

# Magmatismo carbonífero en la sierra de Ambato, Catamarca

Miguel BÁEZ<sup>1,2</sup>, Ana FOGLIATA<sup>1,3</sup>, Steffen HAGEMANN<sup>4</sup> y João Orestes SANTOS<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Tucumán

<sup>2</sup>Instituto Superior de Correlación Geológica INSUGEO (CONICET-UNT)

<sup>3</sup>Fundación Miguel Lillo, Tucumán

<sup>4</sup>University of Western Australia, Centre for Exploration Targeting, Australia

Email: miadbaez@yahoo.com.ar

Editor: Mónica López de Luchi

## RESUMEN

El granito Joyango, está ubicado en la parte noroeste de la sierra de Ambato, provincia de Catamarca. El mismo tiene una edad de cristalización de  $323,8 \pm 2,2$  Ma determinada mediante el método U-Pb SHRIMP en circones. La composición química del granito Joyango (los contenidos de Rb-Ba-Sr y la relación Zr/Hf), muestran que es un granito evolucionado posiblemente de derivación cortical que presenta alto grado de diferenciación. Los valores de Ga y Al y su relación respecto a los contenidos de Ce, Nb, Zr e Y permiten interpretar al granito Joyango, como de tipo A. Características geoquímicas y edades similares se han determinado en el ámbito de Sierras Pampeanas Orientales, en los granitos San Blas, El Durazno y Huaco (sierra de Velasco), La Quebrada (sierra de Mazán), El Salto y Ayacucho (sierra de Fiambalá) y el granito Cerro Colorado (cerro Negro). Esto remarca la importancia que tuvo el magmatismo carbonífero en esta parte de las Sierras Pampeanas.

**Palabras clave:** U-Pb SHRIMP, granito Joyango, granitos carboníferos.

## ABSTRACT

*Carboniferous Magmatism in Sierra de Ambato, Catamarca.*

The Joyango granite is located in the norwestern part of the Sierra de Ambato, in the province of Catamarca. U-Pb zircon SHRIMP determinations indicate crystallization ages of  $323.8 \pm 2.2$  Ma. The chemical composition of the Joyango granite (Rb-Ba-Sr content and Zr/Hf relation) indicates that it is an evolved granite of crustal derivation that displays a high degree of differentiation. The Ga and Al contents and their relationship with the Ce, Nb, Zr and Y contents, allow the Joyango granite to be interpreted as type A. Geochemical characteristics and similar ages have been identified in other areas of the Eastern Sierras Pampeanas, particularly in the San Blas, El Durazno and Huaco (Sierra de Velasco), La Quebrada (Sierra de Mazán), El Salto and Ayacucho (Sierra de Fiambalá) and Cerro Colorado (Cerro Negro) granites. This highlights the importance that the carboniferous magmatism has in this area of the Sierras Pampeanas.

**Keywords:** U-Pb SHRIMP, Joyango granite, carboniferous granites.

## INTRODUCCIÓN

La sierra de Ambato, ubicada al este de la provincia de Catamarca forma parte de la provincia morfoestructural de Sierras Pampeanas Orientales (Caminos 1979). La estructura de estas sierras se caracteriza por bloques limitados por fallas in-

versas de alto ángulo. La estructura actual se originó principalmente a partir del Mioceno Temprano por reactivación de fallas antiguas. El basamento metamórfico de las Sierras Pampeanas Orientales está conformado por extensas secuencias metasedimentarias que muestran esencialmente alternancia entre rocas metap-

samíticas y metapelíticas. El metamorfismo y la deformación que afectaron a estas secuencias han sido relacionados a tres eventos orogénicos que se sucedieron en el tiempo sobre el margen sur-occidental de Gondwana (Aceñolaza y Toselli 1976, Sims *et al.* 1998, Aceñolaza *et al.* 2000, Rapela *et al.* 2001, Höckenreiner *et al.*

2003, Büttner *et al.* 2005, Steenken *et al.* 2008): el Pampeano (Neoproterozoico tardío - Cámbrico temprano), el Famatiniano (Cámbrico tardío - Devónico Temprano) y el Achaliano (Devónico Medio - Carbonífero temprano) (en Larrovere *et al.* 2012). Las rocas ígneas reconocidas en las Sierras Pampeanas Orientales se agrupan en los siguientes cuatro grupos principales: granitos del Cámbrico medio (Pampeanos), granitos del Ordovícico Temprano a Medio (Famatinianos), granitos del Devónico Medio a Tardío y granitos del Carbonífero temprano (Sims *et al.* 1998, Rapela and Pankhurst 1998, Rapela *et al.* 1998, Pankhurst *et al.* 1998, 2000, Dahlquist y Galindo 2004, Büttner *et al.* 2005, Miller y Söllner 2005, Dahlquist *et al.* 2007, 2008, Rapela *et al.* 2008, Grosse *et al.* 2009). La actividad magmática durante el Carbonífero ha generado plutones graníticos aislados y dispersos con firmas anorogénicas ocurrieron a lo largo de más de 1000 km en las Sierras Pampeanas del Noroeste de Argentina (Dahlquist *et al.*, 2010). Según Grosse *et al.* (2009) la génesis de estos granitos no se conoce bien aún y han sido alternativamente considerados como el producto de un proceso de recalentamiento cortical durante la etapa final del ciclo Famatiniano (Grissom *et al.* 1998, Llambías *et al.* 1998, Höckenreiner *et al.* 2003, Miller y Söllner 2005) o parte de un ciclo separado llamado Achaliano (Sims *et al.* 1998; Siegesmund *et al.* 2004; López de Luchi *et al.* 2007).

El objetivo de este trabajo es presentar una nueva edad U-Pb SHRIMP en circones de rocas graníticas no deformadas de la sierra de Ambato que intruyen de manera discordante a la caja metamórfica y analizar las características geoquímicas de estos granitoides, principalmente el contenido de elementos traza indicadores del grado de evolución y probable potencial mineralizador. La presencia de granitos evolucionados posttectónicos también ha sido observada en zonas próximas a la sierra de Ambato, dentro de sierras Pampeanas Orientales, tales como las sierras de Velasco, Mazán, cerro Negro y Fiambalá. Esos granitos tienen en su mayoría la característica común de estar asociados espacial y genéticamente a mineralizaciones de tungsteno y estaño (Fogliati *et al.* 2012).

## GEOLOGÍA DE LA SIERRA DE AMBATO

La sierra de Ambato está formada por rocas del Complejo Metamórfico La Cébila (Verdecchia 2009) y Complejo Metamórfico Ambato (Verdecchia *et al.* 2011), el Complejo Ígneo-Metamórfico el Portezuelo (Larrovere 2009) y rocas graníticas.

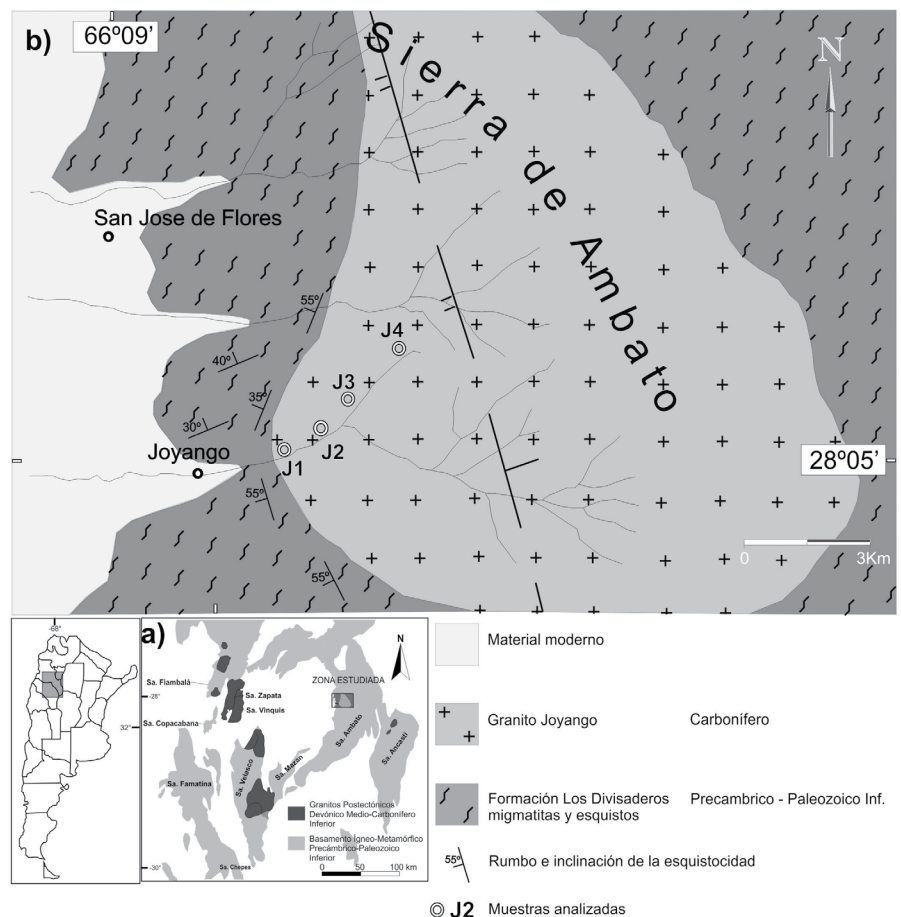
El Complejo Metamórfico La Cébila (antiguamente llamado Formación La Cébila por González Bonorino 1951), aflora al sur de la Sierra de Ambato y está compuesto principalmente por filitas, metapsamitas, cuarcitas, esquistos micáceos y cuarzo-micáceos, gneises y migmatitas (Espizúa y Caminos 1979, Verdecchia 2009). La edad de depositación del protolito del Complejo Metamórfico La Cébila corresponde al Ordovícico Temprano (Verdecchia *et al.* 2007).

El Complejo Metamórfico Ambato consiste principalmente en rocas metamórficas

de alto grado (migmatitas y gneises) y cuerpos graníticos y pegmatíticos discordantes. Larrovere (2009) obtuvo una edad de metamorfismo ordovícica temprana a media a partir de monacitas de una migmatita de la parte central norte de la sierra homónima.

El Complejo Ígneo-Metamórfico El Portezuelo está integrado por migmatitas, gneises, esquistos y numerosos cuerpos menores de granitoides concordantes y en forma subordinada por rocas calcosilicáticas y mármoles.

Las rocas graníticas están representadas por pequeños plutones alargados concordantes con la foliación de la roca de caja y relacionados con la migmatización de los esquistos (González Bonorino 1978) y por cuerpos graníticos de grandes dimensiones como Manchao en la ladera occidental de Ambato de edad devónica (Linares y González 1990). Hacia el norte de la sierra, a la altura de la localidad de Joyango, aflora otro cuerpo



**Figura 1.** a) Ubicación de la zona de estudio dentro de las Sierras Pampeanas de Argentina; b) Mapa geológico del área de estudio con la ubicación de la muestra datada y de las analizadas químicamente.

granítico elongado en sentido norte-sur, al que denominamos granito Joyango.

### Granito Joyango

El granito Joyango es un plutón de forma subredondeada que aflora en la parte noroccidental de la sierra de Ambato (Fig. 1). El contacto con la roca de caja metamórfica es neto y se observaron *roof pendants* de rocas metamórficas en zonas próximas al contacto. El plutón granítico es discordante con la esquistosidad de la roca de caja, y la misma se acomoda al borde del intrusivo en las zonas cercanas al contacto. El rumbo general de la esquistosidad es 250° a 270° con inclinaciones al Oeste que varían entre 30° a 55°.

Es un monzogranito no deformado de color blanco amarillento, textura inequigranular con tamaños de grano de 1 a 5 mm. Sus minerales esenciales son cuarzo, plagioclasa y microclino. Los minerales accesorios son: biotita, turmalina, apatito y circón. También se observa muscovita secundaria. Presenta pequeñas cavidades miarólficas de 5 mm de largo promedio tapizadas por cuarzo.

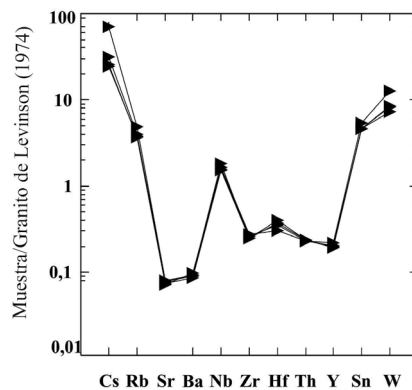
### Geoquímica del granito Joyango

En el cuadro 1 se presentan los análisis geoquímicos realizados para el granito Joyango. Las muestras se molieron y analizaron en el laboratorio ACME de Vancouver, Canadá. Los elementos mayores fueron determinados mediante FRX (fluorescencia de Rayos X) y los elementos traza con ICP-MS (Induced Coupled Plasma/ Mass Spectrometry).

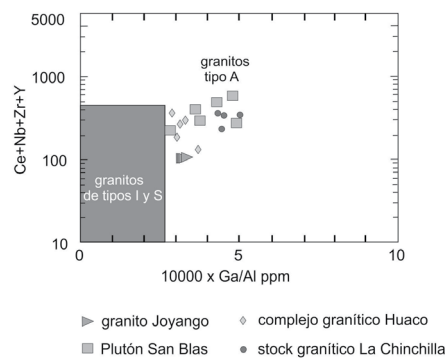
El granito Joyango es rico en sílice, con valores comprendidos entre 72,4 y 73,8 %. La geoquímica de elementos mayores indica que es fuertemente peraluminoso ( $ASI > 1,1$ , cuadro 2) y presenta contenidos de álcalis totales promedio de 8,2 %. Para realizar el diagrama de multielementos se seleccionaron algunos elementos traza que se utilizan como indicadores del grado de diferenciación y potencial mineralizador de las rocas graníticas. Los contenidos de los mismos respecto a un granito normal según Levinson (1974) muestran un enriquecimiento en Cs, Rb, Sn y W, y empobrecimiento en Sr, Ba, Zr, Hf, Th e Y. El Nb presenta valores próximos al normal (Fig. 2). Analizando la rela-

ción  $Ga/Al \times 10.000$  respecto a la suma de los contenidos de Ce, Nb, Zr e Y mediante el diagrama de Whalen *et al.* (1987), se observa que las muestras del granito Joyango se proyectan en el campo de los granitos de tipo A (Fig. 3).

Proyectando los valores de Rb, Ba y Sr en el diagrama ternario de El Bouseily y El Sokkary (1975) se observa que todas las muestras se agrupan en el campo de los granitos fuertemente diferenciados. Las relaciones Ba/Rb, Sr/Rb y K/Rb relacionadas al potencial mineralizador, se presentan en el Cuadro 2. Mediante los diagramas ortogonales Ba-Rb y Sr-Rb de Tauson y Kozlov (1973) y de Dall Agnol *et al.* (1994), se observa que todas las muestras se ubican en el campo de los granitos fértiles. Así mismo, la relación K/Rb de las muestras estudiadas es  $<100$ , lo que indicaría que corresponden a granitos liga-



**Figura 2.** Diagrama multielemental de granitos del plutón Joyango normalizado con el granito de Levinson (1974).



**Figura 3.** Diagrama de discriminación  $Ce+Nb+Zr+Y$  vs.  $10.000 \times Ga/Al$  (Walén *et al.* 1987) tomado de Dahlquist *et al.* 2010 donde se incluyen los datos de las muestras del granito Joyango, que presentan valores de  $Ga/Al \times 10.000$  entre 3 y 3,3.

**CUADRO 1.** Composición química de las muestras analizadas

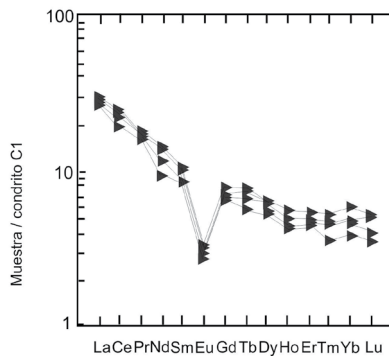
	Granito Joyango			
	J1	J2	J3	J4
SiO <sub>2</sub>	72,43	73,73	73,50	73,24
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,24	14,67	14,30	14,36
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,66	1,64	1,52	1,89
CaO	0,85	0,50	0,50	0,51
MgO	0,23	0,17	0,15	0,19
Na <sub>2</sub> O	3,51	3,78	3,83	3,72
K <sub>2</sub> O	4,55	4,47	4,45	4,46
MnO	0,05	0,06	0,04	0,06
TiO <sub>2</sub>	0,09	0,08	0,09	0,07
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,43	0,42	0,43	0,42
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,004	0,003	0,004	<0,01
LOI	1,36	0,81	0,90	0,79
Total	99,40	100,3	99,70	99,71
Ba	54	56	51	58
Be	5	20	14	13
Co	1,6	1,6	1,3	1,7
Cs	157,7	350,9	121,7	128,7
Ga	25,0	24,0	23,1	23,0
Hf	1,2	1,5	1,6	1,4
Nb	32,7	36,5	30,4	31,6
Rb	595,8	731,2	560,9	549,8
Sn	16	14	14	14
Sr	22,1	22,7	21,1	20,5
Ta	8,9	10,7	6,9	6,2
Th	3,9	4,0	4,0	3,9
U	5,0	8,0	6,3	5,8
V	23	24	19	15
W	25,2	14,4	16,4	17
Zr	49,4	44,8	45,0	47,1
Y	8,8	7,8	7,9	8,2
La	6,5	5,6	5,9	6,6
Ce	14,2	11,9	12,9	14,0
Pr	1,68	1,51	1,54	1,63
Nd	6,4	4,5	5,7	5,6
Sm	1,56	1,33	1,56	1,50
Eu	0,15	0,16	0,18	0,17
Gd	1,57	1,28	1,40	1,43
Tb	0,29	0,24	0,25	0,28
Dy	1,56	1,27	1,44	1,57
Ho	0,31	0,24	0,24	0,27
Er	0,73	0,77	0,78	0,81
Tm	0,13	0,09	0,11	0,12
Yb	0,98	0,64	0,82	0,78
Lu	0,13	0,09	0,10	0,12

Análisis químicos de elementos mayores (%), elementos traza y tierras raras (ppm) del granito Joyango.

**CUADRO 2.** Indicadores de potencial mineralizador e índice de saturación de aluminio en granitos de sierras Pampeanas Orientales

Granitos	SiO <sub>2</sub> %	ASI	Rb ppm	Sn ppm	W ppm	Ba/Rb	Sr/Rb	K/Rb
Joyango	73,73 - 72,43	>1,1	550 - 731	14 - 16	14 - 25	0,8 - 0,1	0,03 - 0,04	51 - 67
San Blas	74,50 - 76,66	1,0 - 1,2	261 - 548	13 - 177	7 - 10	0,09 - 0,15	0,03 - 0,08	55 - 80
El Durazno	73,49 - 75,88	1,1 - 1,3	466 - 831	3 - 9	3 - 42	0,01 - 0,06	0,01 - 0,16	40 - 58
Huaco	73,94 - 73,99	1,1 - 1,2	343 - 457	12 - 19	3 - 6	0,40 - 0,52	0,10 - 0,14	97 - 119
La Quebrada	74,37 - 75,76	1,0 - 1,1	511 - 524	40 - 49	8 - 11	0,01 - 0,02	0,02 - 0,03	37 - 63
El Salto	74,64 - 76,02	1,0 - 1,1	581 - 942	22 - 430	9 - 58	0,01 - 0,02	0,01 - 0,02	52 - 41
Ayacucho	74,49 - 75,45	1,0 - 1,2	732 - 966	8 - 128	6 - 52	Baja	Baja	38 - 53
Cerro Colorado	72,42	1,0 - 1,1	334	9	4	0,9	0,2	131

Datos de Fogliata et al. (2012) y Fogliata et al. (2008).



**Figura 4.** Diagrama de REE normalizado al condrito C1 de Anders y Grevesse (1989) donde se observa un mayor contenido en tierras raras livianas respecto a las pesadas y una marcada anomalía negativa de Eu.

dos a mineralizaciones (Tischendorf 1977, Olade 1980).

Las muestras presentan bajos contenidos en RRE, con un promedio de 33,4 ppm. En el diagrama de REE normalizado con el condrito C1 (Anders y Grevesse 1989) se observa un patrón característico de la corteza superior, enriquecido en REE livianas y con una marcada anomalía negativa de Eu entre 0,29 y 0,37 (Fig. 4). La relación LaN/LuN varía entre 5,35 y 6,67.

## NUEVA EDAD U-Pb SHRIMP EN CIRCONES

En el área de estudio, se analizó la muestra J2 (28°05'33,6" S - 66°6'16,1" O) perteneciente al granito Joyango, de donde se separaron los circones mediante un elutriador en el Laboratorio de la cátedra

de Geoquímica de la Universidad Nacional de Tucumán. Posteriormente, esos circones fueron montados en epoxy y fotografiados en el Centre for Microscopy, Characterisation and Analysis de la Universidad de Western Australia (imágenes de electrones retro-difundidos, Fig. 5). Esas imágenes son importantes para localizar y evitar zonas que pueden generar datos discordantes o con contenido de plomo común, como áreas metamictizadas, microinclusiones, microfracturas, etc. Tales zonas no son visibles en imágenes tipo CL (Catodoluminescencia).

Los circones son prismáticos y presentan zonación, con relación largo-ancho entre 2:1 y 4:1. Presentan contenidos dispares de U y Th y razones Th/U normales para circones magmáticos (promedio= 0,65). La composición isotópica de los circones fue determinada usando SHRIMP II (Sensitive High-mass Resolution Ion MicroProbe) siguiendo el procedimiento de De Laeter y Kennedy (1998) y los datos obtenidos están en el Cuadro 3. Cada análisis hizo la determinación de nueve masas isotópicas repetidas en seis scans.

El standard BR266 (559 Ma; 903 ppm U) fue empleado para la calibración de la relación Pb/U. Los datos generados por el SHRIMP II fueron tratados y calibrados con el software Squid 2.5 (Ludwig 2009) mientras que el diagrama de concordia presentado fue preparado con el software Isoplot 3.75 (Ludwig 2012). Nueve de los diez análisis realizados tienen la misma edad (considerando los errores). La

edad de concordia es de 323,8 ± 2,2 Ma, la cual corresponde al Carbonífero (límite Misisípico-Pensilvánico). El grano a.4-1 es aproximadamente 14 Ma más antiguo y se proyecta fuera del grupo con 338 Ma (Fig. 6). Posiblemente esa edad está incorporando material radiogénico heredado.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las características observadas en el campo, tales como contactos netos con la roca de caja y ausencia de deformación, indicarían que se trata de un plutón granítico posttectónico.

Los resultados de los análisis geoquímicos, especialmente los contenidos de SiO<sub>2</sub> (72,4 - 73,8%) y de álcalis totales promedio (8,2%), el índice de saturación de aluminio (ASI) > 1,1 y la relación FeO/(FeO+MgO)= 0,87-0,90 son coincidentes con los presentados por Dahlquist *et al.* (2010) para granitos de las Sierras Pampeanas Orientales. Respecto a los elementos traza, los contenidos de Ga y Al y su relación respecto a los contenidos de Ce, Nb, Zr e Y mediante el diagrama de Whalen *et al.* (1987), permiten interpretar al granito Joyango, como de tipo A. Esto también coincide con los plutones San Blas y los Árboles y los complejos graníticos Zapata y Huaco caracterizados por Dahlquist *et al.* (2010) como granitos de tipo A.

Por otra parte, la relación Zr/Hf varía entre

**CUADRO 3.** Composición isotópica de los circones estudiados

Puntos analizados	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	<sup>206</sup> Pb (ppm)	f206 %	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	% err	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	% err	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	% err	err corr	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U Edad	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb Edad	% Disc.
1409a.2-1-1	322	129	0,41	14,0	0,00	0,05197	2,88	0,3632	3,24	0,0507	1,48	0,458	318,8±4,6	284±66	-12
1409a.4-1	1621	1034	0,66	75,0	0,00	0,05265	1,14	0,3909	1,83	0,0538	1,44	0,784	338,0±4,7	314±26	-8
1409a.4-2-3	2600	4111	1,63	115,6	0,08	0,05284	1,41	0,3768	1,91	0,0517	1,30	0,678	325,0±4,1	322±32	-1
1409a.5-1	2770	1386	0,52	122,2	0,51	0,05306	2,09	0,3739	2,48	0,0511	1,33	0,538	321,3±4,2	332±47	3
1409a.5-2	760	492	0,67	33,3	0,18	0,05348	1,77	0,3751	2,36	0,0509	1,57	0,663	319,8±4,9	349±40	8
1409a.5-3-4	1088	684	0,65	47,9	0,00	0,05411	1,61	0,3825	2,08	0,0513	1,32	0,636	322,3±4,2	376±36	14
1409a.6-1	465	163	0,36	20,7	0,00	0,05233	2,09	0,3730	2,53	0,0517	1,42	0,560	324,9±4,5	300±48	-8
1409a.7-1	3959	2268	0,59	178,5	0,42	0,05268	1,47	0,3795	1,94	0,0522	1,26	0,651	328,3±4,0	315±33	-4
1409a.8-1-2	2173	893	0,42	97,8	0,00	0,05305	1,07	0,3831	1,68	0,0524	1,30	0,771	329,1±4,2	331±24	0
1409a.10-1	3101	1661	0,55	136,1	0,16	0,05307	1,16	0,3732	1,73	0,0510	1,29	0,743	320,7±4,0	332±26	3

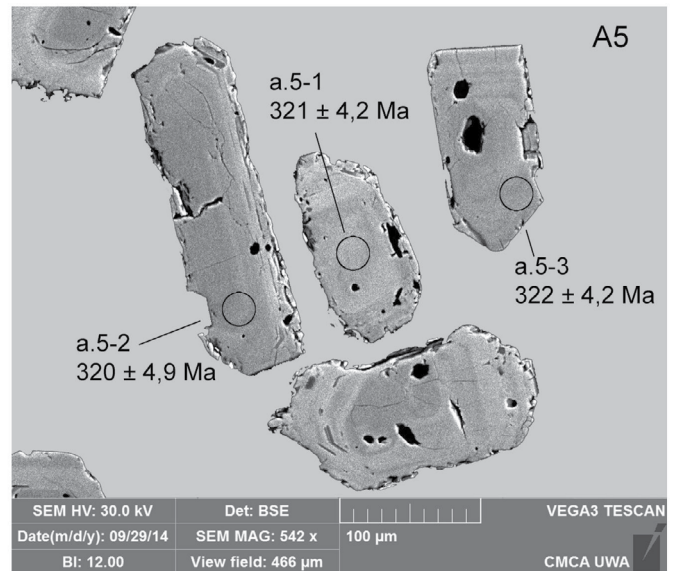
f206 = <sup>206</sup>Pb común/<sup>206</sup>Pb total medido, basado en medidas de <sup>204</sup>Pb.

Valores determinados mediante SHRIMP II (Sensitive High-mass Resolution Ion MicroProbe) siguiendo el procedimiento de De Laeter y Kennedy (1998).

28 y 41. Los valores altos de la relación Zr/Hf (entre 32 y 38) son característicos de materiales corticales (Müller *et al.* 2006). Los contenidos de Rb (549,8-731,2 ppm), Ba (51-58 ppm) y Sr (20,5-22,7 ppm) indican que el granito estudiado presenta un alto grado de diferenciación.

Comparando las características geoquímicas del granito Joyango con rocas graníticas de edad carbonífera de áreas próximas dentro del ambiente de sierras Pampeanas Orientales, (granitos San Blas, El Durazno y Huaco en la sierra de Velasco, La Quebrada en la sierra de Mazán, El Salto y Ayacucho en la sierra de Fiambalá y el granito Cerro Colorado en Cerro Negro) podemos decir lo siguiente: todos los granitos presentan altos contenidos en sílice con respecto a un granito "normal" de Levinson (1974) y son peraluminosos (Cuadro 2). En cuanto a los elementos traza, se destaca en todos los granitos un enriquecimiento en Rb, Sn y W, presentando los valores más bajos en W los granitos Huaco y Cerro Colorado (Cuadro 2). Con respecto a las relaciones Ba/Rb y Sr/Rb, son bajas y la relación K/Rb es < 100 en todos los casos a excepción de los granitos Huaco y Cerro Colorado (Cuadro 2). Esto por el momento solo estaría dando indicio de un

**Figura 5.** Imagen obtenida por electrones retro-difundidos de los circones datados con indicación de los puntos analizados.



probable potencial mineralizador del granito Joyango. En cuanto a los valores de Cs son > 50 ppm en los granitos Joyango y la Quebrada, siendo más bajos en el resto de los granitos.

La edad obtenida de 323,8 ± 2,2 Ma (Mississippiano superior) para el granito Joyango indica la presencia de un evento magmático carbonífero en la sierra de Ambato. Este resultado, reforzaría la importancia que tuvo el magmatismo carbonífero en las Sierras Pampeanas Orientales como

las de Velasco, Mazán, cerro Negro y Fiambalá (Cuadro 4). Por último, queda por resaltar que la edad de cristalización para el granito Joyango, corresponde a la menor edad determinada hasta el momento, para esa región (Cuadro 4).

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la University of Western Australia, a la Fundación Mi-

guel Lillo y al Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Tucumán (CIUNT) por su valioso aporte para la realización de este trabajo. También deseamos agradecer las importantes observaciones de los revisores y especialmente a las sugerencias de la Dra. Mónica López de Luchi.

REFERENCIAS

Aceñolaza, F.G. y Toselli, A.J., 1976. Consideraciones estratigráficas y tectónicas sobre el Paleozoico inferior del noroeste argentino. 2° Congreso Latinoamericano de Geología, Actas: 755-763, Caracas.

Aceñolaza, F.G., Miller, H. y Toselli, A.J. 2000. The Pampean and Famatinian Cycles- Superposed Orogenic Events in West Gondwana. Zeitschrift für Angewandte Geologie Sonderheft SH 1: 337-344, Hannover.

Anders, E. y Grevesse, N. 1989. Abundances of the elements: Meteoritic and solar. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 53: 197-214.

Báez, M., Basei, M.A., Toselli A.J. y Rossi J. 2004. Geocronología de granitos de la sierra de Velasco (Argentina): reinterpretación de la secuencia magmática. Simposio Cuarenta Anos de Geocronología no Brasil (CPGeo), Actas: 85, São Paulo.

Büttner, S.H., Glodny, J., Lucassen, F., Wemmer, K., Erdmann, S., Handler, R. y Franz, G. 2005. Ordovician metamorphism and plutonism in the Sierra de Quilmes metamorphic complex: Implications for the tectonic setting of the Northern Sierras Pampeanas (NW Argentina). *Lithos* 83: 143-181.

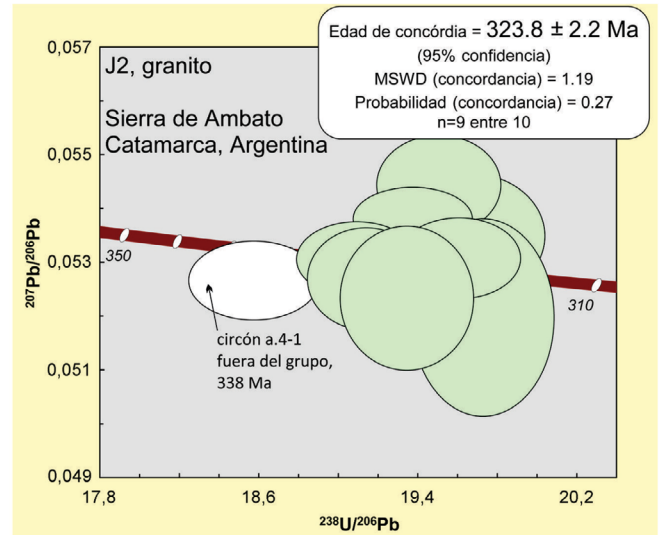
Caminos, R., 1979. Sierras Pampeanas Noroccidentales. Salta, Tucumán, Catamarca, La Rioja y San Juan. En: Turner, J.C.M. (ed.), *Geología Regional Argentina*. Academia Nacional de Ciencias, 225-291, Córdoba.

Dahlquist, J.A. y Galindo, C., 2004. Geoquímica isotópica de los granitoides de la sierra de Chepes: un modelo geotectónico y termal, implicancias para el orógeno famatiniano. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 59: 57-69.

Dahlquist, J.A., Pankhurst, R.J., Rapela, C.W., Casquet, C., Fanning, C.M., Alasino, P. y Baez, M., 2006. The San Blas Pluton: an example of Carboniferous plutonism in the Sierras Pampeanas, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 20: 341-350.

Dahlquist, J., Casquet, C., Alasino, P., Galindo, C., Grant, C. y Medina, C. 2007. A-type gra-

Figura 6. Diagrama de Terra-Wasserburg de la muestra J2 donde se observa la agrupación de las edades en circones de 323,8 ± 2,2 Ma y la separación del circón a.4-1 con una edad de 338 Ma.



CUADRO 4. Recopilación de edades U-Pb en minerales accesorios de los granitos carboníferos de las sierras Pampeanas Orientales.

SIERRAS	GRANITO	EDAD/MÉTODO
		334 ± 5 Ma U/Pb Convencional circón (Báez <i>et al.</i> 2004)
	San Blas	340 ± 3 Ma U/Pb SHRIMP (Dahlquist <i>et al.</i> 2006)
	Asha	343 ± 1 Ma U/Pb convencional en circones (Báez <i>et al.</i> 2004)
Velasco	Huaco	350 ± 5 Ma, 358 ± 5 Ma U/Pb convencional en Monacita (Grosse <i>et al.</i> 2009)
		354 ± 4 Ma ICP-LAMS U/Pb circón (Söllner <i>et al.</i> 2007)
	Sanagasta	352,7 ± 1,4 Ma U/Pb convencional en monacita (Grosse <i>et al.</i> 2009)
	La Chinchilla	344,5 ± 1,4 Ma U/Pb convencional en monacita (Grosse <i>et al.</i> 2009)
Mazán	La Quebrada	352,3 ± 3,9 Ma U/Pb SHRIMP (Fogliata <i>et al.</i> 2012)
Cerro Negro	Cerro Colorado	350,3 ± 2,5 Ma U/Pb SHRIMP en circones (Fogliata <i>et al.</i> 2012)
	Los Ratones	335 Ma U/Pb convencional en circones (Grissom <i>et al.</i> 1998)
Fiambalá	La Florida	325 Ma U/Pb convencional en monacita (Grissom <i>et al.</i> 1998)

nitoids in the Eastern Sierras Pampeanas (Argentina): evidence for early carboniferous aborted rifting? *GEOSUR, An International Congress on the Geology and Geophysics of Southern Hemisphere*, Abstracts: 47, Santiago de Chile.

Dahlquist, J.A., Pankhurst, R.J., Rapela, C.W., Galindo, C., Alasino, P., Fanning, C.M., Saavedra, J. y Baldo, E. 2008. New SHRIMP U-Pb data from the Famatina complex: constraining Early-Mid Ordovician Famatinian magmatism in the Sierras Pampeanas, Argentina. *Geologica Acta* 6: 319-333.

Dahlquist, J.A., Alasino, P., Eby N., Galindo C. y Casquet C. 2010. Fault controlled Carboniferous A-type magmatism in the proto-Andean foreland (Sierras Pampeanas, Argentina): Geochemical constraints and petrogenesis. *Lithos* 115: 65-81.

Dall Agnol, R., Lafon, J.M., y Macambira, M.J.B. 1994. Proterozoic and orogenic magmatism in the Central Amazonian Province, Amazonian Craton: geochronological, petrological and geochemical aspects. *Mineralogy and Petrology* 50: 113-138.

De Laeter, J.R. y Kennedy, A.K. 1998. A double

- focusing mass spectrometer for geochronology. *International Journal of Mass Spectrometry* 178: 43-50.
- El Bouseily, A.M. y El Sokkary, A.A. 1975. The relation between Rb, Ba and Sr in granitic rocks. *Chemical Geology* 16: 207-219.
- Espizúa, L. y Caminos R. 1979. Las rocas metamórficas de la Formación La Cébila, Sierra de Ambato, provincias de Catamarca y La Rioja. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, Argentina* 53: 125-142.
- Fogliata A., Rubinstein N., Avila J. y Báez, M. 2008. Depósitos de greisen asociados a granitos carboníferos post-orogénicos con potencial mineralizador, Sierra de Fiambalá, Catamarca, Argentina. *Boletín Geológico y Minero de España*, 119: 509-524.
- Fogliata, A., Báez, M., Hagemann, S., Santos, J. O. y Sardi, F. 2012. Post-orogenic, Carboniferous granite hosted Sn-W mineralization in the Sierras Pampeanas Orogen, Northwestern Argentina. *Ore Geology Reviews* 45: 16-32.
- González Bonorino, F. 1951. Una nueva Formación precámbrica en el Noroeste Argentino. *Comunicaciones Científicas Museo La Plata* 5: 4-6.
- González Bonorino, F. 1978. Descripción geológica de la Hoja 14f, San Fernando del Valle de Catamarca. Servicio Geológico Nacional de Minería. *Boletín* 160, 123 p., Buenos Aires.
- Grissom, G.C., Debari, S.M. y Lawrence, W.S. 1998. Geology of the Sierra de Fiambalá, northwestern Argentina: implications for early Palaeozoic Andean tectonics. En: Pankhurst, R.J., Rapela, C.W., (eds.) *The Proto-Andean margin of Gondwana*. Geological Society, Special Publications, 297-323, London.
- Grosse, P., Sollner, F., Báez, M., Toselli, A., Rossi, J. y De La Rosa, J.D. 2009. Lower carboniferous post-orogenic granites in central-eastern Sierra de Velasco, Sierras Pampeanas, Argentina: U-Pb monazite geochronology, geochemistry and Sr-Nd isotopes. *Internacional Journal of Earth of Sciences* 98: 1001-1025.
- Höckenreiner, M., Söllner, F. y Miller, H. 2003. Dating the TIPA shearzone: an Early Devonian terrane boundary between Famatinian and Pampean systems (NW-Argentina). *Journal of South American Earth Sciences* 16: 45-66.
- Larovere, M., 2009. Petrología de la faja migmatítica entre el flanco noroccidental de la Sierra de Ancasti, su continuación en la Sierra de Aconquija y el flanco nororiental de la Sierra de Ambato: Córdoba. Tesis doctoral, Universidad Nacional de Córdoba (inédita), 234 p., Córdoba.
- Larovere, M. A., de los Hoyos, C. R. y Grosse, P. 2012. Los complejos metamórficos del retro-arco Famatiniano (noroeste de Argentina): caracterización geoquímica e isotópica de sus protolitos e implicancias geotectónicas. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 29: 676-695.
- Levinson, A.A. 1974. Introduction to exploration geochemistry. Applied Publication 1989, 612 p., Calgary.
- Linares, E. y González, R.R. 1990. Catálogo de edades radimétricas de la República Argentina (1957-1987). Asociación Geológica Argentina. Publicaciones Especiales, Serie 'B' (Didáctica y Complementaria) 19, 628 p., Buenos Aires.
- Llambías E. J., Sato AM, Ortiz Suárez A, Prozzi C. 1998. The granitoids of the Sierra de San Luis. En: Pankhurst R. J, Rapela C.W. (eds.), *The Proto-Andean margin of Gondwana*. Geological Society, Special Publication 142: 241-256, London.
- López de Luchi, M. G., Siegesmund, S., Wemmer, K., Steenken, A. y Naumann, R. 2007. Geochemical constraints on the petrogenesis of the Paleozoic granitoids of the Sierra de San Luis, Sierras Pampeanas, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 24: 138-166.
- Ludwig, K.R. 2009. SQUID 2: A User's Manual. Berkeley Geochronological Centre, Special Publication 5: 1-110.
- Ludwig, K.R. 2012. User's Manual for Isoplot 3.75: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication 5: 1-75.
- Miller, H. y Söllner, F. 2005. The Famatina complex (NW-Argentina): back-docking of an island arc or terrane accretion? Early Palaeozoic geodynamics at the western Gondwana margin. En: Vaughan A.P.M., Leat P.T. y Pankhurst, R.J. (eds.), *Terrane processes at the margins of Gondwana* Geological Society, Special Publication: 241-256, London.
- Müller A., Seltmann R., Halls C., Siebel W., Dulski P., Jeffries T., Spratt J. y Kronz A. 2006. Magmatic evolution of the Land's End pluton, Cornwall, and associated pre-enrichment of metals. *Ore Geology Review* 28: 329-367.
- Olade, M.A. 1980. Geochemical characteristics of tin bearing and tin-barren granites, Northern Nigeria. *Economic Geology* 75: 71-82.
- Pankhurst, R.J., Rapela, C.W., Saavedra, J., Baldo, E., Dahlquist, J., Pascua, I. y Fanning, C.M. 1998. The Famatinian arc in the central Sierras Pampeanas: an early to mid-Ordovician continental arc on the Gondwana margin. En: Pankhurst, R.J., Rapela, C.W. (eds.), *The proto-Andean margin of Gondwana*. Geological Society, Special Publications: 343-367, London.
- Pankhurst, R.J., Rapela, C.W., Fanning, C.M. 2000. Age and origin of coeval TTG, I-S-type granites in the Famatinian belt of NW Argentina. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh Earth Sciences* 91: 151-168.
- Rapela, C.W. y Pankhurst, R.J. 1998. The proto-Andean margin of Gondwana: an introduction. En: Pankhurst, R.J., Rapela, C.W. (eds.), *The proto-Andean margin of Gondwana*. Geological Society, Special Publications: 1-9, London.
- Rapela, C.W., Pankhurst, R.J., Casquet, C., Baldo, E., Saavedra, J. y Galindo, C. 1998. Early evolution of the proto-Andean margin of South America. *Geology* 26: 707-710.
- Rapela, C.W., Casquet, C., Baldo, E.G., Dahlquist, J., Pankhurst, R.J., Galindo, C. y Saavedra, J. 2001. Las Orogénesis del Paleozoico inferior en el Margen Proto-Andino de América del Sur, Sierras Pampeanas Argentinas. *Journal of Iberian Geology* 27: 23-41.
- Rapela, C.W., Baldo, E.G., Pankhurst, R.J. y Fanning, C.M. 2008. The Devonian Achala batholith in the Sierras Pampeanas: F-rich aluminous A-type granites. 6° South American Symposium on Isotope Geology (SSAGI). Proceedings in CD-ROM: Paper 53, San Carlos de Bariloche.
- Siegesmund S., Steenken A., López de Luchi M. G., Wemmer K, Hoffmann A y Mosch S. 2004. The Las Chacras-Potrerillos batholith (Pampean Ranges, Argentina): structural evidences emplacement and timing of the intrusion. *International Journal Earth Sciences* 93: 23-43.
- Sims, J.P., Ireland, T.R., Camacho, A., Lyons, P., Pieters, P.E., Skirrow, R.G. y Stuart-Smith, P.G. 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. En: Pankhurst, R.J., Rapela, C.W. (eds.), *The Proto-Andean Margin of Gondwana*, Geological Society of London, Special Publication 142: 259-281.

- Söllner, F., Gerdes, A., Grosse, P. y Toselli, A. J. 2007. U-Pb age determinations by LA-ICP-MS on zircons of the Huaco granite, Sierra de Velasco (NW-Argentina): A long-term history of melt activity within an igneous body. 20° Colloquium on Latin American Earth Sciences, Abstracts: 57-58, Kiel.
- Steenken, A., Siegesmund, S., Wemmer, K. y López de Luchi M. G. 2008. Time constraints on the Famatinian and Achaian structural evolution of the basement of the Sierra de San Luis (Eastern Sierras Pampeanas, Argentina). *Journal of South American Earth Sciences* 25: 336-358.
- Tauson, L.V. y Kozlov, V.D. 1973. Distribution functions and ratios of trace elements, concentrations as estimates of ore bearing potential of granites. En: Jones, M.J. (ed.), *Geochemical Exploration 1973*. Institute of Mining Metallurgy 37-44, London.
- Tischendorf, G. 1977. Geological and petrographic characteristics of silicic magmatic rocks with rare element mineralization. En: Stenprok, M., Burnol, L. y Tischendorf, G. (eds.), *Metalization associated with acid magmatism*. Geological Survey 2: 41-96.
- Verdecchia, S.O., Baldo, E.G., Benedetto, J.L. y Borghi, P.A. 2007. The first shelly faunas from metamorphic rocks of the Sierras Pampeanas (La Cébila Formation, Sierra de Ambato, Argentina): age and paleogeographic implications. *Ameghiniana* 44: 493-498.
- Verdecchia, S.O. 2009. Las metamorfitas de baja presión vinculadas al arco magmático famatiniano: las unidades metamórficas de la quebrada de La Cébila y el borde oriental del Velasco. Provincia de La Rioja, Argentina. Tesis doctoral, Universidad Nacional de Córdoba (inédita), 312 p., Córdoba.
- Verdecchia, S.O., Casquet, C., Baldo, E.G., Pankhurst, R.J., Rapela, C.W., Fanning, M. y Galindo, C., 2011. Mid- to Late Cambrian docking of the Río de La Plata craton to southwestern Gondwana: age constraints from U-Pb SHRIMP detrital zircon ages from Sierras de Ambato and Velasco (Sierras Pampeanas, Argentina): *Journal of the Geological Society of London* 168: 1061-1071.
- Whalen, J.B., Currie, K.L. y Chappell, B.W., 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 95: 407-419.

Recibido: 12 de agosto, 2016

Aceptado: 12 de septiembre, 2018