

# Ignimbritas de la quebrada del río Las Papas (Cordillera de San Buenaventura, Catamarca): una primera aproximación petrológica y geoquímica

Montero, Carolina; Silvina Guzmán; Fernando Hongn

Instituto de Bio y Geociencias del NOA (IBIGEO), Universidad Nacional de Salta - CONICET. Mendoza 2, (4400) Salta, Argentina. montero\_caro@yahoo.com; sguzman@unsa.edu.ar; fhongn@aol.com

► **Resumen** — A lo largo de la quebrada del río Las Papas, en el extremo suroriental de la Cordillera de San Buenaventura (Catamarca), afloran potentes depósitos de ignimbritas que carecen de estudios de detalle previos. En base a su estudio de campo, petrográfico y geoquímico se propone la presencia de dos unidades volcánicas asignadas al Mioceno superior, Ignimbrita Las Papas e Ignimbrita Las Juntas. Si bien ambas unidades poseen características en común, como su afinidad calcoalcalina y composición riolítica, presentan características geoquímicas contrastantes, reflejadas principalmente en sus elementos traza, así como diferencias en el grado de consolidación y soldadura, proporción y tipo de fragmentos líticos y pumíceos, lo cual permite separarlas en dos unidades ignimbríticas. Aunque no se ha podido identificar el/los centro/s eruptivos a los que están asociados estas ignimbritas, dada su ubicación, características de los fragmentos líticos presentes en las mismas y en base a la paleotopografía, se estima que estuvieron ubicados en el sector oriental de la Cordillera de San Buenaventura.

**Palabras clave:** Ignimbrita Las Papas; Ignimbrita Las Juntas; Mioceno superior; Volcanismo ácido; Cordillera de San Buenaventura.

► **Abstract** — "Ignimbrites of the Río Las Papas valley (Cordillera de San Buenaventura, Catamarca): a petrological and geochemical approximation". Thick ignimbrite deposits were identified along the margins of the Las Papas river, at the southeastern part of the Cordillera de San Buenaventura (Catamarca). From field-relations, petrography and geochemistry we distinguish two pyroclastic units, Las Papas Ignimbrite and Las Juntas Ignimbrite, both of Upper Miocene age. Although both of these units are calc-alkaline and rhyolitic in composition, their different trace elements concentrations, induration and welding degrees, and type content of lithic fragments and pumice allow the separation in two different ignimbrites. Although it was not possible to identify the eruptive centre/s associated with these ignimbrites, based on their location, lithic fragment characteristics and the paleotopography, it is considered that they were located in the eastern sector of the Cordillera de San Buenaventura.

**Keywords:** Las Papas Ignimbrite; Las Juntas Ignimbrite; Upper Miocene; Acid volcanism; Cordillera de San Buenaventura.

## INTRODUCCIÓN

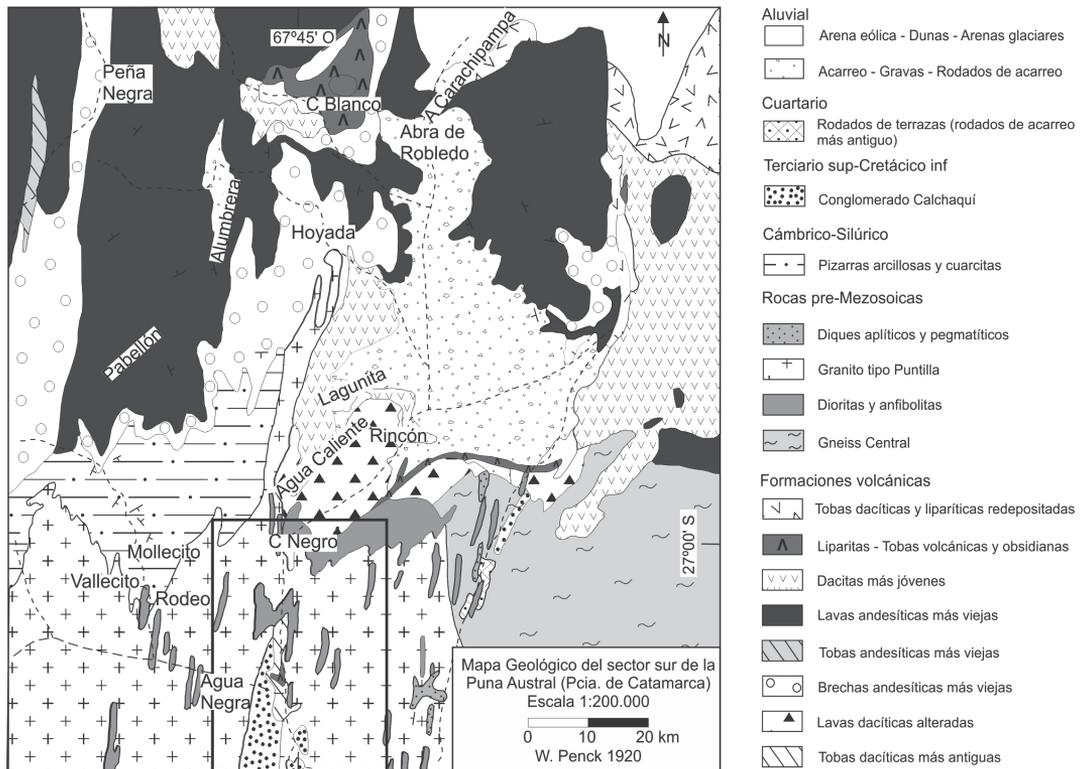
La larga historia de subducción y magmatismo a la que estuvo sometida la región de los Andes Centrales comprendida entre los 22° y 27° S comenzó en el Paleozoico o quizás más temprano, con picos de actividad magmática y un metamorfismo de alta temperatura distribuido ampliamente durante el Paleozoico temprano (Lucassen y Franz 2005). En el área de la Puna argentina-Altiplano boliviano la composición de la corteza

está dominada por corteza del orógeno paleozoico (Lucassen y Franz 2005). Los registros de magmatismo cenozoico anterior a los 30 Ma son escasos y están restringidos al margen occidental de la Puna-Altiplano donde se instaló el arco magmático eoceno (Trumbull *et al.* 2006), faltando registros al norte de los 20° S. A través del tiempo el volcanismo migró hacia el este (*e.g.*, Coira *et al.* 1982, Trumbull *et al.* 2006) alcanzando las mayores tasas de productividad en el Mioceno. Finalmente sufrió una retracción hacia el oeste, en el sector del arco volcánico moderno (Trumbull *et al.* 2006).

En el borde sur de la región de la Puna Austral tiene amplia representación el volcanismo de edad pliocena y pleistocena, sin embargo nuevos estudios indican que el volcanismo estuvo presente en la región desde al menos *ca.* 7 Ma hasta el Holoceno (Seggiaro *et al.* 2006; Montero *et al.* 2010c). Este magmatismo de composiciones intermedias a ácidas se encuentra representado en el sector suroriental de la Cordillera de San Buenaventura (Montero *et al.* 2010b y c), la cual constituye una cadena transversal al rumbo de los Andes, marcando el límite sur de la Puna y separando esta región de la Cordillera Frontal y las Sierras Pampeanas Septentrionales (Mon *et al.* 1988). El primer mapa geológico regional a escala 1:200.000 de la región fue realizado por Penck en 1920 (Figura 1). Si bien con el aporte de estudios posteriores se definieron y separaron

con mayor precisión las unidades, este primer mapa refleja con llamativa agudeza la geología de la región.

En el área de estudio, emplazada en el extremo suroriental de la Cordillera de San Buenaventura a lo largo de la quebrada del río Las Papas, se identificaron depósitos de flujos piroclásticos del Mioceno superior que carecen de estudios de detalle previos, y constituyen uno de los registros volcánicos más antiguos identificados en el borde suroriental de la Puna Austral. El objetivo del presente trabajo es presentar un mapa de la distribución de estas ignimbritas y una primera caracterización petrológica y geoquímica. En esta contribución se usa la nomenclatura recomendada para unidades volcánicas por Martí (2003) donde *Ignimbrita* equivale al rango litoestratigráfico *Formación*, en coincidencia con lo establecido en el Có-



**Figura 1.** Reproducción del primer mapa geológico del área de estudio realizado por Penck (1920) [escala 1:200.000] con ubicación del área estudiada. Las ignimbritas descritas en este trabajo fueron identificadas por Penck (1920) como «Tobas dacíticas más antiguas». El recuadro negro muestra la ubicación de la figura 2.

digo Argentino de Estratigrafía (artículos 27 y 28), y a su vez la Ignimbrita se separa en *Unidades*, siendo equivalente al término litoestratigráfico *Miembro*.

#### MARCO GEOLÓGICO

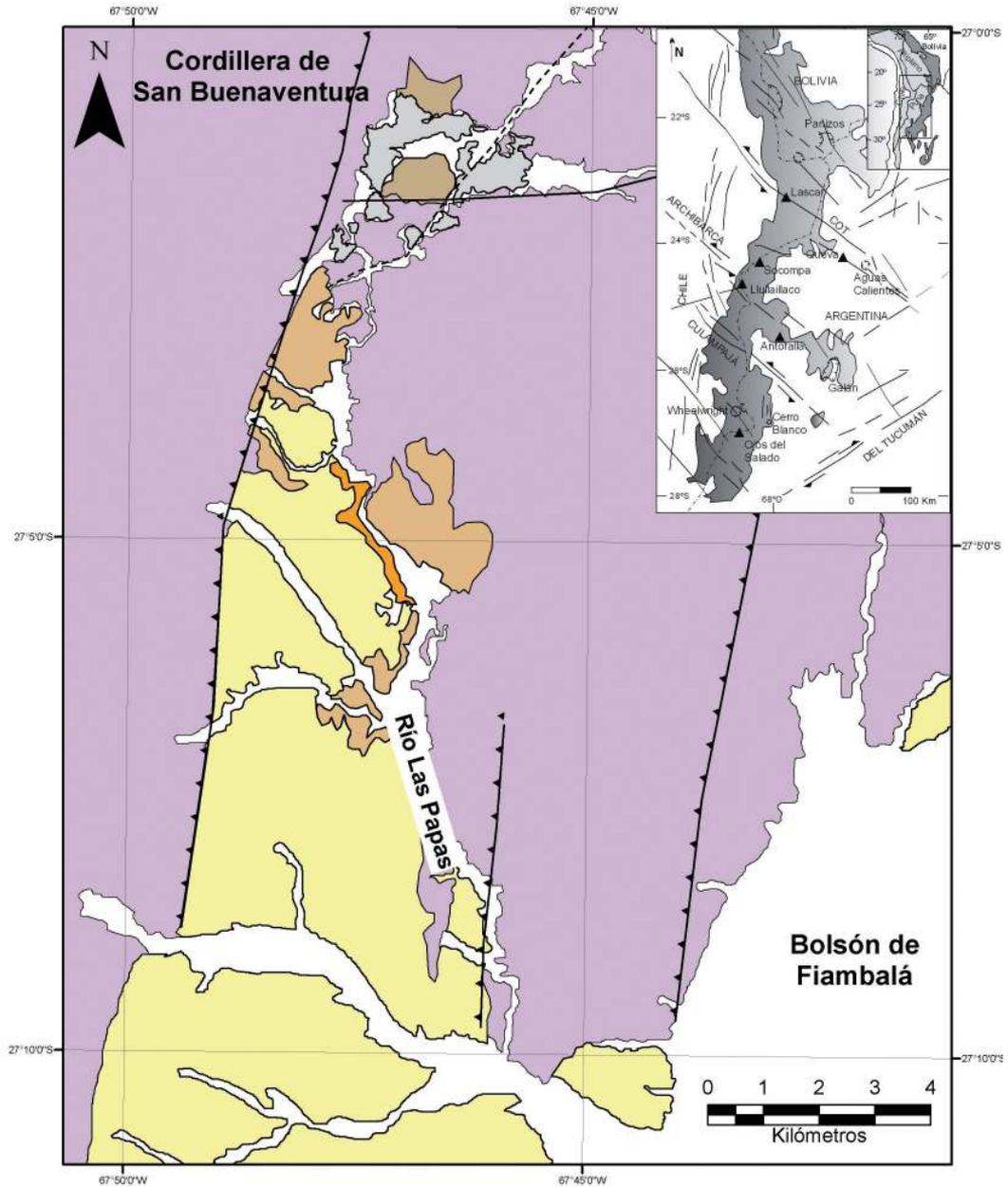
La cadena de San Buenaventura de dirección E-O a ESE-ONO, está formada por numerosos domos y estratovolcanes dacíticos y andesíticos de edades que van desde el Mioceno superior a Holoceno (Seggiaro *et al.* 2006, Montero *et al.* 2010c) que apoyan sobre un basamento de medio a alto grado de metamorfismo, al que cubren en gran parte del área. Los afloramientos mejor definidos del basamento se localizan en la ladera sur y sureste de la sierra, constituyendo elevaciones con desniveles de 200 m respecto a la cobertura volcánica-sedimentaria, altos que marcan el borde sur de la Puna. La Cordillera de San Buenaventura separa el drenaje cerrado de la Puna de aquel que desagua hacia el sur.

El basamento de edad neoproterozoico-eopaleozoica en esta porción sur de la cordillera está representado por la Formación Famabalasto (Turner 1962), la cual está constituida por esquistos, gneises y migmatitas, limitando hacia el oeste con el Complejo volcánico-sedimentario Cortaderas Chicas (Seggiaro *et al.* 2006) del Ordovícico. Esta unidad está formada por cuarcitas, pelitas, grauvacas y volcanitas de composición riolítico-dacítica, afectadas por una intensa deformación paleozoica con desarrollo de clivaje. El clivaje afecta a todo el conjunto clásico-volcánico aunque tiene mejor desarrollo en las pelitas. Estas rocas registran dos episodios de metamorfismo; uno de facies esquistos verdes vinculado con la deformación paleozoica y otro de tipo térmico relacionado a intrusivos básicos también paleozoicos que generan motas de biotitas en los protolitos pelíticos (Seggiaro *et al.* 2006).

A su vez, a lo largo de la quebrada del río Las Papas (Cordillera de San Buenaventura) (Figura 2), existen potentes mantos de depósitos de flujos piroclásticos que carecen de estudios de detalle previos. Rubiolo *et al.*

(2001, *emend.* este trabajo) asignan con el nombre de Ignimbrita Las Papas a unos depósitos de flujos piroclásticos masivos que afloran en esta misma quebrada y los vinculan a las calderas de Cerro Blanco ubicadas al norte, en el ámbito de la Puna Austral. Debido a que Rubiolo *et al.* (2001) describen informalmente estos flujos, se redefine en la presente contribución a la *Ignimbrita Las Papas* (Figuras 2 y 3). Los estudios de campo, petrográficos y geoquímicos han permitido identificar además otra nueva unidad piroclástica en la quebrada del río Las Papas, que se dispone por encima de la Ignimbrita Las Papas, a la que se le asigna el nombre de *Ignimbrita Las Juntas*. Por otra parte, depósitos de ignimbritas de edad holocena también afloran en la quebrada del río Las Papas y fueron estudiados por Montero *et al.* (2010c), quienes los asocian al segundo evento eruptivo del Complejo Volcánico Cerro Blanco. En algunos sectores del área estudiada estas ignimbritas cubren en discordancia a la Ignimbrita Las Juntas. En el área de estudio, afloran además, depósitos conglomerádicos asignados a los depósitos de *Punaschotter* (Penck 1920), del Plioceno-Pleistoceno, los que cubren en discordancia a las rocas del Paleozoico y Neógeno, y constituyen terrazas elevadas unos 200 m sobre el nivel actual del río.

El sector suroriental de la Cordillera de San Buenaventura se caracteriza por presentar una serie de fallas inversas que ponen en contacto a las rocas del basamento con volcanitas de edades terciaria y cuaternaria, acomodando una deformación de acortamiento aproximadamente E-O (Montero *et al.* 2010a), coincidente con la primera fase de deformación del Mioceno medio-superior (*e.g.*, Allmendinger *et al.* 1989; Marrett *et al.* 1994) propuesta para la Puna Austral. Además, existen registros de un evento distensivo de dirección N-S y acortamiento subvertical (Montero *et al.* 2010a) que representa la tectónica más joven de la región producto de la combinación de los mecanismos de delaminación litosférica y colapso gravitacional (Montero *et al.* 2010a).



**Referencias**

- Falla normal
- - - Falla inferida
- ▲ Falla inversa

**Unidades**

- Complejo Volcánico Cerro Blanco (Pleistoceno-Holoceno)
- Basamento ígneo-metamórfico (Neoproterozoico-Eopaleozoico)

- Punaschotter (Plioceno-Pleistoceno)
- Ignimbrita Aguada Alumbreira (Mioceno Superior)
- Ignimbrita Las Juntas (Mioceno Superior)
- Ignimbrita Las Papas (Mioceno Superior)

**Figura 2.** Mapa geológico del sector de la quebrada del río Las Papas, sector suroriental de la Cordillera de San Buenaventura [Catamarca]. En el mapa de ubicación se muestra la extensión del volcanismo andino cenozoico en la región del Plateau de la Puna-Altiplano. *Punaschotter* o Rodados de la Puna: depósitos conglomerádicos polimícticos.

ESTRATIGRAFÍA Y RELACIONES DE CAMPO

En la quebrada del río Las Papas afloran potentes espesores de depósitos de flujos piroclásticos que rellenan los valles y tapizan los altos topográficos (Figura 2). En esta contribución se presenta una primera descripción de estos depósitos. En base a las características de campo, petrografía y análisis geoquímicos de los depósitos es posible separar al menos dos unidades ignimbríticas (Figura 3).

Ignimbrita Las Papas

Son depósitos macizos de color gris violáceo, de aproximadamente 50-80 m de espesor; tienen un grado de soldadura y endurecimiento elevado, con desarrollo de textura eutaxítica; además, es característico el desarrollo de una marcada disyunción columnar (Figura 4a). Las pómez están colapsadas (L/A: 3/1) conformando *fiamme* (40 % en vol.) de color negro (Figura 4b), que decrecen en tamaño hacia el techo; su contenido en cristales es moderado a elevado y corresponden a cuarzo, plagioclasa, biotita y feldespato potásico. La matriz es rica en cristales de plagioclasa, feldespato alcalino, cuarzo, biotita y anfíbol. Los fragmentos líticos (<25 %

en vol.) corresponden principalmente a metamorfitas (anfíbolitas, esquistos) y granitos del basamento neoproterozoico-eopaleozoico y escasas volcánitas ordovícicas; se presentan en clastos subangulosos a angulosos de tamaño variado, alcanzando hasta 6 cm de longitud del eje mayor.

La edad de esta unidad fue obtenida a partir de biotitas contenidas en fragmentos pumíceos, la que arrojó un valor de 9,24 Ma (<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar en biotita, Montero 2009).

IGNIMBRITA LAS JUNTAS

La Ignimbrita Las Juntas (Figura 4c) se divide en dos unidades. La Unidad Inferior se apoya sobre la Ignimbrita Las Papas en algunos sectores de la quebrada, mientras que en otros su base no está expuesta. Esta unidad es maciza, mal seleccionada, tiene un grado de consolidación medio y soldadura débil. Es de color blanco a gris, es rica en cristaloclastos (> 35 % en vol.), tiene elevado contenido en fragmentos pumíceos (25 % en vol.) y es notablemente rica en fragmentos líticos (40 % en vol.) (Figura 4d). Las pómez son blancas, subangulosas a subredondeadas, su eje mayor varía entre 0,05 y 4 cm, con escasos indivi-

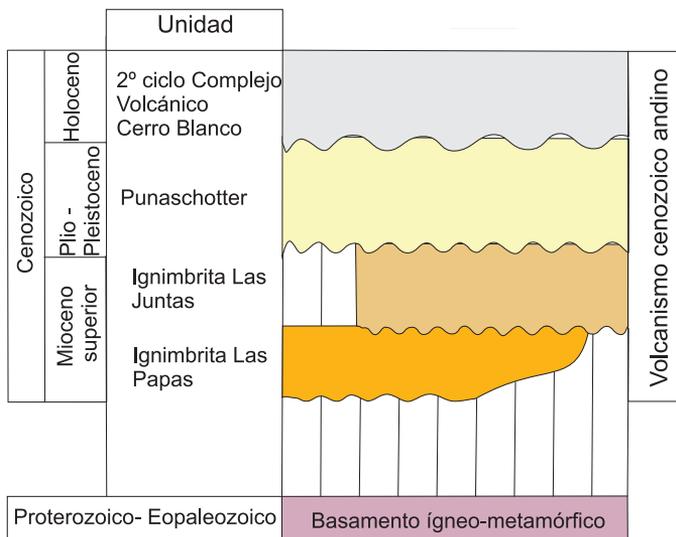


Figura 3. Columna estratigráfica generalizada de las unidades aflorantes en la quebrada del río Las Papas (Cordillera de San Buenaventura). *Punaschotter* o Rodados de la Puna: depósitos conglomerádicos polimícticos.

duos que alcanzan los 10 cm; tienen vesículas tubulares que están ligeramente colapsadas. Su contenido en cristales de cuarzo, feldespato y biotita es moderado (<17 % en vol). La proporción de fragmentos líticos es mayor hacia la base de la unidad y disminuye gradualmente hasta pasar a la unidad suprayacente. Un 80 % en volumen de los fragmentos líticos corresponde a anfibolitas de color negro y el resto a esquistos y granitos del basamento neoproterozoico-paleozoico inferior, las cuales afloran en el área estudiada, y a volcanitas ordovícicas. Los clastos son angulosos a subangulosos, bimodales entre 0,5-2 cm y 6-10 cm, llegando excepcionalmente hasta 15 cm. La matriz es de coloración grisácea, con cristaloclastos de cuarzo, plagioclasa, anfíbol y mica y fragmentos de vidrio perlitzado.

La Unidad Superior tiene aproximadamente 20 m de espesor, es de color gris, su grado de endurecimiento y soldadura aumenta respecto a la Unidad Inferior, con desarrollo de disyunción columnar. El contenido en pómez es moderado (25 % en vol.); son de color gris, pobres en cristales y se encuentran ligeramente colapsadas. Los fragmentos líticos alcanzan <10 % en vol. y corresponden a fragmentos de rocas metamórficas del basamento y volcánicas del Paleozoico. La matriz de esta unidad encierra cristales de cuarzo, feldespato, biotita y anfíbol.

El espesor mínimo estimado para la Ignimbrita Las Juntas es de 100 m en la quebrada del río Las Papas y quebradas confluente. Estos depósitos piroclásticos están en contacto por falla con el basamento metamórfico, por medio de un cabalgamiento hacia el oeste del río Las Papas (Figura 2), mientras que sobreyacen en contacto normal a la Ignimbrita Las Papas. La Ignimbrita Las Juntas es cubierta en discordancia por depósitos terciario-cuaternarios. Así, en diferentes sectores la cubren los depósitos de caída e ignimbritas jóvenes del complejo volcánico Cerro Blanco y los conglomerados de los *Punaschotter* (Penck 1920), relación que se observa en ambas márgenes de la quebrada. Las ignimbritas se presentan basculadas con una suave inclinación hacia el SSO.

McPherson (2008) dató la Unidad Inferior de la Ignimbrita Las Juntas en  $7,59 \pm 0,25$  Ma (U-Pb en zircón).

## ANÁLISIS PETROGRÁFICO Y GEOQUÍMICO

### METODOLOGÍA

Se realizó la descripción petrográfica de las secciones delgadas mediante el microscopio petrográfico de luz polarizada. La química mineral fue obtenida a partir del análisis de láminas delgadas con una Microsonda Electrónica CAMECA SX50 en el laboratorio del Instituto de Geociencias de la Universidad de Brasilia (Brasil). Se analizaron 2 cortes delgados que corresponden a una muestra de la Unidad Inferior de la Ignimbrita Las Juntas (muestra LP-10) y una muestra de la Ignimbrita Las Papas (muestra LP-7). Las principales fases minerales analizadas fueron feldespato (plagioclasa y feldespato alcalino) y anfíbol (44 resultados buenos de un total de 100 puntos analizados) (tabla 1).

Los análisis para determinar los elementos mayoritarios (muestras LP-10 y LP-11 de la Ignimbrita Las Juntas y LP-7 de la Ignimbrita Las Papas) y trazas (muestras LP-10 de la Ignimbrita Las Juntas y LP-7 de la Ignimbrita Las Papas) se realizaron sobre roca total en tres muestras de ignimbrita correspondientes a ambas unidades piroclásticas. Debido a que no fue posible separar las pómez de la matriz, luego de triturar las muestras en la chancadora se separó los líticos presentes y después se procedió a la molienda de la roca libre de estos componentes. Se analizaron los elementos mayoritarios por medio de Fluorescencia de Rayos X (FRX) y Espectrometría de Emisión Atómica (ICP-AES), mientras que los elementos traza fueron detectados por Espectrometría de Masa con fuente de plasma (ICP-MS), en los laboratorios LANAIS (Universidad Nacional de Salta) y ACME (Canadá). Los resultados se presentan en la tabla 2.

Para clasificar las rocas se utilizó el diagrama TAS para rocas volcánicas (LeMaitre *et al.* 1989); se recalcularon los valores de los óxidos a 100% en una base libre

Tabla 1

Composición en óxidos representativa de la plagioclasa							
	LP-7 Ignimbrita Las Papas (fiamme)				LP-10 Ignimbrita Las Juntas (matriz)		
	Pl 1b	Pl 1c	Pl 1b	Pl 1b	Pl 1b	Pl 1b	Pl 1c
SiO <sub>2</sub>	65,16	66,14	65,86	66,53	66,82	66,54	66,33
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,50	21,09	21,13	21,28	20,34	20,57	20,40
K <sub>2</sub> O	1,35	1,56	1,60	1,51	1,56	1,32	1,27
CaO	2,50	2,15	2,18	2,20	0,96	1,12	1,08
Na <sub>2</sub> O	9,22	9,86	9,73	9,37	10,24	10,48	10,41
FeO	0,13	0,12	0,16	0,07	0,07	0,02	0,00
SrO	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BaO	0,00	0,09	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01
<b>Total</b>	<b>99,88</b>	<b>101,01</b>	<b>100,66</b>	<b>100,99</b>	<b>99,99</b>	<b>100,06</b>	<b>99,51</b>
Si	2,881	2,899	2,895	2,906	2,944	2,930	2,935
Al	1,119	1,089	1,095	1,094	1,056	1,068	1,064
<i>Sum Z</i>	4,000	3,988	3,990	4,000	4,000	3,998	3,999
Fe <sup>2+</sup>	0,005	0,004	0,006	0,003	0,003	0,001	0,000
Ca	0,118	0,101	0,103	0,103	0,045	0,053	0,051
Sr	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ba	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Na	0,790	0,837	0,829	0,794	0,874	0,895	0,893
K	0,076	0,087	0,090	0,084	0,087	0,074	0,072
<i>Sum X</i>	0,990	1,031	1,027	0,984	1,010	1,023	1,016
<b>Cationes</b>	<b>4,990</b>	<b>5,019</b>	<b>5,017</b>	<b>4,984</b>	<b>5,009</b>	<b>5,021</b>	<b>5,015</b>
Ab	80,224	81,676	81,141	80,920	86,830	87,538	87,885
Or	7,745	8,478	8,789	8,580	8,677	7,274	7,079
An	12,031	9,846	10,070	10,500	4,494	5,188	5,036

Composición en óxidos representativa del Feldespato potásico							
	LP-7 Ignimbrita Las Papas (fiamme)				LP-10 Ignimbrita Las Juntas (matriz)		
	Feld K 1b	Feld K 1b	Feld K 1c	Feld K 1b	Feld K 1b	Feld K 1b	Feld K 1c
SiO <sub>2</sub>	65,41	65,27	65,77	65,55	66,14	65,85	65,40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,78	18,78	18,76	18,89	19,21	18,88	18,98
K <sub>2</sub> O	10,59	11,49	11,43	11,63	11,53	10,23	10,27
CaO	0,16	0,19	0,15	0,17	0,17	0,07	0,09
Na <sub>2</sub> O	4,45	3,79	3,84	4,23	3,90	5,02	4,82
FeO	0,06	0,04	0,08	0,05	0,03	0,03	0,08
SrO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BaO	0,21	0,05	0,07	0,00	0,01	0,00	0,15
<b>Total</b>	<b>99,66</b>	<b>99,61</b>	<b>100,10</b>	<b>100,52</b>	<b>100,99</b>	<b>100,08</b>	<b>99,78</b>
Si	2,983	2,984	2,990	2,976	2,980	2,984	2,976
Al	1,010	1,012	1,005	1,010	1,020	1,008	1,018
<i>Sum Z</i>	3,993	3,996	3,995	3,986	3,999	3,992	3,994
Fe <sup>2+</sup>	0,002	0,001	0,003	0,002	0,001	0,001	0,003
Ca	0,008	0,009	0,008	0,008	0,008	0,003	0,004
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ba	0,004	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,003
Na	0,394	0,336	0,338	0,373	0,341	0,441	0,425
K	0,616	0,670	0,663	0,674	0,663	0,591	0,596
<i>Sum X</i>	1,024	1,017	1,013	1,056	1,013	1,037	1,031
<b>Cationes</b>	<b>5,017</b>	<b>5,013</b>	<b>5,008</b>	<b>5,042</b>	<b>5,012</b>	<b>5,028</b>	<b>5,025</b>
Ab	38,702	33,078	33,560	35,341	33,683	42,565	41,468
Or	60,540	65,996	65,694	63,892	65,528	57,122	58,129
An	0,758	0,926	0,746	0,767	0,789	0,313	0,404

Tabla 1 (cont.)

	LP-7 Ignimbrita Las Papas (fiamme)			LP-10 Ignimbrita Las Juntas (matriz)			
	Anf 2b	Anf 2c	Anf 2b	Anf 1b	Anf 1b	Anf 1c	Anf 1b
SiO <sub>2</sub>	43,93	45,46	44,22	44,16	44,10	44,42	44,27
TiO <sub>2</sub>	0,57	0,36	0,56	0,45	0,48	0,39	0,43
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,81	11,00	12,56	12,82	13,16	12,53	13,20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,15	3,46	3,08	2,53	1,62	1,60	2,09
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,09	0,33	0,07	0,05	0,00	0,02	0,06
FeO	15,30	13,70	14,19	13,25	14,18	13,99	13,75
MnO	0,29	0,24	0,26	0,31	0,29	0,24	0,25
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO	9,58	10,55	9,83	10,28	9,88	10,14	10,01
CaO	12,12	12,05	11,99	12,12	12,20	12,17	12,13
Na <sub>2</sub> O	1,88	1,17	1,34	1,39	1,77	1,54	1,49
K <sub>2</sub> O	0,41	0,37	0,40	0,19	0,20	0,20	0,21
H <sub>2</sub> O	2,02	2,02	2,01	2,01	2,01	2,01	2,02
<b>Total</b>	101,14	100,70	100,52	99,57	99,89	99,24	99,90
Si	6,495	6,695	6,540	6,545	6,544	6,613	6,550
AlIV	1,505	1,305	1,460	1,455	1,456	1,387	1,450
<b>Sum T</b>	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
AlVI	0,727	0,604	0,729	0,785	0,846	0,812	0,851
Fe <sup>3+</sup>	0,239	0,384	0,343	0,283	0,181	0,179	0,233
Ti	0,063	0,039	0,063	0,050	0,053	0,043	0,048
Cr	0,011	0,039	0,008	0,006	0,000	0,002	0,007
Mg	2,112	2,316	2,169	2,271	2,185	2,251	2,207
Fe <sup>2+</sup>	1,849	1,619	1,689	1,605	1,735	1,712	1,654
Zn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Sum C</b>	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe <sup>2+</sup>	0,043	0,069	0,066	0,037	0,024	0,029	0,047
Zn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,037	0,030	0,033	0,038	0,036	0,030	0,031
Ca	1,920	1,901	1,901	1,924	1,939	1,940	1,922
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Sum B</b>	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Na	0,539	0,335	0,384	0,399	0,509	0,445	0,428
K	0,077	0,069	0,076	0,036	0,038	0,038	0,039
<b>Sum A</b>	0,616	0,404	0,460	0,435	0,546	0,483	0,467
<b>Cationes</b>	15,616	15,404	15,460	15,435	15,546	15,483	15,467
OH	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
F	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
(Ca+Na) <sub>B</sub>	1,920	1,901	1,901	1,924	1,939	1,940	1,922
Na <sub>B</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca <sub>B</sub>	1,920	1,901	1,901	1,924	1,939	1,940	1,922
(Na+K) <sub>A</sub>	0,616	0,404	0,460	0,435	0,546	0,483	0,467
Si	6,495	6,695	6,540	6,545	6,544	6,613	6,550
Mg/(Mg+Fe <sup>2+</sup> )	0,527	0,578	0,553	0,580	0,554	0,564	0,565

de volátiles. En este gráfico se utiliza además la línea de Irvine y Baragar (1971) que permite distinguir el campo alcalino del subalcalino.

## RESULTADOS

### A) Petrografía.—

i) Ignimbrita Las Papas: es una roca con textura porfídica y matriz vítrea, sin evidencias de desvitrificación y donde el vidrio se presenta alterado. La matriz es rica en cristales de cuarzo y plagioclasa, y en menor porcentaje cristales de biotita y hornblenda, alcanzando un 49 % en vol. en la matriz y un 32 % en vol. en pómez (Figura 5). La roca tiene elevado contenido en pómez (40 % en vol.), las cuales se encuentran colapsadas formando *fiamme*. La plagioclasa (0,15-0,75 mm de eje mayor) se presenta en individuos incoloros, anhedrales a subhedrales con desarrollo de macla ley Albita y zonación inversa; algunos cristales están intercrecidos. Los fenocristales de cuarzo son anhedrales y usualmente están rotos y con fracturas. La biotita (0,15-1,1 mm) es escasa, de forma subhedral a euhedral, de color pardo a pardo rojizo, en láminas alargadas. El anfíbol se presenta en fenocristales subhedros, con hábito prismático y secciones basales pseudo hexagonales (0,75-1,75 mm eje mayor), presenta marcado pleocroismo desde el pardo al verde.

### ii) Ignimbrita Las Juntas:

a) Unidad Inferior: Textura porfídica, con matriz hialocristalina donde se observan trizas vítreas. Las pómez son de tamaño pequeño (0,2-0,7 cm eje mayor), su contenido es moderado (25 % en vol.) y son ricas en cristales (17 % en vol.) de cuarzo, feldespatos, biotita y anfíbol (Figura 5); se encuentran ligeramente colapsadas, con desarrollo de vesículas discontinuas alargadas. Los cristaloclastos presentes en la matriz (37% en vol.) están muy fracturados. Los cristales de plagioclasa (0,14-1,75 mm eje mayor) son subhedrales y con macla polisintética; presentan numerosas fracturas, inclusiones vítreas y de microlitos de apatito. La bio-

Tabla 2

Muestra	LP-7	LP-10	LP-11
Unidad	ILP	ILJ	ILJ
Roca	ignimbrita	ignimbrita	ignimbrita
SiO <sub>2</sub>	74,58	69,96	72,21
TiO <sub>2</sub>	0,10	0,22	0,15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,79	14,62	14,31
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,91	1,96	0,58
MnO	0,04	0,16	0,15
MgO	0,43	0,94	0,88
CaO	0,76	1,59	0,88
Na <sub>2</sub> O	3,52	3,58	4,01
K <sub>2</sub> O	4,45	4,45	4,37
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,04	0,09	0,05
LOI	2,40	3,00	3,33
Total	100,02	100,57	100,93
Ba	185,1	71,4	142
Cs	18,5	17,4	
Co	74,7	74,9	55
Cu	1,8	8,9	
Ga	14,6	24,7	
Hf	2,2	2,4	
Mo	0,1	0,1	
Nb	13,7	48,3	50
Ni		15	17
Pb	1,9	1	
Rb	142	349,8	341
Sc	3	9	
Sn	1	4	
Sr	52	57,3	27
Ta	1,1	4	
Th	13,9	17,5	17
U	4,2	13,3	10
V		37	23
Y	13	32,1	38
Zn	9	14	
Zr	61	47,9	50
La	14,4	8,1	
Ce	30,2	23,1	
Pr	3,1	2,9	
Nd	9,7	10,6	
Sm	2	3,6	
Eu	0,3	0,2	
Gd	1,9	4	
Tb	0,4	0,9	
Dy	2	5	
Ho	0,3	0,9	
Er	1,1	2,5	
Tm	0,2	0,4	
Yb	1,1	2,3	
Lu	0,2	0,3	
Ba/La	12,85	8,81	
La/Ta	13,09	2,03	
(La/Yb) <sub>N</sub>	9,84	2,5	
(La/Sm) <sub>N</sub>	4,58	1,44	
(Gd/Yb) <sub>N</sub>	1,46	1,44	
Eu*	11,14	21,67	
Eu/Eu*	0,39	0,18	

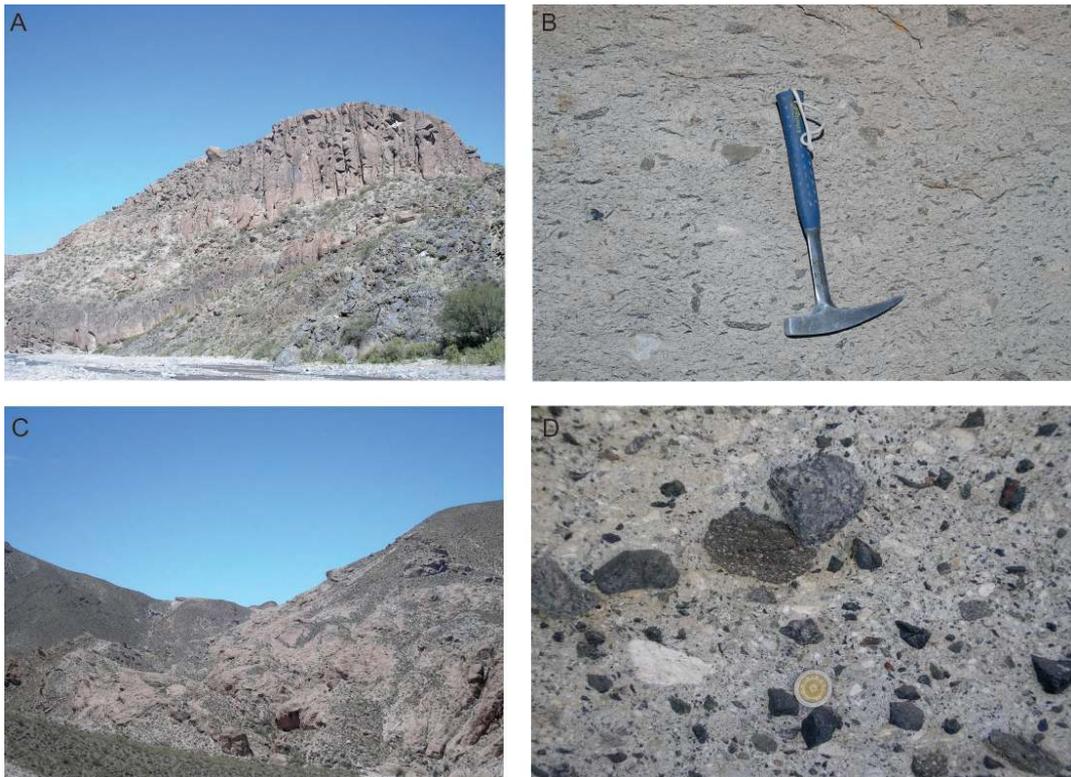
tita (0,15-3 mm eje mayor) es euhedral a subhedral, con hábito acicular, de color pardo claro a pardo oscuro. El anfíbol (0,16-0,75 mm eje mayor) es de color pardo con tonalidades verdosas, tiene bordes subhedrales y hábito prismático o pseudohexagonal. Los cuarzos son anhedral con fractura concoidea; algunos fenocristales están rotos y fracturados. El feldespato potásico es escaso, los cristales son subhedrales a anhedral.

b) Unidad Superior: roca hialocristalina, textura porfídica, con pómez muy pequeñas que alcanzan un 25 % en vol., y muy rica en fenocristales de cuarzo, feldespato, biotita y hornblenda (34 % en vol. en matriz y 17 % en vol. en pómez) (Figura 5). Las pómez se encuentran con un grado de colapsamiento

débil a medio. Los cristales de cuarzo (0,77-1,82 mm) presentan bordes anhedral. La plagioclasa (0,32-1,05 mm) se presenta en fenocristales de forma subhedral, maclados (ley Albita-Carlsbad y polisintética). El feldespato potásico (0,36-1 mm) se encuentra en agregados subhedrales. Los cristales de biotita (0,27-1,60 mm) son de color pardo rojizo, de forma euhedral y hábito acicular. El anfíbol (0,18-0,59 mm) es de color pardo-verdoso, euhedral, hábito pseudohexagonal y prismático largo, con inclusión de apatito.

#### B) Química mineral.—

i) Ignimbrita Las Papas. Los feldespatos corresponden a plagioclasa y feldespato alcalino. La plagioclasa ( $An_{7-18}$ ) se clasifica



**Figura 4.** a) Vista hacia el sur de un depósito de la Ignimbrita Las Papas donde se observa la disyunción columnar bien desarrollada; b) Detalle en muestra de mano de la Ignimbrita Las Papas donde se observa una textura eutaxítica con las *fiamme* de color negro; c) Vista de la Ignimbrita Las Juntas apoyando sobre el basamento metamórfico neoproterozoico-paleozoico inferior; d) Detalle de un depósito de la Unidad Inferior de la Ignimbrita Las Juntas, obsérvese el elevado contenido en líticos principalmente de anfibolitas y en menor cantidad granitoides, ambos del basamento neoproterozoico-paleozoico inferior, y volcanitas ordovícicas.

como albita y oligoclasa (Figura 6a) y presenta zonación inversa. Además se reconocieron escasos fenocristales de cristales de feldespato potásico los cuales se clasifican como sanidina ( $Or_{60-66}$ ) (Figura 6a).

Los anfíboles se clasifican dentro de los anfíboles cálcicos de Leake *et al.* (1997), con un valor de  $(Na+K)_A < 0,5$  proyectándose dentro de los campos de Mg-Hornblenda y Hornblenda tshermakitica (Figura 6b). El Mg# (número de magnesio:  $Mg/[Mg+Fe^{2+}]$ ) varía entre 0,39 y 0,47, presentando algunos cristales zonación directa, y con un contenido de  $TiO_2$  que varía entre 0,36 y 0,57 (% en peso) mostrando una mayor concentración hacia el núcleo en algunos de los cristales analizados mientras que en otros no muestra variación, presentando así una zonación normal.

ii) Ignimbrita Las Juntas

Los cristales de plagioclasa tienen un rango composicional de  $An_{3-28}$  y se clasifican como oligoclasa y albita (Figura 6a). Los feldespatos potásicos están presentes en un porcentaje muy bajo y se clasifican como sanidina ( $Or_{57-60}$ ).

Los cristales de anfíbol se clasifican dentro del grupo cálcico ( $(Ca+Na)_B > 1,00$  y  $Na_B < 0,50$ ) de Leake *et al.* (1997), con una composición de Ferro-Hornblenda y Hornblenda Ferro- tshermakitica. El Mg# varía entre 0,41 y 0,44 y el contenido en  $TiO_2$  (% en peso) entre 0,39 y 0,48, estando los nú-

cleos empobrecidos en Ti con respecto a los bordes (Figura 6b).

Las micas analizadas mediante microsonda electrónica no arrojaron valores precisos, por lo que se desestima su significado. Sin embargo, petrográficamente se determina que corresponden al grupo de las biotitas.

C) *Geoquímica de elementos mayores.*— Las tres muestras de ignimbritas estudiadas tienen valores absolutos de  $SiO_2$  comprendidos entre 70 y 75% y de alcalis ( $Na_2O + K_2O$ ) de 8%. De acuerdo con el diagrama TAS de  $SiO_2$  vs. Álcalis (Total Alcalis Sílice, LeMaitre *et al.* 1989) usado para clasificar rocas volcánicas las muestras analizadas tienen una composición netamente riolítica y se proyectan en el campo de rocas subalcalinas (Irvine y Baragar 1971) (Figura 7a). La petrografía de las rocas también refleja una afinidad calcoalcalina, con desarrollo de fenocristales de plagioclasa y feldespato alcalino, anfíbol y biotita. Asimismo, las muestras analizadas se proyectan dentro de la serie calco-alcalina alta en potasio (Figura 7b) en el diagrama de Peccerillo y Taylor (1976), con valores de  $K_2O$  de ca. 4,5%. El elevado contenido en sílice (70-75 % en peso) que presentan las muestras de las ignimbritas Las Papas y Las Juntas indican que las rocas derivan de líquidos evolucionados.

Dada la escasez de análisis químicos de roca, se considera que los diagramas de va-

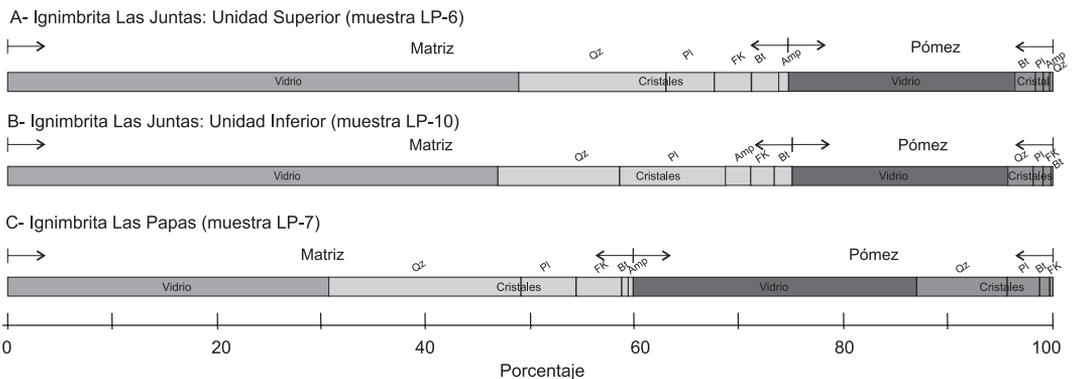


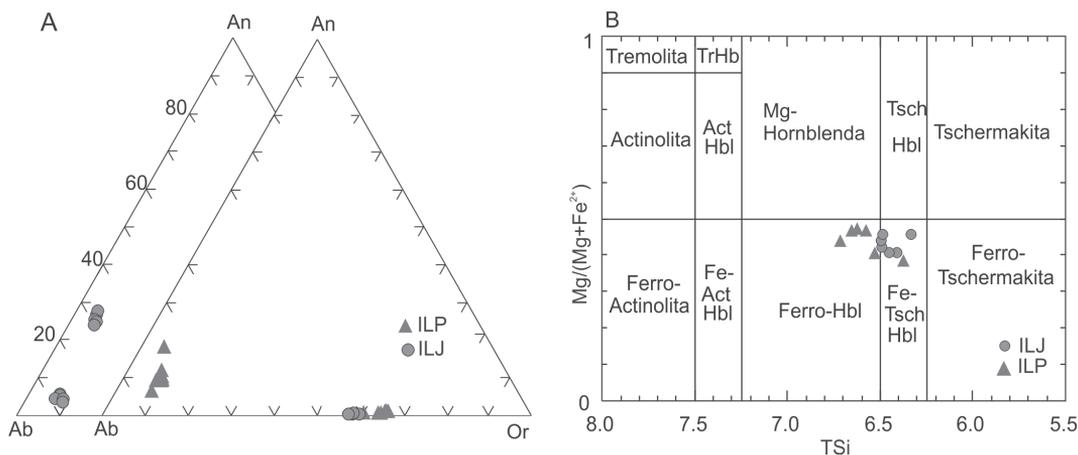
Figura 5. Análisis modal en secciones delgadas representativas de: a) Unidad Superior de la Ignimbrita las Juntas; b) Unidad Inferior de la Ignimbrita Las Juntas; c) Ignimbrita Las Papas.

riación no aportan información de importancia, sin embargo, el análisis de los elementos traza, entre los que se incluyen los elementos de tierras raras (ETR), permite caracterizar con mayor certidumbre algunos rasgos de estas unidades.

*D) Geoquímica de elementos trazas y tierras raras.*— La relación de los elementos traza Ba/La es intermedia (8,81-12,85). El diagrama de multielementos normalizado a condrito (Thompson 1982) (Figura 8a) muestra una elevada relación entre los elementos incompatibles LILE (*Large Ion Lithophile Elements*) y los elementos de alto potencial iónico HFSE (*High Field Strength Elements*), típica de ambientes de arco (e.g. Davidson y de Silva, 1995); sin embargo, al presente existen discusiones sobre el significado de estas relaciones y su vinculación con un ambiente específico (e.g. Guzmán *et al.* 2011). El patrón mostrado por las ignimbritas Las Papas y Las Juntas es algo contrastante al analizar las concentraciones en Ba, Rb, Y, Sm, Nb y Ta; de estos elementos, las variaciones en los primeros podrían estar relacionadas a grados variables de fraccionamiento de fases minerales específicas como por ejemplo biotita y feldespato (Ba, Rb) y hornblenda y apatito (Y, Sm). Sin embargo, en

los últimos dos elementos (Nb y Ta) las fases minerales que podrían influir en su fraccionamiento (e.g. ilmenita, rutilo, titanita) no son tan conspicuas, y su significancia podría estar relacionada a diferentes fuentes y/o componentes corticales. Es decir, la presencia de las anomalías negativas en Nb y Ta es más marcada en el caso de la Ignimbrita Las Papas, lo cual podría indicar mayor afinidad con un ambiente de subducción/arco. Por otra parte, ambas unidades comparten anomalías negativas en Sr y Ba. Las anomalías en Sr están relacionadas con fraccionamiento de plagioclasa y las anomalías en Ba con fraccionamiento de biotita y/o feldespato potásico.

Los valores de los elementos de tierras raras (ETR), normalizados al valor del condrito C1 de Sun y McDonough (1989), son mostrados en el gráfico de la Figura 8b. Se observa que la muestra representativa de la Ignimbrita Las Papas tiene curvas de pendientes suaves, con relaciones bajas de  $(La/Yb)_N$  (9,84) lo que indica un bajo fraccionamiento en las tierras raras livianas (TRL) con respecto a las pesadas (TRP). Las TRL muestran una pendiente suave con un valor de  $(La/Sm)_N$  de 4,58 y un enriquecimiento de 50-80 veces el valor del condrito, mientras que la curva mostrada por las tierras raras



**Figura 6.** Diagramas de clasificación mineral, a) Diagrama Ab-Or-An para los feldespatos; b) Diagrama de clasificación de los anfíboles cálcicos según Leake *et al.* (1997). ILP: Ignimbrita Las Papas; ILJ: Ignimbrita Las Juntas.

pesadas (TRP) es aún más suave ( $Gd/Yb_N=1,46$ ). Se destaca una marcada anomalía negativa de Eu ( $Eu/Eu^*: 0,18$ ) que indica fraccionamiento de plagioclasa.

El patrón de tierras raras desarrollado por la Ignimbrita Las Juntas presenta valores bajos de  $(La/Yb)_N = 2,50$  marcando una curva de pendiente muy suave (Figura 8b). La relación  $(La/Sm)_N$  es de 1,44, indicando un bajo fraccionamiento de las TRL, inferior al observado en la Ignimbrita Las Papas. Las TRP muestran un valor de  $(Gd/Yb)_N = 1,44$ , similar al de la Ignimbrita Las Papas. Presenta una anomalía negativa de Eu ( $Eu/Eu^*: 0,39$ ).

De los patrones de ETR se desprenden variaciones entre las ignimbritas Las Papas y Las Juntas, las cuales son más marcadas para las tierras raras livianas y medias. Si bien las tierras raras pesadas muestran patrones paralelos (con valores de  $(Gd/Yb)_N$  muy cercanos), el contenido absoluto de las mismas es notablemente diferente, estando la Ignimbrita Las Juntas más enriquecida en estos elementos con respecto al condrito que la muestra de la Ignimbrita Las Papas. Estas diferencias son compatibles con diferentes porcentajes de fraccionamiento de anfíbol; esto último también es coherente con lo observado en el diagrama multielementos para el caso del Y.

### DISCUSIÓN

En base a las observaciones de campo donde se destacan diferencias en el contenido de líticos, grado de soldadura y estructura de los depósitos, y al estudio de secciones delgadas donde se distinguen las diferentes texturas de las rocas y composición modal, sumado a los resultados de geoquímica y edades, se identificaron dos unidades ignimbríticas en la región de la quebrada del río Las Papas (Cordillera de San Buenaventura). La unidad más antigua, Ignimbrita Las Papas, corresponde a una unidad muy consolidada, maciza, con una estructura marcada de disyunción columnar, moderada participación de líticos y pómez muy colapsadas formando *fiamme* de color oscuro. La Ignimbrita Las Juntas se separa en dos unidades; la Unidad Inferior está medianamente consolidada con abundante presencia de líticos y pómez subredondeadas, mientras que la Unidad Superior muestra un mayor grado de consolidación, con escasa presencia de líticos y *fiamme* pequeñas.

Los datos geoquímicos disponibles permiten clasificar estas ignimbritas como riolitas de la serie calcoalcalina alta en potasio. Además, poseen características afines al resto de las rocas de la ZVC (Zona Volcánica

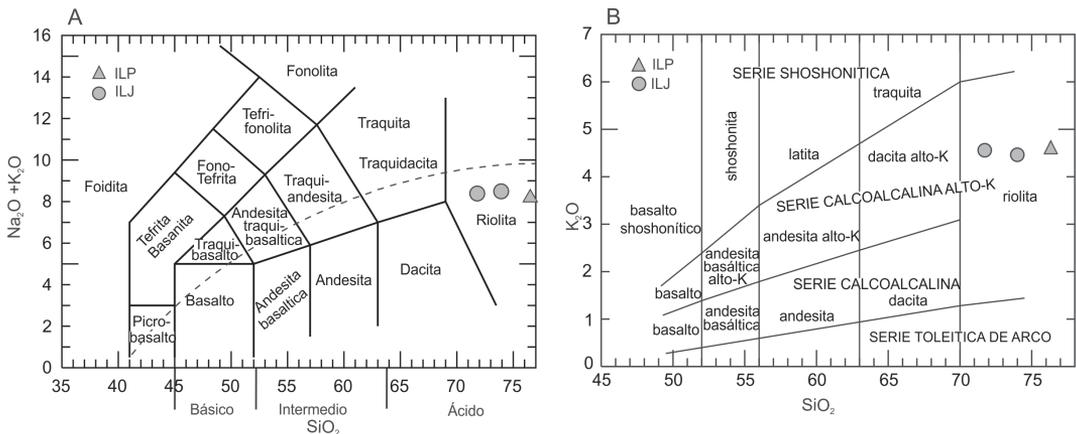


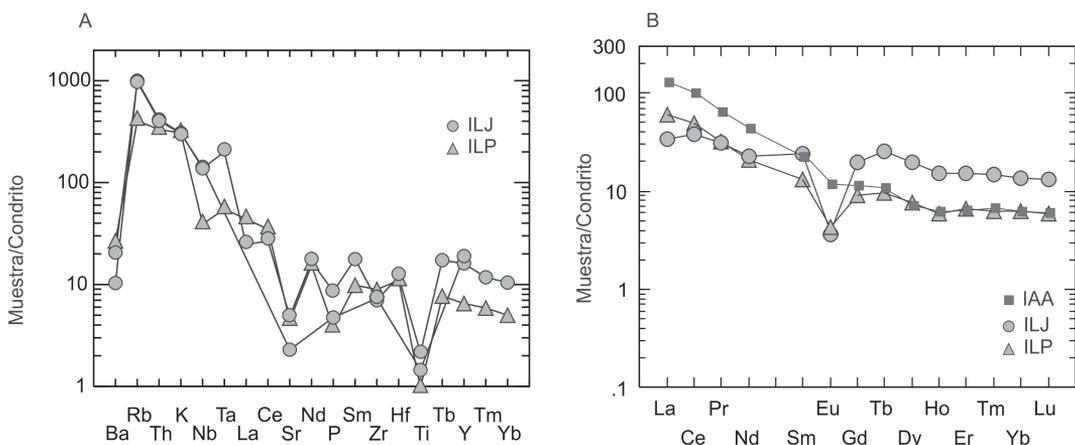
Figura 7. a) Clasificación de las rocas según el diagrama TAS de LeMaitre *et al.* (1989). La línea de puntos corresponde a la línea de Irvine y Baragar (1971) que separa los campos alcalino y subalcalino; b) Diagrama  $SiO_2$  vs.  $K_2O$  (Peccherillo y Taylor 1976). ILP: Ignimbrita Las Papas; ILJ: Ignimbrita Las Juntas.

Central), con valores de  $Al_2O_3$  entre 12 y 15%,  $K_2O$  ~ 4-5% y valores bajos de  $TiO_2$  (0,10-0,22 %). En un intento de correlacionar las unidades piroclásticas estudiadas en el presente trabajo con otras unidades conocidas, se han comparado con la Ignimbrita Aguada Alumbreira (ca. 7 Ma, Montero *et al.* 2010c), cuyos depósitos afloran en las cercanías (unos 5-10 km hacia el norte del área de estudio). Se observa que las ignimbritas Las Papas y Las Juntas cubren un rango más amplio en su contenido en  $SiO_2$  (70-75 % en peso) que las rocas de la Ignimbrita Aguada Alumbreira (70 % en peso). Se identifican además diferencias en los contenidos de óxidos de Ca, Ti, Fe y P (no se muestran), los cuales en las unidades Las Papas y Las Juntas, muestran valores más bajos que aquéllos de la Ignimbrita Aguada Alumbreira. La diferencia más sustancial entre las ignimbritas Las Papas y Las Juntas en comparación con la Ignimbrita Aguada Alumbreira se puede identificar en los ETR, tal como puede observarse en la Figura 8b, con un patrón sensiblemente diferente. La Ignimbrita Aguada Alumbreira muestra fraccionamiento de las tierras raras livianas y medias con respecto a las pesadas, y una muy leve anomalía de

Eu. El patrón de tierras raras obtenido para las ignimbritas Las Papas y Las Juntas en comparación con la curva mostrada por los ETR de la Ignimbrita Aguada Alumbreira ( $La/Yb_N = 18,15-24,14$ , Montero *et al.* 2010c), es relativamente suave (casi horizontal), con valores bajos de  $(La/Yb)_N$  entre 9,84 y 2,50 respectivamente, con un fraccionamiento menor de las tierras raras livianas y medias. Además, las unidades aflorantes en la quebrada del río Las Papas tienen una anomalía negativa de Eu marcada, indicando que el fraccionamiento de plagioclasa fue importante. Estos patrones de tierras raras indican la ausencia de granate en la fase residual, indicando zonas de generación de magmas no muy profundas, fuera de la zona de estabilidad de dicho mineral.

Los rasgos más evolucionados de las ignimbritas Las Papas y Las Juntas con respecto a la Ignimbrita Aguada Alumbreira, son corroborados además a partir de los datos de la química mineral, con plagioclasas más sódicas en las ignimbritas Las Papas y Las Juntas.

Aunque con los datos disponibles no es posible definir la ubicación del centro de emisión de estas ignimbritas, a partir de su



**Figura 8.** a) Diagrama de multielementos normalizados al condrito de Thompson (1982); b) Diagrama de los elementos de tierras raras normalizados al valor del condrito de Sun y McDonough (1989) donde se grafican los valores de las muestras LP-10 de la Ignimbrita Las Juntas, LP-7 de la Ignimbrita Las Papas y un valor promedio de las muestras de la Ignimbrita Aguada Alumbreira. ILP: Ignimbrita Las Papas; ILJ: Ignimbrita Las Juntas; IAA: Ignimbrita Aguada Alumbreira.

distribución y relación con la paleotopografía, es posible suponer que el área fuente se encontró hacia el norte del área estudiada, en el ámbito de la Puna Austral. El hecho de que los afloramientos de estas ignimbritas se encuentran restringidas a la porción suroccidental de la Cordillera de San Buenaventura, estimando una superficie cubierta de aproximadamente 8 km<sup>2</sup>, y no se encuentren registros de estas ignimbritas hacia el sur en el Bolsón de Fiambalá, ni hacia el norte u oeste de la zona de las calderas de Cerro Blanco, indica que posiblemente el o los centros eruptivos estuvieron ubicados en este sector oriental-suroccidental de la Cordillera de San Buenaventura, y actualmente están cubiertos por los depósitos piroclásticos del Complejo Volcánico Cerro Blanco.

El reconocimiento de tres unidades ignimbriticas (Ignimbritas Las Papas y Las Juntas, este trabajo, e Ignimbrita Aguada Alumbreira, Montero *et al.* 2010c) de edad miocena superior en un área relativamente pequeña, permite inferir la existencia de varias cámaras magmáticas o de varios eventos eruptivos de una cámara magmática en un área relativamente pequeña, que emitieron a la superficie cantidades importantes de productos piroclásticos (40 km<sup>2</sup> área total cubierta por las ignimbritas del Mioceno superior). Además, cabe destacar que inmediatamente al suroeste de las calderas de Cerro Blanco, se construyó el Complejo Volcánico La Hoyada, también de edades entre ca. 7 y 2,5 Ma, con productos tanto efusivos como explosivos de composición intermedia (Montero *et al.* 2010b).

### CONCLUSIÓN

Se identificaron dos nuevas unidades de ignimbritas en el área suroccidental de la Cordillera de San Buenaventura, a lo largo de la quebrada del río Las Papas, ambas de edad miocena superior. Consisten en ignimbritas de composición ácida (riolítica) y afinidad calcoalcalina. La unidad más antigua se asigna a la Ignimbrita Las Papas de ca. 9 Ma que se dispone rellenando la paleotopografía, en depósitos macizos con desarrollo

de disyunción columnar. La cubre la Ignimbrita Las Juntas de ca. 7,5 Ma, la cual se divide en dos unidades, una inferior con mayor cantidad de clastos líticos y pómez de mayor tamaño, y una superior mas endurecida, con pómez mas pequeñas y menor contenido en líticos.

A partir del análisis de la geoquímica y química mineral se asigna el origen de ambas ignimbritas a partir de líquidos evolucionados, como queda reflejado por el elevado contenido en sílice y los valores bajos de los óxidos de Ca, Mg, Fe y Ti. Las anomalías en Ba y Sr indicarían fraccionamiento de fases minerales como feldespatos y biotita.

Si bien, aún no se tiene datos certeros de la presencia de otras calderas además de aquéllas del Complejo Volcánico Cerro Blanco en este sector de la Puna Austral, inferimos la presencia de varias estructuras de este tipo que tuvieron una importante actividad explosiva en el Mioceno superior.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por los proyectos PIP 5255, PICT 381, SECyT-CAPEs BR/PA05-UVII014, CONICET y CIUNSA 2050. Se agradece a V. Litvak e I. Petrinovic por las sugerencias que ayudaron a mejorar el trabajo, a J. A. Brod por las valiosas discusiones, y a M. Cabezas y P. Payrola por la fundamental asistencia en los trabajos de campo.

### BIBLIOGRAFÍA

- Allmendinger, R., Strecker, M., Eremchuk, E. y Francis, P. 1989. Neotectonic deformation of the southern Puna Plateau, northwestern Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 2 (2): 111-130.
- Coira, B., Davidson, J., Mpodozis, C. y Ramos, V. 1982. Tectonic and magmatic evolution of the Andes of the Northern Argentina and Chile. *Earth Science Reviews* 18: 303-332.
- Davidson, J. y deSilva, S. 1995. Late Cenozoic magmatism of the Bolivian Altiplano. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 119: 387-408.
- Guzmán, S., Petrinovic, I., Brod, J. A., Hongn, F., Seggiano, R., Montero, C., Carniel, R., Dantas, E. y Sudo, M. 2011. Petrology of the Luengo caldera (SE margin of the Puna plateau): a middle Miocene window of the arc-back arc con-

- figuration. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 200: 171-191.
- Irvine, T. N. y Baragar, W. R. 1971. A guide to the chemical classification of the common rocks. *Journal of South American Earth Sciences* 8: 523-548.
- Leake, B. E., Wooley, A. R., Arps, C. E. S., Birch, W. D., Gilbert, M. C., Grice, J. D., Hawthorne, F. C., Kato, A., Kisch, H. J., Krivovichev, V. G., Linthout, K., Laird, J., Mandarino, J. A., Maresch, W. V., Nickel, E. H., Rock, N. M. S., Schumacher, J. C., Smith, D. C., Stephenson, N. C. N., Ungaretti, L., Whittaker, E. J. W. y Youzhi, G. 1997. Nomenclature of amphiboles: report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. *American Mineralogist* 82: 1019-1037.
- LeMaitre, R., Baternan, P., Dudek, A., Keller, J., Lameyre Le Bas, M., Sabine, P., Schmid, R., Sorensen, H., Streckeisen, A., Woolley, A. y Zanettin, B. 1989. A classification of igneous rocks and glossary of terms. Blackwell, Oxford, 193 pp.
- Lucassen, F. y Franz, G. 2005. The early Paleozoic Orogen in the Central Andes: a non-collisional orogen comparable to the Cenozoic high plateau? En: Vaughan, A., Leal, P. y R. Pankhurst (Eds.): *Terrane Processes at the Margins of Gondwana*, Special Publications, 246: 257-273. Geological Society, London.
- Marrett, R., Allmendinger, R., Alonso, R. y Drake, R. 1994. Late Cenozoic tectonic evolution of the Puna Plateau and adjacent foreland, northwestern Argentine Andes. *Journal of South American Earth Sciences* 7 (2): 179-207.
- Martí Molist, J. 2003. El volcanismo explosivo de Tenerife. Libro de apuntes. Museo de Ciencias Naturales de Santa Cruz de Tenerife (inédito), 99 p. España.
- McPherson, H. 2008. Climate and tectonic controls on sedimentation and deformation in the Fiambalá basin of the Southern Puna Plateau, Northwestern Argentina. Tesis de Magister. Universidad del Estado de Ohio (inédito 91), 91 p. Ohio, USA.
- Mon, R., Mena, R., Marrett, R. y Hongn, F. 1988. Rasgos de Neotectónica en la Puna Austral (República Argentina). *Actas 5º Congreso Geológico Chileno*, 1: 69-83.
- Montero, M. C. 2009. Estructura y magmatismo neógeno-cuaternarios en la sierra de San Buenaventura (Catamarca): su vinculación con la terminación austral de la Puna. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta (inédito 255), 255 p., Salta.
- Montero, M. C., Hongn, F., Marrett, R., Seggiaro, R., Strecker, M. y Sudo, M. 2010a. Late Miocene-Pliocene onset of N-S extension along the southern margin of the Central Andean Puna plateau from magmatic, geochronological and structural evidences. *Tectonophysics* 494 (1-2): 48-63.
- Montero, M. C., Hongn, F., Seggiaro, R., Brod, J. A. y Marrett, R. 2010b. Estratigrafía y geoquímica del volcanismo de composición intermedia (Mioceno superior-Plioceno) en el extremo oriental de la Cordillera de San Buenaventura (Puna Austral). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 67 (1): 63-80.
- Montero, M. C., Hongn, F., Brod, J. A., Seggiaro, R., Marrett, R. y Sudo, M. 2010c. Magmatismo ácido del Mioceno Superior-Cuaternario en el área de Cerro Blanco-La Hoyada, Puna Sur. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 67 (3): 329-348.
- Peccerillo, R. y Taylor, S. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 58: 63-81.
- Penck, W. 1920. Der Südrand der Puna de Atacama. *Abh. Math. Phys. Klasseder Sächsischen. Akad. Der Wissenschaften*, 37 (1). Ed. Nigar
- Rubiolo, D., Seggiaro, R. y Hongn, F. 2001. Mapa de la Hoja Geológica 2769-IV Fiambalá, provincias de Catamarca y La Rioja. *Boletín* 361. Versión preliminar. Programa Nacional de Cartas Geológicas. 1:250.000. SEGEMAR. 90 p.
- Seggiaro, R., Hongn, F., Folguera, A. y Clavero, J. 2006. Hoja Geológica 2769 - II. Paso de San Francisco. *Boletín* 294. Programa Nacional de Cartas Geológicas. 1:250.000. SEGEMAR
- Sun, S. y McDonough, W. F. 1989. Chemical and isotopic systematic of ocean basalts: implication for mantle, composition and processes. En: Sounders A. D., Norry, M.J. (Eds.), *Magmatism in ocean basins*. Geological Society of London, Special Publication 42: 313-345.
- Thompson, R. N. 1982. Magmatism of the British Tertiary volcanic province. *Scotland Journal of Geology* 18: 49-107.
- Trumbull, R., Riller, U., Oncken, O., Scheuber, E., Munier, K. y Hongn, F. 2006. The time-space distribution of Cenozoic volcanism in the South-Central Andes: a new data compilation and some tectonic implication. En: Oncken, O., Chong, G., Franz, G., Giese, P., Götze, H., Ramos, V., Strecker, M. y P. Wigger (Eds.): *The Andes - Active Subduction Orogeny*: 29-43. Springer.
- Turner, J. C. 1962. Estratigrafía de la región al naciente de la Laguna Blanca (Catamarca). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 18 (1-2): 11-45.