

GRANITOIDES PERALUMINOSOS DE MINA SAN ANTONIO (TUNGSTENO), SIERRA DE VINQUIS NORTE, SIERRAS PAMPEANAS

José E. LAZARTE

Facultad Ciencias Naturales e Instituto Lillo, INSUGEO-CONICET, San Miguel de Tucumán. Email: jelazar@csnat.unt.edu.ar

RESUMEN

Se estudian los granitoides aflorantes en los alrededores de Mina San Antonio (tungsteno), en el extremo norte de la sierra de Vinquis, departamento de Belén, Catamarca. Se caracterizan tres unidades de granitos *s.s.*, peraluminosos. El Granito Piedra Overa es un sienogranito de dos micas, con altos contenidos de P_2O_5 y Th, y bajos de Sr, tierras raras pesadas e Y. El Granito Vinquis Norte es un sienogranito biotítico, con contenidos de Y levemente altos y bajos de Sr y elementos de tierras raras. El Granito Mina San Antonio es un sienogranito muscovítico, con alto contenido de P_2O_5 , y levemente alto de Y, y bajos contenidos de Ba, Sr y elementos de tierras raras. Ninguno de los cuerpos presenta altos valores de elementos de mena. Los cuerpos de Vinquis Norte y Mina San Antonio presentan rasgos de consanguinidad. El P habría jugado un papel importante en la fertilidad metalogenética del conjunto, evidente por la presencia de las vetas, la queda expresada en los parámetros de la anomalía de Eu y el perfil de elementos de tierras raras. normalizado.

Palabras clave: *granitoides peraluminosos, geoquímica, tungsteno, Sierras Pampeanas*

ABSTRACT

Peraluminous granitoids from San Antonio area (W), North Vinquis Range, Sierras Pampeanas.

Granitoid bodies cropping out around Mina San Antonio (W) located on the northern edge of the Vinquis range, Department of Belén, Catamarca, are studied. The granitoids of Piedra Overa Granite, North Vinquis Granite and Mina San Antonio Granite, all of peraluminous composition are characterized. Piedra Overa Granite is a two-micas sienogranite, with high contents of P_2O_5 and Th and low contents of Sr, HREE and Y. North Vinquis Granite is a biotitic sienogranite, with slightly higher content of Y and low Sr and REE. Mina San Antonio Pluto is a muscovitic sienogranite with high P_2O_5 content, and slightly high Y and low contents of Ba, Sr and REE. None of the bodies show high values of ore elements. North Vinquis and Mina San Antonio bodies show signs of inbreeding. The apparent granite's fertility is exposed only within the parameters of the Eu anomaly and the profile of REE normalized.

Keywords: *peraluminous granites, geochemistry, tungsten, Sierras Pampeanas*

INTRODUCCIÓN

La sierra de Vinquis (departamento Belén, Catamarca), ha sido estudiada en trabajos de alcance regional en los que los cuerpos de granitoides son tratados en general, sin particularizar los caracteres geológicos o geoquímicos (Toselli *et al.* 1992, Gorustovich y Guidi 1993, Rapela *et al.* 1996). González Bonorino (1972) realiza las observaciones más detalladas, denominando "plutón de San Antonio" a un cuerpo con una longitud aproximada de 11 km, el que incluiría a los granitos que se estudian en este trabajo. Lazarte *et al.* (2012), describen la alteración y dan contenidos de elementos de interés económico.

La existencia de un importante depósito de tungsteno, Mina San Antonio (Beder 1922, Tezón 1957), plantea la necesidad de un mejor conocimiento de las rocas asociadas al mismo. El depósito, conformado por vetas de cuarzo portadoras de wolframita, se sitúa en el sector norte de la sierra, en las coordenadas 27°51'S y 67°15'O aproximadamente.

En este trabajo se caracterizan los granitoides del sector de Mina San Antonio desde un punto de vista geológica y geoquímica, como complemento a lo publicado por Lazarte *et al.* (2012) y como primer paso para elaborar un modelo petro y metalogenético del sector. Para ello se utilizan datos petrográficos, geoquí-

micos y de la geología de campo. Los análisis químicos por elementos mayores y traza se realizaron en laboratorios de Acme Labs, Canadá (métodos ICP-MS e ICP-ES). Los datos se procesaron con GCD-kit (Janousek *et al.* 2006).

GEOLOGÍA

Basamento metamórfico

En general, se observan dos metamorfismos sobreimpuestos: uno regional y otro de contacto. El primero produce tipos rocosos que serían correlacionables con la Formación Loma Corral (Turner 1962). La roca dominante es un esquistos biotítico de grano fino a muy fino, con tex-

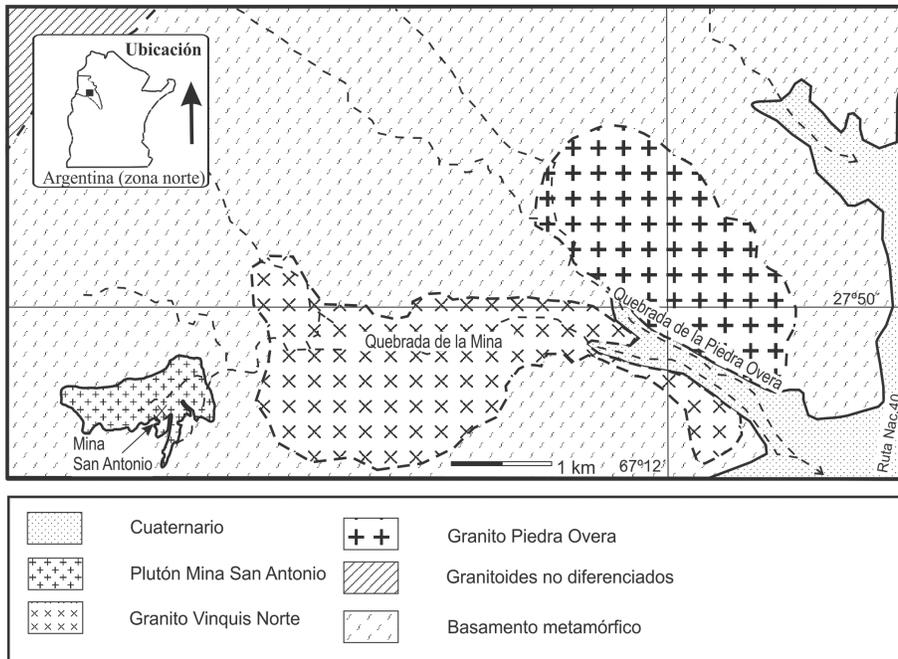


Figura 1: Bosquejo geológico del extremo norte de la sierra de Vinquis, sector de Mina San Antonio (modificado de Lazarte *et al.* 2012).

CUADRO 1: Contenidos (%) de óxidos de elementos mayoritarios.

	Granito Vinquis Norte			Granito Mina San Antonio					Granito Piedra Overa			
	290	291	292	318	301	304	313	314	293	296	298	315
SiO ₂	74,89	76,15	75,43	75,66	76,18	76,52	77,24	74,47	70,42	69,79	69,44	71,39
TiO ₂	0,14	0,14	0,13	0,12	0,02	0,06	0,01	0,06	0,39	0,37	0,39	0,41
Al ₂ O ₃	12,92	12,5	12,81	12,94	13,68	12,51	13,43	14,53	15,38	15,33	14,97	15,56
Fe ₂ O ₃	2,13	1,76	1,65	1,66	1,12	1,3	1,06	1,37	2,47	2,36	2,43	2,12
MnO	0,06	0,04	0,03	0,02	0,04	0,03	0,09	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03
MgO	0,11	0,15	0,1	0,09	0,05	0,05	0,05	0,12	0,59	0,65	0,67	0,52
CaO	0,55	0,62	0,51	0,58	0,35	0,44	0,26	0,47	0,74	0,9	0,92	0,6
Na ₂ O	3,25	3,31	3,4	3,31	3,73	2,36	3,08	3,49	0,76	2,86	2,66	0,24
K ₂ O	4,96	4,53	4,88	4,8	3,59	5,34	3,18	4,2	5,44	5,42	5,47	5,37
P ₂ O ₅	0,04	0,05	0,03	0,04	0,3	0,02	0,21	0,34	0,38	0,36	0,4	0,42
LOI	0,7	0,6	0,8	0,6	0,8	1	1,2	0,8	3,1	1,6	2,3	3,3
Sum	99,75	99,85	99,77	99,82	99,86	99,73	99,81	99,88	99,7	99,68	99,68	99,96
CaO/P ₂ O ₅	13,75	12,40	17,00	14,50	1,17	22,00	1,24	1,38	1,95	2,50	2,30	1,43

Datos de Lazarte *et al.* (2012)

tura granoblástica. Está compuesto por cuarzo, muscovita, biotita, opacos en parte subhedrales, apatito, circón y turmalina. Hay dos generaciones de muscovita, una como alteración de biotita y otra como porfiroblastos sin inclusiones y de mayor tamaño que la generación anterior, posterior a cuarzo y biotita. Se observan dos direcciones de bandeo, uno más antiguo (N305°/70°SO), aparentemente un plano penetrativo, y otra posterior (N331/subvertical) con inyección cuarzoza, las cuales se resuelven como dos di-

recciones de orientación de biotita.

Otro tipo rocoso es una filita gris oscura, cuarzo-biotítica con inyección granítica y silicificación masiva. La esquistosidad en la quebrada de la Mina es N253° inclinándose entre 33° y 85°N.

En la quebrada Piedra Overa afloran rocas corneanas cuarzo-biotíticas con fuerte silicificación diseminada y en venillas, con la estructura interna obliterada, inyección no profusa en venas graníticas y cuarzosas de hasta 40 cm. Al microscopio se observan cuarzo, muscovita, bio-

tita (en proporciones similares), circón y posible titanita como relictos, cordierita (con reservas) alterada y escasa, apatito, minerales opacos, y una posible generación de biotita póstuma. Más al sur, Toselli *et al.* (1992) mencionan sillimanita.

En la zona de contacto del plutón de la mina, se desarrolla turmalina acicular, con el eje c yacente sobre el plano de clivaje y biotita (“ojos” de hasta 2mm), rasgos que abarcan unos 10 m de espesor desde el contacto. Al microscopio se observan además, cuarzo, muscovita, posterior a la matriz cuarzo-biotítica, y como alteración de biotita, cordierita cloritizada (con reservas), escaso topacio, circón y biotitización póstuma en algunos sectores.

Granitoides

Se reconocen tres cuerpos principales: Granito Piedra Overa (GPO), Granito Vinquis Norte (GVN) y Granito de Mina San Antonio (GMSA), los dos últimos con similitudes composicionales.

Granito Piedra Overa: El cuerpo aflora desde la quebrada homónima hacia el norte y sus contactos aún no están totalmente definidos (Fig. 1). Es un sienogranito biotítico-moscovítico (con variaciones locales a monzogranito), color gris rosado, porfiroide, con variaciones graduales a granito gris de grano fino, con fenocristales de 5-10 mm (cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa en menor medida) en proporción <20%, en mesostasis fina de dos micas en estructura flotante. Componentes: cuarzo, biotita, feldespato potásico, plagioclasa, muscovita, apatito y minerales opacos.

En zona de contacto se observa biotitización (venillas de biotita cortando venillas de cuarzo) y silicificación, además de escasos xenolitos de esquistos.

Al microscopio la textura es porfiroide o inequigranular. El feldespato potásico es microclino pertítico, con inclusiones de plagioclasa, biotita y material microgranular. Una generación de feldespato potásico podría ser anterior a los fenocristales de cuarzo. El cuarzo se presenta en dos tamaños (dos generaciones), una que engloba a muscovita y otra que es incluida en la mica. En ocasiones se observa

material microgranular, principalmente cuarzo feldespático, rodeando a los fenocristales de cuarzo, los que presentan leves corrosiones en el contacto. Esto sugiere etapas de enfriamiento rápido en el proceso de cristalización. La plagioclasa es zoneada, con sericitización variable. Se observa una generación de grano fino más fresca y posiblemente más ácida, anterior a feldespato potásico. Muscovita es en parte primaria, sin alteraciones ni inclusiones y alcanza los 3mm. El apatito es abundante en algunos sectores. La biotita se presenta con profundas inclusiones con halos y una generación secundaria microgranular e intersticial. La generación principal es levemente anterior o coetánea a muscovita primaria. Hay sectores con intensa cloritización. Aparecen opacos escasos como exsoluciones de biotita (Fig. 2 a, b y c).

Granito Vinquis Norte: La facies principal es un sienogranito biotítico, rosado grisáceo, grano mediano, textura variable de porfírica a equigranular. Los componentes son cuarzo, feldespato potásico (microclino en proporciones variables), plagioclasa, muscovita secundaria con una posible generación primaria muy escasa, biotita y minerales opacos.

En la zona de contacto el grano es más fino y con menor contenido de minerales máficos y opacos, se observan venas de pegmatitas de hasta 15 cm. Además se observa fluorita color violáceo en posición intersticial y biotita secundaria dominante sobre la primaria. En la desembocadura de la quebrada de la mina, se observó una foliación (15-33°/subvertical). Su distribución cercana a un contacto y la presencia de xenolitos alineados con el plano de foliación sugiere que dicha estructura estaría ligada a fenómenos propios de una intrusión forzada, cuando la roca aún estaba en estado semiplástico. Es el único rasgo que remite a las facies con deformación que menciona González Bonorino (1972).

Al microscopio se observan fenocristales de feldespato potásico (Fig. 2d), cuarzo y plagioclasa (más escasos), la pasta es de grano fino. Los de cuarzo tienen textura en caries y una generación microgranular

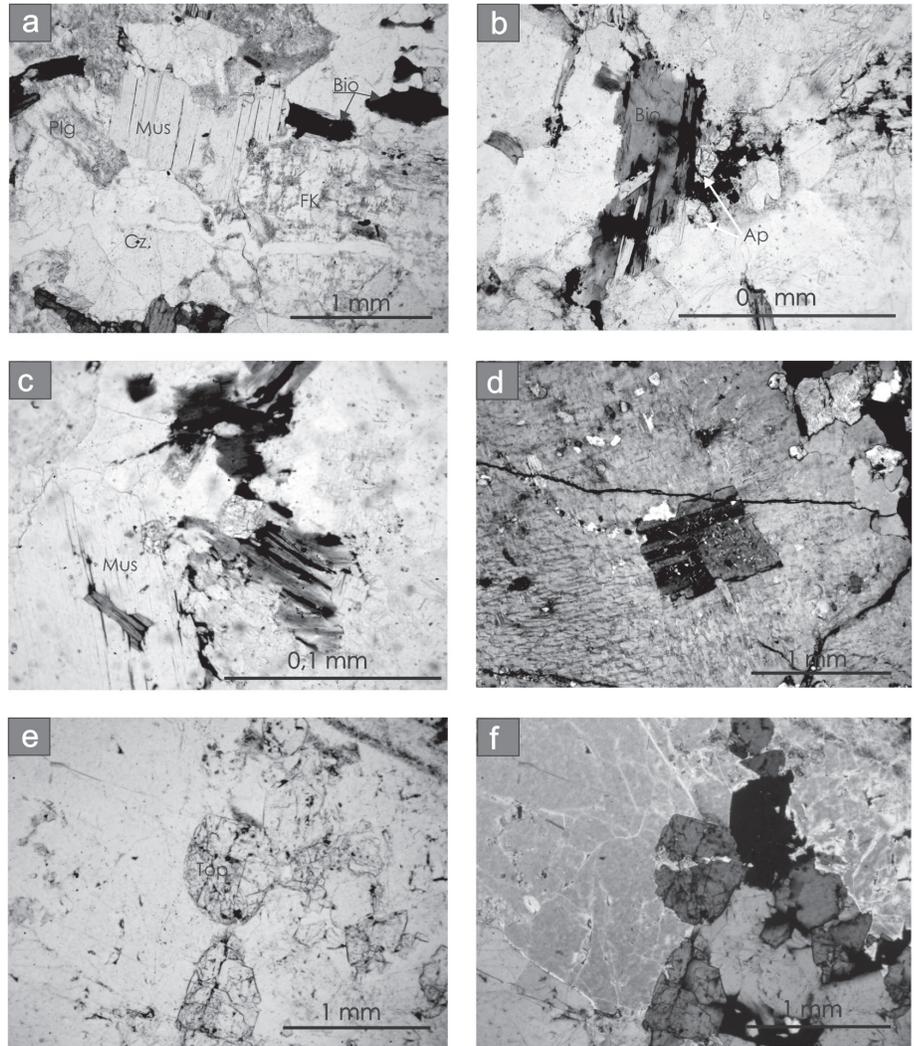


Figura 2: Fotomicrografías de los granitoides: a, b y c) (GPO), d) (GVN), e y f) (GMSA). a) Micas, cuarzo y feldspatos en GPO (nicoles paralelos). b) Apatito y biotitas en GPO (nicoles paralelos). c) Muscovita con inclusión de biotita en GPO (nicoles paralelos). d) Plagioclasa en feldespato potásico en GVN (nicoles cruzados). e y f) GMSA (nicoles paralelos y cruzados respectivamente).

(acompañado por feldespato potásico y sericita) en los bordes; los fenocristales de feldespato potásico (microclino) son los de mayor tamaño (hasta 6 mm), sin deformación (extinción normal), los fenocristales de plagioclasa son albita - oligoclasa ácida. Otros componentes son biotita como máfico predominante, muscovita secundaria y sericita, circón y minerales opacos, clorita y epidoto secundarios. Feldespato potásico es micropertítico (venillas anostomosadas), los fenocristales incluyen en los bordes a micas y plagioclasa. El topacio es escaso e intersticial.

Granito de Mina San Antonio: La facies principal está constituida por un sienogranito color rosado, grano mediano, muscovítico con escasa biotita. Se observan impregnaciones puntuales de óxidos rojizos; plagioclasa ácida subordinada al feldespato potásico y textura inequigranular.

Además se observa una facies porfiroide de distribución irregular, con fenocristales de 4 mm de cuarzo en matriz de cuarzo, feldspatos alcalinos y muscovita de grano fino a muy fino. Escasa biotita y óxidos color gris.

En algunos sectores se observa greisenización, con un fuerte reemplazo por cuarzo-sericita-muscovita, obliterando totalmente los minerales originales. También se observó albitización de distribución

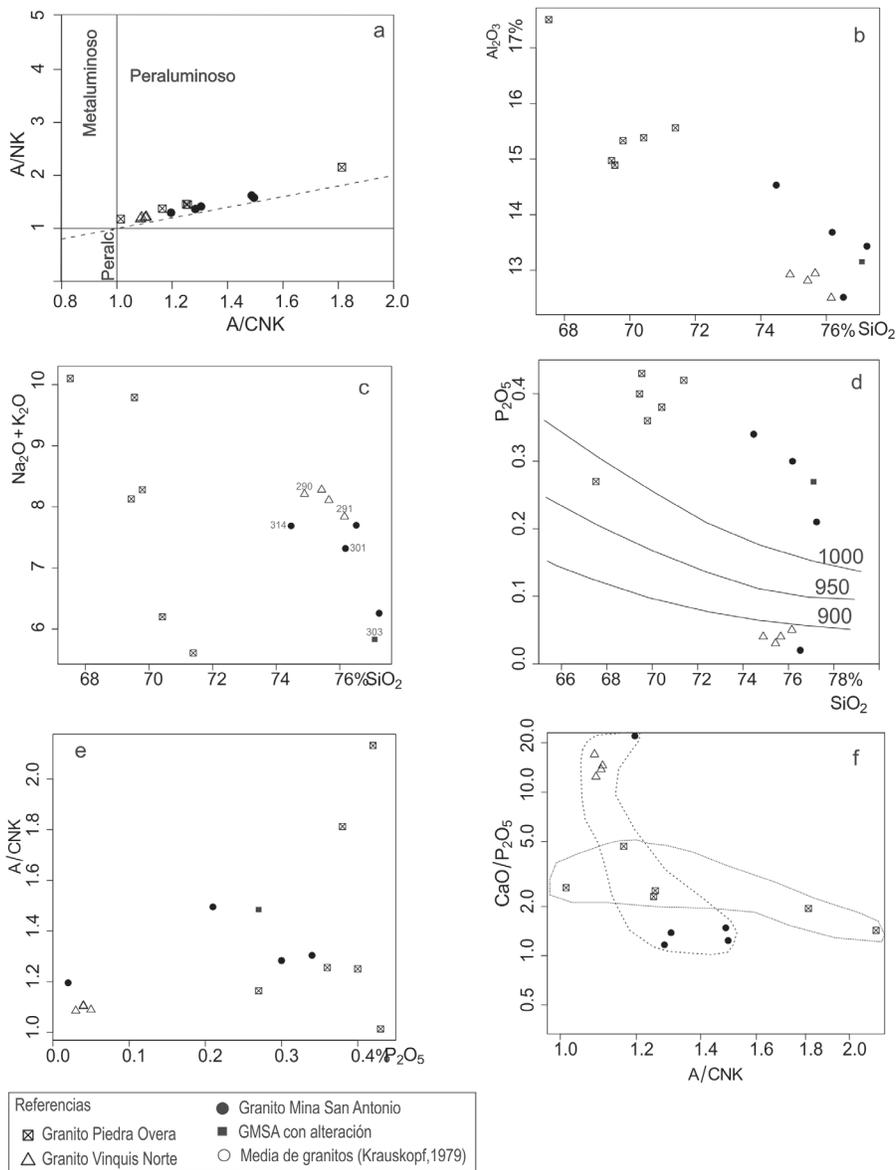


Figura 3: a) Diagrama de índices de Shand (1943). b-c) Diagramas tipo Harker de Al_2O_3 y P_2O_5 . En éste último se agregan curvas de estabilidad de apatito a 900° , 950° y 1000°C , según Sheepers y Rozendaal (1995). d) Diagrama de suma de álcalis en función de sílice. e) Diagrama A/CNK vs. P_2O_5 . f) Diagrama de la relación $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ en función de aluminosidad como A/CNK.

irregular y luego muscovitización probablemente concomitante con el emplazamiento de las vetas cuarzosas y próxima a las mismas.

La composición general es de cuarzo, feldespato potásico (microclino), plagioclasa, muscovita, biotita, topacio, apatito y minerales opacos.

El cuarzo se presenta en cristales anhedral con extinción normal. El microclino está en mesostasis y como fenocristales, caolinitizados moderadamente y en ocasiones albitizados. La plagioclasa es

albita a oligoclasa ácida (An 8-12), con maclas en bandas anchas, "tipo albita". Es frecuente la sericitización moderada a suave. Se aprecia una generación antigua, no determinable por la fuerte alteración en los escasos individuos observados como inclusiones en albita. La albitización genera reemplazos parciales de feldespato potásico por Ab, en una masa microgranítica cerca del contacto granito/basamento metamórfico. Esta generación, posiblemente póstuma, tiene ocasionales cristales de muscovita desarrollados pa-

rales a la macla.

La muscovita es la mica casi exclusiva y se presenta como una generación primaria, de individuos frescos, sin inclusiones, y una generación secundaria, producto de alteración de feldespatos y biotita. No constituye fenocristales y puede alcanzar los 2 mm. La biotita es muy escasa, en cristales pequeños, con inclusiones que dejan halos pleocroicos. El topacio se observa en pocas muestras, como individuos pequeños de posición intersticial o algunos individuos mayores. El apatito es muy escaso. Los minerales opacos en general rellenan fracturas o son anhedros intersticiales (Fig. 2 e y f).

GEOQUÍMICA

Elementos mayoritarios

Los cuerpos que se estudian en este trabajo pueden ser caracterizados, desde el punto de vista geoquímico, como peraluminosos, de acuerdo con los índices de Shand (Fig. 3a) que dan al Granito Piedra Overa como el de mayor grado de aluminosidad (valores A/CNK: 1 - >2 en Piedra Overa, alrededor de 1 en Viquis Norte y 1,2 - 1,5 en Granito Mina San Antonio). Hay una tendencia al incremento de aluminosidad desde el Granito Viquis Norte hacia el Granito de la Mina, coherente con su mineralogía. El Granito Piedra Overa y el Granito Mina San Antonio podrían considerarse granitos fuertemente peraluminosos mientras que el Granito Viquis Norte sería de aluminosidad débil (criterios de Miller 1985, en Rapela *et al.* 1996). Lazarte *et al.* (2012) los clasifican como peraluminosos félsicos.

Se han realizado diagramas de variación donde se observan separaciones en las tendencias evolutivas. Se toman como ejemplos, diagramas tipo Harker de Al_2O_3 y P_2O_5 (según Lazarte *et al.* 2012) y álcalis. Se observa que el Granito Piedra Overa tiene una tendencia creciente de alúmina (Fig. 3b), del mismo modo el conjunto Granito Viquis Norte y Granito Mina San Antonio, pero en otra línea. Ambos casos son coherentes con lo que se observa en la mineralogía de los

cuerpos. En los álcalis, el contenido de K_2O es aproximadamente constante en el Granito Piedra Overa y decreciente con el aumento de SiO_2 en los otros cuerpos; en el diagrama Na_2O+K_2O vs. SiO_2 (Fig. 3c) se observa claramente la separación de las tendencias del Granito Piedra Overa por un lado y los cuerpos de Vinquis Norte y Granito de la Mina por otro; éste último presenta mayor dispersión de contenidos, lo que podría deberse a los procesos tardíos y post magmáticos.

Estos granitos se caracterizan también por el contenido de P_2O_5 (véase cuadro 1). Según valores de granitoides de Sudáfrica (Sheepers y Rozendaal 1995), los contenidos $<0,1\%$ corresponderían a granitos tipo I ó A, y los tipo S tendrían un promedio de $0,17\%$. Los contenidos de P se relacionan a los contenidos de Ca y Al y al grado de evolución magmática (Wolf y London 1994). En el diagrama tipo Harker (Fig. 3d) los granitos que se estudian presentan tres tendencias bien diferenciadas. Si se superponen las curvas de saturación de apatito, según Sheepers y Rozendaal (1995), se ve que el Granito Vinquis Norte queda por debajo de la curva de $900^\circ C$ por sus bajos contenidos de P, de modo similar a granitos tipo A ó I de El Cabo (Sheepers y Rozendaal 1995), dato que se discute más adelante.

Del mismo modo, para estudiar las relaciones de P con Ca y Al sugeridas por diferentes autores se hicieron los diagramas de las figuras 3 e y f, donde se ve que hay correlación positiva entre contenido de P y Al en el Granito Piedra Overa, lo mismo que en el conjunto Granito Vinquis Norte y Granito Mina San Antonio, pero en este caso con menor pendiente. La relación CaO/P_2O_5 es decreciente en el Granito Piedra Overa y cae fuertemente desde el Granito Vinquis Norte al Granito Mina San Antonio.

Los diagramas sugieren que el granito Piedra Overa (de dos micas) sería el de menor grado de evolución presentando una tendencia creciente de alúmina mientras que los Granitos Vinquis Norte y Granito Mina San Antonio en conjunto constituyen una tendencia decreciente. Si bien se observa un "salto" desde el Gra-

CUADRO 2: Contenidos normativos (CIPW) de los granitos de la sierra de Vinquis.

Granito Vinquis Norte							
	290	291	292	318	Prom.		
Q	35,77	38,15	35,82	36,77	36,63		
C	1,30	1,14	1,08	1,34	1,22		
Or	29,31	26,77	28,84	28,37	28,32		
Ab	27,50	28,01	28,77	28,01	28,07		
An	2,47	2,75	2,33	2,62	2,54		
Hy	0,274	0,374	0,249	0,224	0,280		
Il	0,128	0,086	0,064	0,043	0,080		
Ru	0,072	0,095	0,096	0,098	0,090		
Ap	0,095	0,118	0,071	0,095	0,095		
Sum	96,92	97,49	97,32	97,56			
Granito Mina San Antonio							
	301	303	304	313	314	Prom.	
Q	40,651	48,105	41,394	47,011	37,869	43,006	
C	3,66	4,95	2,10	4,92	4,20	3,97	
Or	21,22	15,48	31,56	18,79	24,82	22,37	
Ab	31,56	27,16	19,97	26,06	29,53	26,86	
An	0,00	0,22	2,05	0,00	0,11	0,48	
Hy	0,17	0,33	0,13	0,28	0,30	0,24	
Il	0,038	0,038	0,064	0,019	0,064	0,0446	
Ru	0	0	0,026	0	0,026		
Ap	0,630	0,640	0,047	0,468	0,805	0,518	
Sum	97,920	96,935	97,331	97,549	97,728		
Granito Piedra Olivera							
	293	296	298	315	EA-390	EA-389	Prom.
Q	43,79	30,53	31,19	48,57	23,40	20,29	32,96
C	7,81	3,98	3,96	9,27	1,23	3,12	4,89
Or	32,15	32,03	32,33	31,74	36,29	40,60	34,19
Ab	6,43	24,20	20,03	2,03	30,89	27,33	18,48
An	1,19	2,11	1,95	0,23	2,75	4,49	2,12
Hy	1,47	1,62	1,67	1,30	3,37	0,35	1,63
Il	0,064	0,086	0,064	0,064	0,064	0,064	0,07
Ru	0,356	0,325	0,356	0,376	0,356	0,396	0,361
Ap	0,900	0,853	0,947	0,995	1,018	0,640	0,892
Sum	94,15	95,74	92,49	94,56	99,36	97,27	

nito Vinquis Norte al Granito Mina San Antonio que podría representar una evolución por separado de ambos cuerpos, como se observa en algunos elementos traza, ya que la alteración no parece suficiente para explicarla. Más adelante se discute este punto.

Los valores de CaO ($0,95 - 0,25\%$) y Sr ($90 - 25$ ppm) concuerdan con los que Rapela *et al.* (1996) dan como rasgo común a todos los granitos fuertemente peraluminosos.

El exceso de Al_2O_3 da valores altos de corindón (C) en el Granito Piedra Overa (picos de hasta $9,3\%$) en la composición normativa CIPW. (Cuadro 2). El Granito Vinquis Norte tiene valores algo más bajos ($1,22\%$) que el Granito Mina San Antonio ($3,97\%$). Otros valores significati-

vos son de rutilo (se distingue claramente el Granito Piedra Overa del resto con una media de $0,361$). El alto P_2O_5 se manifiesta en valores de apatito (medias de $0,89\%$ y $0,56\%$ en los cuerpos de PO y MSA, respectivamente), el Granito Vinquis Norte se distingue por valores bajos, con una media de $0,095\%$.

Elementos traza

Los datos disponibles del Granito Piedra Overa indican poca variación en los contenidos de Rb (media de aprox. 400 ppm) mientras que el Granito Vinquis Norte y el Granito de la Mina poseen contenidos que varían entre 100 y 800 ppm. Los valores altos (>500 ppm.), típicos de granitos evolucionados, sólo se observan en muestras con alteración. El Sr se presenta

CUADRO 3: Contenidos (ppm) de elementos traza.

	Granito Vinquis Norte				Plutón Mina San Antonio				Granito Piedra Overa			
	290	292	316	317	303**	304	308B**	313	314	293	296	298
Co	1,3	1,4	1,6	1,4	0,7	0,9	0,6	n	n	4	3,6	3,4
Sc	10	11	n	n	1	2	<1	1	2	4	4	4
V	10	7	7	6	<5	<5	10	n	n	32	25	28
Cu	19,4	28,6	6,3	4,2	23,9	22,2	71,5	n	n	11,5	7,1	8,1
Pb	24,2	31,5	6,3	3,9	3,1	17,7	5,4	n	n	12,2	7,6	8,4
Zn	48	55	38	11	13	70	155	n	n	72	84	92
Bi	0,4	0,3	0,1	n	3,7	0,2	0,9	n	n	0,4	0,9	0,8
Sn	n	6	4	2	11	6	44,3	n	n	8	7	7
W	n	6,4	3,1	6,1	11,1	3,7	56,6	n	n	9,9	5,6	4,4
Mo	5,3	2,1	4,7	2,4	2,1	2,9	1,5	n	n	1,3	2,4	0,9
Rb	198,1	205,2	156,3	107,2	431	224	604,1	235	220	417	411,6	415
Cs	8,7	9,1	4,9	2,6	29,2	3,1	n	n	n	22	19,6	13,2
Ba	177,4	141,8	257,7	243,7	21,1	38,3	14	36,2	39,5	276,3	242,5	250,6
Sr	30,9	28	31,1	89,1	7,1	42,4	8	41	43,1	52	58,1	62,1
Ta	2	2,3	1,9	2,2	4,9	2,3	10,8	n	n	1,9	1,4	1,6
Nb	25,2	30,5	22,6	27,2	29,9	23,4	50,2	22,1	24,2	19,9	18,1	17,5
Hf	5	5,3	7	5,9	1,6	5,8	1,4	5,6	6,2	6	5,9	6
Zr	121,5	122,8	155	120,3	21,4	107,9	21,5	103,5	109,6	186,6	182,1	193,2
Y	59,5	75,2	67,2	78,9	4,6	64,7	5,2	63	65,5	17,8	16,9	17
Th	15,3	17,7	19,8	18,2	1,3	30,6	1,3	29,5	31	54,5	52,7	55,8
U	3,2	4,6	3,2	3,4	1,7	5,6	7,2	5,2	5,9	3	3,3	3,4
La	35,6	34,1	40,3	36,1	1,2	15,1	1,7	n	n	49,2	48,4	51,4
Ce	81,2	79,4	96,8	85,7	2,7	38	3	n	n	127,3	121,1	130,5
Pr	9,43	9,37	10,67	9,75	0,28	4,91	n	n	n	16,27	15,79	16,71
Nd	36,8	35,6	41,3	38	1	20,3	n	n	n	63,8	63,2	68,6
Sm	8,9	9,6	9,4	9,7	0,4	6,1	n	n	n	13	13,2	13,4
Eu	0,45	0,36	0,46	0,52	<.05	0,15	n	n	n	0,86	0,88	0,94
Gd	8,15	9,41	9,23	9,96	0,26	6,58	n	n	n	7,57	7,17	7,46
Tb	1,72	1,99	1,79	2,08	0,09	1,46	n	n	n	0,97	0,88	0,9
Dy	9,4	12,05	10,54	12,77	0,55	9,27	n	n	n	3,69	3,51	3,59
Ho	2	2,43	2,3	2,75	0,09	2,13	n	n	n	0,52	0,51	0,51
Er	5,53	7,22	6,74	8	0,33	6,69	n	n	n	1,28	1,17	1,15
Tm	0,87	1,15	0,99	1,12	0,08	1,07	n	n	n	0,2	0,17	0,18
Yb	5,67	7,65	6,63	8,13	0,55	7,51	n	n	n	1,2	1,19	1,13
Lu	0,81	1,06	0,99	1,19	0,08	1,02	n	n	n	0,19	0,17	0,15
Be	5	5	4	7	3	2	5	n	n	9	6	11

n= sin datos. Datos inéditos y de Lazarte *et al.* (2012)

con valores poco variables, por debajo de los 100 ppm. Los valores Rb/Sr, en todos los casos, son <10 salvo los casos de greisenización, en donde los valores son diez veces superiores al resto (Fig. 4a). Los valores K/Rb no se encuadran en lo que Tischendorf (1977) considera granitos especializados ya que el Granito Mina San Antonio sin alterar y el Granito Vinquis Norte tienen valores alrededor de 200 y el Granito Piedra Overa se ubica entre 200 y 100. Las muestras de granito greisenizado del Granito de Mina San Antonio tienen valores <100 (véase cuadro 3). En el diagrama de la figura 4b se observa que este granito sería mucho más evolucionado que el Granito Vinquis Norte, con un *hiatus* notorio entre uno y otro cuerpo. El

Granito Piedra Overa se discrimina como altamente diferenciado.

La relación Ba/Rb discrimina al Granito Piedra Overa (valores entre 0,6 y 0,9 con poca variación) de los granitos Vinquis Norte y Mina San Antonio. De éstos, el primero presenta valores mucho más variables, entre 0,7 y 1,7; mientras que el segundo tiene valores claramente inferiores (<0,2), que lo sitúan en el extremo evolucionado. Sólo muestras de sectores con alteración dan valores suficientemente bajos, comparables a otros cuerpos de granitos especializados de la región (Lazarte *et al.* 1999).

En los elementos HFS, se observa que, en general, el Granito Piedra Overa tiene un menor grado de evolución, sin embar-

go, constituiría una tendencia separada de los granitos relacionados a mineralización, tal como se ve en los diagramas de elementos mayores (P₂O₅).

Los contenidos de Y varían entre 17 y 79 ppm en el Granito Piedra Overa, mientras que en el Granito Vinquis Norte varían entre 59 y 75 ppm y en el Granito de Mina San Antonio se ubican alrededor de 60 ppm, con tendencia decreciente hacia términos más evolucionados.

La relación Zr/Hf (Fig. 4a) sería indicador de grado de diferenciación en un cuerpo ígneo. Para nuestro caso se toman como referencia datos de Lowery Claiborne *et al.* (2006) que citan valores >35 en condritos, >30 en cumulos del batolito de Nevada y de alrededor de 25 en

granitoides de ese cuerpo. Las rocas que se estudian acá tienen valores > 30 en el Granito Piedra Overa y entre 20 y 25 en el Granito Vínquis Norte y el Granito Mina San Antonio. Más adelante veremos otras posibilidades de interpretar estos resultados.

La relación Zr/Nb distingue al Granito Piedra Overa con valores entre 9 y 11. El Granito Vínquis Norte y sectores sin alteración del Granito Mina San Antonio presentan valores entre 4 y 7. Las muestras con indicio de alteración presentan valores <1, por lo que, en esta área, la relación podría ser usada como herramienta de prospección.

El Granito Piedra Overa se distingue por los valores de Th (entre 50 y 60 ppm, Th/U entre 15 y 19) por encima de los contenidos medios de granitos según Krauskopf (1979), lo que posiblemente se relacione al grado de aluminosidad. Rapela *et al.* (1996) dan valores entre 2 y 0,1 en granitos peraluminosos. Los otros cuerpos tienen menos de 30 ppm de Th (Th/U entre 3 y 7 en el Granito Vínquis Norte). En el Granito Mina San Antonio se observa que los sectores sin alteración tienen valores similares a los del Granito Vínquis Norte mientras que los sectores con greisenización tienen valores menores a 1 ppm. Los valores del Granito Piedra Overa son también altos para la corteza según datos de Wedepohl (1995).

La relación La/Th (Fig. 4c) discrimina los tres cuerpos estudiados. En el Granito Piedra Overa está cerca del valor 1, en el Granito Vínquis Norte alrededor de 2, en línea con la media de granitos de Krauskopf (1979), y el cuerpo de Mina San Antonio parece ir a valores alrededor de 0,5 (con reservas por el escaso número de muestras).

Para estudiar las tierras raras (ETR), se utiliza un diagrama con normalización a condrito según datos de Nakamura (1974) (Fig. 4d). Se observa que el Granito Piedra Overa presenta un diseño de mayor pendiente que el resto, comenzando con los mayores valores para ETRL y terminando con los menores valores para ETRP (La/Lu_{cn}=30) y una anomalía de Eu moderada (Eu/Eu*= 0,286). El

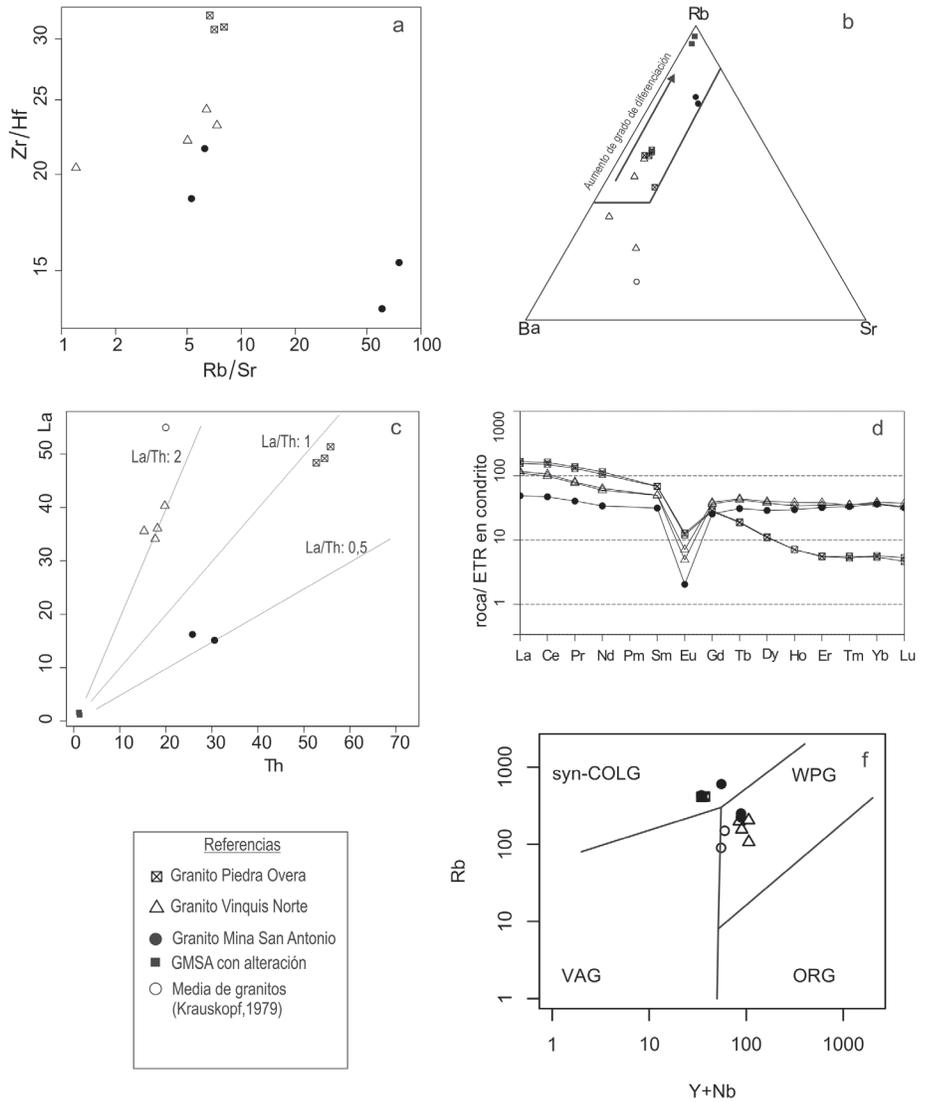


Figura 4: a) Relaciones Zr/Hf y Rb/Sr. b) Diagrama de La en función de Th con valores de la relación. c) Diagrama Ba-Rb-Sr según El Bouseily y El Sökkary (1975). Se delimita el campo de granitoides altamente diferenciados y se marca la tendencia de diferenciación. d) Diagrama tipo “spider” de ETR normalizado a condrito según datos de Nakamura (1974). e) Diagrama de ambiente tectónico con campos según Pearce *et al.* (1984).

CUADRO 4: Relaciones en los cuerpos de la sierra de Vínquis.

	muestra	Ba/Rb	Rb/Sr	K/Rb	Th/U	La/Th	Zr/Hf	Zr/Nb	Eu/Eu*
Granito Piedra Overa	293	0,66	8,02	108,29	18,17	0,9	31,1	9,38	0,27
	296	0,59	7,08	109,31	15,97	0,92	30,86	10,06	0,28
	298	0,6	6,68	109,42	16,41	0,92	32,2	11,04	0,29
	EA390	0,64	6,61	124,3	16,01	n	n	n	n
	EA389	0,88	2,93	146,21	14,99	n	n	n	n
Granito Vínquis Norte	290	0,9	6,41	207,85	4,78	2,33	24,3	4,82	0,16
	292	0,69	7,33	197,42	3,85	1,93	13,17	4,03	0,12
	316	1,65	5,02	n	6,19	2,03	22,14	6,86	0,15
	317	22,27	1,2	n	5,35	1,98	20,39	4,42	0,16
Granito Mina San Antonio	303	0,05	60,7	50,46	0,76	0,92	13,37	0,72	0,19
	304	0,17	5,28	107,9	5,46	0,49	18,6	4,61	0,07
	SA-308	0,02	75,51	49,99	0,18	1,31	15,36	0,43	n

n= sin datos

Granito Viquis Norte tiene altos valores La_{cn} pero el perfil es casi horizontal ($La/Lu_{cn} = 2,381$), con anomalía de Eu de moderada a pronunciada ($Eu/Eu^* = 0,119$). El Granito de Mina San Antonio tiene menores valores de ETRL, pero los ETRP son similares a Granito Viquis Norte, lo que le da un perfil levemente cóncavo ($La/Lu = 1,667$) con una anomalía de Eu más pronunciada ($Eu/Eu^* = 0,067$). Lazarte *et al.* (2006) encuentran que las anomalías de Eu serían indicadores de grado de evolución. Según este criterio, la anomalía de Eu señala al Granito Piedra Overa como el cuerpo de menor grado de evolución y al Granito de Mina San Antonio como el más evolucionado. La relación $La/Yb > 25$ que se observa en el Granito Piedra Overa (coherente con $La/Lu = 30$) podría indicar equilibrio con granate a altas presiones (Rapela *et al.* 1996).

En cuanto al ambiente tectónico, utilizando los parámetros de Pearce *et al.* (1984), con Rb, Y y Nb (Fig. 4e); se observa que el granito Piedra Overa se discrimina como de sin-colisión, mientras que en el conjunto Viquis Norte y Granito de la Mina se distribuyen entre los campos sin colisión e intraplaca (o post-colisión), obviamente sin considerar las muestras de sectores con greisenización. Lazarte *et al.* (2012) llegan a resultados similares usando Rb vs. Ta+Yb. Esto se podría interpretar como un pasaje de etapa de orogenia a la post orogenia, similar a lo visto para el norte de la sierra de Zapata (Lazarte *et al.* 1999). Son pocas muestras para una categorización definitiva, pero es claro que el Granito Piedra Overa se habría emplazado en un ambiente geotectónico diferente a los otros dos.

DISCUSIÓN

Los diagramas geoquímicos indican que los tres cuerpos podrían representar tres procesos o tendencias diferentes, ya que casi no se observan continuidades de uno a otro, si bien existen claras similitudes entre Granito Viquis Norte y Granito Mina San Antonio.

El Granito Piedra Overa (dos micas) tie-

ne contenidos relativamente altos de P, similares a otros cuerpos de dos micas de la región (Granito Río Rodeo en el Cordón de los Colorados, Lazarte *et al.* 1999, Granito Mazán, Lazarte *et al.* 2006).

Hay claros indicios de que los cuerpos de Viquis Norte y Mina San Antonio, relacionados a la mineralización de W, podrían ser consanguíneos. Esto se desprende de los valores Zr/Nb, donde el Granito Mina San Antonio sin greisenización tiene valores similares al Granito Viquis Norte, y Zr/Hf, con valores comunes en todas las muestras de ambos cuerpos. La tendencia de este conjunto sería a pasar de una aluminosidad débil a una fuerte, coherente con el paso de biotítico a muscovítico en las respectivas mineralogías. El Granito Mina San Antonio podría representar una reactivación del sistema magmático, que se inicia con la generación de tipos rocosos con altos contenidos de P, lo que explicaría la inversión en la tendencia que se observa en el diagrama de P_2O_5 vs. sílice (Fig. 3d). Este enriquecimiento en P estaría ligado a la actividad de Ca, Bea *et al.* (1992) se refieren a estos cuerpos como “granitos fosforosos”. El contenido de P_2O_5 es directamente proporcional al grado de aluminosidad (Fig. 3e), lo que se relacionaría con apatito contenido en micas. En general, los granitos evolucionados tienen alto P_2O_5 y este influye en el potencial mineralizador ya que actúa, de manera análoga a los halógenos, disminuyendo la temperatura de cristalización y favoreciendo la concentración de metales en las soluciones residuales. Resulta al menos llamativo que el contenido de P no estaría afectado por el grado de alteración, ya que muestras con indicios de greisenización se mantienen en las tendencias de las rocas no afectadas.

Clemens (2003) propone fusión de metasedimentitas para explicar el origen de granitos peraluminosos, sin embargo, habría que considerar los rasgos geoquímicos que acercan nuestros granitoides a los granitos tipo I como Th/U o Zr/Hf. Si bien los valores Zr/Hf han sido interpretados como indicio del grado de fraccionamiento, también podrían indicar

presencia de componentes “primitivos” en el origen del magma. En otras localidades de Sierras Pampeanas (granitos de la sierra de Velasco, en Grosse *et al.* 2000) se citan componentes “primitivos” en la fuente, hipótesis que ya fuera considerada para los granitos de Papacahcra (Lazarte 1994) y de la sierra de Zapata norte (Lazarte *et al.* 1999). Se sugiere que los valores de Zr/Hf significativos como aquellos > 30 del Granito Piedra Overa, podrían indicar, con reservas, presencia de estos componentes “primitivos”.

La relación de los cuerpos de Viquis Norte y Mina San Antonio con el Granito Piedra Overa aún no queda expuesta con los datos disponibles.

Si tomamos como indicadores del grado de evolución - especialización criterios habituales en la bibliografía especializada (por ejemplo, las relaciones K/Rb, Rb/Sr, Ba/Rb o la profundidad de la anomalía de Eu, Lazarte *et al.* 2006), vemos que solamente se puede calificar de evolucionados a los tipos de las etapas finales, muy probablemente postmagmáticas (ver valores en cuadro 3). Lazarte *et al.* (2012) dicen que la fertilidad de este conjunto de granitoides queda expuesta con la profundidad de la anomalía de Eu y el perfil del diagrama de ETR normalizado (cuya pendiente se refleja en el valor La/Lu_{cn}) ya que, en esta localidad es clara la diferencia entre granitos estériles y relacionados a la mineralización. Si bien la anomalía de Eu está directamente relacionada al fraccionamiento de plagioclasa, las coincidencias observadas en estos y otros cuerpos (Lazarte *et al.* 2006) sugieren que se pueden utilizar como criterio indicativo, no excluyente, del grado de especialización.

Por correlación con plutones similares, es posible que los granitos estudiados en este trabajo pertenezcan al ciclo Carbonífero en el ámbito de Sierras Pampeanas.

CONCLUSIONES

En el tramo norte de la sierra de Viquis afloran los granitos Piedra Overa, Viquis Norte y Granito Mina San Antonio, todos de composición granítica sensu

stricto y peraluminosos.

El Granito Piedra Overa es un sienogranito de dos micas, con altos contenidos de P_2O_5 y Th, y bajos de Sr, tierras raras pesadas e Y. El Granito Vinquis Norte es un sienogranito biotítico, con contenidos de Y levemente altos y bajos de Sr y ETR. El Granito Mina San Antonio es un sienogranito muscovítico, con alto contenido de P_2O_5 , y levemente alto de Y, y bajos contenidos de Ba, Sr y elementos de Tierras Raras. Ninguno de los cuerpos presenta altos valores de elementos de mena. Los tres cuerpos identificados en el campo y por petrografía representan diferentes eventos magmáticos y sólo se pueden relacionar entre sí el granito Vinquis Norte con el Granito Mina San Antonio. Éstos presentan rasgos de consanguinidad, sin embargo, éste último, más evolucionado, podría representar una reactivación del sistema magmático, donde el P habría jugado un papel importante en la fertilidad metalogenética.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea agradecer al Consejo de Investigaciones de la U.N.T. y al CONICET, instituciones que financian este proyecto. Asimismo, al Dr. Leal y otro árbitro anónimo por sus valiosas observaciones.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Bea, F., Fershtater, G. y Corretgé, L.G. 1992. The geochemistry of phosphorous in granite rocks and the effect of aluminium. *Lithos* 29: 43-56.
- Beder, R. 1922. Informe sobre estudios geológicos - económicos en la provincia de Catamarca. Dirección General de Minería, Geología e Hidrogeología, Boletín 31, Buenos Aires.
- Clemens, J.D. 2003. S- type granitic magmas petrogenesis issues, models and evidence. *Earth Science Reviews* 61: 1-18.
- El Bouseily, A.M. y El Sökkary, A.A. 1975. The relation between Rb, Ba and Sr in granitic rocks. *Chemical Geology* 16: 207-219.
- Gonzalez Bonorino, F. 1972. Descripción geológica de la hoja 13c Fiambalá. Servicio Nacional Minero Geológico, Boletín 127, Buenos Aires.
- Gorustovich, S. y Guidi, F. 1993. Caracterización uranífera de los granitoides del N de las Sierras Pampeanas noroccidentales. 12° Congreso Geológico Argentino, Actas 5: 297-305, Mendoza.
- Grosse, P., Söllner, F., Báez, M., Toselli, A., Rossi, J. y De la Rosa, J. 2009. Lower Carboniferous post-orogenic granites in entral- Eastern Sierra de Velasco, Sierras Pampeanas, Argentina: U-Pb monazite geochronology, geochemistry and Sr-Nd isotopes. *International Journal of Earth Sciences* 98: 1001-1025.
- Janousek, V., Farrow, C.M. y Erban, V. 2006. Interpretation of Whole-rock Geochemical Data in Igneous Geochemistry: Introducing Geochemical Data Toolkit (*GCDkit*) *Journal of Petrology* 47: 1255-1259.
- Krauskopf, K. 1979. Introduction to Geochemistry. McGraw-Hill Co., 617 p., Tokyo.
- Lazarte, J.E. 1994. Geología y geoquímica del Granito Papachacra (Carbonífero?), Sierras Pampeanas, Catamarca. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 49: 337-352.
- Lazarte, J.E.; Fernández Turiel; J.L., Guidi, F. y Medina, M.E. 1999. Los granitos Río Rodeo y Quimivil: dos etapas del magmatismo paleozoico del norte de Sierras Pampeanas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 54: 319-332.
- Lazarte, J.E.; Ávila; J.C., Fogliata, A.S. y Gianfrancisco, M. 2006. Granitos evolucionados relacionados con mineralización estannowolframífera en las Sierras Pampeanas occidentales. *Serie de Correlación Geológica* 21: 75-104.
- Lazarte, J.E., Ávila, J.C. y Gianfrancisco, M. 2012., Mineralización wolframífera relacionada a granitos peraluminosos: aspectos geoquímicos de la alteración en granitos del extremo norte de la sierra de Vinquis. *Serie Correlación Geológica* 28: 67-84.
- Lowery Claiborne, L., Miler, C.F., Walker, B.A., Wooden, J.L., Mazdab, F.K. y Bea, F. 2006. Tracking magmatic processes trough Zr/Hf ratios in rocks and Hf and Ti zoning in zircons: an example from the Spirit Mountain batolith Nevada. *Mineralogical Magazine* 70: 517-543.
- Miller, C. 1985. Are strongly- peraluminous magmas derived from politic sedimentary source? *Journal of Geology* 93: 673-689.
- Nakamura, N. 1974. Determination of REE, Ba, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 38: 757-773.
- Pearce, J., Harris, N. y Tinddle, A. 1984. Trace elements discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology* 25: 956-983.
- Rapela, C. W., Saavedra, J., Toselli, A. J. y Pelitero, E. 1996. Eventos magmáticos fuertemente peraluminosos en las Sierras Pampeanas. 13° Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 5: 337-353.
- Shand S.J. 1943. Eruptive Rocks; Their genesis, composition, classification, and their relation to ore deposits, with a chapter on meteorites. Hafner Publishing Co., 444 p., New York.
- Sheepers, R. y Rozendaal, A. 1995. Phosphorous as a typological and mineralization potential indicator: the Cape Granite suite of the Saldania belt as a case study. *Journal of African Earth Sciences* 221: 127-140.
- Tezón, R.V. 1957. Minería de la hoja 13c, Fiambalá, provincia de Catamarca. *Anales* 5, Dirección Nacional de Minería, Buenos Aires.
- Tischendorf, G. 1977. Geochemical and petrographic characteristics of silicic magmatic rocks associated with rare-elements mineralization. *Metallization Associated with Acid Magmatism* 2: 41-90.
- Toselli, G.A., Saavedra, J., Córdoba, G. y Medina, M.E. 1992. Los granitos peraluminosos de las sierras de Vinquis, Cerro Negro y Zapata (Sierras Pampeanas), Catamarca, Argentina. *Estudios Geológicos* 48: 247-256.
- Turner J.C. 1962. Estratigrafía del tramo medio de la Sierra de Velasco y región oeste (La Rioja). *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba* 42: 77-126.
- Wedepohl, K.H. 1995. The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59: 1217-1232.
- Wolf, M.B. y London, D. 1994. Apatite dissolution intemperaluminous haplogranitic melts: an experimental study of solubilities and mechanism. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 58: 4127-4145.

Recibido: 9 de noviembre, 2012

Aceptado: 5 de junio, 2013