

# La Formación Balbuena, integrante del arco magmático pampeano en la sierra de Ambargasta, provincia de Santiago del Estero

Magdalena KOUKHARSKY<sup>1</sup>, Milka K. de BRODTKORB<sup>1</sup>, Suzanne M. KAY<sup>2</sup> y Francisco MUNIZAGA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> CONICET-UBA. Departamento de Ciencias Geológicas. Ciudad Universitaria. Pabellón 2, Piso 1.

(1428) Buenos Aires. E-mail: mkou@gl.fcen.uba.ar; milkabro@gl.fcen.uba.ar

<sup>2</sup> Cornell University, Ithaca, NY, 14853, USA. E-mail: smk16@cornell.edu

<sup>3</sup> Universidad de Chile. E-mail: fmunizag@cec.uchile.cl

**RESUMEN.** En un sector de las Sierras Pampeanas Orientales (29°25' - 29°35' S y 63°43' - 64°00' O), se estudió un conjunto de diques de acimutes entre 90 y 120° y espesores inferiores a los 10 m, que se incluyen en la Formación Balbuena. Sus composiciones abarcan dacitas, andesitas y andesitas basálticas y son interpretados como los representantes intermedios y básicos de una serie calcoalcalina cuyo extremo ácido se encontraría en los ya conocidos Pórfiros riodacíticos de Oncán aflorantes en el borde occidental del área. Son finamente porfiricos y se caracterizan por una intensa alteración de los componentes máficos y pastas, resultante de una importante actividad deutérica. Intruyen a los granitoides de las Formaciones Ojo de Agua y Ambargasta, ambos del Cámbrico medio a superior según determinaciones isotópicas. Sobre la base de edades K/Ar preexistentes, a las que se añaden dos nuevos valores, sumadas a observaciones de campo, se asignan los diques a un mismo ciclo magmático plutónico-volcánico, confirmando la vinculación ya aceptada en investigaciones anteriores para las volcanitas ácidas. Su signatura geoquímica apoya la existencia de un arco previamente postulado por otros autores y corresponden a una ubicación de arco a retroarco. Se habría desarrollado sobre corteza continental. La Formación Balbuena pertenecería al último de los eventos magmáticos importantes del ciclo Pampeano propuestos para la región.

**Palabras clave:** Sierras Pampeanas Orientales, Formación Balbuena, Diques andesíticos y dacíticos, Cámbrico, Santiago del Estero

**ABSTRACT.** The Balbuena Formation, integrant of the Pampean magmatic arc in the Sierra de Ambargasta, Province of Santiago del Estero. A set of dikes in the Eastern Sierras Pampeanas (29°25' - 29°35' S y 63°43' - 64°00' W) trending from 90° to 120° azimuths and with thickness less than 10 m wide are assigned to the Balbuena Formation. These dikes are basaltic, andesitic to dacitic in composition representing basic to intermediate members of the calc-alkaline magmas that gave rise to the rhyodacitic Oncán Porphyries. The fine porphyritic rocks of the Balbuena Formation have an intense alteration of the mafic minerals and groundmass that indicates an important deuteritic event. Minimum ages for the dikes come from the observation that they are intrusive into the Upper to Middle Cambrian granitoids of the Ojo de Agua and Ambargasta Formations that are related to the rhyodacitic Oncán Porphyry. Major and trace element analyses presented here and isotopic ages support the hypothesis that these dikes along with similar age plutonic and volcanic rocks in the region formed in a subduction setting. In detail, their chemistry supports an arc-retroarc setting on continental crust. The magmatism of Balbuena Formation represents the last important Pampean age igneous event in this region.

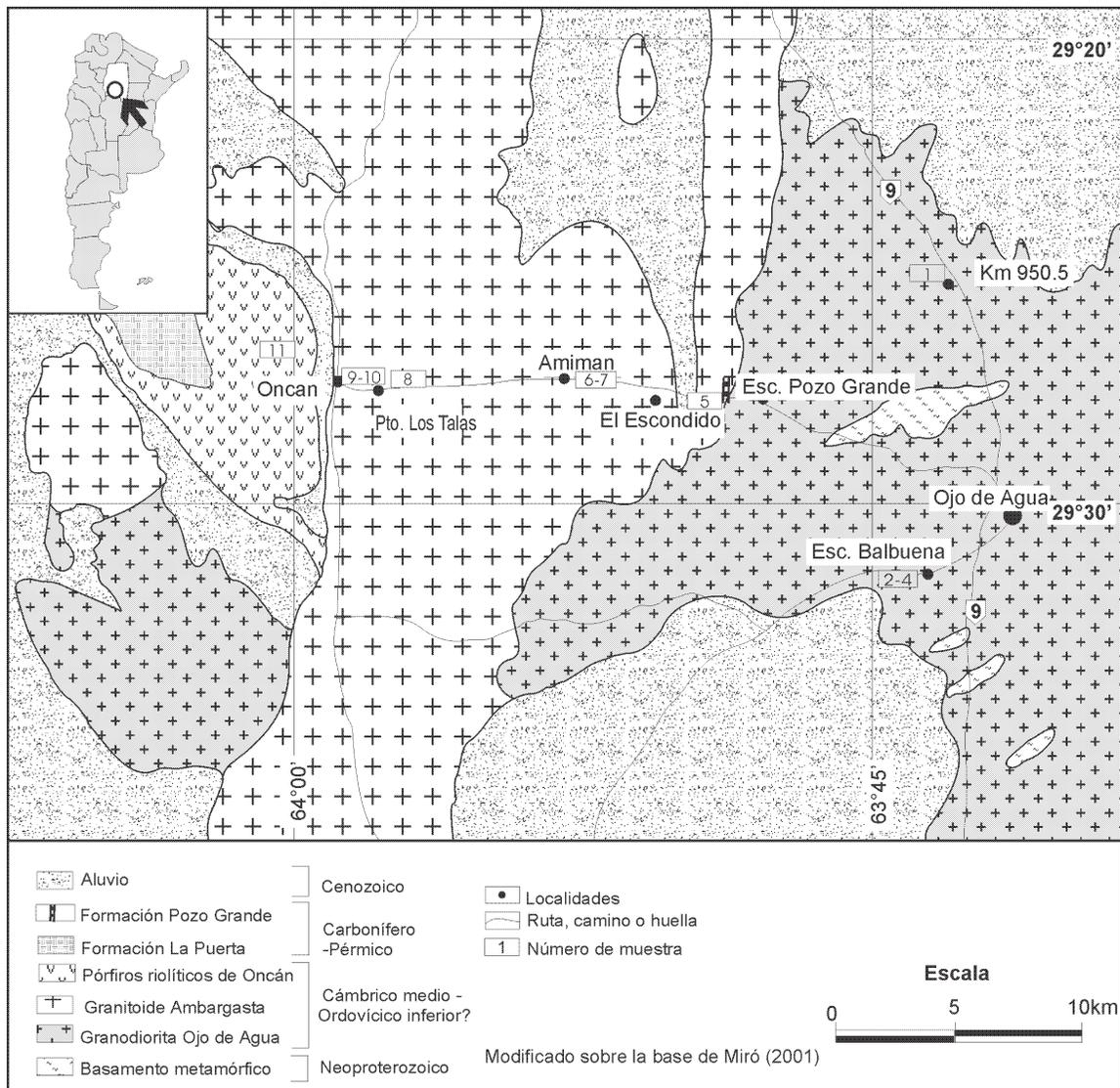
**Key words:** Eastern Sierras Pampeanas, Balbuena Formation, Andesitic and dacitic dikes, Cambrian, Santiago del Estero

## Introducción

En la sierra de Ambargasta, constituida predominantemente por granitoides, habían sido mencionados algunos afloramientos de rocas basálticas y andesíticas que contaban con dataciones K-Ar adjudicándoles diferentes edades del Paleozoico inferior (Quartino 1968, González 1971, Castellote 1978, 1985). En el arroyo El Escondido y en las proximidades de la escuela de Balbuena, Brodtkorb y Koukharsky (2000) los denominaron Andesitas Balbuena, nombre adoptado por Miró (2001). Un relevamiento geológico en las vecindades del camino que une Ojo de Agua con Oncán (Fig. 1)

agregó nuevos afloramientos de estas rocas, que se caracterizan por una intensa alteración de los componentes máficos y pastas, con texturas que evidencian cristalización en ambientes subvolcánicos. Este trabajo tiene por objetivos dar a conocer sus características petrográficas y geoquímicas, reuniéndolas en la Formación Balbuena que incluye dacitas, andesitas y andesitas basálticas, presentar dos nuevas dataciones K-Ar, e interpretar los resultados en el contexto regional.

Los análisis químicos fueron realizados en la Universidad de Cornell (USA) y en los laboratorios Actlabs (Canadá), en tanto que las determinaciones isotópicas K/Ar se obtuvieron en la Universidad de Chile.



**Figura 1:** Esquema de ubicación y geología del área.

Las composiciones de las plagioclasas fueron determinadas por el método de M. Levy en los casos en que era posible, o comparando sus índices de refracción con los de cuarzo y del bálsamo de Canadá.

Para la equivalencia cronoestratigráfica de las edades absolutas se utilizó la carta compilada por Remane *et al.* (2000).

#### Marco geológico regional

La sierra de Ambargasta y su continuación hacia el sur, la sierra Norte de Córdoba, se localizan en las Sierras Pampeanas Orientales. Varios autores han contribuido a esclarecer la geología y geocronología de esta región en los últimos 30 años. Así los trabajos de Quartino (en Minera TEA 1968) y los relevamientos

de las Hojas 16h, Pozo Grande y 17h, Chuña Huasi, a escala 1:200.000 (Lucero Michant 1969), fueron su base geológica. González (1971), González *et al.* (1985) y Castellote (1978, 1982 y 1985) aportaron dataciones radimétricas. Posteriormente Bonalumi (1988), Rapela *et al.* (1991) y Lira *et al.* (1997) estudiaron e interpretaron regionalmente la geología de las rocas ígneas, en tanto que Massabie *et al.* (2002) identificaron las fases de deformación registradas en metasedimentitas eopaleozoicas. Finalmente Miró (2001) realizó el relevamiento de la Hoja Ojo de Agua a escala 1:250.000.

El basamento de la sierra está constituido por rocas metamórficas de probable edad neoproterozoica, intruido por un complejo ígneo de grandes dimensiones que las redujo a escasos relictos (Fig.1). En la región de este estudio afloran los esquistos cuarzo-biotíticos de la

Formación Pozo del Macho (Castellote 1978) y las metareniscas de la Formación El Escondido (Quartino 1968).

Bonalumi (1988) relacionó los granitoides y el pórfiro granítico de Oncán (Fig. 1) como pertenecientes a una misma serie magmática calcoalcalina. Dicho pórfiro fue datado por Rapela *et al.* (1991) mediante una isocrona Rb/Sr en  $494 \pm 11$  Ma con una relación inicial de  $0,7109 \pm 0,0025$ . La asignación concreta de unidades litológicas a un ambiente de arco se debe a Lira *et al.* (1997), quienes estudiaron volcanitas ácidas aflorantes pocos kilómetros al SO, correlacionables con las abarcadas por este trabajo e interpretaron al conjunto de rocas ígneas como una secuencia originada por cristalización fraccionada de anfíbol, plagioclasa cálcica y biotita a partir de magmas calcoalcalinos en un ambiente de arco pre-colisional. Los representantes más antiguos serían dioritas y tonalitas que se encuentran como enclaves, seguidos por granodioritas y monzogranitos. La actividad habría continuado con un extenso cuerpo dacítico-riolítico, culminando con el emplazamiento de un conjunto de granitoides subalcalinos evolucionados tardíos a post-tectónicos, con los cuales correlacionaron tentativamente al pórfiro de Oncán. Dichos autores describieron en estas rocas manifestaciones de cobre, molibdeno y metales base vinculados a la alteración hidrotermal común de los sistemas porfíricos, que apoyan el ambiente de arco propuesto, relacionándolo con la orogenia Pampeana sobre la base de las edades isotópicas existentes. Los granitoides que constituyen los afloramientos más extensos de la región fueron asignados a las Formaciones Ojo de Agua (Miró 2001) y Ambargasta (Castellote 1985, Miró 2001).

La Formación Ojo de Agua está integrada por un monzogranito de color gris-rosado porfiroide que hacia el sur, en la sierra Norte de Córdoba, pasa a granodiorita en contactos transicionales, con frecuentes digitaciones de uno en otro. Sus edades isotópicas lo asignan al Cámbrico medio (Castellote 1985, Miró 2001).

La Formación Ambargasta se encuentra en el sector noroccidental de la sierra homónima, en donde está representada por un granito de color rojo fuerte (Castellote 1985). Presenta una fracturación más intensa que el monzogranito de la Formación Ojo de Agua y en ella son frecuentes los filones aplíticos y los pórfiros riolíticos, riódacíticos y dacíticos. Sobre la base de edades K/Ar atribuibles al Cámbrico según Castellote (1985), Miró (2001) propuso que se lo considere una facies posterior al monzogranito de la Formación Ojo de Agua.

Al oeste del caserío de Oncán (Fig.1) se localizan las rocas hipabisales ya mencionadas, que fueron denominadas de diferentes maneras: aplitas porfíricas u "oncanitas" Lucero (1969), Pórfido Granítico de Oncán (Bonalumi 1988, Rapela *et al.* 1991) y Pórfidos Riódacíticos Oncán (Miró 2001).

Un conjunto de areniscas cuarcíticas rojo violáceas

muy tenaces que afloran al oeste y norte de Oncán fueron denominadas Formación La Puerta (Quartino, 1968) y asignadas al ciclo sedimentario carbonífero-pérmico.

Vinculados a movimientos extensionales del Neopaleozoico que podrían alcanzar el Triásico inferior existen delgados diques basálticos también emplazados en los granitoides, que se diferencian por su naturaleza alcalina (Koukharsky *et al.* 2002).

La columna estratigráfica se completa con diferentes sedimentos aluvionales recientes y de edades terciarias y cuaternarias (Miró 2001).

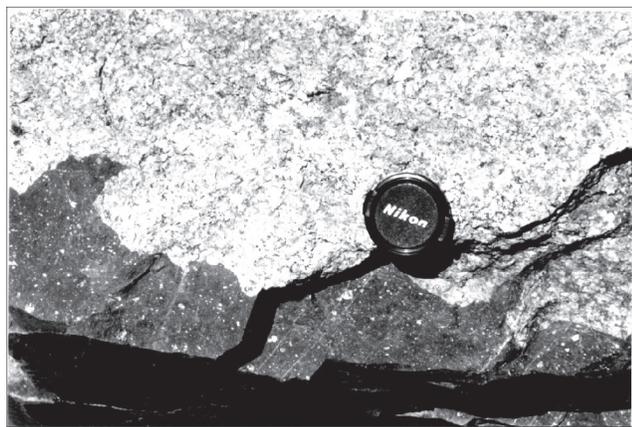
### Geología local

El área de estudio comprende el sector de la sierra de Ambargasta limitado por los paralelos  $29^{\circ}25'$  y  $29^{\circ}35'S$  y los meridianos  $63^{\circ}43'$  y  $64^{\circ}00'O$ , en donde afloran predominantemente las Formaciones Ambargasta y Ojo de Agua. En la figura 1 se pueden observar las localizaciones de los diques mesosilícicos considerados en este trabajo identificados por números, el pórfiro de Oncán, los granitoides que hacen de caja a los primeros y la manifestación hipabisal del basalto Pozo Grande (Quartino 1968), que fue asignada al ciclo magmático del Neopaleozoico hasta Triásico inferior (Koukharsky *et al.* 2001, 2002).

Los afloramientos de diques del Paleozoico inferior, cuyos acimutes varían entre  $90^{\circ}$  y  $120^{\circ}$ , se pueden agrupar geográficamente en tres zonas: a) escuela de Balbuena, b) entre el arroyo El Escondido y puesto Los Talas y c) el Km 950,5 de la ruta nacional 9.

En la localidad de Balbuena ( $63^{\circ}44'$  y  $29^{\circ}31'$ ) se encuentra la manifestación más voluminosa consistente en tres diques paralelos de dacitas (muestras 2, 3 y 4) que intruyen granitoides de la Formación Ojo de Agua. De oeste a este presentan espesores de 10 m, 4,40 m y 3,60 m, separados por tabiques de 12 m y 28 m respectivamente. Hacia el sureste desaparecen bajo el regolito y hacia el noroeste se los puede seguir por unos cientos de metros.

Entre El Escondido y el puesto Los Talas se localizaron cinco diques. Inmediatamente al este del arroyo El Escondido ( $63^{\circ}49'40''$  y  $29^{\circ}27'47''$ ) aflora uno de ellos intensamente diaclasado de 20-30 cm de espesor (muestra 5) de dacita con piritita diseminada. En el arroyo se observan interdigitaciones entre el mismo y el granito de la Formación Ambargasta que evidencian la intrusividad de la dacita en este último, sugiriendo un comportamiento dúctil de la caja (Fig. 2). En la misma localidad se observaron finas venas leucocráticas cortando a los diques. Cerca del caserío de Amimán ( $63^{\circ}50'53''$  y  $29^{\circ}27'47''$ ) se encuentran dos diques andesíticos de alrededor de 0,50 m de espesor, uno de ellos de color gris verdoso oscuro (muestra 6) y el otro levemente rojizo (muestra 7). Similares espesores tienen los diques dacíticos del puesto Los Talas (muestra



**Figura 2:** Contacto entre el granitoide de la Formación Ambargasta y un filón dacítico en el arroyo El Escondido. Su trazado irregular y con engolfamientos sugiere condiciones de plasticidad en el granito al tiempo de emplazarse la dacita. La secuencia de intrusividad está avalada por observaciones al microscopio (véase texto).

8) y los dos (muestras 9 y 10) que, separados por pocos metros entre sí, se ubican más al oeste ( $63^{\circ}56'57''$  y  $29^{\circ}27'45''$ ), el último de los cuales es casi una riolita según la clasificación TAS (Fig. 3a).

En el km 950,5 de la ruta nacional 9, aflora el dique de composición más básica del conjunto (1), que se clasifica como una andesita basáltica (Figs. 3a y c).

### Petrografía

Las andesitas y dacitas que componen los afloramientos estudiados son grises verdosas oscuras, en algunos casos con tonalidades rojizas. Están formadas por abundante pasta de apariencia microgranosa, en la cual el brillo revela escasos fenocristales de hasta 3 mm de plagioclasa y de probables mafitos alterados, acompañados o no por otros más pequeños de cuarzo.

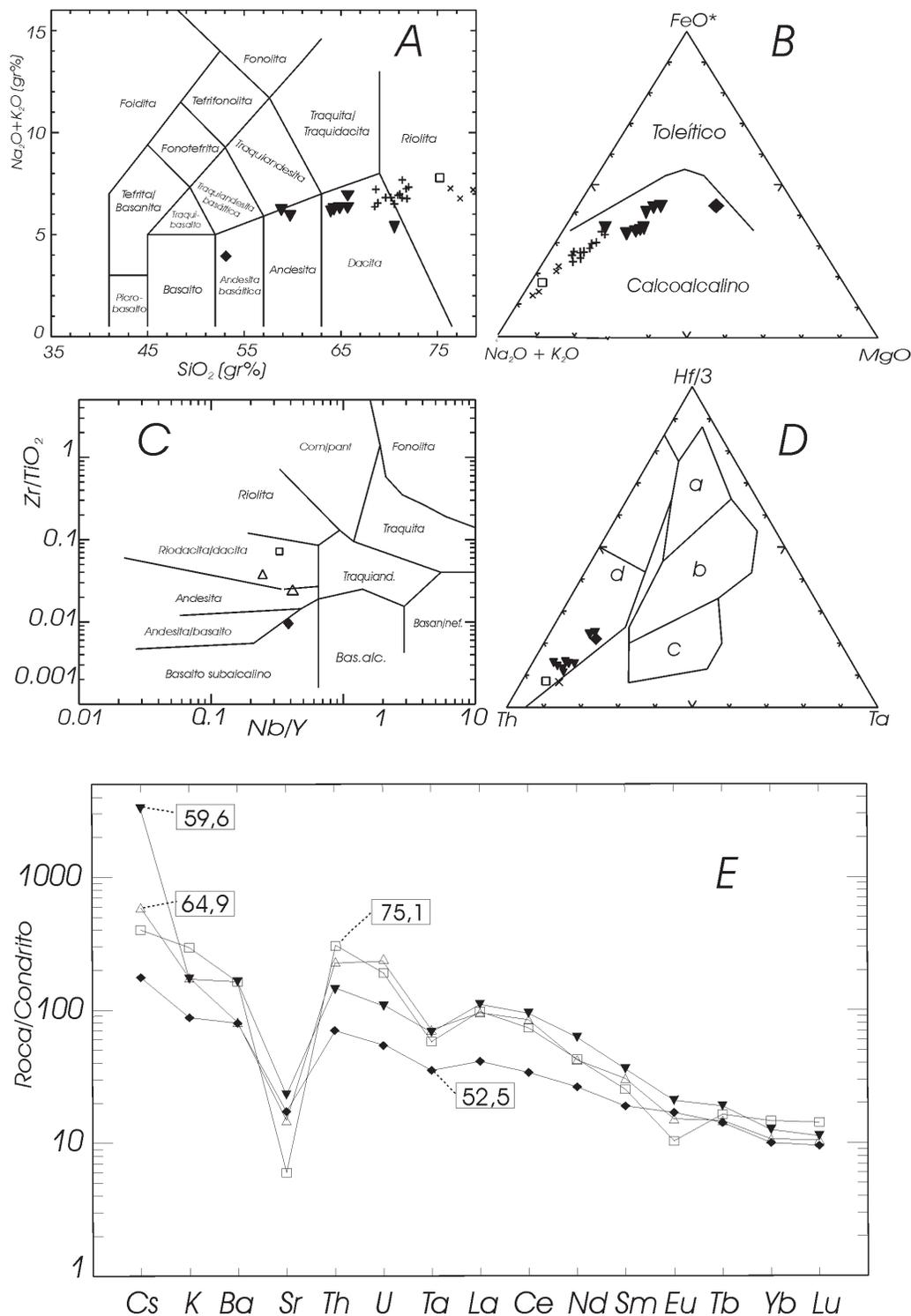
Las pastas de las andesitas suelen tener las texturas características de estas rocas, con cristales idiomorfos de plagioclasas de tamaños seriados, frecuentemente suborientados y minerales opacos como accesorios, ocupando espacios intersticiales agregados de los minerales secundarios: clorita, epidoto, carbonatos y gránulos opacos. En el dique de la muestra 6 hay microamígdalas de cuarzo con epidoto y/o calcita en los bordes. En otros casos las texturas son ligeramente más gruesas, dadas por intercrecimientos de cristales elongados subhedrales de plagioclasas de alrededor de 1 mm, entre los que se dispone un 25% en volumen de agregados de clorita (peninita), epidoto (dominante pistacita), carbonatos, gránulos opacos y variadas proporciones de sericita. Cuando los fenocristales de plagioclasa se han preservado parcialmente frescos presentan zonalidad múltiple predominantemente directa, habiéndose determinado composiciones de oligoclasa cálcica ( $An_{29}$ ) en una muestra del oeste del arroyo El Escondido. En otros casos están albitizados y aparecen

con coloraciones castaño-grisáceas. Concentraciones de clorita y epidoto, a los que en la muestra 6 se asocia escasa actinolita, se interpretan como reemplazos de anteriores mafitos, cuyas formas prismáticas elongadas sugieren que en gran parte se trató de anfíbol.

Las dacitas tienen texturas comparables a las de las andesitas con variaciones que llegan a ser granoblásticas por el grado de desarrollo de sus minerales secundarios. Invariablemente contienen cuarzo y feldespato alcalino (albita) en la pasta, donde es común la participación de biotita anhedral parcial o totalmente cloritizada, además de carbonatos. La sericita suele ser abundante; sus láminas pueden formar arreglos divergentes y el epidoto, así como los minerales opacos, son componentes generalmente escasos. Un dique de la localidad 5 contiene piritita idiomorfa. Los fenocristales de plagioclasa se encuentran albitizados y/o reemplazados por sericita con o sin gránulos de carbonatos y epidotos asociados y los de cuarzo, muy escasos, suelen estar rodeados por concentraciones de clorita en la pasta. Una dacita de la localidad 6 contiene fenocristales (xenocristales?) de biotita cuyos bordes corroídos han sido reemplazados por pasta en la que se concentran pequeños cristales opacos. La apatita suele ser un accesorio relativamente abundante, menos lo son cristales opacos y el circón es extremadamente escaso. Una dacita de la localidad 5 está cortada por venas centimétricas de textura alotriomórfica granular fina, compuestas por feldespato alcalino, lo cual sugiere otro episodio de actividad ígnea posterior a su emplazamiento.

Las muestras del dique del Km 950,5 se clasifican como andesitas basálticas. Tienen tonalidades oscuras y mesoscópicamente aparentan ser afíricas. En sección delgada están formadas por un intercrecimiento de cristales subhedrales, tabulares elongados de labradorita ( $An_{56}$ ), entre los que se dispone un agregado de minerales secundarios que abarcan el 42% del volumen de la roca, predominando en él actinolita tanto anhedral como fibrosa y epidoto, siendo menos abundantes la clorita y los carbonatos. Los minerales opacos componen un 6%, destacándose algunos de ellos por su hábito esquelético.

Como término comparativo y para representar las composiciones más ácidas del conjunto subvolcánico del Paleozoico inferior, se estudió una muestra del Pórfiro Riodacítico de Oncán (muestra 11, Cuadro 1), que Bonalumi 1988 y Rapela *et al.* 1991 denominaron pórfiro granítico a pesar de reconocerle una mesostasis microgranular. Mesoscópicamente es porfírica con pasta gris oscura en la que se destacan cristales de cuarzo traslúcido y de feldespatos rosados. Al microscopio presenta un 50% de cristales llamativamente fragmentados, que en orden de abundancia son: cuarzo (con extinción óptica homogénea); plagioclasas parcialmente sausrinizadas con zonalidad oscilatoria múltiple entre las que se determinó una composición de  $An_{35}$ ; ortoclasa perfitica; biotita castaña en láminas anhedrales



**Figura 3:** a, Diagrama TAS (Le Maitre *et al.* 1968). B. Diagrama AFM con la línea divisoria según Irvine y Baragar (1971). C: Diagrama de Winchester y Floyd (1977). D: Diagrama de Wood (1980). Los campos delimitados son: a: MORB-N; b, MORB-E y toleítas de intraplaca; c, basaltos alcalinos de intraplaca y d: basaltos de arco volcánico. La flecha separa las toleítas de arcos de islas ( $Hf/Th > 3$ ) y los basaltos calcoalcalinos ( $Hf/Th < 3$ ). E: Diagrama multielemental normalizado a condritos para las muestras 1, 3, 6 y 11 del cuadro 2. Los valores de normalización son: Cs: 0,013, Ba: 3,77, Sr: 14, Th: 0,05, U: 0,015, Ta: 0,022, La: 0,378, Ce: 0,976, Nd:0,716, Sm: 0,23, Eu: 0,0866, Tb: 0,0589, Yb: 0,249 y Lu: 0,0383. Los rectángulos señalan los contenidos de  $SiO_2$  en base anhidra de cada muestra. En los diagramas A, B y C los triángulos corresponden a andesitas y dacitas; los rombos llenos a la andesita basáltica y el cuadrado hueco a la riolita analizados para este trabajo. Las cruces representan las volcanitas de la zona de La Lidia con los valores de Massabie *et al.* (2002) y las equis a las volcanitas de la sierra Norte-Ambargasta analizadas por Lira *et al.* (1997). En los diagramas C y E los rombos llenos corresponden a la andesita basáltica; los triángulos llenos a andesitas, triángulos huecos a dacitas y el cuadrado hueco a la riolita, analizados para este trabajo.

**Cuadro 1:** Valores analíticos de las determinaciones K/Ar. Para la segunda muestra se duplicaron los análisis y se señala el valor de la media ponderada.

Muestra	Material	K %	<sup>40</sup> Ar rad. nl/gr	Ar atm. %	Edad Ma	Error (2 sig.)
5 (329)	RT	1,906	44,051	4	514	15
Km 950,5	RT	1,237	20,234	10	(378)	(11)
“ “	“	“	20,538	6	(383)	(11)

afectadas por diferentes grados de deformación, algunas con bordes corroídos y otras formando llamativos agregados decusados de cristales equidimensionales (fenómenos de deformación-recristalización por metamorfismo de contacto?); fragmentos de probable allanita con múltiples zonas, muchas de ellas alteradas; apatita; mineral opaco y circón. La pasta es un agregado finamente granoblástico poligonal de cuarzo y feldespato alcalino en proporciones semejantes. La naturaleza fragmental de los cristales mayores, a la que se agregan deformación de biotitas y algunos fenocristales de plagioclasa que están divididos por microfracturas con leves desplazamientos entre los componentes (fracturación *in situ*) y la total ausencia de evidencias de deformación penetrativa en los fragmentos de cuarzo y en la pasta, sugieren una primera etapa explosiva en la génesis de esta roca (volcanismo?). Los agregados decusados de biotita son similares a las recristalizaciones que se encuentran en volcanitas afectadas por metamorfismo de contacto.

### Geocronología

Un grupo de filones andesíticos que intruyen al granito de la Formación Ojo de Agua, ubicados sobre la ruta nacional 9 en el km 950,5 había sido datado por el método K/Ar en roca total por González (1971), con valores de  $452 \pm 6$ ,  $460 \pm 22$  y  $479 \pm 8$  Ma. Las correcciones por la modificación de la constante de desintegración según Linares (1977) los llevan a  $460 \pm 6$ ;  $468 \pm 22$  y  $487 \pm 8$  Ma, respectivamente.

Para la realización del presente trabajo se dataron por el mismo método una dacita del arroyo El Escondido, en razón de sus características petrográficas notablemente diferentes de las de un dique cercano de basalto alcalino que resultó ser neopaleozoico (Koukharsky *et al.* 2001) y la andesita basáltica del Km 950,5 que parece conservar inalterados sus cristales de plagioclasa. Las edades obtenidas son  $514 \pm 15$  Ma y  $381 \pm 8$  Ma, respectivamente (Cuadro 1). Puede apreciarse que la dispersión de valores del conjunto total es amplia y probablemente muchas de ellas deban considerarse edades mínimas, cuyo extremo debe encontrarse en las edades isotópicas de los granitoides encajantes: K/Ar de  $507 \pm 4$  Ma (Castellote 1985) para el Granito Ojo de

Agua, adecuadamente apoyada por el método U/Pb SHRIMP en circones de  $514 \pm 4$  Ma (Miró 2001) y tres valores K/Ar para el Granito Ambargasta de  $517 \pm 15$ ,  $500 \pm 15$  y  $494 \pm 15$  Ma (Castellote 1985). La proximidad entre las edades posibles para el granitoide y el filón dacítico del arroyo El Escondido ( $517 \pm 15$  Ma y  $514 \pm 15$  Ma) está avalada por una observación de los contactos entre ambas unidades (Fig. 2), cuyo trazado es irregular y con engolfamientos que sugieren comportamiento dúctil en el granito al tiempo de emplazarse la dacita. En la observación al microscopio el truncamiento de cristales feldespáticos del primero con la fluidalidad paralela al contacto de microlitas de la segunda confirman la secuencia intrusiva postulada.

El pórfiro de Oncán con edad Rb/Sr de  $494 \pm 11$  Ma (Rapela *et al.* 1991), abarca un rango que puede tener correspondencia con los valores mencionados. Al conjunto puede agregarse la edad del Pórfiro Riolítico La Lidia en la sierra Norte de Córdoba, K/Ar en roca total de  $526,9 \pm 21$  Ma (Massabie *et al.* 2002). Con estos valores el episodio volcánico considerado habría ocurrido durante el Cámbrico.

La asignación a esta serie de la andesita basáltica del Km 950,5 con los anteriormente mencionados equivalentes en la zona datados entre  $460 \pm 6$  Ma y  $487 \pm 8$  Ma (González 1971), plantea dudas en razón de que la nueva edad K/Ar correspondería al Devónico medio. Sin embargo sus características texturales, mineralógicas y geoquímicas la asocian al conjunto considerado en donde representaría el extremo básico, con una paragénesis final de alteración que indica temperaturas mayores. Si se trata de una edad rejuvenecida, el fenómeno podría atribuirse a la influencia de granitoides post-tectónicos aflorantes al NE de la zona abarcada por el mapa de la figura 1, que se consideran devónicos (Miró 2001).

Las edades U/Pb en circones de  $557 \pm 4$  Ma y  $584 \pm 22/-14$  Ma (Neoproterozoico), obtenidas respectivamente para una riodacita aflorante unos 45 Km al SSO de Oncán por Söllner *et al.* (2000) y en ignimbritas intercaladas en metaconglomerados de la Formación La Lidia de la sierra Norte de Córdoba por Llambías *et al.* (2003), son anteriores a la de los circones de granitoides de la Formación Ojo de Agua y sugieren la existencia de pulsos volcánicos ácidos previos al considerado en este trabajo. Söllner *et al.* (2000) señalan que

**Cuadro 2:** Resultados de los análisis químicos. Los números se corresponden con la ubicación de las muestras indicada en la figura 1. Las muestras 2 a 8 fueron analizadas en la Universidad de Cornell (elementos traza por INAA, mayoritarios por microsonda). Las muestras 1 y 9 a 11 fueron analizadas por ACTLABS (fusión ICP-MS para las trazas e ICP para elementos mayoritarios).

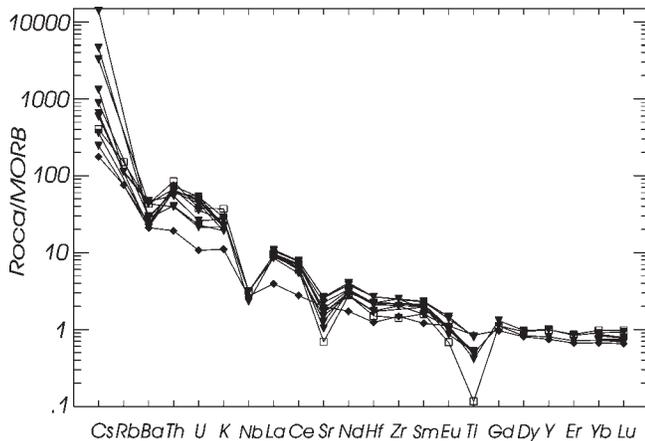
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO <sub>2</sub>	50,70	64,37	64,85	65,24	65,70	59,38	58,31	65,76	63,04	68,96	75,02
TiO <sub>2</sub>	1,22	0,78	0,72	0,74	0,75	1,22	1,19	0,78	0,728	0,605	0,174
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,61	15,39	15,36	15,39	15,66	16,54	16,61	14,69	15,51	13,73	13,22
FeO	-	5,17	4,92	4,97	4,72	7,14	7,14	4,89	-	-	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,03	-	-	-	-	-	-	-	6,86	4,10	1,80
MnO	0,139	0,13	0,12	0,12	0,07	0,14	0,17	0,08	0,121	0,062	0,045
MgO	6,91	2,95	2,82	2,71	2,68	3,56	3,34	2,51	2,85	1,13	0,29
CaO	8,95	4,78	4,61	4,30	3,95	5,22	5,87	4,14	3,82	4,06	1,52
Na <sub>2</sub> O	2,56	3,96	3,69	3,80	3,80	3,49	4,01	3,65	2,94	2,27	3,47
K <sub>2</sub> O	1,22	2,22	2,53	2,62	2,49	2,47	2,20	3,29	3,09	3,01	4,28
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,17	0,31	0,34	0,30	0,28	0,44	0,39	0,28	0,17	0,10	0,05
LOI	2,86	-	-	-	-	-	-	-	0,93	0,56	0,41
Total	99,36	100,06	99,96	100,19	100,11	99,60	99,23	100,07	100,6	98,59	100,28
La	14,9	38,2	36,0	38,2	37,7	41,4	42,8	36,7	33,1	34,2	36,6
Ce	31,7	85,1	82,3	86,1	84,6	91,6	93,1	77,1	63,7	73,4	71,4
Pr	3,97	-	-	-	-	-	-	-	7,56	8,73	8,09
Nd	18,1	33,4	30,1	36,6	35,7	44,3	41,7	34,8	30,1	34,9	30,4
Sm	4,17	7,47	7,02	7,67	7,71	8,23	8,36	7,20	5,68	6,53	5,79
Eu	1,40	1,36	1,31	1,30	1,41	1,80	1,92	1,13	1,41	1,38	0,891
Gd	4,45	-	-	-	-	-	-	-	5,25	6,09	5,32
Tb	0,80	0,874	0,867	0,750	0,956	1,113	1,059	0,827	0,87	1,02	0,96
Dy	4,61	-	-	-	-	-	-	-	4,86	5,69	5,59
Ho	0,94	-	-	-	-	-	-	-	0,98	1,14	1,15
Er	2,54	-	-	-	-	-	-	-	2,80	3,28	3,43
Tm	0,374	-	-	-	-	-	-	-	0,421	0,511	0,552
Yb	2,39	2,77	2,66	2,76	2,80	3,11	3,22	2,74	2,68	3,30	3,62
Lu	0,350	0,420	0,403	0,404	0,382	0,430	0,436	0,383	0,395	0,505	0,543
Sr	231	202	207	274	229	322	313	126	181	151	84
Ba	289	336	306	338	398	615	401	424	661	604	615
Cs	2,2	4,7	7,7	3,2	182,2	42,5	59,4	11,5	16,8	8,3	5,2
U	0,77	3,3	3,7	4,0	3,5	1,6	1,7	4,0	1,92	2,60	2,85
Th	3,42	11,5	11,6	13,5	12,2	7,3	7,4	11,3	9,93	12,1	15,5
Hf	3,4	6,3	4,9	6,3	6,4	7,6	7,6	6,0	4,9	6,2	4,3
Ta	0,74	1,47	1,56	1,61	1,79	1,49	1,43	1,82	0,94	1,01	1,27
Sc	27	12,5	11,7	11,9	11,9	17,5	17,4	12,1	17	14	5
Cr	146	102	92	92	92	86	83	76	38	40	-
Ni	78	57	52	51	29	49	41	41	-	-	-
Co	35	17	16	15	12	23	22	16	17	7	2
Y	24,5	-	-	-	-	-	-	-	27	33,4	33,7
Zr	128	-	-	-	-	-	-	-	179	221	127
V	182	-	-	-	-	-	-	-	118	69	10,0
Rb	81	-	-	-	-	-	-	-	126	123	168
Nb	9,3	-	-	-	-	-	-	-	11	8,0	11,2
Tl	0,69	-	-	-	-	-	-	-	1,26	0,18	1,12

la riodacita está intruída por rocas hipabisales mesosilícicas que quizás podrían relacionarse con las descriptas en este estudio.

### Geoquímica

El cuadro 2 presenta los resultados de los análisis químicos de una parte de las rocas estudiadas. Ellas son subalcalinas, metaluminosas a débilmente peralumi-

nosas, integrantes de una serie calcoalcalina en donde están representadas desde andesitas basálticas hasta riolitas (Figs. 3a y b, con datos de este trabajo y de las volcanitas ácidas extraídas de la bibliografía indicada). Las relaciones  $Zr/TiO_2$  vs  $Nb/Y$  confirman que su clasificación no fue afectada en forma importante por la alteración hidrotermal que presentan (Fig. 3c). En los gráficos de Wood (1980) que discriminan el ambiente tectónico, el conjunto se ubica en el campo correspondiente a los arcos volcánicos (Fig. 3d). Los diagramas



**Figura 4:** Diagrama multielemental normalizado al MORB de las 11 muestras analizadas. Los triángulos corresponden a andesitas y dacitas; el rombo lleno a la andesita basáltica (muestra 1) y el cuadrado hueco a la riolita (muestra 11). Los valores de normalización son: Cs: 0,013, Rb: 1,12, Ba: 14,3, Th: 0,18, U: 0,075, K: 955, Nb: 3,58, La: 3,96, Ce: 11,97, Sr: 122, Nd: 10,96, Hf: 2,87, Zr: 90, Sm: 3,62, Eu: 1,31, Ti: 9000, Gd: 4,78, Dy: 5,98, Y: 34,2, Er: 3,99, Yb: 3,73 y Lu: 0,56.

multielementales normalizados a condritos y al MORB (Figs. 3e y 4) revelan las típicas anomalías negativas para, Ta, Nb y Ti. Dentro del conjunto se destaca la curva correspondiente a la andesita basáltica de la localidad 1 (Fig. 1) por sus inflexiones menos pronunciadas y contenidos más bajos de REE, denotando características geoquímicas más primitivas sin evidencias de fraccionamiento de Sr y de Eu (Figs. 3e y 4). Las relaciones La/Ta varían ampliamente entre valores de 20 para la andesita basáltica de la localidad 1, aumentando en las dacitas hacia el oeste, alcanzando 35,2 en la muestra 9, siendo al mismo tiempo los valores Ba/Ta de 390 y 703 respectivamente, sugiriendo condiciones de retroarco hacia el sector oriental del perfil estudiado (Fig. 5). Los contenidos normalizados de tierras raras, con pendientes más acentuadas para las livianas reflejan relaciones La/Yb y La/Sm, que varían desde 6,2 y 3,6 respectivamente para la andesita basáltica de la localidad 1 hasta 13,8 y 5,1 en dacitas de las localidades 2 y 4, sugiriendo el fraccionamiento de anfíbol común en los arcos volcánicos. La dispersión de los contenidos de Cs (Fig. 4) puede relacionarse con los procesos de alteración hidrotermal identificados en los estudios petrográficos.

Considerando la andesita basáltica, los enriquecimientos en Ba y Th del orden de 20 veces los valores del MORB, de 10 veces el K, casi 4 veces el La y cercano a la unidad para Hf, Zr, Y, Sm y tierras raras pesadas (Fig. 4), sugieren que se trató de un arco desarrollado sobre corteza continental. Esta suposición estaría apoyada por la relación isotópica del Sr de 0,7109 determinada por Rapela *et al.* (1991) para las volcanitas de Oncán.

Las dacitas y riolitas subvolcánicas del norte de la sierra de Córdoba aflorantes unos 28 km hacia el SSO

de la localidad de Oncán analizadas por Lira *et al.* (1997) y las de la localidad La Lidia distantes más al sur en la sierra Norte de Córdoba estudiadas por Massabie *et al.* (2002) parecen formar parte del extremo ácido del conjunto (Fig. 3A, 3B y 3d). Los autores mencionados coinciden en asignarles un ambiente de margen destructivo pre-colisional dentro del ciclo orogénico Pampeano.

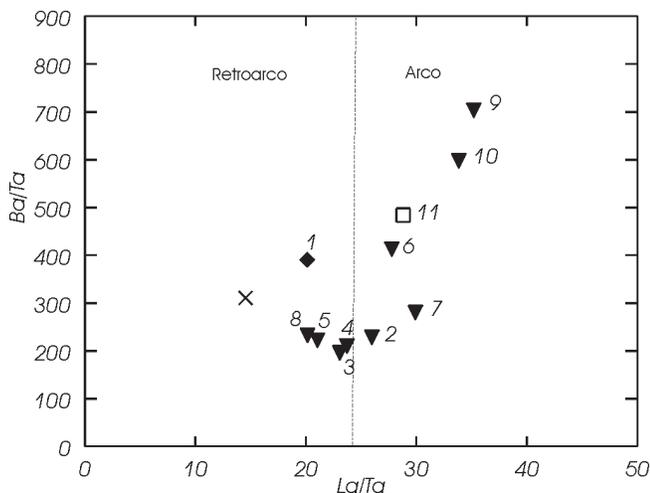
## Discusión

Las andesitas y dacitas estudiadas componen un conjunto de rocas hipabisales que se incluyen en la Formación Balbuena. Sus espesores generalmente inferiores al metro con texturas que denotan rápido enfriamiento seguido por alteraciones deutéricas permitieron considerar su datación por el método K/Ar. Afloran como diques alojadas en granitos de las Formaciones Ojo de Agua y Ambargasta, ambas del Cámbrico. Los acimutes de estos últimos, entre 90° y 120°, los discriminan de las “hipabisales riódacíticas” cartografiadas en la región por Bonalumi (1988) cuya disposición es N-S.

Si se reúne a los granitoides de las Formaciones Ambargasta y Ojo de Agua con las volcanitas ácidas como ya fue postulado por otros autores (Bonalumi 1988, Rapela *et al.* 1991, Lira *et al.* 1997, Miró 2001) y se incorporan estos diques mesosilícicos a básicos, el desarrollo del arco había ocurrido durante el Cámbrico medio-superior, quedando acotado entre los  $514 \pm 4$  Ma de sus granitoides más antiguos y los  $494 \pm 11$  Ma del Pórfiro de Oncán, considerando que en el último caso existe la posibilidad de un rejuvenecimiento por metamorfismo de contacto.

La andesita basáltica del sector oriental (1) se incluye en el conjunto de diques por los valores de dataciones previas y sus afinidades petrográficas, mineralógicas y geoquímicas. Su nueva edad K/Ar del Devónico medio podría deberse a un rejuvenecimiento del sistema relacionado con las intrusiones devónicas que existen en la región como las mencionadas por Miró (2001) en la sierra de Sumampa.

La desnaturalización que afecta a los minerales máficos y pastas se atribuye esencialmente a procesos deutéricos del tipo alteración hidrotermal que preservaron frecuentemente las texturas originales (porfíricas, pilotácicas, etc) e incluyeron en algunos casos piritita entre los componentes opacos. Las intensidades de estas alteraciones fueron menores con temperaturas más altas en las muestras orientales de composiciones relativamente más básicas, dado que en ellas participa actinolita (además de clorita y epidoto) y las plagioclasas se conservaron manteniendo en muchos casos la zonalidad múltiple original. En las rocas más ácidas la alteración aparece generalizada, con los fenocristales de plagioclasa invariablemente albitizados y diseminación de clorita acompañada o no por biotita y sericitita



**Figura 5:** Diagrama La/Ta vs. Ba/Ta. Se indican los números de las muestras analizadas para este trabajo. X: Pórfiro riolítico cámbrico de la zona de La Lidia (Massabie *et al.* 2002).

en la matriz, el último mineral adoptando ocasionalmente disposiciones radiadas. Las alteraciones habrían estado relacionadas con soluciones acuosas genéticamente vinculadas a los diques y encauzadas a través de ellos, dado que aparentemente no han afectado en forma importante a los granitoides que forman su caja.

Su signatura geoquímica apoya la existencia del arco previamente postulado por otros autores para los granitoides y volcanitas ácidas de la región. Las condiciones de retroarco se encontrarían hacia el este y se habría desarrollado sobre corteza continental.

En la muestra coleccionada como referente de la zona de Oncán, la presencia de llamativos agregados decusados de biotita puede indicar la influencia de un metamorfismo de contacto que habría modificado de ese modo anteriores fenocristales máficos. Esta evidencia sumada a la identificación de venas feldespáticas rojizas cortando un dique dacítico en la localidad 5 apoyan la existencia de un ciclo de actividad magmática posterior al volcanismo, que ya fuera postulado en la región por Lira *et al.* (1997) quienes lo caracterizaron como tardío a post-orogénico.

## Conclusiones

El conjunto de rocas estudiado identifica en afloramientos filonianos los términos intermedios y básico de un volcanismo de arco-retroarco cuyas edades quedarían comprendidas en el Cámbrico, con evidencias de actividad magmática posterior, la cual podría corresponder a los episodios tardío orogénicos propuestos por otros autores.

El arco se habría desarrollado sobre corteza continental y la zona de retroarco se localizaría hacia el este.

Las edades coinciden con las del último de los dos eventos magmáticos del ciclo Pampeano propuestos en

la región por Miró (2001). De ese modo son más jóvenes que las del Cámbrico inferior (c 530 Ma) que les asignaran Rapela *et al.* (1997), quienes consideraron a las subvolcanitas ácidas una extensión de las secuencias de granitoides calcoalcalinos metaluminosos del ciclo G1a de la sierra de Córdoba.

## Agradecimientos

Este trabajo se realizó en el marco del Proyecto 4737 del CONICET.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Bonalumi A. A., 1988, Características petrológicas y geoquímicas de los granitoides asociados a la mineralización de manganeso en el norte de la provincia de Córdoba y sur de Santiago del Estero. República Argentina: 5º Congreso Geológico Chileno, Actas 2: E 47-E61.
- Brodtkorb, M. K. de y Koukharsky, M., 2000. Las andesitas-dacitas presentes al oeste de la localidad de Ojo de Agua. CONICET. Informe inédito. Buenos Aires.
- Castellote, P., 1978. Estudio geológico del extremo norte de la sierra de Ambargasta (provincia de Santiago del Estero) en el sector comprendido entre las localidades de Tajamares-El Cerrito y Pozo Grande-San Juan. Trabajo Seminario. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Tucumán. Inédito. San Miguel de Tucumán.
- Castellote, P., 1982. La Formación La Clemira y edad de su metamorfismo. (Sierra de Ambargasta, provincia de Santiago del Estero). Acta Geológica Lilloana 14 (1):71-76.
- Castellote, P., 1985. Algunas observaciones geológicas en la sierra de Ambargasta y Sumampa (provincia de Santiago del Estero): Acta Geológica Lilloana, 16: 259-269.
- González, R. R., 1971. Edades radimétricas de algunos cuerpos eruptivos de Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 26 (3): 411-412.
- González, R.F., Cabrera, M.A., Bortolotti, P., Castellote, P., Cuenya, M.P., Omil, D.M., Moyano, R.O., y Ojeda, J.R., 1985. La actividad eruptiva en Sierras Pampeanas. Esquematización geográfica y temporal. Acta Geológica Lilloana, 16 (2): 289-318. Tucumán.
- Irvine, T. N. y Baragar, W. R. A., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Sciences, 8: 743-770.
- Koukharsky, M., Tassinari, C., Brodtkorb, M. K. de. y Leal, P., 2001. Basaltos del Neopaleozoico-Triásico inferior? en las sierras Norte de Córdoba y de Ambargasta (Sierras Pampeanas Orientales): petrografía y edades K/Ar. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 56 (3): 400-403.
- Koukharsky, M., Brodtkorb, M. K. de., Ramos, V., Kay, S. M. y Leal, P., 2002. Magmatismo básico y ultrabásico en las Sierras Pampeanas y regiones aledañas. En Cingolani, C. A., Cabaleri, N., Linares, E., Lopez de Luchi, M. G., Ostera, H. A. y Panarello, H. O. (eds.). 15º Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 105-110. Calafate.
- Le Maitre, R. W., 1968. Chemical variation within and between volcanic rock series. A statistical approach. Journal of Petrology, 9: 220-252.
- Linares, E., 1977. Nuevas constantes a utilizar en los métodos de datación radimétrica. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 32 (3): 239-240.
- Lira, R., Millone, H. A., Kirschbaum, A. M., and Moreno, R. S., 1997, Calc-Alcaline Arc Granitoid Activity in the Sierra Norte-

- Ambargasta Ranges, Central Argentina: *Journal of South American Earth Sciences*, 10: 157-177.
- Llambías, E. J., Gregori, D., Basei, M. A., Varela, R. y Prozzi, C., 2003. Ignimbritas riolíticas neoproterozoicas en la Sierra Norte de Córdoba: ¿evidencia de un arco magmático temprano en el ciclo Pampeano?. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, este número.
- Lucero Michaut, H. N., 1969. Descripción Geológica de las hojas 16h, Pozo Grande y 17h, Chuña Huasi. Provincias de Córdoba y Santiago del Estero. *Boletín de la Dirección Nacional de Geología y Minería* 107, 40 p.. Buenos Aires.
- Massabie, A., 1997. Fases de deformación dúctil en formaciones 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.
- Miró C. R., 2001. Hoja geológica 2963-III: Villa Ojo de Agua, provincias de Santiago del Estero y Córdoba. Escala 1:250.000. Servicio Geológico Minero Argentino. Buenos Aires.
- Quartino, B. J., 1968. Recursos minerales de la provincia de Santiago del Estero. Minera TEA. Consejo Federal de Inversiones. Inédito. Buenos Aires.
- Ramos, V. A., 1988. Tectonics of the Late Proterozoic – Early Paleozoic: A collisional history of southern South America. *Episodes* 11 (3): 168-174.
- Rapela, C. W., Pankhurst, R. J., and Bonalumi, A. A., 1991, Edad y geoquímica del pórfido granítico de Oncán, sierra Norte de Córdoba, Sierras Pampeanas, Argentina. 6° Congreso Geológico Chileno, Actas 1: 19-22.
- Rapela, C. W., Toselli, A., Heaman, L. y Saavedra, J., 1997. Granite plutonism of the Sierras Pampeanas; An inner cordilleran Paleozoic arc in the southern Andes. In Kay, S. M. y Rapela, C. W. (Eds.): "Plutonism from Antarctica to Alaska". Geological Society of America, Special Paper 241: 77-89.
- Remane, J., Faure-Muret, A. y Odin, G. S. 2000. International Stratigraphic Chart, en Remane, J., Cita, M. B., Decourt, P., Bouyessse, P., Repetto, F. L. y Faure-Muret, A. (Eds.). International Union of Geological Sciences – UNESCO: 1-16.
- Söllner, F., Leal, P. R., Miller, H. y Brodtkorb, Milka, K. de, 2000. Edades U/Pb en circones de la riocadita de la sierra de Ambargasta, provincia de Córdoba. En I. Schalamuk, M. Brodtkorb y R. Etcheverry (Eds.): "Mineralogía y Metalogenia 2000". INREMI, Publicación 6: 465-469. La Plata.
- Sun, S. S., 1982. Chemical composition and origin of the earth primitive mantle. *Geochimical et Cosmochimical Acta*, 46: 179-192.
- Winchester, J. A. y P. A. Floyd, 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, 20: 325-343.
- Wood, D. A., 1980. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. *Earth and Planetary Science Letters*, 42: 77-97.

**Recibido:** 10 de mayo, 2003

**Aceptado:** 15 de agosto, 2003