

# Ignimbritas riolíticas neoproterozoicas en la Sierra Norte de Córdoba: ¿evidencia de un arco magmático temprano en el ciclo Pampeano?

Eduardo J. LLAMBÍAS<sup>1,2</sup>, Daniel GREGORI<sup>1,3</sup>, Miguel A. BASEI<sup>4</sup>, Ricardo VARELA<sup>1,2</sup> y César PROZZI<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

<sup>2</sup> Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Centro de Investigaciones Geológicas, Calle 1 #644, 1900 La Plata. E-mail: [llambias@cig.museo.unlp.edu.ar](mailto:llambias@cig.museo.unlp.edu.ar)

<sup>3</sup> Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geología, San Juan 670, 8000 Bahía Blanca

<sup>4</sup> Centro de Pesquisas Geocronológicas (CPGeo). Instituto de Geociências, Universidade de Sao Paulo. Rua do Lago 562. Cidade Universitaria. 05508-900 Sao Paulo, Brasil.

**RESUMEN.** La Sierra Norte forma parte de las Sierras Pampeanas de Córdoba por lo cual las principales intrusiones graníticas y el metamorfismo están relacionadas al ciclo orogénico Pampeano. La mayor diferencia con las Sierras de Córdoba es que en Sierra Norte el grado metamórfico es bajo y las intrusiones son superficiales. La Sierra Norte está compuesta por pequeños afloramientos de metasedimentitas, plutones de granodiorita y granito y cuerpos subvolcánicos relacionados a los últimos estadios del batolito. En este trabajo describimos mantos de ignimbritas intercalados en los metaconglomerados de la Formación La Lidia. Las ignimbritas están moderadamente soldadas y está compuestas por aproximadamente 15 % de porfiroclastos de cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa totalmente alterada. La pasta consiste de trizas vítreas devitrificadas. La edad U/Pb convencional en circones dio 584+22/-14 Ma y es interpretada como la edad de cristalización. Tanto las ignimbritas como la roca de caja han sido afectadas por un metamorfismo en facies prehnita-pumpellita que alteró la plagioclasa en zoicita, sericita y pumpellita. Las ignimbritas silíceas neoproterozoicas, conjuntamente con el batolito calcoalcalino que le suceden sugiere la existencia de un arco magmático asociado al margen continental activo de Gondwana. Este arco habría estado activo desde el Neoproterozoico hasta el Cámbrico, con una duración de más de 60 Ma. La correlación de las metasedimentitas y volcanitas neoproterozoicas con la Formación Puncoviscana es posible.

**Palabras clave:** Sierras Pampeanas Orientales, Sierra Norte de Córdoba, ignimbritas, arco magmático, Neoproterozoico

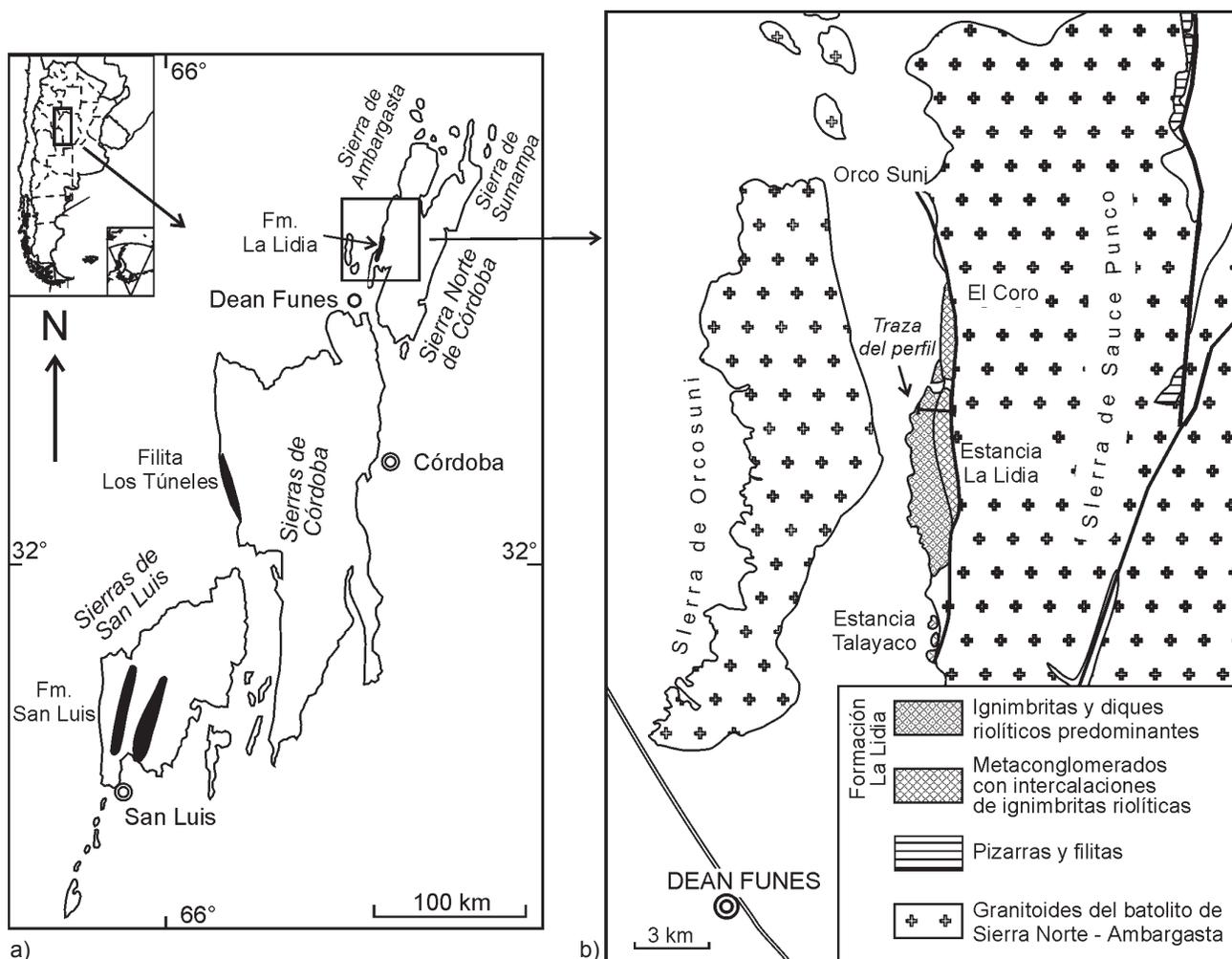
**ABSTRACT.** *Neoproterozoic rhyolite ignimbrites in the Sierra Norte de Córdoba: evidence of an early magmatic arc in the Pampean cycle?* The Sierra Norte belongs to the Sierras Pampeanas of Córdoba and like in the Sierras de Córdoba the main granitic intrusions, metamorphism and deformation are related to the Pampean orogenic cycle. The most important difference with Sierras de Córdoba is that Sierra Norte shows a weaker deformation and a lower grade metamorphism. Sierra Norte consists of small outcrops of metasedimentary rocks intruded by granodioritic and monzogranitic plutons of the Sierra Norte-Ambargasta batholith, of Cambrian age. Dacitic to rhyolitic domes and dikes were intruded during the last stages of the batholith. In this paper we describe rhyolitic ignimbrite sheets within the metaconglomerates of the La Lidia Formation. The ignimbrites are moderately welded and consist of about 15 % of quartz, K-feldspar and entirely altered plagioclase porphyroclasts. Groundmass consists of devitrified glass shards. The conventional U/Pb zircon age is 584+22/-14 Ma and it is considered as the crystallization age. Very low grade metamorphism of the prehnite-pumpellyite facies altered the plagioclase to zoicite, sericite and pumpellyite. The Neoproterozoic silicic ignimbrites, together with the Cambrian calc-alkaline batholith and the related volcanics indicate the existence of a magmatic arc associated with the active margin of the Gondwana continent. This arc was active since Neoproterozoic times, with a duration of more than 60 Ma. Correlation of the Neoproterozoic metasedimentary and volcanics of Sierra Norte with the Puncoviscana Formation of Northwestern Argentina is considered.

**Key words:** Sierras Pampeanas Orientales, Sierra Norte de Córdoba, Ignimbrites, magmatic arc, Neoproterozoic

## Introducción

La región central y noroeste de la Argentina (22° - 33° S) formaba parte del margen activo del continente de Gondwana durante el Proterozoico tardío y Paleozoico temprano. Esta amplia región está integrada por diversas provincias geológicas: Cordillera Oriental, Puna, Sistema del Famatina y Sierras Pampeanas Occi-

dentales y Orientales las que tienen en común rocas con edades del Proterozoico superior y Paleozoico inferior. La actividad volcánica durante este período fue importante pero su conservación ha sido despareja. En las Sierras Pampeanas se preservan escasos afloramientos de rocas volcánicas debido al fuerte ascenso tectónico y erosión ocurridos en los sectores dispuestos sobre el eje orogénico de aquel tiempo. En la Cordillera Oriental,



**Figura 1:** a, Esquema de las sierras de San Luis y Córdoba, con la indicación de los afloramientos más importantes de metasedimentitas. b, Esquema geológico basado en el mapa geológico 1: 250.000 (Candiani *et al.* en prensa) y observaciones propias en lo que respecta a la Formación La Lidia.

Puna y en el Sistema del Famatina el ascenso fue menor y la actividad volcánica ha sido preservada, siendo su conocimiento más detallado que en otros sectores. Por este motivo, el estudio de los escasos remanentes de las rocas volcánicas en las Sierras Pampeanas Orientales contribuye a conocer un aspecto hasta ahora poco estudiado y permitirá comprender las relaciones con otras rocas y con la evolución geológica de ese sector.

Las Sierras Pampeanas Orientales están caracterizadas por un basamento ígneo metamórfico con edades comprendidas entre el Neoproterozoico - Cámbrico temprano y el Devónico. En las Sierras Pampeanas de Córdoba las edades predominantes son del Cámbrico temprano y forman parte del ciclo orogénico Pampeano (Sims *et al.* 1998; Stuart Smith *et al.* 1999; Rapela *et al.* 1998). En las Sierras Pampeanas de San Luis los principales acontecimientos ígneo-metamórficos se desarrollaron entre el Cámbrico superior y el Ordovícico y continuaron con menor intensidad hasta el Devónico, conociéndose a este período como ciclo orogénico Famatiniano.

En las Sierras Pampeanas Orientales las rocas volcánicas son poco frecuentes en los ciclos orogénicos Pampeano y Famatiniano y los afloramientos mejor preservados se encuentran asociados a las fajas metamórficas de bajo grado. En la sierra de San Luis (Fig. 1a) las volcanitas silíceas están relacionadas a las pizarras, filitas y metaconglomerados de la Formación San Luis (Prozzi y Ramos 1988). Consisten en cuerpos tabulares afectados por la foliación metamórfica y han sido interpretados como volcanitas sin-sedimentarias o como diques que cortan la estratificación y que luego fueron deformados conjuntamente (Brodtkorb *et al.* 1984; Hack *et al.* 1991, von Gosen y Prozzi 1998, Söllner *et al.* 2000a). En las fajas de mayor grado metamórfico el reconocimiento de las rocas volcánicas es más difícil y no siempre se logran conclusiones definitivas. Algunas lentes de anfibolita han sido interpretadas como lavas basálticas (Hack *et al.* 1991; Delakowitz *et al.* 1991), pero la edad de este volcanismo máfico todavía no se conoce con precisión. Recientemente González *et al.* (2002) describieron komatitas

con una edad Sm/Nd de  $1502 \pm 95$  Ma que ha sido interpretada como edad de cristalización (Sato *et al.* 2001) y formarían parte del basamento más antiguo de las sierras de San Luis y del cual se conoce muy poco.

En las Sierras Pampeanas de Córdoba se han hallado rocas volcánicas silíceas con escasa deformación y metamorfismo en la Sierra Norte y en su continuación en el sur de Santiago del Estero, aquí denominadas en conjunto como Sierra Norte de Córdoba. La litología de esta sierra difiere del resto de las sierras de Córdoba por la escasa participación de rocas metamórficas de grado medio-alto y por la presencia de cuerpos subvolcánicos, tales como domos y diques. Este volcanismo es tardío respecto al batolito de Sierra Norte-Ambargasta (Lira *et al.* 1997), emplazado en el Cámbrico temprano (Castellote 1985a; Stuart Smith *et al.* 1999). Debido a la escasa magnitud de ascenso y descenso tectónico, en la Sierra Norte de Córdoba se exponen rocas escasamente afectadas por la deformación y el metamorfismo del ciclo orogénico Pampeano. Es por ello que esta sierra constituye una de las localidades más favorables para el estudio de los procesos superficiales más antiguos.

Las ignimbritas riolíticas se encuentran intercaladas entre los metaconglomerados de la Formación La Lidia, evidenciando la ocurrencia de un episodio volcánico contemporáneo con la sedimentación. Este volcanismo es previo a la intrusión del batolito de Sierra Norte-Ambargasta y por lo tanto diferente al conocido en la actualidad, que es tardío a post-batolítico, de modo que se constata la existencia de dos períodos distintos de actividad volcánica. Asimismo, el estudio de las volcanitas pre-batolíticas permitirá conocer la edad de la sedimentación y también facilitará la comparación con otras provincias geológicas situadas en el margen continental de Gondwana y que muestran una actividad volcánica neoproterozoica importante. En la Cordillera Oriental y en la Puna la actividad volcánica contemporánea con la sedimentación de la cuenca de Puncoviscana (Neoproterozoico a Cámbrico inferior) se caracteriza por una asociación bimodal máfica alcalina y silícea (Omarini *et al.* 1999) que contrasta con el volcanismo silíceo de la Sierra Norte de Córdoba, y que de acuerdo con nuestras conclusiones corresponderían a un margen continental activo.

### Antecedentes geológicos

La Sierra Norte de Córdoba se encuentra en el norte de la provincia de Córdoba (Fig. 1a) y continúa al sur de Santiago del Estero, donde recibe la denominación de sierras de Ambargasta y Sumampa. Todas estas sierras se extienden en dirección NNE a lo largo de 150 km y un ancho de 50 kilómetros.

La Sierra Norte de Córdoba está compuesta en su mayor parte (> 95% del total de los afloramientos) por granodioritas y monzogranitos que en conjunto consti-

tuyen el batolito de Sierra Norte-Ambargasta (Lira *et al.* 1997). Tiene edades equivalentes a las del arco magmático Pampeano (Rapela *et al.* 1998; Stuart Smith *et al.* 1999), por lo cual ha sido comparado con otros plutones de la Sierra de Córdoba, cuyas rocas de caja son metamorfitas de grado medio a alto. El nivel de exposición de este batolito es superficial (Guereschi y Martino 2002), ya que algunos monzogranitos son miarolíticos y también son frecuentes los diques de aplitas y pórfidos graníticos. En concordancia con la superficialidad de estos afloramientos se encuentran diversos cuerpos volcánicos de dacitas y riolitas que varían de cuerpos dómicos como el de cerro de los Burros (de aproximadamente 170 km<sup>2</sup>), a diques de pórfidos riolíticos, conocidos como Pórfidos de Oncán (Lucero Michaut y Daziano 1999).

La relación de estos cuerpos volcánicos con el batolito ha sido motivo de controversia. Lucero (1969) indicó que algunos cuerpos como el de dacita-riolita del cerro Los Burros son más antiguos, mientras que Lira *et al.* (1997) sostienen que es posterior. Estos últimos autores describen a la dacita-riolita del cerro de los Burros como un complejo de domos que intruyen a los granitos. Con respecto a los Pórfidos de Oncán hay acuerdo en que intruyen a los plutones graníticos (Castellote 1982; Rapela *et al.* 1991; Martino y Guereschi 2002) por lo cual son tardíos o posteriores al batolito. Las escasas edades obtenidas para estas volcanitas sugieren un emplazamiento tardío respecto al batolito de Sierra Norte-Ambargasta. La dacita de cerro de Los Burros fue datada (K/Ar) en  $499 \pm 20$  y  $523 \pm 15$  Ma (Castellote 1985b) y en  $557 \pm 4$  (U/Pb en circones) por Söllner *et al.* (2000b). Leal (2002) obtuvo una edad U/Pb (SHRIMP) de  $518 \pm 4$  Ma, coherente con los datos K/Ar mencionados. El Pórfido de Oncán dio una edad (Rb/Sr isocrona) de 494 Ma (Rapela *et al.* 1991), que casi no lo separa en el tiempo del batolito de Sierra Norte-Ambargasta.

La roca de caja del batolito aflora en pocos lugares, sus afloramientos tienen dimensiones pequeñas y en diversas localidades el contacto con los plutones que integran el batolito es tectónico. Está constituida por dos grupos de rocas: 1) metamorfitas de grado medio y 2) metamorfitas de grado muy bajo. Las metamorfitas de grado medio se encuentran en las sierras de Ambargasta y Sumampa, provincia de Santiago del Estero, en contacto tectónico con los granitoides. Están constituidas por mármoles, anfibolitas, gneises tonalíticos y esquistos (Lucero Michaut y Daziano 1999). Edades K/Ar de un esquistito cuarzo biotítico de La Tora, de un gneis de San Miguel, y de un esquistito de San Pedro dan  $530 \pm 20$  Ma,  $568 \pm 20$  Ma y  $598 \pm 20$  Ma (Castellote 1985b). No se puede descartar que estas edades reflejen algunos de los episodios termo-tectónicos que afectaron la Sierra Norte de Córdoba, como por ejemplo la intrusión del batolito durante el ciclo orogénico Pampeano.

Las metasedimentitas se conocen desde los trabajos

de Bodenbender (1911). Poseen bajo grado metamórfico y están plegadas. Consisten en conglomerados, wackes y pelitas. Lucero (1969) cita intercalaciones de bancos de tobas en las facies pelíticas. Debido a la reducida extensión y falta de continuidad de sus afloramientos han recibido diversos nombres formacionales: La Lidia (Lucero Michaut y Daziano 1999), La Clemira y El Escondido (Quartino *et al.* 1978).

La Formación La Clemira se caracteriza por el metamorfismo de contacto causado por la intrusión de los plutones graníticos del batolito de Sierra Norte-Ambargasta (Castellote 1982, Martino y Guerreschi 2002). El estudio de aureolas de contacto realizado por Guerreschi y Martino (2002) les permitió concluir que la intrusión del cuerpo granítico se produjo a profundidades equivalentes a < 3 kb, confirmando la superficialidad de los terrenos que componen la Sierra Norte de Córdoba.

Las dataciones K/Ar efectuadas sobre las rocas afectadas por el metamorfismo de contacto en grado biotita han arrojado resultados variables: 517±15 Ma y 520±15 Ma (Castellote 1982) y 567±16 y 500±14 Ma (Koukharsky *et al.* 1999). La carencia de un control geológico detallado sobre las rocas datadas impide analizar los diferentes resultados obtenidos.

### Formación La Lidia

La Formación La Lidia está compuesta por conglomerados, areniscas cuarzo-feldespáticas y limolitas que afloran como delgadas fajas intercaladas tectónicamente en el batolito de Sierra Norte-Ambargasta (Lucero Michaut y Daziano 1999). Además de las rocas citadas incluimos en la Formación La Lidia las ignimbritas, diques y cuerpos riolíticos indiferenciados.

Se levantó un perfil ubicado a 3 km al norte de estancia La Lidia, entre el arroyo La Lidia, donde las sedimentitas están en contacto tectónico con el batolito de

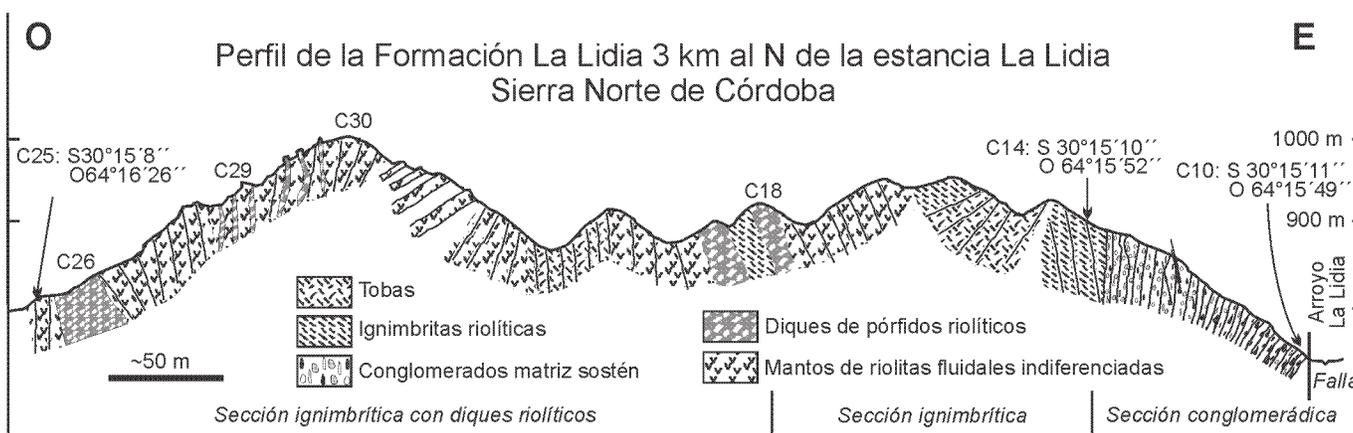
Sierra Norte-Ambargasta, y las lomas que se encuentran al oeste (Figs. 1b y 2). El perfil ha sido agrupado en tres secciones de acuerdo con las características litológicas predominantes y se ha ubicado la muestra datada en este trabajo cuya denominación es C14.

*Sección conglomerádica:* Conglomerados clastos y matriz sostén con delgadas intercalaciones de ignimbritas riolíticas y tobas. Tonalidades predominantes grises claras. Estratificación grosera en bancos de espesor variable entre 10-40 cm con rumbo N50 a N55°O y fuertes inclinaciones hacia el SO hasta verticales.

Los conglomerados tienen clastos de hasta 10 cm de diámetro de pelitas, riolitas, granitos y posibles milonitas. Muchos de los clastos tienen su eje mayor dispuestos paralelo a la estratificación. La matriz es de composición arenosa-arcósica. A unos 15 m por encima del arroyo La Lidia los clastos alcanzan hasta 30 cm de diámetro y los de mayor tamaño son de riolitas y posibles milonitas. A unos 30 m por encima de la base aparecen delgados niveles de brechas de 10 cm de espesor con clastos angulosos y matriz gruesa (> 1 mm) intercalados en bancos de areniscas arcósicas de hasta 40 cm de espesor.

Los niveles ignimbriticos y tobáceos aparecen a 40 m sobre la base del perfil intercalados en areniscas arcósicas transicionales a conglomerados.

*Sección ignimbritica:* Esta sección, cuyo espesor se estima en 250-300 m, está compuesta por tobas, ignimbritas riolíticas y riolitas con marcada fluidalidad, posiblemente ignimbritas fuertemente soldadas, con delgadas intercalaciones de tobas y areniscas arcósicas. Las tonalidades predominantes son grisáceas algo amarillentas. Los planos formados por el flujo laminar del fundido riolítico tienen orientación N15° a N5°O subverticales, coincidente con la estratificación de los bancos de areniscas y conglomerados. Los contactos entre los bancos son difíciles de observar debido a la



**Figura 2:** Sección transversal de la Formación La Lidia 3 km al norte de la estancia del mismo nombre. Los sectores del perfil en blanco están cubiertos y no hay información. Hacia el este la secuencia está en contacto tectónico con granitoides del BSNA. Hacia el oeste está cubierta por depósitos modernos. Escala vertical exagerada 3 veces respecto la horizontal.

cobertura vegetal. La muestra datada en este trabajo, C14, proviene de esta sección (Fig. 2).

*Sección ignimbrítica con diques riolíticos:* Se caracteriza por el predominio de riolitas que se presentan en mantos de ignimbritas y diques. El dique de mayor espesor tiene 12 m (C18), y al igual que las demás unidades está plegado. Está constituido por un pórfido riolítico gris claro con abundantes fenocristales de cuarzo y feldespato potásico. La textura es masiva y no se ha reconocido planos de flujo. En otros diques se advierte la textura fluidal y su rumbo es de N5°O 75NE. Entre C30 y C29 se pueden reconocer al menos 8 diques con espesores individuales de 1-2 metros. En C26 se ubica un conjunto de diques cuyo espesor sumado es de 20 m. Tiene textura porfírica gruesa y la pasta masiva, sin evidencias de textura fluidal.

A 4 km al sur del perfil descripto y a 2 km al norte de la estancia Talayaco continúan las riolitas, pero aumenta considerablemente la relación sedimentitas/riolitas. Entre las sedimentitas predominan limolitas, transformadas en filitas, y que pasan a delgados bancos de conglomerados matriz sostén, con clastos de granito de hasta 10 cm de diámetro, en parte foliados. Localmente contienen delgados bancos de areniscas. Intercalada en esta secuencia se encuentran mantos de riolitas. Este afloramiento está bastante cubierto por derrubio, por lo cual no se ha podido realizar un perfil detallado. El rumbo e inclinación de los bancos es variable debido al plegamiento de estas rocas.

#### Características de las ignimbritas

A pesar de que las volcanitas y sedimentitas poseen deformación penetrativa cizallante y bajo grado de metamorfismo, las texturas primarias se reconocen con facilidad (Fig. 3). Las ignimbritas que se describen aquí provienen de la sección ignimbrítica del perfil levantado (Fig. 2) y entre las que se encuentra la muestra datada C14. Las ignimbritas poseen una textura de tipo porfírica con cristaloclastos euédrales a subédrales,

en parte fragmentados por los procesos piroclásticos. Están compuestos por cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa. El cuarzo muestra los típicos engolfamientos de este mineral en las rocas volcánicas. El feldespato potásico está parcialmente alterado en material arcilloso, mientras que la plagioclasa está totalmente reemplazada por una asociación de sericita, zoicita y prehnita. No se han reconocido minerales ferromagnéticos ni sus pseudomorfos de alteración. La pasta fue vitroclástica, observándose la sombra de las trizas, totalmente cristalizadas en un material sub-microscópico. El interior de las trizas contiene cristales de mayor tamaño que el resto, característico de devitrificación por la fase vapor durante el enfriamiento de la ignimbrita. Los vitroclastos están deformados, en particular en el entorno de los cristaloclastos donde adquieren marcada fluxión, desarrollando colas de presión.

El clivaje metamórfico  $S_1$  es poco perceptible y corta la textura eutaxítica de la ignimbrita con un ángulo cercano a 40°. El grado metamórfico está dado por la paragenesis:

cuarzo+zoicita+sericita+prehnita

que indica un grado muy bajo en facies de prehinta-pumpellita.

#### Geocronología

La datación por el método U-Pb fue efectuada sobre circones de la ignimbrita C14. En el Cuadro 1 se dan los datos analíticos correspondientes. La preparación primaria de la muestra fue realizada en el Centro de Investigaciones Geológicas de la Universidad Nacional de La Plata. Partiendo de aproximadamente 10 kg de roca se fragmentó en trituradora de mandíbulas y trituró en recipiente de widia, con tamizado y utilización de material por debajo de malla 140 (<100 micrones). La concentración de minerales pesados se hizo con elutriador y separador electromagnético Frantz, reservando la fracción no magnética a 1,1 amper. La concentración a partir del pre-concentrado preparado en el CIG, ataque químico y espectrometría de masas fue efectuada en el Centro de Pesquisas Geocronológicas (CPGeo, San Pa-

**Cuadro 1:** Datos analíticos de U-Pb de circones de la ignimbrita riolítica C14 de la Sierra Norte de Córdoba.

SPU	Fracción magnética	207/235#	Error (%)	206/238#	Error (%)	Coef.	207/206#	Error (%)	206/204*	Pb** (ppm)	U** (ppm)	% peso mg	Edad 206/238	Edad 207/235	Edad 207/206
1974	M(-4) A	0,660277	0,588	0,0822634	0,571	0,972319	0,0582128	0,137	1789,9	23,9	262,1	0,0725	510	515	538
1977	NM(-4) A	0,710514	0,793	0,0876161	0,779	0,984066	0,0588149	0,141	1430,9	11,8	124,4	0,0759	541	545	560
1978	NM(-4) B	0,653149	0,622	0,0814182	0,609	0,980227	0,0581821	0,123	1787,2	22,2	239,6	0,0679	505	510	537
1975	M(-4) B	0,626117	0,529	0,0782650	0,517	0,977779	0,0580212	0,111	2812,9	22,9	264,7	0,0669	486	494	531

SPU: N° de laboratorio (CPGeo, San Pablo, Brasil).

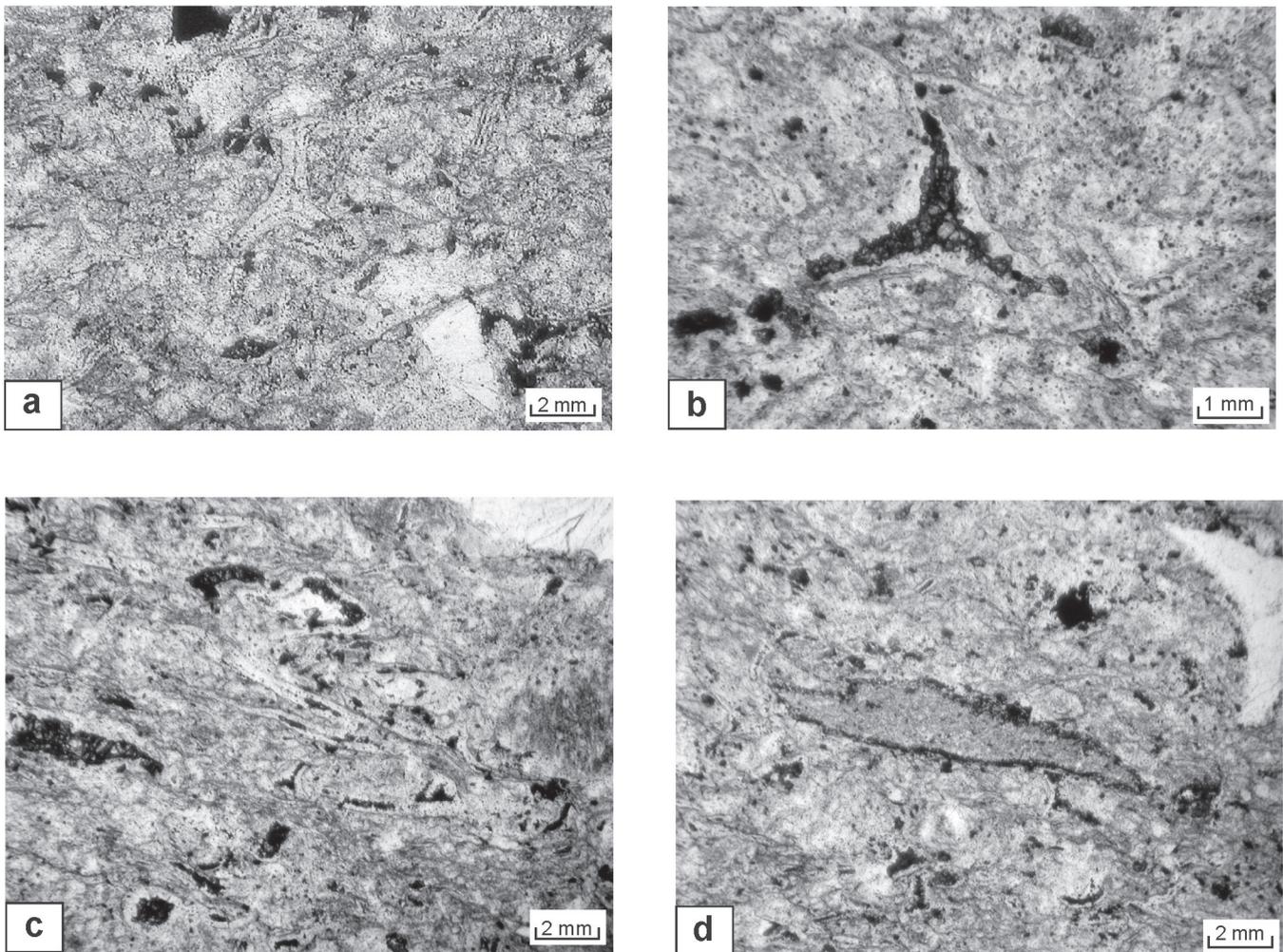
Fracción magnética: M = magnética; NM = no magnética; N° entre paréntesis indica inclinación de Frantz a 1,5 amper.

# Pb radiogénico corregido por blanco y por Pb inicial; U corregido por blanco.

\* No corregido por blanco ni por Pb no radiogénico.

\*\* U y Pb total corregidos por blanco analítico.

Edades calculadas utilizando el programa Isoplot/Ex (Ludwig, 2001); constantes según Steiger y Jäger (1977).

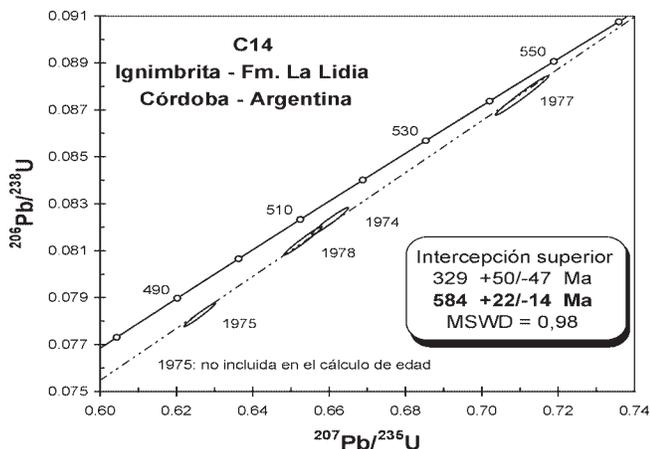


**Figura 3:** Microfotografías con luz plana de la ignimbrita C14. **a**, Vitroclasto con cristalización en su interior debido a la fase vapor. **b**, Detalle de otro vitroclasto mostrando los cristales crecidos durante la fase vapor producida durante la compactación. **c**, Vitroclastos deformados durante la compactación de la ignimbrita. **d**, Vitroclasto de pómez que ha perdido sus poros durante la compactación de la ignimbrita. Su borde externo muestra una cristalización producida durante la fase vapor. En el ángulo superior derecho de la microfotografía se observa un cristaloclastos de cuarzo con fractura concoidal.

blo) según el procedimiento contenido en Basei *et al.* (1995). Se utilizó yoduro de metileno, obteniéndose un concentrado con regular cantidad de fragmentos de cristales de circón y menor cantidad de cristales enteros. Estos últimos son prismáticos, bien formados, habiendo prismas cortos y prismas largos (Fig. 5). Son incoloros y transparentes, aunque frecuentemente contienen buena cantidad de inclusiones, e impregnaciones que fueron retiradas por lavado con  $\text{HNO}_3$ . Seguidamente se obtuvieron fracciones de diferente respuesta magnética (split) en Frantz a 1,5 amper variando la inclinación lateral entre  $10^\circ$  (atrás) hasta  $-4^\circ$  (adelante). Finalmente bajo lupa binocular se separaron cristales de las fracciones menos magnéticas, dos conjuntos de circones no magnéticos a  $(-4^\circ)$  y dos conjuntos de magnéticos a  $(-4^\circ)$ , de aproximadamente 70 microgramos cada una. El ataque químico de las fracciones se hizo con HF y  $\text{HNO}_3$  en microbombas de digestión ácida, con agregado de

trazador mixto  $^{205}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  y calentamiento por 72 horas a  $200^\circ\text{C}$ . Luego de la evaporación de la solución de ataque y disolución en HCl 6N se procedió a calentamiento por otras 24 horas. Nuevamente se evaporó la solución y del residuo tomado en medio HCl 3N se concentró U y Pb en columnas con resinas de intercambio iónico. Evaporadas las soluciones enriquecidas en U y Pb, el residuo en medio  $\text{H}_3\text{PO}_4$  fue llevado a un filamento de renio y se determinaron las composiciones isotópicas en espectrómetro de masas Finnigan MAT 262. Los resultados fueron sometidos a cálculo y graficados en diagramas utilizando el programa Isoplot/Ex (Ludwig 2001).

Las cuatro fracciones de circones analizadas se alinean satisfactoriamente, consiguiéndose el mejor ajuste de una recta discordia con tres de ellas, para un MSWD de 0,98 (Fig. 4). La recta define una intersección superior de  $584 \pm 22 / -14$  Ma, que es considerada la



**Figura 4:** Diagrama de concordia U/Pb en circones de la ignimbrita riolítica C14 intercalada en los conglomerados de la Formación La Lidia.

edad de cristalización de los circones y por lo tanto la edad del evento volcánico. La intercepción inferior, a  $329+50/-47$  Ma puede tentativamente ser relacionada con efectos térmicos y deformativos que acompañaron el emplazamiento de los batolitos post-orogénicos de las sierras de Córdoba y San Luis.

## Discusión

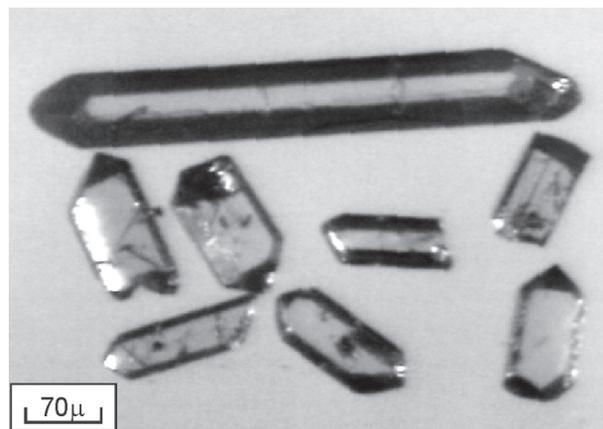
La presencia de rocas volcánicas silíceas es ampliamente conocida en la Sierra Norte de Córdoba. Si bien su relación geológica con respecto a la evolución del batolito de Sierra Norte-Ambargasta aún no ha sido establecida definitivamente, hay acuerdo en que podría estar relacionada a la etapa final de la evolución del mismo. Las edades obtenidas para estas volcanitas señalan un episodio volcánico cámbrico temprano a medio, coetáneo con el batolito de Sierra Norte-Ambargasta (Castellote 1985b; Rapela *et al.* 1991; Leal 2002), corroborando su estrecha relación con el mismo. Con anterioridad al batolito de Sierra Norte-Ambargasta no se habían descrito volcanitas, con excepción de los clastos de riolitas hallados en el metaconglomerado de la Formación La Lidia (Ramos *et al.* 1996; Massabie *et al.* 1997) y los bancos de "...tobas cineríticas verdes y grises..." intercaladas entre las lutitas verdes y violetas descriptas por Lucero (1969) en el arroyo Totorilla.

La intercalación de mantos de ignimbritas riolíticas en los conglomerados de la Formación La Lidia señalan en forma indiscutible una actividad volcánica silícea contemporánea con la sedimentación y anterior al batolito de Sierra Norte-Ambargasta. La edad de estas ignimbritas ( $584+22/-14$  Ma) indica que tanto la sedimentación como el volcanismo tuvieron lugar durante el Neoproterozoico. Esta edad es cercana a la edad máxima de depositación inferida por Sims *et al.* 1998) a partir del análisis de circones detríticos de gneises de

la sierra de Córdoba, por lo cual se puede inferir que el área y magnitud de la sedimentación fue mucho mayor que la que se reconoce a partir de los afloramientos de metasedimentitas. Además, resulta claro que las rocas sedimentarias fueron afectadas por distintos grados de metamorfismo y ensamblados tectónicamente durante la orogenia Pampeana. La edad K/Ar de  $527\pm 21$  Ma de una riolita hipabisal al oeste de la estancia La Lidia (Massabie *et al.* 2002) sugiere la existencia de una actividad magmática más joven, posiblemente contemporánea con el batolito de Sierra Norte-Ambargasta. Sin embargo, no se puede descartar que sea una edad rejuvenecida por la intrusión de dicho batolito y si esta hipótesis se confirmase las riolitas hipabisales podrían corresponder a las facies intrusivas de las ignimbritas descriptas.

No se han hallado en las ignimbritas riolíticas de La Lidia texturas que indiquen la interacción del proceso eruptivo con depósitos de agua, tales como texturas hialoclásticas, por lo cual se infiere una depositación subaérea en consecuencia con un origen fluvial para los conglomerados. Esta característica las distingue de las volcanitas silíceas hialoclásticas de la Formación Puncoviscana descriptas por Omarini *et al.* (1993) y a las que dichos autores le atribuyen un carácter submarino.

Respecto al ambiente tectónico que prevalecía en esa época consideramos que las siguientes características apuntan a un ambiente orogénico: 1) presencia de clastos de riolita en el conglomerado, evidenciando una fuerte actividad volcánica cuya edad podría ser coetánea con la sedimentación o no mucho más antigua que ella ya que los edificios volcánicos todavía se estaban erosionando; 2) probables desarrollos de estratovolcanes relacionados con la efusión de las ignimbritas intercaladas en las metasedimentitas, que sugieren la existencia de una cadena volcánica que podría formar parte de un arco volcánico más extenso. Al igual que en numerosos estratovolcanes de otras localidades es posible



**Figura 5:** Aspecto de los circones de las fracciones NM(-4) donde se observan prismas largos y cortos y también fragmentos.

que por debajo de ellos se encuentren plutones graníticos de similar edad, los cuales no estarían expuestos debido a la escasa magnitud de la erosión en la Sierra Norte de Córdoba; 3) Las características de arco magmático calcoalcalino del batolito de la Sierra Norte-Ambargasta (Bonalmi 1988; Lira *et al.* 1997) y de los pórfidos riolíticos de La Lidia (Massabie *et al.* 2002) sugieren para el Cámbrico temprano la existencia de un margen continental asociado a subducción; 4) todas las rocas mencionadas fueron afectadas por un episodio de deformación y metamorfismo durante el Cámbrico temprano a medio.

Los cuatro argumentos mencionados sugieren un largo periodo de actividad magmática (Neoproterozoico a Cámbrico) con composiciones mesosilícicas a silícicas. Esta hipótesis es apoyada por la edad de 567 Ma de la aureola de contacto de un plutón granítico (Koukharsky *et al.* 1999), que es intermedia entre las edades dadas para el batolito de Sierra Norte-Ambargasta y las ignimbritas de la Formación La Lidia. Si a esto se le suma el metamorfismo y la deformación cámbrica se infiere para toda esta época un largo periodo de inestabilidad cortical propio de un borde continental activo, como ha sido propuesto por Ramos (1988, 1999). De acuerdo con estos argumentos, el arco magmático Pampeano se extendería desde el Neoproterozoico hasta el Cámbrico, abarcando un lapso de un poco más de 60 Ma, similar en extensión temporal al arco andino, que comenzó en el Jurásico y continúa aún en el presente. Sin embargo, no se puede descartar que las volcanitas silícicas de la Formación La Lidia estén relacionadas con un proceso de rifting relacionado a una etapa post-orogénica, como ocurre en varios plateau riolíticos. Un ejemplo de ello, pero más moderno, es la evolución del Grupo Choiyoi, cuyo plateau riolítico-ignimbrito está relacionado a la etapa de rifting que sucedió a la fase orogénica San Rafael (Llambías y Sato 1995). La ausencia en la Sierra Norte de Córdoba de afloramientos anteriores a las volcanitas y sedimentitas de la Formación La Lidia no permite conocer la historia geológica previa, siendo difícil elaborar una hipótesis sobre la evolución tectónica anterior a la sedimentación y el volcanismo. Tampoco hay información química de las ignimbritas riolíticas para inferir el ambiente tectónico a partir de sus características químicas.

Pequeños afloramientos de metasedimentitas, pizarras y filitas son frecuentes en otras localidades de las Sierras Pampeanas Orientales, como por ejemplo la Formación San Luis en la Sierra de San Luis, la filita Los Túneles en las Sierras de Córdoba y otros afloramientos que se encuentran en la provincia de Catamarca (Durand 1990; Ramos *et al.* 1996; Zimmermann y van Staden 2002; van Staden y Zimmermann 2002). Los afloramientos de las Sierras de San Luis han sido correlacionadas con la Formación Puncoviscana (Prozzi y Ramos 1988; Söllner *et al.* 2000a) debido al bajo grado metamórfico y a edades de sedimentación equivalentes.

La edad de la Formación Puncoviscana ha sido establecida en Neoproterozoico a Cámbrico inferior sobre la base de icnofósiles (Aceñolaza y Durand 1986; Aceñolaza *et al.* 1988, Durand y Aceñolaza 1990) y el análisis de circones detríticos indica una edad máxima de sedimentación de 530-560 Ma (Lork *et al.* 1990). Dataciones K/Ar realizadas sobre la fracción fina de pizarras y filitas indican una edad del metamorfismo entre 565 y 535 Ma y de  $618 \pm 25$  Ma (Adams *et al.* 1990 y Do Campo *et al.* 1994; 1999). La actividad volcánica máfica alcalina, y en menor proporción silícica, que acompaña la sedimentación de la Formación Puncoviscana del noroeste de Argentina (Omarini *et al.* 1999) difiere en composición de la que se encuentra en las metasedimentitas de las Sierras Pampeanas Orientales, donde el volcanismo es definitivamente silícico. En cuanto al ambiente tectónico en el cual se depositó la Formación Puncoviscana hay acuerdo que corresponde al margen continental de Gondwana, que según Jezek (1990) sería de tipo pasivo, mientras que para Kraemer *et al.* (1995) y Keppie y Bahlburg (1999) sería activo y correspondería a una cuenca de antepaís. En la Sierra Norte de Córdoba la actividad volcánica silícica asociada a la Formación La Lidia en conjunción con el batolito calcoalcalino de Sierra Norte-Ambargasta que le sucede favorecería la hipótesis de un margen continental activo con el desarrollo de un prolongado arco magmático Neoproterozoico hasta el Cámbrico medio.

De acuerdo con la edad que hemos obtenido, las riolitas y sedimentitas de la Formación La Lidia son más antiguas que las metavolcanitas riolíticas de la Formación San Luis, en la Sierra de San Luis. Söllner *et al.* (2000a) las dataron en  $529 \pm 12$  Ma y concluyeron que eran sin-sedimentarias, por lo cual la sedimentación también comparte una edad cámbrica temprana. Sin embargo, von Gosen y Prozzi (1998) argumentaron que estas volcanitas corresponden a diques dacítico-riolíticos provenientes del plutón granítico de La Escalerilla, por lo cual las metasedimentitas podrían ser más antiguas, sin descartar edades equivalentes a las de la Formación La Lidia. En forma preliminar se podría inferir que las cuencas sedimentarias y los episodios volcánicos de las Sierras Pampeanas se produjeron en varias etapas durante el Neoproterozoico y el Cámbrico temprano, en un lapso equivalente al de la Formación Puncoviscana. Estudios más detallados permitirán un mayor ajuste en las posibles correlaciones.

En el cerro del Corral, Sierra de la Ventana, Varela *et al.* (1990) y Rapela *et al.* (2001) han reconocido una actividad ígnea neoproterozoica definida por el Granito Cerro del Corral y las andesitas intercaladas en el perfil del cerro del Corral. En esta misma área (González *et al.* en prensa) han descrito ignimbritas riolíticas, pero cuya edad no ha sido aun precisada, pero seguramente forman parte de la secuencia que las contiene. También se encuentran ignimbritas neoproterozoicas en la Formación Sierra de Ríos, Uruguay, con una edad (isócrona roca total Rb/Sr) de  $575 \pm 14$  Ma

(Bossi *et al.* 1993). Una correlación preliminar de la actividad ígnea neoproterozoica de la ignimbritas de la Sierra Norte de Córdoba con la del basamento de Sierra de la Ventana podría ser posible, aunque sería necesario contar con mayor información para corroborarla. En Sierra de la Ventana las rocas graníticas y andesíticas son sucedidas por un segundo pulso magmático representado por granitoides (San Mario y Cerro Colorado) y riolitas (La Ermita, La Mascota) con edad cámbrica inferior (Rapela *et al.* 2001; Rapela y Pankhurst 2002). En forma similar las ignimbritas de la Formación La Lidia son sucedidas por un segundo pulso magmático cámbrico inferior, representado por el batolito de Sierra Norte-Ambargasta y los Pórfidos de Oncán (Rapela *et al.* 1991; Stuart Smith *et al.* 1999). Sin embargo, no todo es comparable, ya que en Sierra de la Ventana no se ha descrito hasta el presente el episodio metamórfico cámbrico inferior señalado para las Sierras de Córdoba (Sims *et al.* 1998, Rapela *et al.* 1998). También es diferente el carácter químico, puesto que en la Sierra Norte de Córdoba los granitoides cámbricos son calcoalcalinos mientras que en sierra de la Ventana son peralcalinos, emplazados en un ambiente extensional (Rapela *et al.* 2003).

Con respecto al Uruguay, la correlación es poco probable ya que la Formación Sierra de Ríos se asienta en discordancia sobre granitoides brasilianos fuertemente erosionados y representa un período post-orogénico al final de este ciclo (Bossi *et al.* 1993). Por el contrario las ignimbritas de la Sierra Norte de Córdoba integrarían un arco volcánico dentro del ciclo orogénico pampeano y formarían parte del margen continental activo de Gondwana, como ha sido postulado por diversos autores (Ramos 1988; Rapela *et al.* 2001; Aceñolaza *et al.* 2002).

## Conclusiones

Las metasedimentitas de la Formación La Lidia contienen intercalaciones de ignimbritas riolíticas con moderado soldamiento. Su edad U-Pb en circones es 584±22/-14 Ma. Ignimbritas con estas características pudieron haber provenido de estratovolcanes, propios de un margen continental asociado a subducción, aunque no se puede descartar la alternativa que se encuentren asociados a una tectónica extensional post-orogénica.

Se reconocen en la Sierra Norte de Córdoba dos episodios de actividad volcánica silícica: 1) el más antiguo es pre-batolítico y está asociado a las metasedimentitas que alojan al batolito de Sierra Norte-Ambargasta; 2) el más joven, representado por pórfidos riolíticos, domos (Dacita Los Burros) y diques (Pórfidos de Oncán) es contemporáneo con el batolito. No se descarta una actividad magmática casi continua entre el Neoproterozoico y el Cámbrico Inferior a Medio.

Es factible establecer correlaciones con otras unida-

des metamórficas de bajo grado cuyas edades están comprendidas entre el Neoproterozoico y el Cámbrico temprano de Sierras Pampeanas, incluyendo la Formación Puncoviscana en el Noroeste de Argentina. No se puede descartar una correlación con los protolitos sedimentarios de algunos gneises de las sierras de Córdoba. Sin embargo, es necesario conocer con mayor precisión las edades de cada una de las cuencas sedimentarias para obtener un cuadro estratigráfico más ajustado.

Existe una cierta correlación temporal entre la evolución ígnea de la Sierra Norte de Córdoba con el basamento de Ventana: en ambas provincias geológicas la actividad magmática neoproterozoica es sucedida por un segundo pulso ígneo volcánico - plutónico cámbrico temprano.

## Agradecimientos

Agradecemos la asistencia y enriquecedora discusión en el campo de los colegas R. D. Martino y J.A. Sfragulla. También queremos expresar nuestro reconocimiento a P. D. González, A.M. Sato y W. von Gosen por los valiosos comentarios vertidos sobre el tema tratado. Asimismo, agradecemos los comentarios vertidos por V. Ramos sobre un borrador del manuscrito y de la revisión del trabajo final. Los comentarios de un revisor del presente manuscrito han contribuido a mejorar la calidad del mismo. El trabajo ha sido financiado con el subsidio del Conicet PIP 5022/96, otorgado a C. Prozzi. Los datos isotópicos fueron obtenidos con asistencia del Proyecto bilateral Conicet – CNPq.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Aceñolaza, F.G. y Durand, F., 1986. Upper Precambrian - Lower Cambrian biota from the northwest of Argentina. *Geological Magazine*, 123: 367-375.
- Aceñolaza, F.G., Miller, H. y Toselli, A.J., 1988. The Puncoviscana Formation (Late Precambrian-Early Cambrian). Sedimentology, tectonometamorphic history and age of the oldest rocks of NW Argentina. In: Bahlburg, H., Bretkreuz, C. y Giese, P. (Eds.): *The Southern Central Andes*, pp. 25-37. Springer Verlag, Lectures Notes in Earth Sciences 17, Heidelberg.
- Aceñolaza, F.G., Miller, H. y Toselli, A.J., 2002. Proterozoic - Early Paleozoic evolution in western South American - a discussion. *Tectonophysics*, 354: 121-137.
- Adams, C., Miller, H. y Toselli, A.J., 1990. Nuevas edades del metamorfismo por el método K-Ar de la Formación Puncoviscana y equivalentes, NW de Argentina. En: Aceñolaza, F.G., Miller, H. y Toselli, A.J. (Eds.): *El Ciclo Pampeano del Noroeste Argentino*, Serie de Correlación Geológica 4: 209-219. Tucumán.
- Basei, M.A.S., Siga JR., O., Sato, K. y Sproesser, W. M., 1995. A metodología Urânio-Chumbo na USP. Principios metodológicos, aplicações e resultados obtidos. *Anais da Academia brasileira de Ciências*, 67, 221-237.
- Bodenbender, G., 1911. Constitución geológica de la parte meridional de La Rioja y regiones limítrofes. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias*, 19(1): 2-211. Córdoba.

- Bonalumi, A.A., 1988. Características petrológicas y geoquímicas de los granitoides asociados a la mineralización de manganeso de la provincia de Córdoba y sur de Santiago del Estero, República Argentina. Quinto Congreso Geológico Chileno, Actas 2: E47-E61.
- Bossi, J., Cingolani, C., Llambías, E.J., Varela, R. y Campal, N., 1993. Características del magmatismo post-orogénico Finibrasiano en el Uruguay: Formaciones Sierra de Ríos y Sierra de Animas. *Revista Brasileira de Geociências*, 23(3): 282-288.
- Brodtkorb, M.K., Pezzutti, N.E. y Dalla Salda, L., 1984. Presencia de vulcanismo ácido en el Precámbrico de la provincia de San Luis. 9° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 181-190.
- Candiani, J.C., Gaido, M.F. y Miró, R. Hoja Geológica 3163-I Jesús María, SEGEMAR, Buenos Aires. (En prensa).
- Castellote, P., 1982. Formación La Clemira y edad de su metamorfismo (sierra de Ambargasta, provincia de Santiago del Estero). *Acta Geológica Lilloana*, 16(1): 259-269.
- Castellote, P.R., 1985a. La Formación La Clemira y edad de su metamorfismo. *Acta Geológica Lilloana*, 16(1): 71-76, San Miguel de Tucumán.
- Castellote, P.R. 1985b. Algunas observaciones geológicas en las sierras de Ambargasta y Sumampa (provincia de Santiago del Estero). *Acta Geológica Lilloana*. 16(2): 259-269, San Miguel de Tucumán.
- Delakowitz, B., Höll, R., Hack, M., Brodtkorb, M.K. de and Stärk, H., 1991. Geological and geochemical studies of the Sierra del Morro Oeste (San Luis province, Argentina): meta-sediments and meta-volcanics from the probable back-arc setting. *Journal of South American Earth Sciences*, 4(3): 189-200.
- Do Campo, M., Omarini, R. y Ostera, H., 1994. K-Ar ages obtained from fine fraction of pelites from Puncoviscana Formation, Salta, Argentina. *Revista Geológica de Chile*, 21: 233-240.
- Do Campo, M.D., Nieto, F., Omarini, R.H. y Ostera, H.A., 1999. Neoproterozoic K-Ar ages for the metamorphism of the Puncoviscana Formation, Northwestern Argentina. *Actas 2° South American Symposium on Isotope Geology, SEGEMAR, Anales* 34: 48-53.
- Durand, F.R., 1990. Los conglomerados del Ciclo Pampeano en el Noroeste Argentino. En: Aceñolaza, F.G., Miller, H. y Toselli, A.J. (Eds.): *El Ciclo Pampeano en el Noroeste Argentino*, Serie Correlación Geológica 4: 61-69, Tucumán.
- Durand, F. y Aceñolaza, F.G., 1990. Caracteres biofaunísticos, paleoecológicos y paleogeográficos de la Formación Puncoviscana (Precámbrico superior-Cámbrico inferior) del noroeste Argentino. *Serie Correlación Geológica*, 4: 71-112.
- González, P.D., Sato, A.M. y Llambías, E.J., 2002. The komatiites and associated mafic to ultramafic metavolcanic rocks of western Sierra de San Luis. *Actas del 15° Congreso Geológico Argentino*, Actas 2: 87-90. El Calafate,
- González, P.D., Paez, G.N., Cervera, F.M. y Iribarne, M., 2003. Texturas relicticas en la metaigneimbritas neoproterozoicas del basamento del Cerro del Corral, Sierras Australes de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, en prensa
- Guereschi, A.B. y Martino, R.D., 2002. Evolución textural de las corneanas de La Clemira, Sierra de Ambargasta, Santiago del Estero, Argentina. 15° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 180-183. El Calafate.
- Hack, M., Bordtkorb, M.K., Höll, R. y Brodtkorb, A., 1991. Geología y consideraciones genéticas de los yacimientos scheelíticos entre el dique La Florida y pampa del Tamboreo, provincia de San Luis. Instituto de Recursos Minerales, Universidad Nacional de La Plata, Publicación 1: 113-152.
- Jezek, 1990. Análisis sedimentológico de la Formación Puncoviscana entre Tucumán y Salta. En: Aceñolaza, F., Miller, H. y Toselli, A.J. (Eds.): *El Ciclo Pampeano en el Noroeste Argentino*. Serie de Correlación Geológica 4: 9-39, Tucumán.
- Keppie, J.D. y Bahlburg, H., 1999. Puncoviscana Formation of northwestern and central Argentina: Passive margin or foreland basin deposit? In: Ramos, V. y Keppie, J.D. (Eds.): *Laurentia-Gondwana Connections before Pangea*. Geological Society of America Special Paper 336: 139-143. Boulder, Colorado.
- Koukharsky, M., Munizaga, F., Leal, P., Correa, M.J. y Brodtkorb, M.K. de, 1999. New K/Ar ages in the Ambargasta and Norte de Córdoba ranges, Argentina. *Actas 2° South American Symposium on Isotope Geology, SEGEMAR, Anales* 34: 76-77.
- Kraemer, P.E., Escayola, M.P. y Martino, R.D., 1995. Hipótesis sobre la evolución tectónica neoproterozoica de las Sierras Pampeanas de Córdoba (30°40' – 32°40'), Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 50(1-4): 47-59.
- Leal, P.R., 2002. Estudio metalogénico de los yacimientos de manganeso del departamento de Sobremonte, provincia de Córdoba, Sierras Pampeanas Orientales. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de La Plata, 151p. (Inédito). La Plata.
- Lira, R., Millone, H.A., Kirschbaum, A.M. y Moreno, R.S., 1997. Calc-alkaline arc granitoid activity in the Sierra Norte Ambargasta ranges, Central Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 10: 157-177.
- Llambías, E.J. y Sato, A.M., 1995. El batolito de Colangüil: transición entre orogénesis y anorogénesis. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 50(1-4): 111-131.
- Lork, A., Miller, H., Kramm, U. y Grauert, B., 1990. Sistemática U-Pb de circones detríticos de la Formación Puncoviscana y su significado para la edad máxima de sedimentación en la sierra de Cachi (provincia de Salta, Argentina). En: Aceñolaza, F.G., Miller, H. y Toselli, A.J. (Eds.): *El ciclo Pampeano en el Noroeste Argentino*. Serie de Correlación Geológica, 4: 199-208. Tucumán.
- Lucero, H.N., 1969. Descripción Geológica de las Hojas 16h, Pozo Grande y 17h, Chuña Huasi, provincias de Córdoba y Santiago del Estero. Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín 107: 41 p.
- Lucero Michaut, H. N. y Daziano, C., 1999. Sierras Pampeanas (Córdoba, Santiago del Estero) B) Paleozoico inferior de las sierras del norte de Córdoba y Santiago del Estero. En: Caminos, R. (Ed.): *Geología Argentina*. Servicio Geológico Minero Argentino, Anales 29: 141-144. Buenos Aires.
- Ludwig, K.R., 2001. Using Isoplot/Ex rev. 2.49. A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center, Special Publication N° 1a: 55 p., Berkeley.
- Martino, R.D. y Guerreschi, A.B., 2002. Yacencia, estructura interna y evolución estructural de las corneanas de La Clemira, Sierra de Ambargasta, Santiago del Estero, Argentina. *Actas del 15° Congreso Geológico Argentino*, El Calafate, Tomo 2: 184-187.
- Martino, R.D., Guerreschi, A.B. y Sfragulla, J.A., 2002. Deformación frágil y relaciones regionales de la faja de deformación Los Túneles en las sierras de Pocho y Guasapampa, Córdoba, Argentina. 15° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 232-237. El Calafate
- Massabie, A., Mutti, M., Sanguinetti, A., Cegarra, M. y Mozetic, M., 1997. Fase de deformación dúctil en formaciones eopaleozoicas de la sierra de Ambargasta, Santiago del Estero, y su significado estratigráfico. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 52(2): 209-218.
- Massabie, A., Mutti, D. y Nestiero, O., 2002. Edad, afinidades geoquímicas y tectónicas del pórfido riolítico de La Lidia, Sierra Norte de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 57(1): 80-84.
- Omarini, R.H., Alonso, R.N. y Marcuzzi, J.J., 1993. Hallazgo de vulcanitas en la Formación Puncoviscana, Puna argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 48(2): 179-183.
- Omarini, R.H., Sureda, R.J., Toselli, A. y Rossi, J., 1999. Ciclo Pampeano. Magmatismo. En: González Bonorino, G., Omarini, R.H. y Viramonte, J. (Eds.): *Geología del Noroeste Argentino*, pp. 29-40. Relatorio del 14° Congreso Geológico Argentino, Salta.
- Prozzi, C.R. y Ramos, G., 1988. La Formación San Luis. Primeras Jornadas de Trabajo de Sierras Pampeanas (San Luis, 24-26 agosto, 1988), Abstracts, 1p.

- Quartino, B.J., Massabie, A.C. y Morelli, J.R., 1978. Formaciones Eopaleozoicas en el norte de Córdoba y sur de Santiago del Estero, su magmatismo y significado geológico. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 33(1): 90-92.
- Ramos, V.A., 1988. Late Proterozoic-Early Paleozoic of South America: a collisional story. *Episodes*, 11: 168-174.
- Ramos, V.A., 1999. Evolución Tectónica de la Argentina. En: Caminos, R. (Ed.): *Geología Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales 29: 715-784. Buenos Aires.
- Ramos, G., Prozzi, C. y Ortiz Suárez, A., 1996. Conglomerados del basamento de Sierras Pampeanas. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 1: 607-617.
- Rapela, C.W. y Pankhurst, R.J., 2002. Eventos tecto-magmáticos del Paleozoico Inferior en el margen proto-Atlántico del sur de Sudamérica. 15° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 24-29. El Calafate.
- Rapela, C.W., Pankhurst, R.J. y Bonalumi, A.A., 1991. Edad y geoquímica del pórfido granítico de Oncán, Sierra Norte de Córdoba, Sierras Pampeanas, Argentina. 6° Congreso Geológico Chileno, Resúmenes Expandidos: 19-22.
- Rapela, C.W., Pankhurst, R.J., Casquet, C., Baldo, E., Saavedra, J., Galindo, C. y Fanning, C.M., 1998. The Pampean Orogeny of the southern proto-Andes: Cambrian continental collision in the sierras de Córdoba. In: Pankhurst, R. y Rapela, C.W. (Eds.): *The Proto-Andean Margin of Gondwana*, p. 181-217. The Geological Society, London, Special Publication 142, Londres.
- Rapela, C.W., Pankhurst, R.J. y Fanning, C.M., 2001. U-Pb SHRIMP ages of basement rocks from Sierra de la Ventana (Buenos Aires province, Argentina). 3° South American Symposium on Isotope Geology, Extended Abstracts (CD edition), Sociedad Geológica de Chile, Santiago, 225-228.
- Rapela, C.W., Pankhurst, R., Fanning, C.M. y Grecco, L., 2003. Basement evolution of the Sierra de la Ventana fold belt. New evidences for Cambrian continental rifting along the southern margin of Gondwana. *Journal of the Geological Society, London*, en prensa.
- Sato, A.M., González, P.D. y Sato, K., 2001. First indication of mesoproterozoic age from the western basement of Sierra de San Luis, Argentina. 3° South American Symposium on Isotope Geology, Extended Abstracts (CD edition): Sociedad Geológica de Chile, Santiago, 241-244.
- Sims, J.P., Ireland, T.R., Camacho, A., Lyons, P., Pieters, P.E., Skirrow, R.G., Stuart-Smith, P.G. y Miró, R., 1998. U-Pb, Th-Pb and Ar-Ar geochronology from the southern Sierras Pampeanas, Argentina: implications for the Palaeozoic tectonic evolution of the western Gondwana margin. In: Pankhurst, R. y Rapela, C.W. (Eds.): *The Proto-Andean Margin of Gondwana*, p. 259-281. The Geological Society, London, Special Publication 142, Londres.
- Söllner, F., Brodtkorb, M.K., Miller, H., Pezzutti, N.E. y Fernández, R.R., 2000a. U-Pb zircon ages of metavolcanic rocks from the Sierra de San Luis, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 55(1-2): 15-22.
- Söllner, F., Leal, P.R., Miller, H. y Brodtkorb, M.K., 2000b. Edades U/Pb en circones de la riodacita de la sierra de Ambargasta, provincia de Córdoba. En: Schalamuk, I., Brodtkorb, M. y Etcheverry, R. (Eds.): *Mineralogía y Metalogenia 2000*. INREMI, Publicación 6: 465-469. La Plata.
- Steiger, E.H. y Jäger, E., 1977. Subcommission on geochronology, convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. *Earth and Planetary Science Letters*, 36: 359-362.
- Stuart-Smith, P.G., Camacho, A., Sims, J.P., Skirrow, R.G., Lyons, P., Pieters, P.E. y Black, L.P., 1999. Uranium-lead dating of felsic magmatic cycles in the southern Sierras Pampeanas, Argentina: Implications for the tectonic development of the proto-Andean Gondwana margin. In: Ramos, V.A. y Keppie, J.D. (Eds.): *Laurentia-Gondwana Connections before Pangea*. Geological Society of America Special Paper 336: 87-114. Boulder, Colorado.
- Varela, R., Cingolani, C. y Dalla Salda, L.H., 1990. Edad del Granito Cerro Colorado y su implicancia geotectónica. Sierras Australes de Buenos Aires. 11° Congreso Geológico Argentino (San Juan), Actas 2: 279-282.
- van Staden, A. y Zimmermann, U., 2002. Very-low to low grade sedimentary rocks from Concepción (Sierra de Ambato, Catamarca province): an equivalent of the Puncoviscana Formation?. 15° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 206-209. El Calafate.
- von Gosen, W. y Prozzi, C., 1998. Structural evolution of the Sierra de San Luis (Eastern Sierras Pampeanas, Argentina): implications for the proto-Andean margin of Gondwana. In: Pankhurst, R. y Rapela, C.W. (Eds.): *The Proto-Andean Margin of Gondwana*. The Geological Society, London, Special Publication 142: 235-258. Londres.
- Zimmermann, U. y van Staden, A., 2002. Neoproterozoic to pre-Ordovician very-low to low-grade metasedimentary rocks from Sijan (Sierra Ambato) and Campo Volcán (Puna) in northwestern Argentina. 15° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 229-234. El Calafate.

**Recibido:** 26 de Mayo, 2003

**Aceptado:** 15 de Agosto, 2003