso minero.

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

El basamento del área está representado

por sedimentitas ordovícicas, aflorantes en la sierra de Lina (Coira *et al.* 2004) y en la sierra de Olaroz (Fig. 2). Areniscas y fangolitas terciarias poco consolidadas y suavemente deformadas, asignadas a la Formación Peña Colorada (Coira *et al.* 2004), se apoyan en discontinuidad sobre el basamento paleozoico. Estas rocas constituyen el único sustrato no volcánico que es cubierto por las rocas ígneas del área. Los representantes del volcanismo neógeno temprano (Mioceno Inferior-Mioceno Medio, Caffe *et al.* 2002) aparecen en la forma de un pórfido riódacítico que Coira *et al.* (2004) correlacionan con el pórfido de Poquis (12.8 ± 0.5 Ma, Marinovic 1979), el cual aflora en pequeños asomos en el río Aguas Calientes (Fig. 2). Las demás unidades de la zona tienen relación directa con Pairique o con centros eruptivos colindantes y serán tratadas con más profundidad a lo largo de esta contribución.

Los mayores lineamientos corresponden a estructuras de rumbo submeridiano, que sobrecorrieron el basamento ordovícico por encima de las sedimentitas terciarias, pero son poco abundantes. Estructuras transversales (ONO, NO, NE y E-O) al rumbo principal del orógeno (Fig. 2), en cambio son muy comunes y afectan preferencialmente a las rocas volcánicas.

La zona de estudio se caracteriza además por la presencia de una geoforma anular con un extremo abierto hacia el sur-suroeste (Fig. 2). La estructura, de ~8 km de diámetro, tiene una zona central deprimida denominada Bajo de Pairique y un anillo de domos sobre elevado 50 - 700 m (cerros Agua Dulce, Lucha, Lucho, Peña Corral y Pairique Chico). Al oeste la topografía crece abruptamente (hasta ~5.900 m s.n.m.) por el emplazamiento del Nevado Torona-San Pedro, un volcán con forma de serranía elongada en dirección NNO. Al sur de Pairique aparecen otras geoformas de aspecto dómico, que representan un probable centro emisor ubicado en el cerro Lina. Lo mismo ocurre en la zona centro-oriental, donde se erige un edificio dómico alargado conocido como cerro Pairique Grande. Al noreste, en cerro Morado, se identifica una planicie sobre elevada conformada por rocas andesíticas y andesítico-basálticas. Al norte, una serie de depósitos reelaborados,

ignimbritas y un campo de lavas rellenan una antigua cuenca que a la postre fue cubierta por la Ignimbrita Vilama.

ESTRATIGRAFÍA VOLCÁNICA

En función de la complejidad estratigráfica reconocida, describiremos primero la estratigrafía de los sectores externos a la estructura presuntamente caldérica de Pairique y luego aquella que caracteriza al bajo y al anillo de domos superiores. En ambos casos se seguirá el orden cronoestratigráfico observado en el campo, refrendado en algunos casos por nuevas dataciones o por otras ya publicadas (Cuadro 1). La interpretación final de la estratigrafía, integrando las diversas unidades a su centro emisor, es tratada en la discusión.

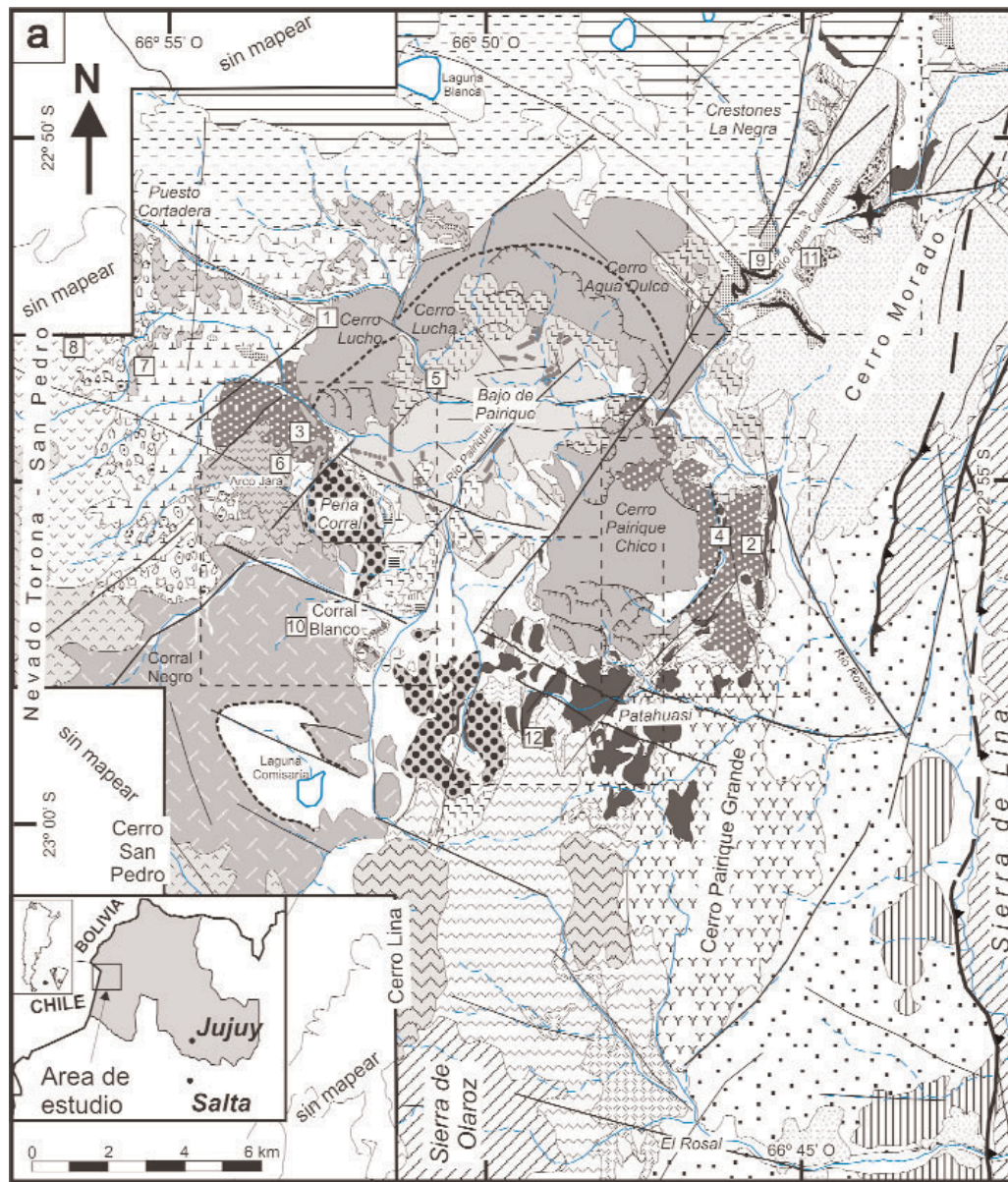
SECTOR EXTERNO A LA ESTRUCTURA ANULAR

Lavas Pairique Grande

Agrupar lavas dómicas que afloran a modo de serranía elongada en dirección norte al sureste del anillo de domos de Pairique (Fig. 2). Su base corresponde a una plataforma de lavas intensamente foliadas que cubre directamente a la Formación Peña Colorada, extendiéndose hacia el oeste hasta la zona de Corral Blanco, donde aparece como pequeños asomos bajo unidades más jóvenes. La mineralogía de estas rocas comprende plagioclasa, ortopiroxeno, biotita alterada, escasa hornblenda, óxidos de Fe-Ti y cuarzo ocasional, además de xenocristales de sillimanita, granate y espinelo verde en evidente desequilibrio.

Ignimbrita Amarilla

Aflora en la mitad austral del área de estudio (Fig. 2), cubriendo tanto a la Formación Peña Colorada como a las Lavas Pairique Grande. La Ignimbrita Amarilla presenta su columna más completa cerca de El Rosal, donde consiste de dos unidades de enfriamiento. La inferior corresponde a una ignimbrita blanquecina de espesor muy variable (20 - 5 m), que presenta fragmentos pumíceos grises y blancos de gran tamaño (30-100 cm). La superior consta de tres unidades de flujo muy semejantes entre sí, sepa-



Nevado Torona-San Pedro

- Riolita Torona
 - a) domos
 - b) depósitos de flujos de bloques y ceniza
 - c) lavas de plataforma
- Ignimbrita Cortadera
 - a) lapillita de caída
 - b) unidad enfriamiento superior
 - c) unidad enfriamiento inferior
- Riodacita Cortaderal

Complejo volcánico Lina

- Dacita Lina
 - a) domos
 - b) lavas y depósitos de flujos de bloques y ceniza de plataforma
- Ignimbritas Amarilla y El Rosal (sin discriminar)

Complejo volcánico Pairique

- Domos de Pairique
 - I Superiores (peraluminosos)
 - lavas; p- piroclásticas
 - I Inferiores (calcoalcalinos)
 - lavas; p- piroclásticas
- Lavas y piroclásticas de Peña Corral
- Diques del Bajo
- Brecha Morada
- Tufitas del Bajo
- Lavas del Bajo
 - v- vítreas, m- microgranosas

- Lineamiento o fractura
- Deslizamiento
- Escorrentía
- Fractura anular (inferida)
- Corrimiento
- Muestras con datación (Cuadro 1)

Otras unidades

- Sedimentos recientes
- Ignimbritas de Coranzulí
- Andesitas de Cerro Morado
- Ignimbrita Vilama
- Dacita Crestones La Negra
- Secuencia volcanosedimentaria del Filo Blanco
- Riolita Corral Negro
- Secuencia volcánoclastica de Patahuasi - a) andesitas
- Ignimbrita Coyaguayma
- Ignimbrita Arco Jara
- Lavas Pairique Grande
- Pórfido de Poquis
- Fm. Peña Colorada
- Fm. Acoito

b

Figura 2: a) Mapa geológico de la región de Pairique. Los recuadros insertos indican la posición de las figuras 3 a-d. b) Referencias litológicas y simbología del mapa.

CUADRO 1: Resumen de edades K/Ar y ⁴⁰Ar/³⁹Ar de lavas y piroclastitas aflorantes en la zona de Pairique

Unidad	Muestra	Localidad	Ubicación (Fig. 2)	Método	Edad ± 2 σ (Ma)	Referencia
COMPLEJO VOLCÁNICO PAIRIQUE						
Domos de Pairique						
<u>Superiores (peraluminosos)</u>						
Lavas dómicas finales						
Lava del cerro Lucho	PQ01-25	Cerro Lucho NO	1	Ar ⁴⁰ /Ar ³⁹	10,31 ± 0,04	A
Ignimbritas, brechas y aglomerados volcánicos						
DFBC basal	PQ01-71p*	Pairique Chico E-2	2	Ar ⁴⁰ /Ar ³⁹	10,43 ± 0,05	A
Lavas, autobrechas y piroclastitas iniciales						
Lava	PQ01-56	Cerro Lucho O	3	Ar ⁴⁰ /Ar ³⁹	10,75 ± 0,12	B
Ignimbrita	PQ01-50p*	Cerro Lucho O	3	Ar ⁴⁰ /Ar ³⁹	10,55 ± 0,14	B
Lava en bloque	PQ02-92L2	Pairique Chico E-1	4	Ar ⁴⁰ /Ar ³⁹	10,89 ± 0,16	A
<u>Inferiores (calcoalcalinos)</u>						
Lava	J-232**	Abra cerro Lucha	5	K/Ar	11,2 ± 1,5	C
NEVADO TORONA-SAN PEDRO						
Ignimbrita Cortadera						
Unidad de enfriamiento superior	M-193	Arco Jara	6	Ar ⁴⁰ /Ar ³⁹	11,1 ± 0,3	B
Unidad de enfriamiento inferior	PQ01-46p*	Puesto Cortadera 1	7	Ar ⁴⁰ /Ar ³⁹	10,7 ± 0,1	B
Riolita Torona						
Lavas de plataforma	PQ01-44	Puesto Cortadera2	8	Ar ⁴⁰ /Ar ³⁹	11,3 ± 0,3	A
OTRAS UNIDADES DE LA ZONA						
Ignimbritas de Coranzulí	****	Loma Blanca	F.m.	K/Ar	6,60 ± 0,15	D
Andesitas de Cerro Morado	P20-4***	Cerro Morado	F.m.	K/Ar	6,7 ± 0,4	C
Ignimbrita Vilama	Y48	S cerro Solterío	F.m.	K/Ar	8,49 ± 0,20	E
Dacitas Crestones La Negra	PQ01-43A	Agua Dulce N	9	Ar ⁴⁰ /Ar ³⁹	8,76 ± 0,06	C
Riolita Corral Negro	PQ02-115	Corral Blanco	10	Ar ⁴⁰ /Ar ³⁹	10,89 ± 0,13	A
Ignimbrita Coyaguayma	PQ01-40p*	Piedras Blancas	11	Ar ⁴⁰ /Ar ³⁹	11,28 ± 0,03	A
Ignimbrita Arco Jara	PQ01-57p*	Arco Jara	6	Ar ⁴⁰ /Ar ³⁹	11,29 ± 0,16	B
Ignimbrita Arco Jara	PQ02-112*	Patahuasi	12	Ar ⁴⁰ /Ar ³⁹	11,54 ± 0,09	A

DFBC: depósito de flujo de bloques y ceniza. F.m.: fuera del mapa.

* Biotita de pómez; el resto biotita de lavas e ignimbritas, excepto en ** (plagioclasa) y *** (roca total). **** Edad propuesta para la Ignimbrita Potrereros. A- Caffè *et al.* (datos inéditos). B- Caffè *et al.* (2007a). C- Coira *et al.* (1996). D- Seggiaro (1994). E- Aquater (1979).

radar de la unidad infrayacente por depósitos reelaborados. Las ignimbritas son amarillentas y masivas. Sus fragmentos pumíceos (4-60 cm) son de color negro (5 %), están bastante alterados y aunque se observan aplastados no presentan soldamiento. Al igual que en la unidad de enfriamiento inferior, los líticos son escasos (<1 %) y pequeños (< 2 cm). La mineralogía de la pómez incluye plagioclasa, biotita, ortopiroxeno parcial o totalmente alterado, opacos y escaso cuarzo.

El espesor total de la ignimbrita al norte es >40 m (Figs. 3a y 4, columna 2), semejante al espesor en El Rosal, al sur (45 m). Más al este, sobre el río Rosario (Fig. 3a) sus niveles más altos muestran cierto grado de reelaboración fluvial, sugiriendo una posición distal.

Ignimbrita El Rosal

Esta agrupa un conjunto de rocas de mineralogía similar a la Ignimbrita Amarilla, bien expuesto en el paraje homónimo (Fig. 2),

donde alcanza ~160 metros de espesor. Se apoya sobre un depósito reelaborado (conglomerados tuftíticos y areniscas tobáceas) de afloramiento discontinuo (15-30 m de potencia) en el que la Ignimbrita Amarilla aparece como clastos. Cerca de Pairique cubre directamente a esta última ignimbrita (Figs. 3a y 4, columna 2). La columna comienza con una lapillita gruesa de caída (70 cm) gradada normalmente, compuesta por fragmentos dacíticos (1.5 - 0.5 cm) similares a las Lavas Pairique Grande y abundante (70%) pómez (1-3 cm). Continúa con siete unidades de flujo (2 - 12 m) que exhiben segregación de grandes pómez hacia el techo (Fig. 5a). El tope de la sucesión constituye un conjunto piroclástico amalgamado (130 m) color pardo anaranjado, rico (40 %) en fragmentos líticos (10-20 cm) de rocas dacítico-andesíticas rojizas.

La lapillita de caída tiene espesores y granulometría máxima (líticos: 3 cm; pómez: 8 cm) que crecen en dirección al cerro Lina,

pero nunca aparece más al norte. Ignimbritas correlacionables a los depósitos de El Rosal pueden encontrarse saltuariamente, con menor espesor total (3-12 m) y granulometría más fina (líticos: < 1 cm y < 2 %), alrededor de la estructura anular del Pairique e incluso más al norte en cerro Morado.

Ignimbrita Arco Jara

Esta consiste de varios depósitos de flujos piroclásticos no soldados y algunos niveles menores de oleadas piroclásticas y lapillitas de caída. En Arco Jara (Figs. 2 y 3c), esta secuencia cubre una serie de areniscas tobáceas con reelaboración eólica (Fig. 4, columna 5) correlacionables con los niveles retrabajados que cubren a la Ignimbrita Amarilla. La Ignimbrita Arco Jara presenta sus mayores espesores (>77 m) inmediatamente al sur de Patahuasi (Figs. 3b y 5b) y sus facies más gruesas en Arco Jara (40 m; Fig. 3c). Al sureste de Pairique Chico (Fig. 3a) tiene un espesor de ~4 m (Fig. 4, columna 2), des-

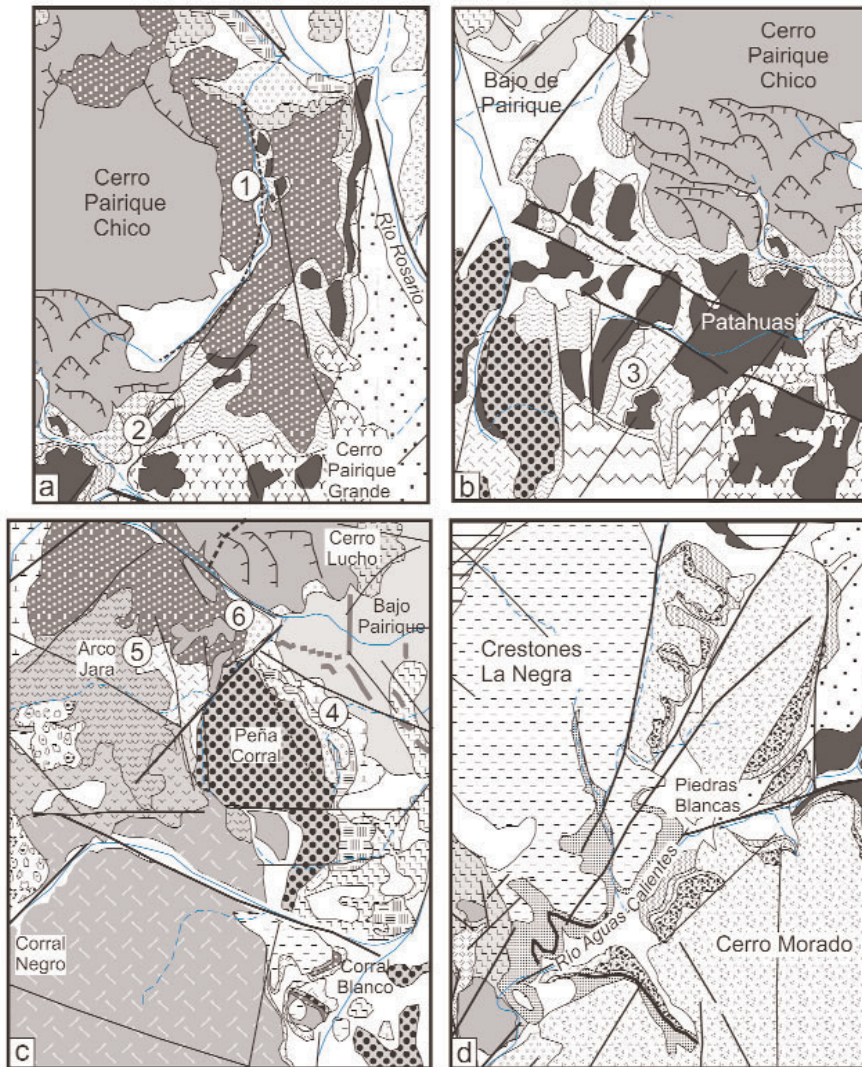


Figura 3: Detalles del mapa de la Fig. 2. Los números corresponden a las columnas de la Fig. 4. a) Área cerro Pairique Chico - cerro Pairique Grande. b) Área cerro Pairique Chico - Patahuasi. c) Área cerro Lucho - Peña Corral - Corral Blanco. d) Área cerro Morado - río Aguas Calientes - Piedras Blancas.

apareciendo más al norte.

En Patahuasi (Fig. 4, columna 3), la ignimbrita consta de cuatro unidades de flujo (2 - 18 m), separadas por depósitos de oleadas piroclásticas (7-30 cm) y por lapillitas de caída proximales (pómez: 2-6 cm; líticos: 2-5 cm) de 25-30 cm de espesor. Los depósitos de flujo muestran gradación inversa de la pómez (hasta 25 cm) y normal de los fragmentos líticos (hasta 10 cm). La unidad de flujo superior presenta una elevada (15 %) proporción de estos últimos. En Arco Jara (Fig. 4, columna 5) la sucesión consiste de un par de unidades de flujo amalgamadas en la base (18 m), separadas de una ignimbrita brechosa superior (líticos 20 cm) de 8 m de potencia por un lahar (4 m) y dos

lapillitas de caída (100-50 cm) con bloques dacíticos (5-20 cm) emplazados balísticamente. La mineralogía de la pómez está compuesta por cuarzo (4-5 mm), plagioclasa, biotita e ilmenita y muy exiguo piroxeno. La presencia de abundantes (> 5 a 1 %) xenolitos ovoidales dioríticos es típica de esta unidad. Los fragmentos líticos restantes (80%) son predominantemente connatos, de aspecto y composición similar a la pómez. Fragmentos de un pórfido (tipo Poquis), ignimbritas soldadas, escasas andesitas basálticas y lavas microgranosas semejantes a las del Bajo de Pairique (véase más abajo) representan los líticos accesorios y accidentales.

La semejanza de los afloramientos de Arco

Jara con la Ignimbrita Granada llevó a Coira *et al.* (1996) a considerarlos como parte de esta última unidad. Sin embargo, las edades $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de dos muestras (Cuadro 1), una tomada al sur de Patahuasi ($11,54 \pm 0,09$ Ma) y otra en Arco Jara ($11,29 \pm 0,16$ Ma), permiten situar la erupción de la Ignimbrita Arco Jara $\sim 1,5$ Ma antes que la de la Ignimbrita Granada.

Dacita Lina

Agrupar lavas dómicas, lavas masivas y brechosas, así como depósitos de flujos de bloque y ceniza. Las rocas, petrográficamente indistinguibles entre sí, tienen abundantes fenocristales de plagioclasa, cuarzo, biotita y ortopiroxeno muy alterados, apatita, óxidos de Fe-Ti y ocasional cordierita tabular.

Las lavas masivas y brechosas ocupan un campo extenso rodeando por el noreste y sureste a las lavas dómicas más altas ubicadas en el cerro Lina ($23^{\circ}01'S-66^{\circ}50'O$, Fig. 2). En los afloramientos septentrionales intercalan depósitos de flujos de bloque y ceniza de hasta 20 m de potencia, con bloques (35-100 cm) de composición idéntica a las lavas que exhiben diaclasamiento prismático. La Dacita Lina se apoya sobre las unidades descritas precedentemente, pero su posición estratigráfica superior es incierta.

Ignimbrita Coyaguayma

Esta unidad sobreyace al pórfido de Poquis en el río Aguas Calientes y a la plataforma de Lavas Pairique Grande en la quebrada de Patahuasi (Fig. 3b y 6). En su perfil tipo, ~ 8 km al noreste del cerro Agua Dulce, comprende dos unidades de flujo de espesor total 18 m, con hasta 5 % de litoclastos riolíticos y del basamento ordovícico (10 cm promedio). En el sector central del área de estudio (Fig. 3b) la ignimbrita es más delgada (<10 m) y de granulometría más fina (líticos < 1% y < 2 cm). La pómez de la Ignimbrita Coyaguayma es riolítica y su asociación mineral peraluminosa, con cuarzo, plagioclasa, sanidina, biotita, granate y sillimanita (Fig. 7c). Su edad está acotada por un fechado $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (biotita) de $11,28 \pm 0,03$ Ma (Cuadro 1).

Secuencia volcanoclástica de Patahuasi y andesitas intercaladas

Hacia el sur, este y noreste de Pairique (Fig.

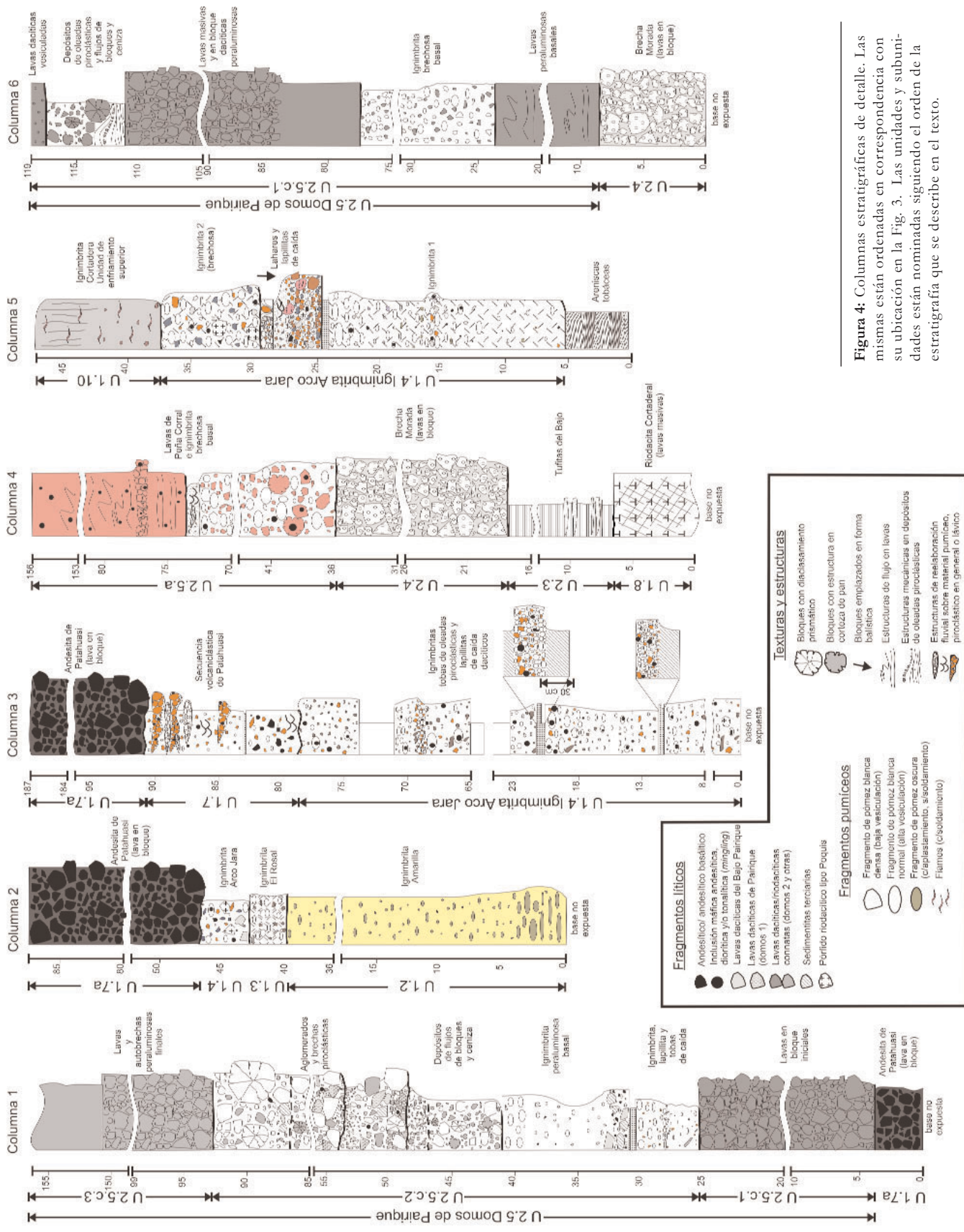


Figura 4: Columnas estratigráficas de detalle. Las mismas están ordenadas en correspondencia con su ubicación en la Fig. 3. Las unidades y subunidades están nominadas siguiendo el orden de la estratigrafía que se describe en el texto.

2) aflora una secuencia volcanoclástica gris a rojiza de 35-50 m de potencia (Fig. 5b) que cubre a la Ignimbrita Coyaguayma (Figs. 3b y 3d). Incluye bancos de aglomerados y conglomerados tufíticos, en parte brechosos, así como areniscas tobáceas de 3-10 m de potencia individual, compuestos por material piroclástico y lávico retrabajado en un ambiente fluvial. Intercalados en sus niveles superiores aparecen mantos de andesitas y más esporádicamente algunas tobas de caída (ej.: Fig. 4, columna 3).

Trizas y pómez conforman principalmente la matriz de las rocas volcanoclásticas y son composicionalmente semejante a las de las Ignimbritas El Rosal y Arco Jara. Los clastos mayores provienen de las lavas Pairique Grande, Bajo de Pairique y Dacita Lina. Las mismas andesitas intercaladas son incorporadas como material clástico en los estratos más altos de la secuencia.

Inmediatamente al este de Pairique Chico (Fig. 3a) esta unidad exhibe deformación intensa por cizallamiento, con presencia de meso- y megabloques (0,5 a 60 m de largo) andesíticos lentiformes resultantes de la fracturación de las coladas.

Andesitas: Se trata de lavas masivas y brechosas andesíticas a andesítico basálticas de espesor total muy variable (2 - 96 m) y disectadas por fallamiento, aflorantes al sur y norte de Pairique (Figs. 3b-d y 5b). Estas coladas olivino-piroxénicas (orto y clinopiroxeno), o bien ortopiroxénicas, se encuentran entre las lavas máficas más antiguas de la región de Puna norte. Su erupción queda acotada entre $11,28 \pm 0,03$ Ma, edad de la subyacente Ignimbrita Coyaguayma, y $10,89 \pm 0,16$ Ma, fechado de lavas iniciales de los domos superiores del complejo volcánico Pairique (véase más abajo) que la cubren.

Riodacita Cortaderal

Constituye un amplio campo de lavas, autobrechas dacíticas verdosas a amarillentas y depósitos de flujos de bloques y ceniza asociados, muy extendido hacia el norte y oeste de Pairique (Fig. 2). Sin observarse una base aflorante, subyacen a ignimbritas y a lavas del Nevado Torona-San Pedro. Los depósitos de flujos de bloques y ceniza, con bloques de hasta 50 cm inmersos en una matriz vitro-cristaloclástica, se pueden observar en Puesto Cortadera (15-20 m de espesor). La

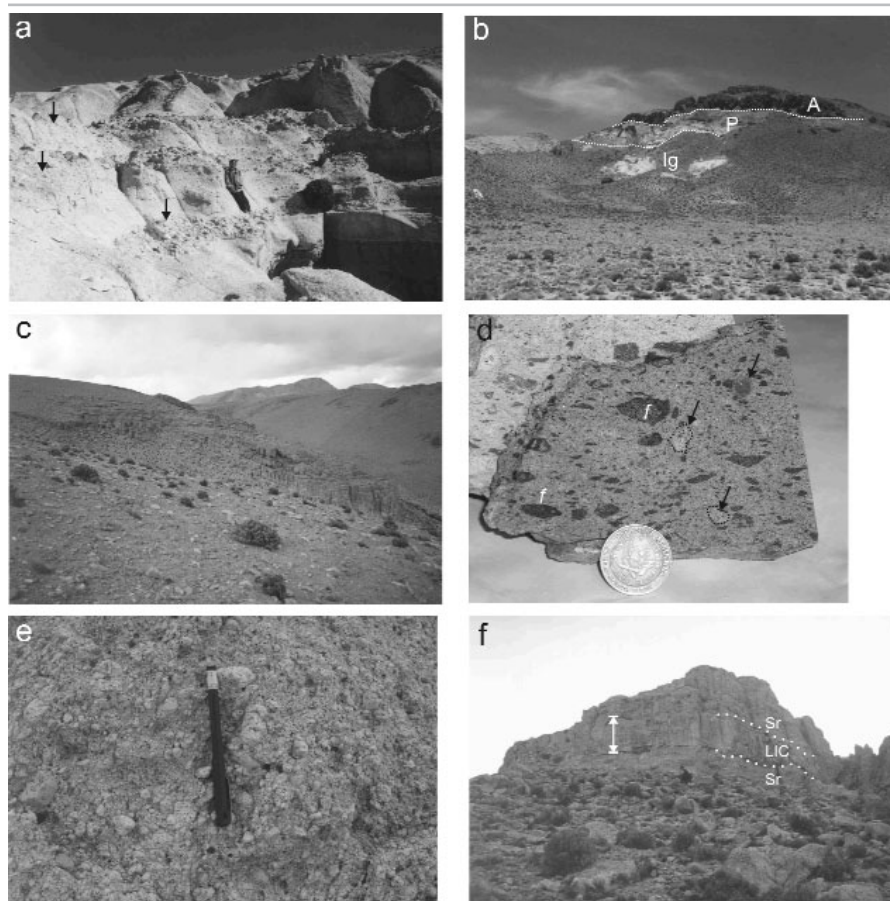


Figura 5: a) Base de la Ignimbrita El Rosal, en su localidad tipo. Nótese los techos enriquecidos en fragmentos pumíceos de gran tamaño en tres unidades de flujo sucesivas (flechas). b) Coladas de andesitas brechosas (A) que se intercalan en los niveles altos de la secuencia volcanoclástica de Patahuasi (P), la que a su vez cubre a la Ignimbrita Arco Jara (Ig) c) Rampas y lineamiento de flujo de la Riolita Corral Negro. d) Textura eutaxítica en ignimbrita soldada, con fiames (f) de composición idéntica a la Riolita Corral Negro y abundantes líticos dacíticos redondeados (flechas). e) Ignimbrita Cortadera (unidad de enfriamiento inferior) en su sección tipo, una típica textura deprimida en finos (FDI). f) Depósito lapillítico de caída (LIC) de la Ignimbrita Cortadera, de ~4 m de potencia (barra), intercalado entre dos niveles volcanoclásticos (Sr) de la secuencia volcanosedimentaria del Filo Blanco.

composición petrográfica de la Riodacita Cortaderal incluye fenocristales de cuarzo, plagioclasa a veces disuelta, sanidina engolfada ocasional, biotita y escasos opacos en pasta vítrea desnaturalizada a un mosaico felsítico incipiente. Algunos sectores exhiben silicificación importante.

Riolita Corral Negro

Ésta es una extensa unidad (Fig. 2) que al sureste del Nevado Torona-San Pedro se apoya en *onlap* sobre lavas dómicas de este último, cubriendo a su vez a lavas correlacionables con las de Pairique Grande. Su espesor es de 220 m en su extremo norte y 260 m en su sección media, donde se reconoce una sugestiva estructura en forma de herradura de 3.7 x 2.3 km (Laguna Comi-

saría, Fig. 2) que podría indicar una posible zona de emisión. Su mineralogía, integrada por plagioclasa, biotita, cordierita (Fig. 7d) y ocasionales cuarzo e ilmenita, sugiere cierto parentesco petrogenético con volcanitas peraluminosas de Pairique (véase abajo). La Riolita Corral Negro tiene aspecto de lava vítrea, fuerte foliación de flujo con plegamientos internos y rampas (Fig. 5c), brechas soldadas (Sparks *et al.* 1993) y autobrechas internas, elementos típicos de campos de lavas silíceas (Henry y Wolff 1992). Sin embargo, en Arco Jara, donde la roca se adelgaza considerablemente hasta casi desaparecer, fueron hallados remanentes de una ignimbrita soldada con fiames de composición y textura idénticos a las rocas de aspecto lávico (Fig. 5d). Esto sugiere que la

Riolita podría ser una ignimbrita vitrofírica intensamente soldada, o bien que existieron erupciones explosivas acompañantes al emplazamiento del campo de lavas mayor. Una edad $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (biotita) de $10,89 \pm 0,18$ Ma (Cuadro 1) sitúa su erupción en sincronía con algunas lavas de los Domos de Pairique.

Ignimbrita Cortadera

Esta unidad, de potencia total ~ 75 m, tiene dos unidades de enfriamiento. La inferior (60 m) comprende cinco unidades de flujo

ignimbríticas gris blanquecinas sin soldar, que en Puesto Cortadera (Fig. 2) corresponden a una facies deprimida en finos (Walker *et al.* 1980). Aspectos típicos en ella son: matriz con escaso material < 2 mm (Fig. 5e), niveles lapillíticos basales con estratificación cruzada, alineaciones de bloques (hasta 20 cm) de material juvenil denso y elevado redondeamiento del material pumíceo. Adquiere una apariencia ignimbrítica normal ~ 7 km al sur, en Arco Jara (Fig. 3c). La unidad de enfriamiento superior (15 m) es roji-

za, tiene abundante material fino y está soldada. La Ignimbrita Cortadera se distribuye alrededor del borde noreste del Nevado Torona-San Pedro y en las cercanías de cerro Lucho. Donde aflora su base se observa que cubre a la Ignimbrita Arco Jara (Fig. 4, columna 5). Una variante facial de esta unidad queda representada por un potente (~ 4 m) depósito lapillítico (3-15 mm) de caída, el cual está intercalado en la secuencia volcanosedimentaria del Filo Blanco que subyace a las andesitas de Cerro Morado (Figs. 3d y 5f).

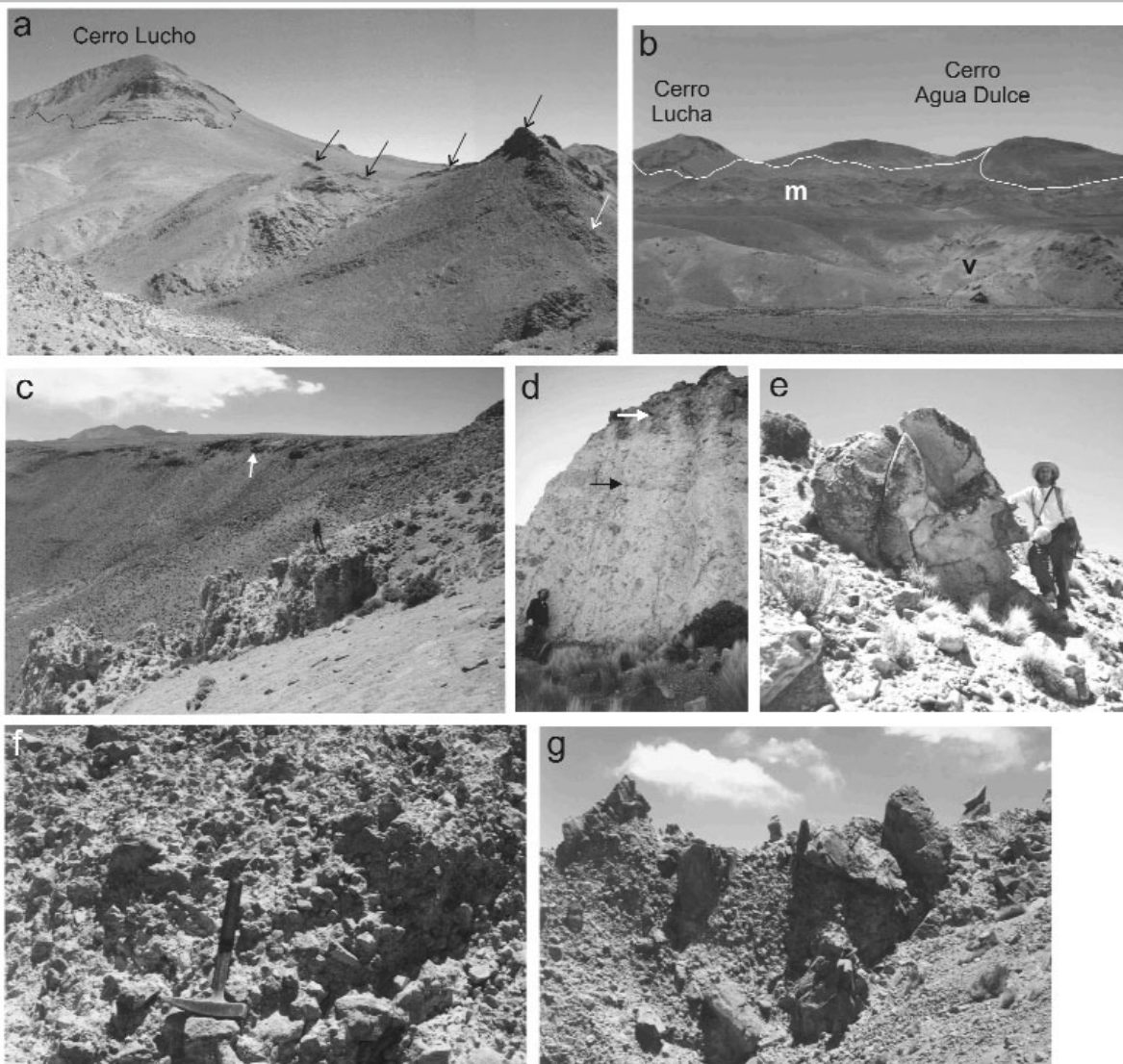


Figura 6: a) Lavas microgranosas del Bajo. Diques dacíticos (flechas), que se correlacionan con los Domos de Pairique, intruyen a las primeras. b) Complejo volcánico Pairique. En primer y segundo plano se observan las lavas vítreas (v) y microgranosas (m) del Bajo; al fondo destaca el conjunto de domos de diseño semianular. c) Depósito de flujo de bloques y ceniza integrante de los domos inferiores de Pairique, cubierto por las andesitas del cerro Morado (flecha). d) Dos niveles de flujos de bloques y ceniza (la flecha negra marca la base del más alto) correspondientes a los domos superiores de Pairique. La flecha blanca señala el contacto irregular y erosivo del depósito de la Fig. 6f. e) Bloque de pómez densa con diaclasamiento prismático y estructura en corteza de pan por enfriamiento brusco; domos superiores de Pairique. f) Estructura clastosostenida en la base de un depósito piroclástico brechoso (domos superiores). g) Depósito de flujos de bloques y ceniza gruesos (domos superiores). Ubicación de las fotos: a) SE cerro Lucho. b) Vista desde Corral Blanco hacia el norte. c) Al este de Piedras Blancas. d-f) Borde oriental del cerro Pairique Chico. g) Borde noroccidental del cerro Pairique Chico.

Todas las facies descritas presentan dos tipos de pómez: el más abundante es blanco, vesiculado y rico en cristales (hasta 20 %), y el otro, marrón, poco vesiculado y pobre en cristales (<12 %). Pómez y litoclastos comparten una misma asociación modal, compuesta por plagioclasa, biotita y escasos cuarzo, sanidina e ilmenita. Caffè *et al.* (2007) acotaron la edad de la Ignimbrita Cortadera (Cuadro 1) entre $10,7 \pm 0,1$ Ma (inferior) y $11,1 \pm 0,3$ Ma (superior), y la correlacionaron con ignimbritas de la depresión de Vilama (Laguna Catal), sugiriendo una cobertura areal de ~ 300 km².

Riolita Torona

Agrupar lavas y depósitos de flujos de bloques y ceniza que conforman la plataforma del Nevado de Torona-San Pedro, así como a las lavas dómicas superiores del volcán. Los depósitos de flujos de bloques y ceniza (15 m de potencia) cubren a la Ignimbrita Cortadera (Fig. 3c) y se intercalan entre coladas de lava de plataforma, de espesor estimado >100 m. Las piroclastitas presentan bloques con diaclasamiento prismático, de hasta 1 m de diámetro, con características petrográficas semejantes a las lavas. Se

trata de riolitas porfíricas vesiculadas fluidales, con plagioclasa y biotita, y exiguos cuarzo y sanidina engolfada; apatita, circón y opacos son accesorios comunes. Las coladas de lava de plataforma no exhiben su base en la mayor parte del flanco argentino del volcán (Fig. 2), aunque hacia el sector central pudo observarse que sobreyacen a la Riodacita Cortaderal.

Una muestra tomada ~ 3 km al suroeste de Puesto Cortadera arrojó una edad $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de $11,3 \pm 0,3$ Ma (Cuadro 1). La edad y estratigrafía observadas sugieren que el Nevado de Torona-San Pedro es uno de los volcanes más antiguos de Puna norte.

Secuencia volcanosedimentaria del Filo Blanco

Esta unidad consiste de depósitos de flujos de detritos y volcanoclásticos retrabajados, así como delgadas ignimbritas riodacíticas que se hallan intercaladas entre aquéllos. La secuencia alcanza un espesor de 160 m al norte de Pairique, rellenando un paleovalle que hoy está disectado por el río Aguas Calientes (Figs. 2 y 3d). Los depósitos fluviales y aluviales consisten de componentes mayormente volcánicos y similares a lavas dó-

micas inferiores de Pairique (véase más abajo). Como a 10 m de su base las sedimentitas intercalan con la lapillita de caída de la Ignimbrita Cortadera (Fig. 5f), su deposición debe haber comenzado a $\sim 10,8$ Ma (edad de la ignimbrita). El final de la sedimentación, de edad mínima $\geq 8,76$ Ma, queda marcado por la erupción de la unidad que se describe a continuación.

Dacita Crestones La Negra

Se trata de un conjunto de coladas de lavas y depósitos de bloques y ceniza dacíticos que afloran principalmente hacia el norte del anillo de domos de Pairique y, con menor expresión, al suroeste del mismo (Fig. 2). Son muy uniformes en composición petrográfica, comprendiendo plagioclasa cribada, biotita, abundante ortopiroxeno y óxidos de Fe-Ti y escaso cuarzo, en una pasta vítrea muy fresca. El paquete de dacitas y sus variantes piroclásticas cubren a los domos superiores de Pairique y a la secuencia volcanoclástica del Filo Blanco, alcanzando un espesor >80 m al noroeste y de 25 m al sur. Su edad $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, obtenida al norte del domo cerro Agua Dulce, es de $8,76 \pm 0,06$ Ma (Cuadro 1).

Ignimbrita Vilama (Coira *et al.* 1996)

Aflora en el sector septentrional del área de estudio (Fig. 2) como un delgado (15-18 m) manto ignimbrítico color rosado pálido, moderadamente soldado, con escasos fragmentos líticos y fiames dacíticos pequeños. La mineralogía consta de plagioclasa, cuarzo, biotita, clino y ortopiroxeno, hornblenda y óxidos de Fe-Ti. Soler (2005) propuso que esta unidad de $\sim 8,5$ Ma fue eruptada desde la caldera Vilama, distante ~ 40 km al norte de Pairique.

Andesitas de Cerro Morado (Coira *et al.* 1996)

Este conjunto de volcanitas intermedias y máficas aflora hacia el noreste de Pairique, cubriendo varias unidades descritas más arriba (Fig. 2). Varían composicionalmente entre andesitas hipersténicas a andesitas basálticas olivínico-piroxénicas e incluyen tanto coladas de lava como conos de escorias estrombolianos (Cabrera 2005). Coladas máficas y conos que aparecen hacia el sur, en la quebrada del río Toro (Fig. 2), se co-

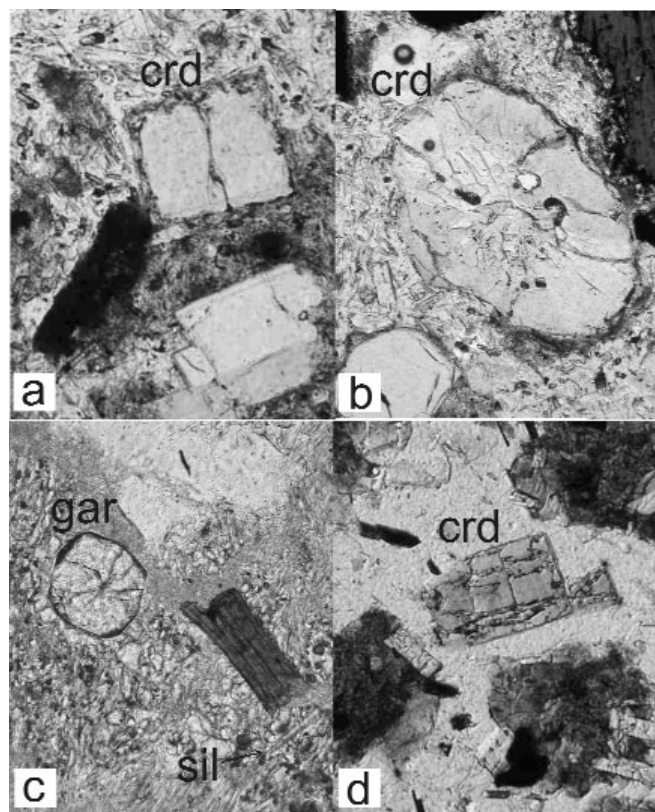


Figura 7: Fotomicrografía de algunas lavas e ignimbritas peraluminosas de la zona. a) Cordierita (crd) tabular de origen magmático en lavas superiores del cerro Lucho. b) Cordierita redondeada con núcleo esqueletal, en lavas del cerro Lucho. c) Asociación de granate (gar), biotita y sillimanita (sil) en la Ignimbrita Coyaguayma. d) Cristal euhedral de cordierita en la Riolita Corral Negro.

relacionan tentativamente con esta unidad. Su edad fue determinada en $6,7 \pm 0,4$ Ma (Cuadro 1).

Ignimbritas de Coranzulí (Seggiaro 1994) Estas fueron emitidas desde la caldera homónima, distante ~ 40 km al este-noreste del área de Pairique. Al sureste del área de estudio (Fig. 2) afloran como mesadas discontinuas de ~ 15 m de potencia, que cubren en onlap a la Formación Peña Colorada. Exhiben suave induración y abundantes cristales de plagioclasa, cuarzo, sanidina y biotita, fragmentos pumíceos muy pequeños (< 1 cm) y escasos litoclastos del basamento ordovícico. La edad (K/Ar) asignada por Seggiaro (1994) es $6,60 \pm 0,15$ Ma.

ESTRATIGRAFÍA DE LA ESTRUCTURA ANULAR

Lavas Bajo de Pairique

Se trata de bancos dislocados (Figs. 6a y b) de rocas dacíticas porfíricas que en planta forman un sector rectangular elongado al NE de ~ 32 km² ubicado en el Bajo de Pairique (Fig. 2). Las lavas se caracterizan por presentar afloramiento abochado (Fig. 6a), apariencia erodada y tonalidad verdosa a amarillenta por alteraciones silíceas, argílicas y propilítica que localmente son pervasivas. Su aspecto degradado general se debe tanto a esta alteración como a una intensa deformación de tipo frágil.

Entre estas lavas se pueden distinguir petrográficamente dos grupos. El primer grupo corresponde a dacitas moderadamente peraluminosas, compuestas por fenocristales de cuarzo, plagioclasa, biotita, ortopiroxeno, ilmenita y cordierita ocasional, en una pasta desvitrificada microgranosa a granofírica con abundancia de microlitos orientados de plagioclasa y ortopiroxeno. El segundo grupo, predominante hacia el sur del Bajo, comprende lavas que carecen de cordierita y que tienen una pasta vítrea mejor preservada.

Las Lavas Bajo de Pairique se encuentran entre las rocas estratigráficamente más antiguas de la zona. Su base no aflora, pero como son cubiertas en su extremo sureste por la Ignimbrita Coyaguayma (Fig. 3b), deben ser previas a $11,28 \pm 0,03$ Ma. Esto es consistente con la presencia de las Lavas

del Bajo por debajo de la Riodacita Cortaderal (Fig. 3c), cuya edad es $>11,3 \pm 0,3$ Ma (pre-lavas de plataforma del Nevado Torona - San Pedro).

Diques del Bajo

Las lavas del Bajo son intruídas, en los bordes norte, este y oeste, por numerosos diques dacíticos tabulares (Fig. 6a) dispuestos en *echelon* y a veces con formas sigmoidales. Sus espesores varían de 20 cm hasta ~ 15 m, más frecuentemente entre 1 y 5 m. Los diques tienen mineralogía y textura similares a las de los domos de Pairique. Así, se distinguen petrográficamente dos tipos, uno de tendencia peraluminosa (con plagioclasa, cuarzo, biotita, ortopiroxeno, ilmenita, cordierita magmática y escasa sanidina) y otro menos peraluminoso (sin cordierita), correlacionándose con los domos superiores e inferiores del anillo de Pairique, respectivamente (véase más abajo).

Tufitas del Bajo

Esta secuencia de tonalidad pardo-oscuro y escaso espesor (≤ 15 m) aparece saltuariamente (Fig. 2) cubriendo a las Lavas Bajo de Pairique en sus bordes oriental (Pairique Chico) y suroeste (Corral Blanco). Al oeste (Peña Corral) sobreyace a la Riodacita Cortaderal (Fig. 4, columna 4).

Los niveles tufíticos de granulometría más fina (limoarcílicos) presentan delgados (5 mm) bandeamientos rítmicos tipo varves, mientras que las areniscas son generalmente masivas. Las tufitas están alteradas por carbonatización especialmente en Pairique Chico, donde se produjo una reacción importante con diques alimentadores de los domos y con las mismas lavas, formándose localmente un pequeño skarn de andradita-diópsido-epidoto.

Al microscopio se observa que limoarcilitas y areniscas finas son muy ricas en material tobáceo fino. La proporción de pumicitos y fragmentos vítreos pulverulentos alterados (arcillas) es elevada, así como cristaloclastos subredondeados a angulosos (< 1 mm) de plagioclasa zonal, cuarzo, opacos, biotita y piroxenos alterados. Los fragmentos líticos (< 1 mm) son de dacitas semejantes a las Lavas del Bajo (microcristalinas y vítreas), andesitas máficas y clastos menos abundantes de rocas del basamento ordovícico.

Brecha Morada

De tonalidad violácea a rojiza, esta unidad aparece tanto hacia el noreste como al noroeste de la estructura anular de Pairique (Fig. 2). Fuera de la misma, ~ 5 km al noreste de Pairique Chico, constituye coladas brechosas delgadas (5 m) que se apoyan sobre la secuencia volcánicla de Patahusi, mientras que inmediatamente al este de la estructura de Pairique (Fig. 3a) es mucho más potente (67 m). En el borde occidental de esta última (Fig. 3c) cubre a las Tufitas del Bajo. Su asociación modal está integrada por fenocristales de cuarzo, plagioclasa, abundante sanidina y félicos (biotita y ortopiroxeno) bastante alterados. Ocasionalmente aparece cordierita magmática esquelética, fresca y en equilibrio con la pasta.

Domos de Pairique

La estructura anular de Pairique queda resaltada por el emplazamiento de domos a favor de la misma. Según la posición estratigráfica y sus características petrográficas se distinguen tres grupos:

Lavas de Peña Corral y depósitos piroclásticos asociados: Afloran como una pequeña mesada o coulé de ~ 80 m de espesor (Fig. 3c) que cierra la estructura anular por el suroeste. Ignimbritas brechosas dacíticas ubicadas hacia la base (40 m) también integran la unidad en Peña Corral (Fig. 4, columna 4). Las lavas pasan lateralmente hacia el sureste (Fig. 2) a depósitos de flujos de bloques y ceniza e ignimbritas (50-30 m). Estas volcánitas contienen fenocristales de plagioclasa, ortopiroxeno, biotita, óxidos de Fe-Ti y exiguos cuarzos y son carentes de cordierita magmática, al igual que los domos inferiores del anillo de Pairique. Sin embargo, a diferencia de aquéllos, presentan abundantes (1 - 5 %) enclaves máficos redondeados (300 - 2 mm de diámetro) que evidencian mezcla mecánica (*mingling*) con magmas andesíticos. Las lavas de Peña Corral cubren a algunas rocas descritas más arriba (p.ej.: la Ignimbrita Arco Jara o la secuencia volcánicla de Patahusi) y a la Brecha Morada (Fig. 4 columna 4).

Domos inferiores del anillo de Pairique (calcoalcalinos): Consisten principalmente de lavas dómicas (100-200 m de espesor) que, con distribución semianular, siguen la estructura principal de Pairique (Fig. 2). Apoyan direc-

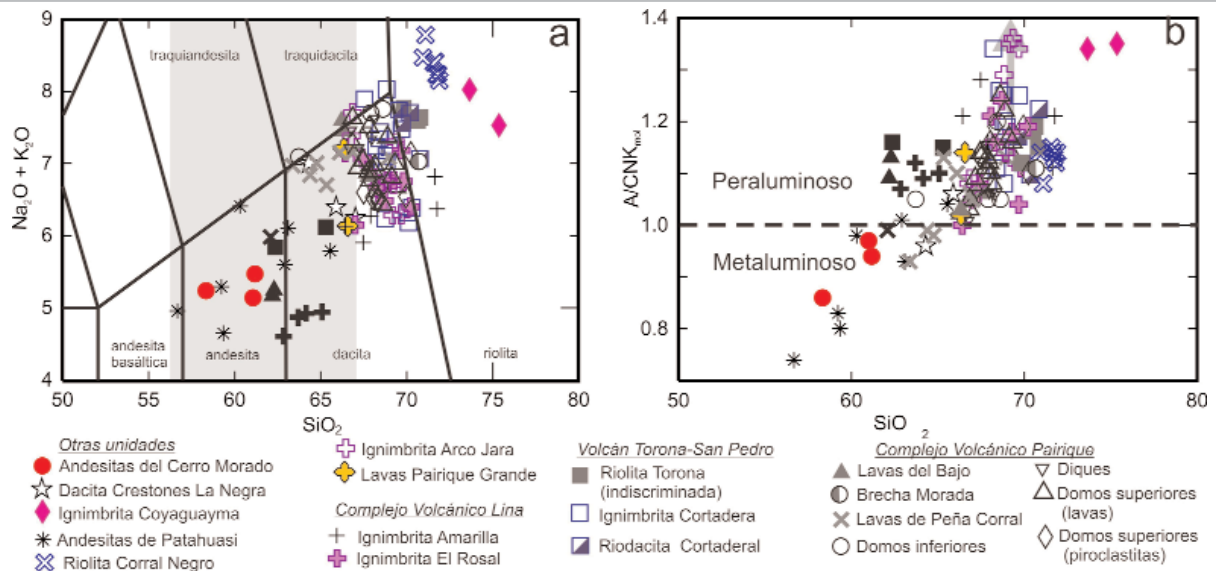


Figura 8: a) Diagrama TAS (Le Maitre 1989) de clasificación de rocas de la región de Pairique. El área sombreada representa el rango de SiO₂ del grupo menos evolucionado (andesítico-dacítico). b) Saturación en Al₂O₃ de las rocas de la región de Pairique. La flecha indica una probable tendencia de removiliación de álcalis y CaO por alteración. Los símbolos son los mismos que en a.

tamente sobre las Lavas del Bajo, o bien sobre las tufitas que cubren a éstas últimas. En su margen externo sobreyacen a la Brecha Morada (Fig. 3a) y a la Ignimbrita El Rosal (Fig. 3d). Se trata de dacitas porfíricas, compuestas por fenocristales de plagioclasa, biotita, ortopiroxeno y escasos cuarzo y anfíbol, en pasta felsítica incipiente con abundantes microlitos de apatita. Un depósito de flujos de bloques y ceniza de 15 m de espesor que aflora al norte, extendiéndose por ~7 km (Fig. 3d), se puede correlacionar con las lavas dómicas. Dicha piroclástica (Fig. 6c) presenta grandes fragmentos (10 - 150 cm) de pómez densa (vesiculación <50 %) y de dacitas (5-40 cm) idénticas en textura y mineralogía a las lavas.

Una datación K/Ar de una lava de la base del cerro Lucha (Cuadro 1) arrojó un resultado muy impreciso: 11,5 ± 1,2 Ma (Coira *et al.* 1996). Esta edad, desafortunadamente, no permite determinar el tiempo transcurrido entre este evento y el que se describe a continuación.

Domos superiores del anillo de Pairique (peraluminosos): Este conjunto (Fig. 2) agrupa gran cantidad de rocas que reflejan la compleja dinámica de edificación del anillo de domos. Pómez y lavas comparten una mineralogía compuesta por abundante plagioclasa, biotita e ilmenita, y variables proporciones de cuarzo, ortopiroxeno y cordierita (Figs. 7a-b). Este último mineral, siempre presen-

te, refleja el carácter peraluminoso de las rocas. Los fenocristales están dispuestos en una pasta vítrea con abundantes microlitos (plagioclasa, ortopiroxeno y cordierita) y variable grado de desnaturalización.

a) Lavas y piroclásticas iniciales: Las primeras rocas peraluminosas que conforman el anillo dómico superior aparecen como lavas en bloque (5-50 m de espesor) al este y sur de Pairique Chico, o bien como pequeñas coladas masivas (20-40 m) que coronan la estructura anular al suroeste y noroeste. Estos registros suceden a las andesitas de Patahuasi (Fig. 4, columna 1), así como a las lavas de Peña Corral, al suroeste. Se caracterizan petrográficamente por su abundancia en ortopiroxeno y baja proporción de cuarzo. La edad de una de las lavas en bloque ubica este episodio en 10,89 ± 0,16 Ma (Cuadro 1).

Al suroeste del cerro Lucho (Fig. 3c) también se observa una secuencia de rocas peraluminosas de 120 m de potencia que sucede a la Brecha Morada (Fig. 4, columna 6). Allí, coladas de lavas y una ignimbrita basal (50 m) de 10,55 ± 0,14 Ma (Cuadro 1), subyacen a una secuencia de 70 m de espesor de lavas (10,75 ± 0,12 Ma), depósitos de flujos de bloque y ceniza con clastos de hasta 1 m de diámetro y oleadas piroclásticas menores. Al contrario de las rocas aflorantes más al sur, este grupo es pobre en ortopiroxeno y más rico en cuarzo. Gruesos

(bloques de hasta 3 m) depósitos de flujos de bloques y ceniza (30-70 m) que afloran cubriendo a lavas de los domos inferiores en el cerro Pairique Chico (Figs. 2 y 6g) se correlacionan con este evento.

b) Ignimbritas, tobas, brechas y aglomerados piroclásticos: Al este de Pairique Chico (Figs. 3a y 4, columna 1) aflora una secuencia que comienza con una ignimbrita basal de ~6 m de potencia y tobas de caída asociadas, que cubren a las lavas en bloque descritas precedentemente. Les sigue una sucesión potente (~ 60 m) compuesta por aglomerados y brechas piroclásticas masivas con elementos juveniles composicionalmente similares a las lavas dómicas más jóvenes (ver abajo). La base es una ignimbrita (10 m) rica en fragmentos líticos de Lavas del Bajo, sedimentitas terciarias y andesitas. Hacia arriba, dos depósitos de flujos de bloques y ceniza (2 - 4 m) de base plana y aspecto caótico y masivo (Fig. 6d), presentan exclusivamente elementos juveniles poco vesiculados: bloques dacíticos (12-30 cm) y pómez densas (40-75 cm). Por encima, cuatro bancos brechosos clastosostenidos (Fig. 6f) exhiben bases erosivas (Fig. 6d) y una parte superior fina y matriz-sostén. Componentes juveniles poco vesiculados (dacitas y pómez densas) son predominantes sobre clastos accesorios (Lavas del Bajo y domos inferiores; 5-10 %), mientras que fragmentos accidentales (volcanitas previas y sedi-

mentitas terciarias) constituyen <1 %. Los dos depósitos (15 m cada uno) más altos de la columna son matriz sostenidos y presentan clastos de pómez densas con diaclasamiento prismático, de hasta 2.5 m de diámetro (Fig. 6e), bloques dacíticos (5-10 %) de hasta 40 cm de largo y líticos accidentales escasos (Lavas del Bajo, sedimentitas terciarias y andesitas).

Salvo las ignimbritas basales, donde predominan las trizas vítreas muy vesiculadas, todos los demás depósitos se caracterizan por la abundancia fragmentos vítreos juveniles (trizas y pómez densas) poco vesiculados. Una datación $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (Cuadro 1) de $10,43 \pm 0,05$ Ma, obtenida de uno de los depósitos de flujo de bloque y ceniza basales, se considera representativa de la edad de este grupo de rocas.

c) Lavas dómicas peraluminosas finales: La construcción de los domos culmina con la efusión de lavas dacíticas peraluminosas y autobrechas (Fig. 4, columna 1) que se emplazan a lo largo de la fractura anular al norte, y que constituyen los domos de los cerros Pairique Chico, Agua Dulce, Lucha y Lucho (Figs. 2 y 6a-b). La edad de este evento queda acotada por una datación (Cuadro 1) de $10,31 \pm 0,04$ Ma, tomada sobre lavas del cerro Lucho.

CLASIFICACIÓN GEOQUÍMICA Y SATURACIÓN EN Al_2O_3

Los datos geoquímicos de roca total se presentan sólo con el objeto de clasificar las rocas de la zona de estudio. Los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Geoquímica del Instituto de Geología y Minería - UNJu, por el método de Fluorescencia de Rayos X (FRX). La metodología analítica aplicada es descrita en detalle en Caffè *et al.* (2002).

Las rocas de la zona comprenden varias composiciones (Fig. 8a), agrupadas como dos grandes conjuntos. El grupo menos evolucionado (grupo andesítico-dacítico) abarca desde andesitas basálticas con ~55 % SiO_2 hasta dacitas con $\text{SiO}_2 < 67$ %. El mismo incluye a las coladas andesíticas de la región, a la plataforma de Lavas Pairique Grande, la Dacita Crestones La Negra, los enclaves máficos que aparecen en varias de las volcanitas, la unidad de enfriamiento basal de la Ignimbrita Amarilla. Algunas

lavas de los Domos de Pairique (p.e. Lavas Peña Corral) y la Ignimbrita Arco Jara (pómez) también forman parte de este grupo cuando exhiben texturas de *mingling*. El grupo más félsico (Fig. 8a), integrado por el resto de las rocas de la zona, comprende mayoritariamente dacitas con $\text{SiO}_2 \geq 67$ % (riodacitas) y riolitas bajas en $\text{SiO}_2 (< 72$ %). La Ignimbrita Coyaguayma presenta composiciones leucoriolíticas de alta SiO_2 (74-76%). Todas las rocas estudiadas pertenecen a la serie calcoalcalina de alto K_2O . De ellas, el grupo máfico tiene tendencia metaluminosa a débilmente peraluminosa entre los miembros dacíticos más evolucionados, típico de la serie calcoalcalina (Fig. 8b). Los enclaves máficos, sin embargo, son siempre más peraluminosos que lavas con contenidos de SiO_2 semejante. Las Lavas Peña Corral varían ampliamente en saturación de Al_2O_3 , reflejo de su hibridización tardía por *mingling*. No obstante, los ejemplares más evolucionados y poco hibridizados no se diferencian con los del grupo félsico. Este último es débil a fuertemente peraluminoso (A/CNKmol 1.05-1.59) y exhibe la misma tendencia calcoalcalina que el grupo máfico (Fig. 8b). Sin embargo, algunas lavas microgranosas del Bajo, los domos superiores, la Riolita Corral Negro y la Ignimbrita Coyaguayma son los únicos representantes de magmas que saturaron una mineralogía magmática rica en Al_2O_3 (cordierita o granate). Esto permite clasificarlas dentro de una suite de tipo fuertemente peraluminosa (Patiño Douce 1999) o como volcanitas tipo S (Chappell y White 2001). Algunas muestras altamente peraluminosas (A/CNKmol >1.2) de unidades que no tienen minerales más aluminosos que biotita (por ejemplo las Ignimbritas Cortadera y Arco Jara), podrían estar reflejando removilización poseruptiva de los álcalis y del CaO (Fig. 8b).

DISCUSIÓN

INTERPRETACIÓN DE LAS ÁREAS DE PROCEDENCIA DEL VOLCANISMO DE PAIRIQUE

En la región existe una gran cantidad de piroclastitas de pequeñas dimensiones, que junto a las que integran el anillo de domos fueron previamente agrupadas como dos grandes unidades: las Ignimbritas Granada

y Pairique Chico (Seggiaro *et al.* 1995, Coira *et al.* 2004). Los afloramientos al pie del Nevado Torona - San Pedro, antes asignados a la Ignimbrita Granada, corresponden a las Ignimbritas Cortadera y Arco Jara, que Caffè *et al.* (2007) separaron de aquélla utilizando criterios geocronológicos y estratigráficos. Las características de las piroclastitas restantes sugieren múltiples eventos no siempre conectados con zonas de procedencia en Pairique. Estas ignimbritas son poco voluminosas (<1 a 5 km^3) y del tipo relleno de valles, con facies débilmente induradas y escaso desarrollo areal (Fig. 1). Para determinar sus procedencias hemos usado principalmente variaciones granulométricas y de espesor. El parecido petrográfico de las piroclastitas o de sus fragmentos líticos con determinadas lavas dacíticas y riolíticas, que por su alta viscosidad y baja capacidad de fluencia suelen indicar bocas de salida, ha sido utilizado también como un criterio para identificar el foco eruptivo.

Complejo volcánico Pairique

El término complejo volcánico, tal como se lo utiliza en este trabajo, satisface la definición de Llambías (2003, p. 169) que lo considera equivalente a la categoría de grupo. Como complemento aclaramos que complejo volcánico es un término que puede ser usado para definir un área de emisión volcánica persistente. Esta última se verá reflejada en una asociación diversa de rocas extrusivas, intrusiones menores relacionadas y sedimentos volcanogénicos derivados de su removilización.

Las unidades que integran el complejo volcánico Pairique se listan en orden estratigráfico:

Lavas Bajo de Pairique: Por su reología y distribución se interpretan como provenientes desde la zona norte del Bajo. Las rocas porfíricas con pastas microgranosas y aún granofíricas, que podrían ser interpretadas texturalmente como intrusivos, despliegan evidentes formas de bancos (Fig. 6a) con rasgos de flujo que sugieren un origen volcánico. A su vez, texturas de enfriamiento brusco, como ser la cristalización de microlitos de ortopiroxeno y plagioclasa orientados previos a la recristalización de la pasta, así como la ausencia de litoclastos, sugieren que se trató esencialmente de coladas de

lava y no de ignimbritas muy soldadas.

Tufitas del Bajo: Sus características composicionales, texturales y sedimentológicas, denotan la presencia de un sistema fluvio-lacustre que se alimentaba de material esencialmente volcánico. La presencia de clastos de andesitas supone conexiones entre el Bajo y los sectores externos con anterioridad a la edificación de los domos superiores. Si bien es difícil establecer a qué episodio piroclástico correspondió el aporte de material pumíceo y tobáceo, se podría colegir que se trató de algún evento eruptivo temprano, tal vez asociado a las Ignimbritas Arco Jara, Amarilla o El Rosal.

Brecha Morada: Por su distribución areal, rodeando la estructura anular, y fundamentalmente por su composición peraluminosa (con presencia de cordierita magmática) que sugiere un vínculo genético con algunas unidades de Pairique, se propone que estas lavas fueron eruptadas desde domos en el borde norte de la estructura anular. Desde allí se habrían distribuido en forma de abanico hacia el noreste como hacia el oeste.

Domos de Pairique y diques del Bajo: En función de su semejanza petrográfica, se interpreta que los diques que intruyen a las lavas del Bajo (Fig. 6a) son equivalentes a los conductos que emitieron a los domos de Pairique. Estos últimos tuvieron crecimientos pulsatorios desde etapas tempranas, donde alternaron eventos efusivos y piroclásticos.

Las lavas dacíticas que integran los domos inferiores se distribuyen en forma semianular, lo que expresa su relación eruptiva con la estructura principal del complejo. Algunos flujos de bloques y ceniza originados en esta etapa se dirigieron al noreste, rellenando un paleovalle hoy disectado por el río Aguas Calientes. Por su parecido petrográfico y estratigráfico, interpretamos que la mesada de Peña Corral integra también parte de este primer episodio.

Un segundo pulso edificó los domos superiores, involucrando una actividad aún más extendida alrededor de la estructura anular, cuyo factor común fue la descarga de magma peraluminoso. La actividad inicial dejó registros volumétricamente poco importantes. Más tarde, la emisión de importantes espesores de ignimbritas y otras piroclásticas brechosas proximales (principalmente en Pairique Chico), así como la efusión de

lavas dómicas a lo largo del margen este y norte de la estructura terminaron por darle la fisonomía actual al complejo.

El carácter pulsatorio de crecimiento de los domos de Pairique supone un largo episodio de descarga de magmas peraluminosos desgasificados.

Complejo dómico Pairique Grande

Conformado exclusivamente por las Lavas Pairique Grande. La plataforma que subyace a los domos, aunque de similar composición, cubre un campo mucho más extenso que los primeros. Dicha plataforma mantiene una relación de aspecto relativamente baja, sugiriendo una geometría tipo coulee y un comportamiento más fluido de las coladas que la integran que las de los domos. Entre otras razones esto pudo deberse a mayores tasas de erupción durante los episodios iniciales, lo que acarreó una menor pérdida de calor y un descenso del esfuerzo tensil durante el flujo (Fink y Anderson 2000).

Complejo volcánico Linaz

Ignimbrita Amarilla: El uniforme contenido de pómez y virtual ausencia de fragmentos líticos en todos los afloramientos dificultan la definición de su polaridad de transporte. Como los afloramientos no son continuos lateralmente, la variación de potencia no es confiable para deducir polaridad. Cierta grado de reelaboración evidente cerca de Pairique Chico sugiere una posición distal para los afloramientos septentrionales. Tentativamente se propone un foco eruptivo coincidente con los domos del cerro Lina, de posición intermedia entre las localidades antes mencionadas.

Ignimbrita El Rosal: En su sección tipo (El Rosal) esta ignimbrita exhibe rasgos de proximidad a su centro emisor. Tanto las unidades de flujo como el depósito de caída basal son ricos en fragmentos líticos, exhibiendo espesores y granulometrías máximas que aumentan en dirección a los domos del cerro Lina. Los depósitos de Ignimbrita El Rosal hallados alrededor del anillo de Pairique o más al norte son mucho más delgados y distales. La variación de espesores, combinada con las características texturales de todas sus facies, sugieren que esta unidad se originó de erupciones plinianas o subplinianas centralizadas en los domos de Lina,

desde donde divergieron flujos piroclásticos tanto hacia el sur como hacia el norte.

Dacita Lina: La distribución de la plataforma de lavas y depósitos de flujo de bloques y ceniza rodeando a los domos (Fig. 2), así como su semejanza desde el punto de vista petrográfico, indicaría una emisión desde una boca hoy cubierta por estos últimos. Señalan además la descarga del magma más desgasificado, posterior a etapas de fragmentación violenta, representadas por las ignimbritas.

Volcán compuesto Nevado Torona-San Pedro

Riodacita Cortaderal: Este grupo de rocas tiene un notorio parecido mineralógico con las lavas y piroclastitas de plataforma del volcán. Su discontinuación en el Bajo de Pairique y el gran espesor que tienen bajo la plataforma, permite interpretar que representaría uno de los primeros eventos asociados al crecimiento de dicha estructura volcánica.

Ignimbrita Cortadera: La unidad de enfriamiento inferior, deprimida en finos, sugiere una posición próxima al centro eruptivo. A su vez, los abundantes bloques líticos similares a las lavas de plataforma indican relación eruptiva con estas últimas.

Las ignimbritas deprimidas en finos resultan de flujos en regímenes muy turbulentos, generalmente asociados a combustión de vegetación en la cabeza del flujo (Walker *et al.* 1980), un mecanismo improbable en la región estudiada. La presencia de una potente facies de caída lapilítica a más de 16 km de donde se encuentran las proximales de flujo (Fig. 5f), sugiere que la columna eruptiva tuvo un importante desarrollo vertical, acorde a una erupción central de gran magnitud. Un colapso de columna desde gran altura o bien el transporte de flujos sobre una fuerte pendiente, podrían alternativamente justificar la turbulencia necesaria para explicar las características de esta ignimbrita.

Riolita Torona: Las lavas de plataforma y los depósitos de flujos de bloques y ceniza se interpretan ligados a etapas de crecimiento y destrucción gravitatoria de lavas o domos del volcán mientras estos aún estaban calientes. Aunque algunas lavas de plataforma cubren a los depósitos de flujos de bloques y ceniza, y estos últimos cubren a la

Ignimbrita Cortadera (~10,7 Ma), las edades radimétricas sugieren que parte de la plataforma (~11,3 Ma) probablemente comenzó a edificarse antes que la erupción de esta última.

Los domos más altos del Nevado Torona-San Pedro también parecen haber sido emplazados en diferentes pulsos. Mientras al sur la relación de contactos con la Riolita Corral Negro sugiere una edad >10,9 Ma, al norte los domos son posteriores a 10,7 Ma, ya que cubren a la Ignimbrita Cortadera y a las rocas de plataforma que sobreyacen a ésta.

Las características geocronológicas y estratigráficas de las diversas facies de la Riolita Torona sugieren que el Nevado Torona - San Pedro involucró la actividad sucesiva de varios conductos de emisión alineados. En consecuencia, el edificio es interpretado como un volcán compuesto (*compound volcano*, Davidson y de Silva 2000).

UNIDADES SIN CENTRO ERUPTIVO DEFINIDO

Ignimbrita Arco Jara

La variación de espesores de esta ignimbrita no es confiable para caracterizar su procedencia. Sin embargo, su distribución alrededor del borde oeste de la estructura anular de Pairique y la gruesa granulometría de sus facies, tanto de flujo como de caída, denotan su proximidad a la fuente eruptiva. Por lo tanto el foco eruptivo podría ubicarse sobre dicha porción de estructura anular, o bien en el Nevado Torona - San Pedro. La presencia de fragmentos líticos de dacitas semejantes a las lavas de plataforma del volcán favorecería esta última interpretación.

Ignimbrita Coyaguayma

Esta unidad exhibe mayor granulometría y espesor hacia el norte de la estructura anular de Pairique (Piedras Blancas, Fig. 3d). Tanto hacia el sur de ese punto, como al este y nordeste del mismo, los depósitos exhiben rasgos más distales, adelgazándose considerablemente. La Ignimbrita Coyaguayma fue erupcionada desde algún centro probablemente ubicado al noroeste del área de estudio.

Andesitas de Patahuasi

Estas lavas no tienen un centro eruptivo al cual ser asignadas, ni quedan remanentes de

depósitos piroclásticos (conos de escorias) que puedan señalar algún punto de emisión. Sin embargo, pueden haber sido erupcionadas desde estructuras distensivas o transtensionales, en similitud a otras lavas máficas más jóvenes de zonas vecinas (Cabrera 2005) y de la Puna (Petrinovic *et al.* 2006), donde sí pueden reconocerse sus centros eruptivos.

Riolita Corral Negro

Su parecido petrográfico con algunos domos de Pairique podría sugerir que esta unidad proviene de la estructura anular. No obstante, estas lavas se adelgazan tanto en dirección a Pairique como al complejo volcánico Lina. Además, cubren en *onlap* a lavas dómicas del Nevado Torona - San Pedro en su mitad austral (Fig. 2). Los mayores espesores son alcanzados alrededor de la estructura en forma de herradura que contiene a la Laguna Comisaría (Fig. 2), desde donde se interpreta que esta unidad fue probablemente erupcionada.

Dacitas Crestones La Negra

La naturaleza local y discontinua de las coladas y el tipo de depósitos piroclásticos presentes (bloques y ceniza), sumados a sus composiciones dacíticas, implican escasa movilidad y son elementos indicativos de cortas distancias a la fuente eruptiva. Suponemos un origen a partir de erupciones relativamente coetáneas de magmas probablemente relacionados petrogenéticamente, aunque desvinculadas entre sí en lo que a un centro emisor definido refiere.

CONSIDERACIONES FINALES

El estudio de detalle de la estratigrafía volcánica en una región rica en registros piroclásticos y lávicos de composición semejante y más o menos coetáneos, se revela necesario para interpretar la procedencia aproximada de las unidades identificadas. En el área de Pairique, se han reconocido al menos cuatro centros emisores, tales como el complejo volcánico Pairique, el complejo volcánico Lina y el volcán compuesto Nevado Torona - San Pedro, cada uno de ellos con historias volcánicas diferentes que merecen en el futuro ser evaluadas con profundidad.

En este trabajo, la aplicación de métodos sencillos de campo y laboratorio y el uso de algunos datos geocronológicos, permitió subdividir unidades y remapear piroclásticas antes consideradas parte de dos grandes unidades: Ignimbritas Granada y Pairique Chico. Esta simplificación en el mapeo condujo a la elaboración de modelos eruptivos que adolecen de ciertos problemas a la hora de comprobarlos desde el registro volcánico. En este sentido, la caldera de colapso de Pairique propuesta por Seggiaro *et al.* (1995) puede ser puesta en duda desde la misma estratigrafía del área. Por citar algunos, el modelo caldérico de Pairique presenta los siguientes problemas estratigráficos:

- Ausencia de ignimbritas hacia el bloque presuntamente subsidente representado por el Bajo de Pairique;
- Ausencia de brechas de colapso en el Bajo, que debieran existir si el bloque caldérico efectivamente subsidió (aunque se tratase de un colapso no eruptivo);
- Existencia de multiplicidad de registros piroclásticos en posición de extracaldera y su general desconexión con una fuente eruptiva situada en la estructura anular;
- Pequeño volumen y reducida distribución areal de las ignimbritas que sí pudieron haber tenido su origen en Pairique, insuficientes para explicar el volumen del supuesto colapso.

Por último, a la redefinición de unidades y reconocimiento de centros eruptivos, este trabajo ha sumado la identificación de rocas de mineralogía peraluminosa (Fig. 7) que no habían sido citadas previamente dentro del complejo volcánico Altiplano-Puna. Aunque de aparición esporádica, ya se sabía de la existencia de volcanitas peraluminosas en Puna austral (toba riolítica de Ramadas, Viramonte *et al.* 1984). No obstante, un magmatismo peraluminoso cenozoico de volúmenes comparables a los de Pairique se conocía sólo en el arco interno de la Cordillera Oriental peruano-boliviana, al norte de 20° S (Sandeman y Clark 2004, Morgan *et al.* 1998). Como en ese segmento de los Andes, el volcanismo peraluminoso aquí tratado convive con otro de tipo calcoalcalino intermedio a máfico, más frecuente en la región. En el ámbito del arco interno se ha vinculado la presencia de magmatismo peraluminoso a fusión parcial de protolitos

corticales, favorecida por la intrusión de magmas máficos ultrapotásicos y calcoalcalinos en niveles altos (<15 km) de la corteza (Sandeman y Clark 2004). La coexistencia de ambas suites en Pairique parece apuntar en la misma dirección, aunque en este caso la génesis de magmas peraluminosos podría involucrar procesos de hibridación importantes, según lo sugerido recientemente por Caffé y Trumbull (2006).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración de P. Cachizumba (UNJu), R. Liqún (CONICET), L. Polo (USP-Brasil), G. Rodríguez (Crystallex), C. Colarich (CONICET) y E. Medina (UCN-Chile). La calidad del trabajo se vio sustancialmente mejorada gracias a las sugerencias de los árbitros de la revista, P. Sruoga y J. Viramonte. Los aportes económicos de CO-NICET (PEI N° 6340), del FONCyT (PICT 07-12376 y 07-12420) y SeCTER-UNJu (08/E023) permitieron completar las investigaciones expuestas en esta contribución.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Cabrera, A.P. 2005. Geología y mecanismos eruptivos de las Andesitas del Cerro Morado, Puna Jujeña. Trabajo Final Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, (inédito) 165 p.
- Caffé, P.J. y Trumbull, R.B. 2006. The Pairique cordierite-biotite dacites: a clue to the petrogenesis of peraluminous magmas in the AP VC region. Backbone of the Americas, Abstract with Programs 2: 33, Mendoza.
- Caffé, P.J., Trumbull, R.B., Coira, B.L. y Romer, R.L. 2002. Petrogenesis of Early Neogene magmatism in the Northern Puna; implications for magma genesis and crustal processes in the Central Andean Plateau. *Journal of Petrology* 43(5): 907-942.
- Caffé, P.J., Soler, M.M., Coira, B.L., Onoe, A.T. y Cordani, U.G. 2007. The Granada ignimbrite: a compound pyroclastic unit and its relationship with Upper Miocene caldera volcanism in the northern Puna. *Journal of South American Earth Sciences* (en prensa).
- Coira, B. 1990. Ignimbritas y lavas dacíticas del Cenozoico superior de la Puna jujeña y sus contenidos anómalos en Sn, Sb, Bi, Ag y Au. 11° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 299-302, San Juan.
- Coira, B. y Kay, S.M. 2004. Central Andean plateau ignimbrites in the Puna Back-arc Cenozoic volcanic Province (PBVC). IAVCEI General Assembly 2004, CD-ROM, s-04_o_02, Pucón.
- Coira, B., Caffé, P., Mahlburg Kay, S., Diaz, A. y Ramirez, A. 1996. Complejo volcánico de Vilama - Sistema caldérico del Cenozoico superior en Puna, Jujuy. 13° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 603-620, Buenos Aires.
- Coira, B., Caffé, P., Ramirez, A., Chayle, W., Diaz, A., Rosas, S., Perez, A., Perez, B., Orosco, O. y Martínez, M. 2004. Hoja Geológica Mina Pirquitas 2366-I/2166-III, (1:250.000). SEGEMAR-IGRM, Boletín 269: 1-123.
- Chappell, B.W. y White, A.J.R. 2001. Two contrasting granite types: 25 years later. *Australian Journal of Earth Sciences* 48: 489-499.
- de Silva, S.L. 1989. The Altiplano-Puna volcanic complex of the central Andes. *Geology* 17: 1102-1106.
- de Silva, S.L., Zandt, G., Trumbull, R., Viramonte, J., Salas, G. y Jimenez, N. 2006. Large ignimbrite eruptions and volcanotectonic depressions in the Central Andes - A thermomechanical perspective. En de Natale, G., Troise, C. y Kilburn, C. (eds.) Mechanisms of activity and unrests at large calderas. Geological Society of London, Special Publication 269: 47-63.
- Fink, J.H. y Anderson, S.W. 2000. Lava domes and coulees. En Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S.R., Rymer, H., Stix, J. (eds.) Encyclopedia of Volcanoes, 447- 461. Academic Press, San Diego.
- Henry, C.D. y Wolff, J.A. 1992. Distinguishing strongly rheomorphic tuffs from extensive silicic lavas. *Bulletin of Volcanology* 54: 171-186.
- Le Maitre, R.W. 1989. A classification of igneous rocks and glossary of terms. Blackwell Scientific Publications, 193 pp.
- Llambías, E.J. 2003. Geología de los cuerpos ígneos. Asociación Geológica Argentina - Serie B-Didáctica y Complementaria 27, 182 p., Buenos Aires.
- Marinovic, N. 1979. Geología de los cuadrángulos Zapaleri y Nevados de Poquis, II Región. Memoria de Título (inédita). Universidad de Chile, 75 p., Santiago.
- Morgan, G.B., London, D. y Luedke, R.G. 1998. Petrochemistry of late-Miocene peraluminous silicic volcanic rocks from the Morococala field, Bolivia. *Journal of Petrology* 39: 601-632.
- Patiño Douce, A.E. 1999. What do experiments tell us about the relative contributions of crust and mantle to the origin of granite magmas? En Castro, A., Fernandez, C. y Vigneresse, J.L. (eds.) Understanding granites. Integrating New and Classical Techniques, Geological Society, Special Publication 168: 55-75, London.
- Petrinovic, I.A., Riller, U., Brod, J.A., Alvarado, G. y Arnosio, M. 2006. Bimodal volcanism in a tectonic transfer zone: Evidence for tectonically controlled magmatism in the southern Central Andes, NW Argentina. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 152: 240-252.
- Sandeman, H.A. y Clark, A.H. 2004. Commingling and mixing of S-type peraluminous, ultrapotassic and basaltic magmas in the Cayconí volcanic field, Cordillera de Carabaya, SE Peru. *Lithos* 73: 186-213.
- Seggiaro, R. 1994. Petrología, geoquímica y mecanismos de erupción del Complejo Volcánico Coranzulí. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Salta, (inédita) 137 pp.
- Seggiaro, R., Becchio, R., Coira, B. y Hongn, F. 1995. La caldera del Pairique (Puna Jujeña), vinculación con zonas de alteración hidrotermal y manifestaciones metalíferas de posible interés económico. 5° Congreso Nacional de Geología Económica, Actas: 274-280.
- Soler, M.M. 2005. Caldera Vilama (Mioceno Superior): Su estratigrafía, evolución magmática y relación con eventos ignimbriticos tempranos. Puna Argentina - Altiplano Boliviano. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Salta, (inédita) 358 pp.
- Sparks, S.J., Stasiuk, M.V., Gardeweg, M. y Swanson, D.A. 1993. Welded breccias in andesite lavas. *Journal of the Geological Society* 150: 897-902, London.
- Viramonte, J.G., Omarini, R.H., Araña Saavedra, V., Aparicio, A., García Cacho, L. y Parica, P. 1984. Edad, génesis y mecanismos de erupción de las riolitas granatíferas de San Antonio de los Cobres, Provincia de Salta. 9° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 216 -233. Bariloche.
- Walker, G.P.L., Wilson, C.J.N. y Froggatt, P.C. 1980. Fines-depleted ignimbrite in New Zealand- The product of a turbulent pyroclastic flow. *Geology* 8: 245-249.

Recibido: 8 de octubre, 2006

Aceptado: 27 de diciembre, 2006