

Mineralización wolframífera relacionada a granitos peraluminosos: aspectos geoquímicos de la alteración en granitos del extremo norte de la sierra de Vinquis

José E. LAZARTE^{1,2}, Julio C. ÁVILA^{1,2} y Miguel GIANFRANCISCO¹

Resumen: En el presente trabajo se estudia la mineralización y geoquímica de la alteración de los granitoides aflorantes en el sector de Mina San Antonio (W), en el extremo norte de la sierra de Vinquis, departamento de Belén, Catamarca. Los tres cuerpos caracterizados son el Granito Piedra Overa (GPO), 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 (GVN), sienogranito biotítico, con contenidos de Y levemente altos y bajos de Sr y ETR y el Plutón Mina San Antonio (GMSA), un sienogranito muscovítico, con alto contenido de P_2O_5 , y levemente alto de Y, y bajos contenidos de Ba, Sr y ETR. No se observaron valores elevados de elementos de mena en los cuerpos estudiados. Los cuerpos de GPO y GVN no presentan indicios de especialización según los parámetros de K/Rb y Ba/Rb. La relación Eu/Eu* funciona como indicador del grado de evolución y la alteración (greisenización) se refleja en los valores de Zr/Nb <1, Th/U <1 y efecto tetrada >1,1. En la etapa post magmática se constata fuerte caída en contenidos de ETR. La relación La/YbN indica fraccionamiento de tierras raras en el GPO y sirve para indicar grado de evolución de los granitos estudiados.

Abstract: *TUNGSTEN MINERALIZATION RELATED TO PERALUMINOUS GRANITES: GEOCHEMICAL ASPECTS OF THE ALTERATION IN GRANITES OF NORTHERN SIERRA DE VINQUIS.* Geochemistry of alteration and mineralization of the granitoids outcropping around Mina San Antonio (W), northern of Sierra de Vinquis, Department of Belén, Catamarca, are studied. Piedra Overa Granite is a two-micas sienogranite, with high contents of P_2O_5 and Th and low contents of Sr, REE and Y. North Vinquis Granite is a biotitic sienogranite, with slightly higher content of Y and low Sr and REE. Mina San Antonio Pluton is a muscovitic sienogranite with high P_2O_5 content, and slightly high Y and low contents of Ba, Sr and REE. None bodies show high values of ore elements. Anomalous values of ore elements were not observed in the studied bodies. The GPO and GVN granites have no specialization according to K/Rb and Ba/Rb parameters. Greisenization is exposed within the parameters Eu/Eu*, Zr/Nb <1, Th/U <1 and tetrad effect >1,1. Strong decay in REE's is observed at late stages. La/Yb_N indicates fractionation of REE in GPO granite and is useful to point out the evolution degree in the studied granites.

Palabras clave: Granitoides peraluminosos. Geoquímica. Tungsteno. Sierras Pampeanas.

Key words: Peraluminous granites. Geochemistry. Tungsten. Sierras Pampeanas.

Introducción

La relación espacial y genética entre rocas graníticas y yacimientos de W es algo demostrado a nivel mundial, sin embargo, no siempre esta relación está bien comprendida y particularmente, en Sierras Pampeanas, encontramos granitoides de alta y baja peraluminosidad relacionados a yacimientos de Sn – W. Un hecho significativo es el caso de los granitos que, sin poseer contenidos elevados de esos metales, dan finalmente concentraciones de interés

¹ Fac. Ciencias Naturales e Instituto Lillo. Miguel Lillo 205, (4000) San Miguel de Tucumán. jelazar@csnat.unt.edu.ar.

² INSUGEO-CONICET. Miguel Lillo 205, (4000) San Miguel de Tucumán.

económico. Esto se observa en granitoides de los alrededores de Mina San Antonio (W), en el norte de la sierra de Vinquis, dep. Belén, Catamarca, donde trabajaron autores como González Bonorino (1972); Toselli et al. (1992); Gorustovich y Guidi (1993). Allí se observa un conjunto de vetas con wolframita (Beder, 1922; Tezón, 1957) relacionadas a un cuerpo de granito muscovítico (Lazarte et al., 2011), acompañado por otros dos stocks de composición granítica s.s., encontrándose que las características de plutones evolucionados, en el sentido de Tischendorf (1977) sólo se aprecian en las etapas finales de la evolución.

En este trabajo se profundiza en los aspectos geoquímicos de estos cuerpos y las alteraciones y mineralización que generan en procura de conocer los cambios que conducen desde un magma en apariencia estéril a un complejo de fluidos fértiles. Para ello se utilizan parámetros propuestos por diferentes autores y que se encuentran ampliamente difundidos en la bibliografía especializada (Tischendorf, 1977; Bau, 1996; Irber, 1999) más algunos criterios geoquímicos aplicados por Lazarte et al. (2006) en Sierras Pampeanas.

Se utilizan datos petrográficos, geoquímicos y de la geología de campo. Los análisis químicos por elementos mayores y traza se realizaron en laboratorios de Acmelabs, Canadá (métodos ICP-MS e ICP-ES). Los datos se procesaron con GCDkit (Janousek et al., 2006).

Geología

BASAMENTO METAMÓRFICO. Está constituido por esquistos, filitas y corneanas que indican un metamorfismo regional al que se sobrepone uno térmico. Ávila y Lazarte (2010) correlacionan estas rocas con la Fm Loma Corral (Turner, 1962). Los afloramientos se muestran en la Figura 1.

El tipo rocoso más frecuente es un esquisto biotítico de grano fino a muy fino, con textura granoblástica, compuesto por cuarzo, muscovita, biotita, opacos en parte subhedrales, apatito, circón, turmalina. Hay dos generaciones de muscovita, una como alteración de biotita y otra, de mayor tamaño, como porfiroblastos sin inclusiones y posterior a cuarzo y biotita. Se observan dos direcciones de bandeo, uno más antiguo (N305/70SO) y otra posterior (N331/subvert.) con inyección cuarzosa.

Otro tipo está conformado por filitas cuarzo – biotíticas con inyección granítica y silicificación masiva. La posición de la esquistosidad es N253/ inclinando entre 33 y 85N.

En la quebrada Piedra Overa afloran corneanas cuarzo-biotíticas de textura granoblástica grano fino. La composición es de cuarzo, muscovita, biotita (en proporciones similares), circón y posible titanita como relictos, apatito, escasa cordierita alterada a clorita, minerales opacos y una posible generación de biotita póstuma. Más al sur, Toselli et al. (1992) mencionan sillimanita. Además se observa fuerte silicificación pervasiva y en venillas, con la estructura interna obliterada, inyección no profusa en venas graníticas y cuarzosas de hasta 40 centímetros.

En la zona de contacto con el plutón de Mina San Antonio, se desarrolla turmalina acicular, biotita (“ojos” de hasta 2 mm), cuarzo, muscovita, cordierita cloritizada, escaso topacio, circón y biotitización póstuma en algunos sectores, en unos 10 m de espesor desde el contacto.

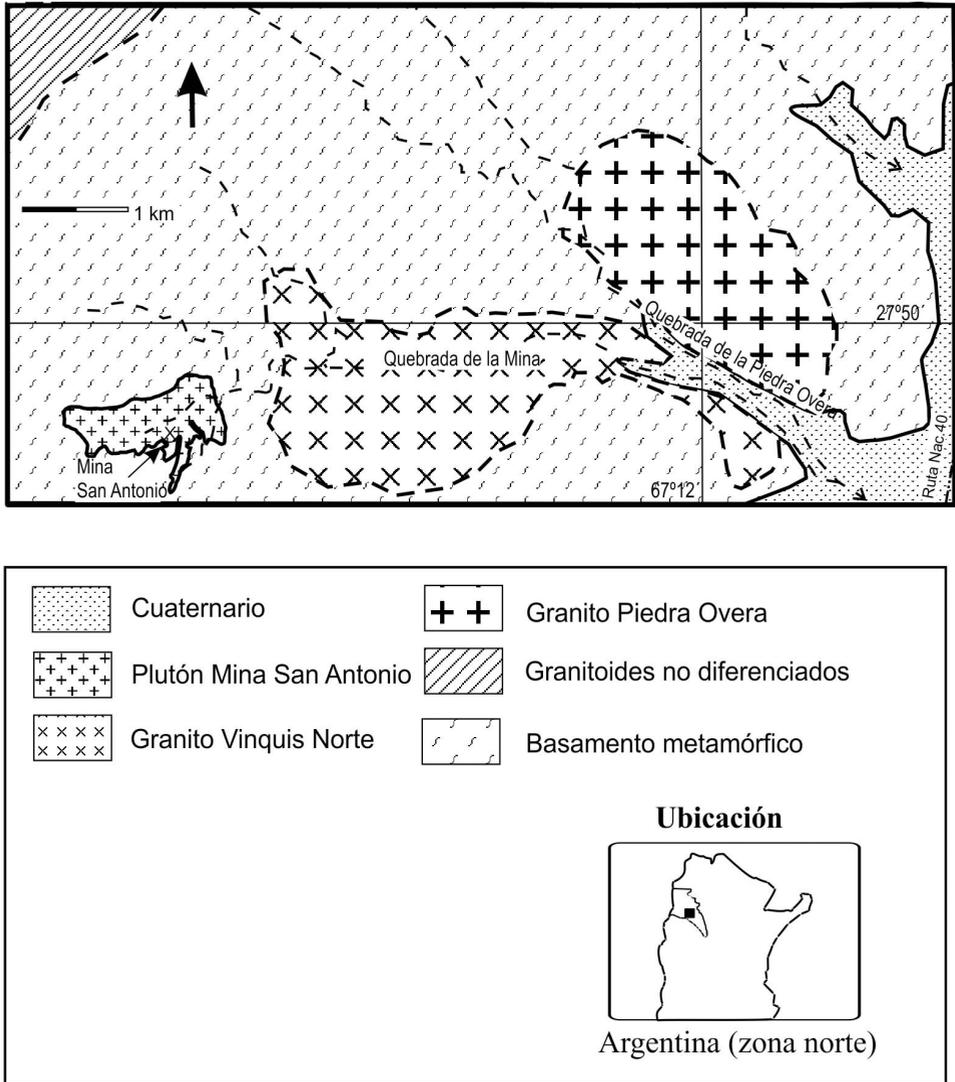


Figura 1. Bosquejo geológico del extremo norte de la sierra de Vinquís.

Granitoides

Se describen tres cuerpos de granitoides: Granito Piedra Overa (GPO), Granito Vinquis Norte (GVN) y Granito Mina San Antonio (GMSA); los cuales formarían lo que González Bonorino (1972) llama “Plutón de San Antonio”, Figura 1.

GRANITO PIEDRA OVERA. Este sienogranito de dos micas, biotítico – moscovítico (con variaciones locales a monzogranito) aflora fuera de la zona del yacimiento, desde la quebrada homónima hacia el norte, sin que se reconocieran los contactos al N y NO por la cubierta vegetal y aluvial. Tiene color gris rosado, porfiroide, con variaciones graduales a granito gris de grano fino, con fenocristales (cuarzo, FK y plagioclasa en menor medida), de 5-10

mm en proporción <20%. Componentes: cuarzo, biotita, feldespato potásico, plagioclasa (oligoclasa), muscovita, apatito y minerales opacos.

La textura es inequigranular. Cuarzo se presenta en dos generaciones (anterior y posterior a muscovita). El FK es microclino peritítico, con inclusiones de plagioclasa y biotita. Muscovita es primaria, sin inclusiones o secundaria. La biotita se presenta con profusas inclusiones con halos, una generación secundaria intersticial y escasas exsoluciones de opacos en biotita.

En ocasiones se observa material microgranular, principalmente cuarzo feldespático, rodeando a los fenocristales de cuarzo, que presenta leves corrosiones en el contacto con los mismos. Esto sugiere etapas de enfriamiento rápido en el proceso de cristalización.

GRANITO VINQUIS NORTE. Es un sienogranito biotítico, rosado grisáceo, grano mediano. Los componentes principales son cuarzo, FK, plagioclasa (albita – oligoclasa ácida), biotita, muscovita, circón y minerales opacos. Textura entre porfírica y equigranular.

Los fenocristales son de FK, cuarzo y plagioclasa. Los de cuarzo tienen caries y una generación microgranular en bordes de fenocristales (acompañado por FK y sericita), los fenocristales de FK (de hasta 6 mm), sin deformación, micropertíticos, crecen hasta incluir en los bordes a micas y plagioclasa. Biotita es el máfico predominante. Como minerales secundarios, muscovita-sericita, clorita, epidoto y opacos. Topacio es escaso, intersticial. En la zona de contacto con el basamento metamórfico, se observa fluorita color violáceo en posición intersticial y biotita secundaria predominando sobre la primaria.

GRANITO MINA SAN ANTONIO. Figuras 2A y B. Aflora en el área del yacimiento, como un cuerpo separado del Granito Vinquis Norte, de unos 600x1800 m, elongado casi en sentido E-O. Es una roca color rosado, grano mediano a fino, muscovítica con escasa biotita. FK más abundante que plagioclasa ácida. Textura inequigranular, composición sienogranítica con pasajes locales a monzogranítica. Además se observa una facies porfiroide de distribución irregular, con fenocristales de cuarzo de hasta 4 mm, en matriz de grano fino a muy fino, de cuarzo, feldespatos y muscovita.

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

El cuarzo se presenta en cristales anhedrales con extinción normal. El FK es escaso, 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 e inclusiones de una generación antigua, no determinable por la fuerte alteración en los escasos individuos observados. Sericitización moderada a suave frecuente.

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 de la poca biotita presente. Puede alcanzar los 2 milímetros. Biotita es muy escasa, en cristales pequeños, con inclusiones que dejan halos pleocroicos. Topacio escaso, como individuos pequeños de posición intersticial. Apatito en cristales pequeños de distribución irregular. Los minerales opacos rellenan fracturas o tienen posición intersticial.

Geoquímica de los granitoides

ELEMENTOS MAYORITARIOS. Véase contenidos en Tabla 1A. Los granitoides objeto de estudio se pueden caracterizar como peraluminosos, de acuerdo con los índices de Shand. El GPO es el de mayor grado de aluminosidad y junto al GMSA podrían considerarse granitos fuertemente peraluminosos (valores A/CNK: 1 - >2 en GPO, y 1,2 – 1,5 en GMSA),

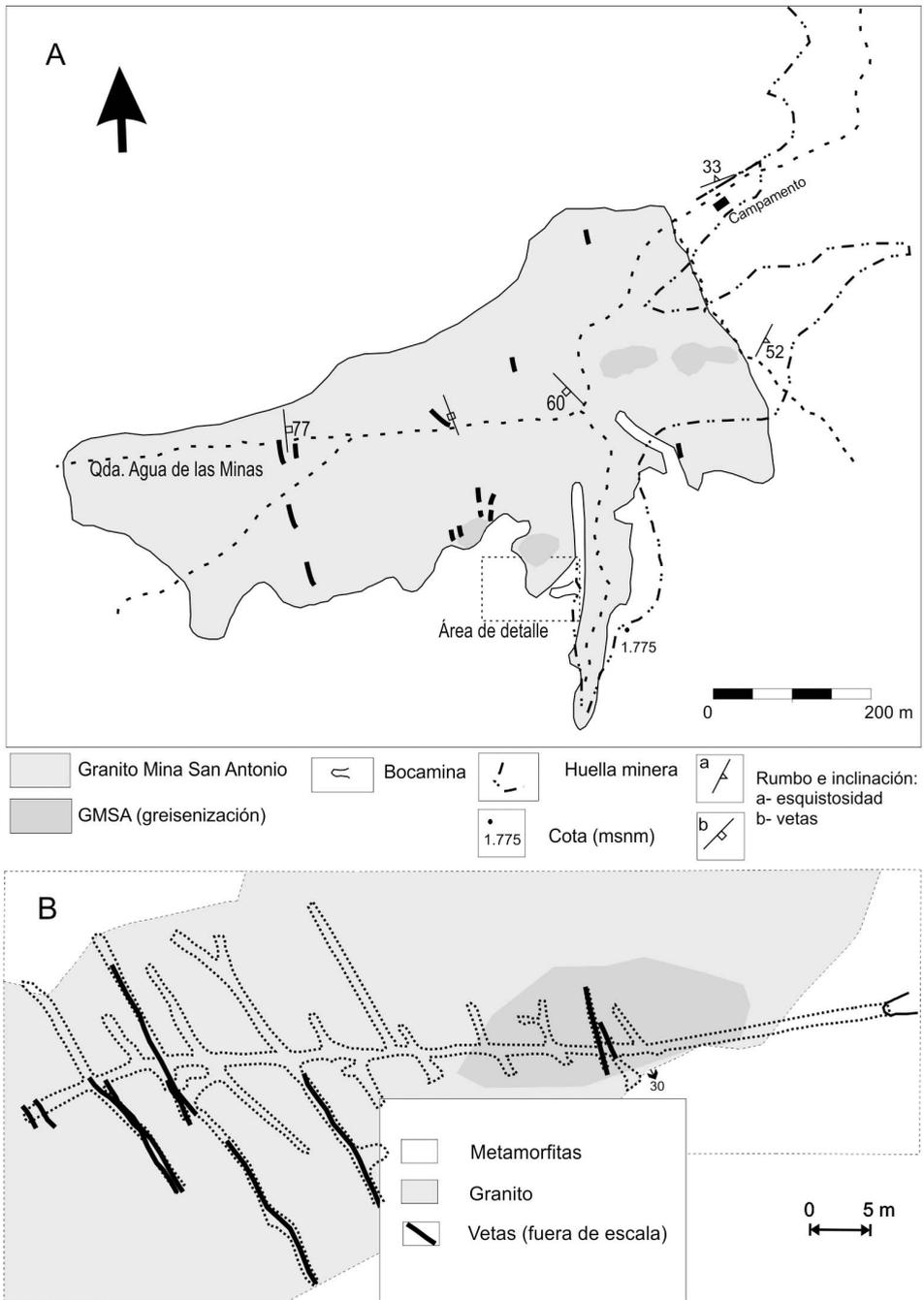


Figura 2. A) Granito Mina San Antonio; **B)** Detalle de la labor principal (Toro); ambos modificados de Beder (1922).

	Granito Vinquis Norte				Plutón Mina San Antonio					Granito Piedra Overa			
	290	291	292	318	301	303**	304	313	314	293	296	298	315
SiO ₂	74,89	76,15	75,43	75,66	76,18	77,09	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	0,02	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	13,15	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	1,09	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	0,05	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	0,11	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	0,4	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	3,21	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	2,62	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	0,27	0,12	0,21	0,34	0,38	0,36	0,4	0,42
LOI	0,7	0,6	0,8	0,6	0,8	1,7	1	1,2	0,8	3,1	1,6	2,3	3,3
Total	99,75	99,85	99,77	99,82	99,86	99,71	99,73	99,81	99,88	99,7	99,68	99,68	99,96

Tabla 1A. Contenidos (en %) de elementos mayoritarios en los granitos del extremo norte de la sierra de Vinquis.

mientras que el GVN, con valores alrededor de 1, sería de aluminosidad débil (criterios de Miller, 1985, en Rapela et al., 1996). Según los criterios de Villaseca (1998), los tres cuerpos se clasifican como peraluminosos félsicos.

Los diagramas de variación tipo Harker (Figuras 3A-F) sugieren que el GPO (de dos micas) sería el de menor grado de evolución con una tendencia creciente de alúmina. Los granitos GVN y GMSA constituyen un conjunto de tendencia decreciente, si bien se observa un “salto” desde el Granito Vinquis Norte al Plutón Mina San Antonio que podría representar una evolución por separado de ambos cuerpos. Se observan tendencias bien definidas en CaO, MgO, P₂O₅, este último con tendencia creciente en el GPO. En general, las tendencias indicarían una evolución por cristalización fraccionada con dos líneas evolutivas, una para el GPO y otra para los granitos GVN y GMSA.

La composición normativa C.I.P.W. del GPO tiene alto C (picos de hasta 9,3%). El GVN tiene valores algo más bajos (1,22 %) que el GMSA (3,97 %). Otros valores significativos son de rutilo (se distingue claramente el GPO del resto con una media de 0,361%) y apatito (el GVN se distingue por valores bajos, con una media de 0,095%).

ELEMENTOS TRAZA. Véase contenidos en Tabla 1B. El GPO posee una media de Rb de alrededor de 400 ppm mientras que en los cuerpos de GVN y GMSA los contenidos varían entre 100 y 600 ppm. Los valores altos (>400 ppm) son típicos de granitos evolucionados y, en este caso, sólo se observan en muestras con alteración. Sr se presenta con valores poco variables (25- 90 ppm), en coincidencia con Rapela et al. (1996) dan como rasgo común a todos los granitos fuertemente peraluminosos. 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 (Figura 4A). Los valores K/Rb no se encuadran en lo que Tischendorf (1977) considera granitos especializados ya que el GMSA sin alterar y el GVN tienen valores alrededor de 200 y el GPO se ubica entre 200 y 100. Solamente las muestras de granito greisenizado (GMSA) tienen valores <100, ubicándose en la tendencia pegmatítica- hidrotermal (Tabla 2).

Las características de estos cuerpos se pueden analizar utilizando relaciones de Ba/Rb, Zr/Hf, Zr/Nb, Th/U, Rb/Hf y La/Th. Como ejemplo se presentan aquí, los diagramas Ba vs Rb y Th vs U donde se ve la tendencia de los granitos VN y GMSA (Figura 4B) y los valores Th/U (Figura 4C). Se observa que presentan caracteres de tres eventos diferentes, si

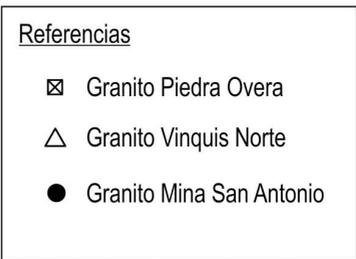
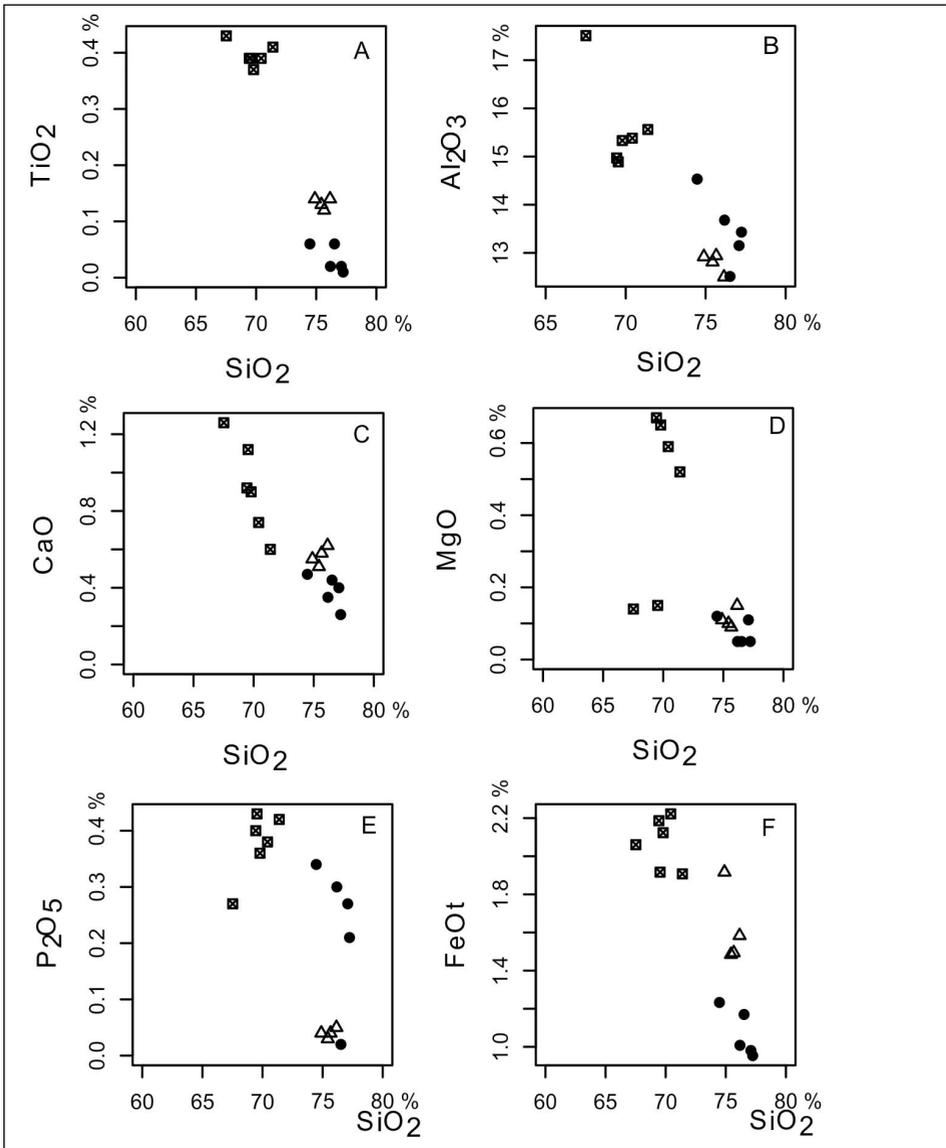


Figura 3. Diagramas tipo Harker de elementos mayoritarios.

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

Tabla 1B. Contenidos (en ppm) de elementos traza en los granitos del extremo norte de la sierra de Vinquis.

bien los cuerpos de GVN y GMSA confirman los rasgos de consanguinidad observados en los elementos mayoritarios. Algunas de estas relaciones indicarían presencia de componentes profundos, acaso derivados del manto, en el origen del magma, algo ya observado en Sierras Pampeanas por otros autores (Grosse et al., 2009).

En un diagrama multielementos con normalización a corteza superior (datos de Taylor

Muestra	Ba/Rb	Rb/Sr	K/Rb	La/Th	Zr/Hf	Y/Ho	Sr/Eu	La/Yb _{gn}	Eu/Eu*	te 1-3
293	0,66	8,02	108,29	0,9	31,1	34,23	60,47	27,33	0,27	1,1145
296	0,59	7,08	109,31	0,92	30,86	33,14	66,02	27,11	0,28	1,0795
298	0,6	6,68	109,42	0,92	32,2	33,33	66,06	30,32	0,29	1,078
EA390	0,64	6,61	124,3	n	n	n	n	n	n	n
EA389	0,88	2,93	146,21	n	n	n	n	n	n	n
290	0,9	6,41	207,85	2,33	24,3	29,75	68,67	4,19	0,16	1,105
292	0,69	7,33	197,42	1,93	13,17	30,95	77,78	2,97	0,12	1,1338
316	1,65	5,02	n	2,03	22,14	29,22	67,61	4,05	0,15	1,0913
317	22,27	1,2	n	1,98	20,39	28,69	171,35	2,96	0,16	1,1101
303	0,05	60,7	50,46	0,92	13,37	51,11	355	1,45	0,19	1,3606
304	0,17	5,28	107,9	0,49	18,6	30,38	282,67	1,34	0,07	1,1088
308	0,02	75,51	49,99	1,31	15,36	n	n	n	n	n

n= sin datos

Tabla 2. Relaciones elementales en los granitos del extremo norte de la sierra de Vinquís.

y McLennan, 1995), Figura 5A, se observa que el granito greisenizado pierde Sr, Y, Th, U, ETR, Hf, Zr y Ti, respecto a la roca fresca, ganando Ta, Nb, Rb, Cs y P.

En cuanto a las tierras raras (ETR), se ha observado que, en un diagrama con normalización a condrito según Nakamura (1974), Figura 5B, el GPO presenta un diseño de pendiente coherente con una evolución por fraccionamiento ($La/LuN=30$), principalmente de plagioclasa, y una anomalía de Eu moderada ($Eu/Eu^*=0,286$). El GVN tiene un perfil casi horizontal ($La/LuN=2,381$), con anomalía de Eu de moderada a pronunciada ($Eu/Eu^*=0,119$). El GMSA presenta un perfil levemente cóncavo ($La/Lu=1,667$) con una anomalía de Eu más pronunciada ($Eu/Eu^*=0,067$). En otras unidades de Sierras Pampeanas se ha observado que la anomalía de Eu podría indicar grado de evolución (Lazarte et al., 1999, 2006). En este caso el Granito Piedra Overa sería el cuerpo de menor grado de evolución y al GMSA sería el más evolucionado. La/Lu es asimilable a La/Yb (los valores difieren mínimamente) por lo que se toma como indicador de diferenciación.

En resumen, el Granito Piedra Overa tiene altos contenidos de P_2O_5 y Th, y bajos de Sr, tierras raras pesadas e Y. El Granito Vinquís Norte presenta contenidos de Y levemente altos y bajos de Sr y ETR. El Granito Mina San Antonio tiene alto contenido de P_2O_5 , y levemente alto de Y, y bajos contenidos de Ba, Sr y ETR. Ninguno de los cuerpos presenta altos valores de elementos de mena.

Observados en conjunto, estos cuerpos podrían representar 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). Se observa en diagramas con los parámetros de Pearce et al. (1984), con Rb, Y y Nb (Figura 5C). Esto se considera un dato preliminar pero es claro que el Granito Piedra Overa se habría emplazado en un ambiente geotectónico diferente a los otros dos.

Mineralización y alteración

En primer lugar debemos aclarar que los términos evolución y especialización no deben tomarse como sinónimos. El progreso de la evolución magmática no necesariamente conduce a la especialización, que se da en granitos en vías de o ligados a mineralización. La evolución del conjunto estudiado se observa en diagramas tipo Harker y otros elementos traza.

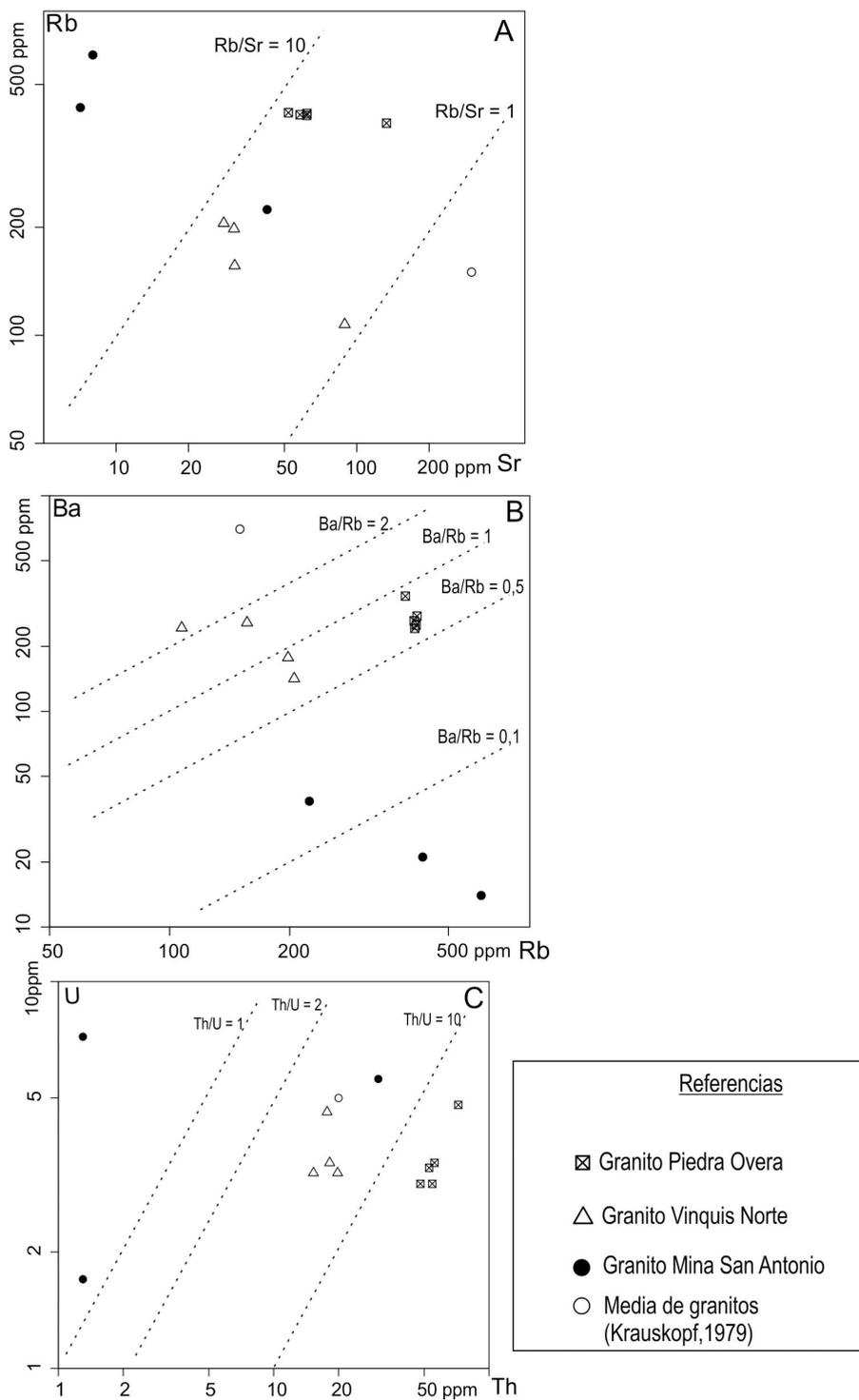


Figura 4. Diagramas de elementos traza.

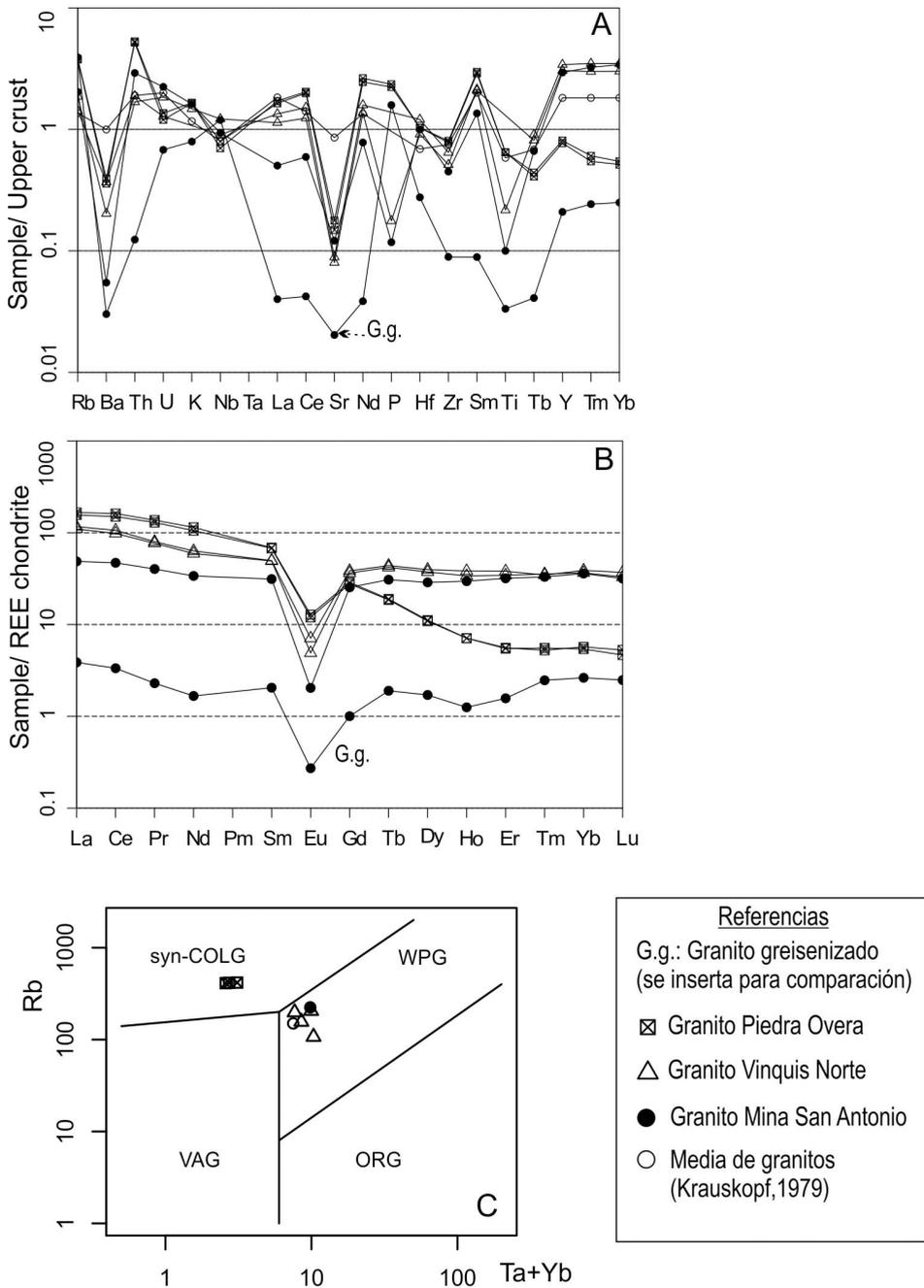


Figura 5. A y B) Diagramas normalizados de elementos traza y tierras raras (normas de Taylor y McLennan, 1995 y Nakamura, 1974); C) Diagrama de ambiente tectónico según Pearce et al. (1984).

La alteración deutérica podría agruparse, de acuerdo a su ocurrencia y/o relaciones, en: la que afecta a las zonas de contactos y la que ocurre en el cuerpo GMSA. En la zona de contacto se observa silicificación que oblitera la estructura en las metamorfitas de la caja. Se generan además, capas bien definidas de 1-2 cm con cuarzo, biotita, muscovita como alteración de biotita y en láminas de mayor tamaño posteriores, turmalina acicular, mica rojiza muy fina, “ojos” de biotita (2mm) y escaso topacio. A 10 m del contacto, en metamorfita, desaparecen turmalina y biotita gruesa. Finalmente, venillas de cuarzo, biotita y mica rojiza muy fina que atraviesan muscovita representan una biotitización póstuma. La secuencia mineralógica sería cuarzo - biotita 1- muscovita 1- clorita – muscovita-sericita - biotita 2 - opacos.

En el GMSA el principal tipo de alteración que se observa es greisenización con escasos rasgos de albitización y biotitización - muscovitización.

La greisenización afecta al granito en forma irregular, como diseminación en los hastiales de las vetas y, como caso extremo, se observa reemplazo masivo. En el mapa (Figuras 2A y B) se marcan las zonas de greisen más evidentes, las que tiene límites difusos.

En la labor principal (Figura 2B) se observa un greisen cuarzo-muscovita compuesto por cuarzo, muscovita color blanco y mica “rubia” en venilla de hasta 20 mm, y feldespato K parcialmente alterado (caolinitizado y sericitizado), como relicto. El grano es mediano o fino. Presenta puntos oscuros distribuidos aleatoriamente, de 2-5 mm, con calcopirita, bornita, covelina y escasos carbonatos tardíos. Los óxidos presentes, limonitas y tenorita, serían productos de alteración supegénica.

También se observó albitización de distribución irregular, en forma de reemplazos parciales de FK por Ab, en una masa microgranítica. Esta generación, posiblemente póstuma, tiene ocasionales cristales de muscovita desarrollados paralelos a la macla.

En cuanto a la zona mineralizada está constituida por vetas de cuarzo portadoras de wolframita, orientadas con rumbo NO-SE, la roca de caja puede ser granítica o metamórfica (Lazarte et al., 2011). Las vetas son en general tabulares, con escasas ramificaciones, de 5 a 20 cm de potencia, con casos menos frecuentes, de hasta 60 centímetros. Las corridas están en el orden de la decena de metros, pero en las vetas mayores alcanzan el centenar de metros. También se observaron vetas de estructura compleja, con espesores variables y ramificaciones con lentes de cuarzo y óxidos de Fe y texturas de espacios abiertos. En las vetas principales, la wolframita ocurre en prismas largos de hasta 25 mm, distribuidos aleatoriamente en el cuarzo teñido por limonitas. La presencia de venillas de mica rubia de 3-5 mm de espesor, grano medio, posteriores a wolframita, indica que la alteración continuó en el tiempo, más allá de la mineralización.

Geoquímica de la alteración y la mineralización

CONTENIDOS. En el estudio de la alteración se asumen dos tendencias principales para los cuerpos granitoides según lo visto más arriba, por un lado el GPO y por otro, el conjunto GVN y GMSA.

Los elementos de potencial interés económico, W y Sn, sólo son anómalos en la roca greisenizada, si bien en el granito fresco se supera la media de granitoides de Krauskopf (1979).

El GPO tiene, respecto a la media, contenidos de Cu, Pb, en general bajos. Los contenidos de Th y ETR son levemente altos. Los otros elementos determinados tienen valores promedio (Tabla 1B).

El GVN presenta valores bajos o medios de Sn y W. Lo mismo se observa para Cu, Pb, y el resto de los elementos determinados. El GMSA no presenta valores significativos de ningún elemento (todos similares al GVN) salvo en las zonas de granito greisenizado donde se observan tenores relativamente altos de Rb, Sn y W, levemente altos de Ta y Nb y, ocasionalmente, son altos los valores de Cu y Zn. En este cuerpo hay bajos valores de ETR y Th (véase Tabla 1B y Figura 5A).

Con respecto a los dos tipos de alteración señalados, desde el punto de vista geoquímico se observa una alteración que no presenta rasgos sobresalientes excepto el aporte de Bi (cerca de algunos contactos como greisenización incipiente) y otra que aporta elementos base (Cu, Zn), Sn, W, Se (anómalo) y Nb-Ta y eventualmente V (observado en el granito, labor principal). Ambos tipos muestran disminución de HFS en general.

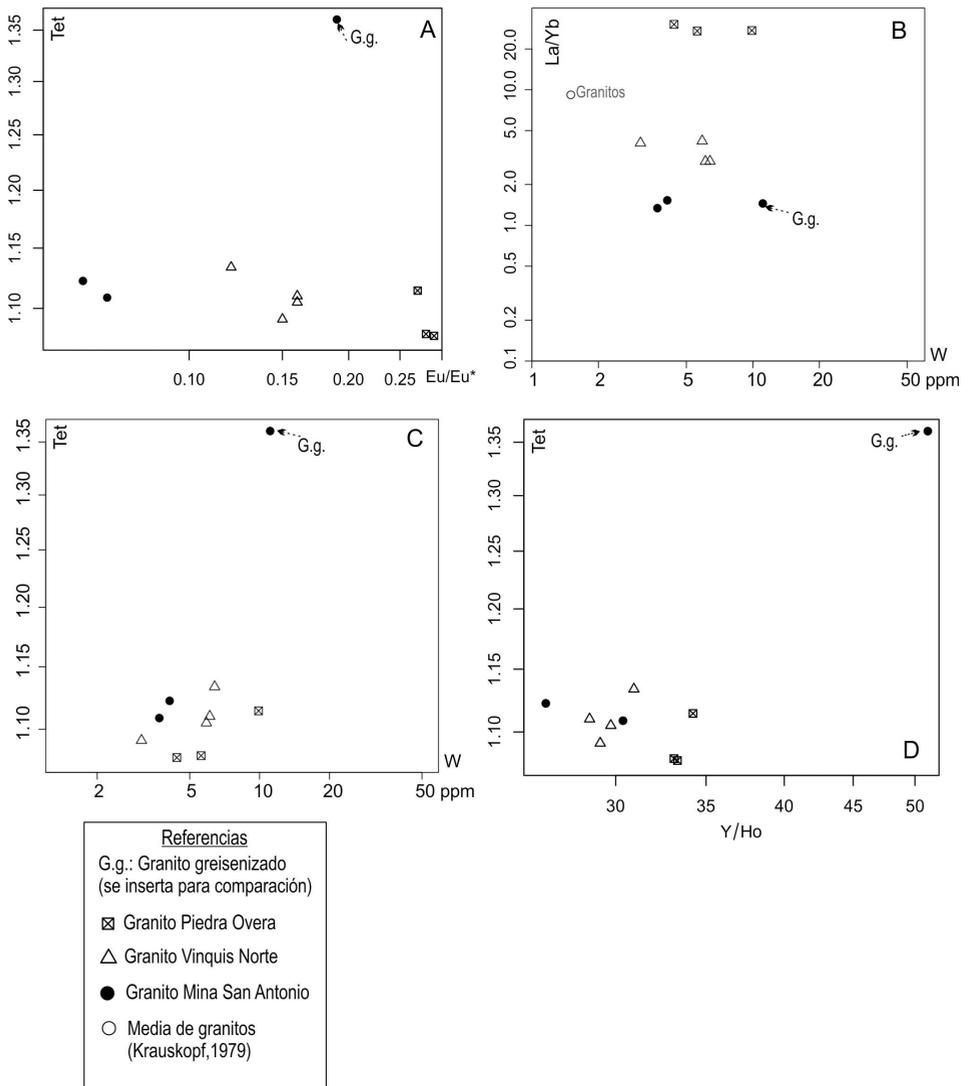


Figura 6. Diagramas de elementos traza.

PARÁMETROS SIGNIFICATIVOS. Los parámetros geoquímicos indicadores de evolución y especialización a utilizar, son K/Rb, contenidos de Sn, W, Mo, Be (Tischendorf, 1977), Y/Ho y Zr/Hf (Bau, 1996), Eu/Eu*, Sr/Eu, efecto tetrada (Irber, 1999) a las que se agregan Ba/Rb y Rb/Sr (Lazarte et al., 2006). Véanse Figuras 6A-D.

La relación Zr/Nb también podría usarse como herramienta de prospección ya que las muestras con indicio de alteración presentan valores <1 , muy por debajo de valores de 4 o más que presenta la roca fresca, sin embargo, por ahora sólo se le asigna valor local.

Sheepers (2000) propone como parámetro el valor $P_2O_5 \times 100/Th$ pero, para estos cuerpos, sólo los casos con greisenización podrían calificar como fértiles (>10).

El efecto tetrada es un parámetro que toma los contenidos de algunos ETR para calcular un valor ($T1-3$, Irber, 1999) que sirve para evaluar el potencial metalogénico de los granitoides. Si bien ha sido cuestionado por algunos autores (McLennan, 1994), otros análisis han demostrado su utilidad (Bau, 1996; Irber, 1999), por lo que aquí se utiliza como una herramienta más de análisis del problema. Los métodos analíticos empleados (MS-ES) salvarían las objeciones acerca del método de análisis (Irber, 1999). El valor que se puede extraer para los granitos promedio, con datos de Krauskopf (1979) es de 0,9252. Irber (1999) considera significativos los valores por encima de 1,10. Como se ve en la Tabla 2, las muestras analizadas en este caso indican que los tres cuerpos tienen algún valor que puede ser considerados como de potencial favorable. Lo significativo es el notable incremento en el paso del granito fresco al greisenizado (GMSA, muestras 304 y 303).

En el diagrama de la Figura 6B se observa la relación inversa de la pendiente del diagrama de ETR (La/YbN) con los contenidos de W, es decir, a mayor grado de fraccionamiento de ETR, menores contenidos de W.

En el diagrama de la Figura 6C se observa la relación del efecto tetrada con el contenido de W, destacándose que sólo el granito greisenizado supera el límite de Tischendorf (1977) para granitos especializados en sentido estricto. También se ve la tendencia del GPO al aumento en contenidos de W, lo que podría considerarse un indicio que permite asignar este Plutón a la categoría de "precursor" en el sentido de Tischendorf (1977).

Discusión y conclusiones

En el tramo norte de la sierra de Vinquis afloran los granitos Piedra Overa, Vinquis Norte y Plutón Mina San Antonio, todos de composición granítica s.s. 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 Plutón 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 ETR Ninguno de los cuerpos presenta altos valores de elementos de mena.

La falta de continuidades de un cuerpo a otro en las tendencias de los diagramas geoquímicos indica que los tres cuerpos representarían tres tendencias diferentes. No obstante, existen claras similitudes entre Granito Vinquis Norte y Plutón Mina San Antonio que inducen a considerarlos consanguíneos, especialmente sobre la base de las relaciones Zr/Nb y Zr/Hf. Se opta por asumir dos tendencias, conforme a los datos geoquímicos, si bien la relación de los cuerpos de Vinquis Norte y Mina San Antonio con el Granito Piedra Overa no queda expuesta claramente con los datos disponibles.

Los contenidos de P_2O_5 del Granito Piedra Overa (dos micas) son relativamente altos y 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). 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).

Si bien la segunda tendencia se inicia con el GVN, el alto contenido de P en el GMSA podría interpretarse como un nuevo imput en el sistema, que explicaría el salto en el diagrama de P_2O_5 vs Sílice (Figura 3E). El contenido de P_2O_5 es directamente proporcional al grado de aluminosidad, lo que podría relacionarse con apatito contenido en micas.

Los granitoides objeto de este estudio, si bien peraluminosos y probablemente originados en la fusión de metasedimentitas (Clemens 2003), tienen algunos rasgos geoquímicos de granitoides tipo I como Th/U o Zr/Hf, que podría explicarse como la presencia de elementos “primitivos” en la constitución, algo ya observado en otros cuerpos de Sierras Pampeanas (Lazarte 1994, Lazarte et al., 1999, Grosse et al., 2009).

Con respecto a los indicadores del grado de evolución y especialización, los criterios habituales como por ejemplo, las relaciones K/Rb, Rb/Sr, Ba/Rb o la anomalía de Eu (Tischendorf, 1977, Lazarte et al., 1999, 2006), no son todos igualmente aplicables. Para el caso de estos granitos, en general no sirven para calificar a los tipos rocosos de la etapa netamente magmática.

La relación Eu/Eu* (indicador de la anomalía de Eu) y la pendiente del diagrama de ETR reflejada en el valor La/LuN sí resultan útiles para considerar el grado de especialización. Al respecto se hacen dos diagramas de esas relaciones vs W, donde se ven en ambos casos correlaciones negativas (Figuras 6B y C) coherentes con el criterio de relación inversa entre los valores y la mineralización es decir, a mayor profundidad de la anomalía de Eu y menor pendiente en el diagrama de ETR, mayor probabilidad de mineralización. Esto ya se observa en otros cuerpos de Sierras Pampeanas (Lazarte et al., 2006).

El contenido de P_2O_5 también resulta útil pero sería de aplicación puntual para este caso, si bien hay coincidencias señaladas por Lazarte et al. (1999) para granitoides de la sierra de Zapata.

La fuerte concentración de W para dar mineralización a partir de un magma no particularmente enriquecido no es rara a nivel de ejemplos mundiales de mineralización estanno- wolframífera, tal como se ve, por ejemplo, en el plutón de Halifax, Nova Scotia, Canadá, donde, a partir de una media de 10 ppm de Sn se llega a mineralización significativa (Smith et al., 1982).

El GPO reúne algunas características geoquímicas que podrían ser aptas para dar mineralización, como ser el esbozo de una tendencia creciente en el contenido de W (Figuras 6B y C). Esta tendencia se esboza tomando como base las tendencias mucho mejor definidas en elementos mayoritarios, donde se definen las muestras con mayor grado de evolución. No obstante, no hay indicios de procesos póstomos que serían en definitiva los únicos capaces de generar, a partir de una roca con contenidos levemente altos de elementos de interés económico, una acumulación económicamente viable.

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

Es decir que, la fertilidad de un conjunto de granitoides no resulta evidente al usar solamente parámetros geoquímicos. El carácter de evolucionados y especializados de los cuerpos estudiados surge de observar procesos y hacer comparaciones en los diagramas.

Lo particular de estos granitos sería su capacidad de generar mineralización de wolframita

en vetas cuarzosas a partir de escasa concentración de W, a nivel de granitoides “precursores”.

Los procesos de greisenización serían los causantes de la concentración de W y del empobrecimiento de Th y ETR.

Los parámetros que resultaron útiles para evaluar el grado de especialización fueron la anomalía de Eu (Eu/Eu*), la pendiente en el diagrama de ETR (La/Lu o La/Yb) y los valores del efecto tetraedra.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Consejo de Investigaciones de la U.N.T. y al CONICET, instituciones que financian esta línea de investigación. Asimismo se agradece a los árbitros Coniglio y Báez por la esmerada lectura del manuscrito.

Bibliografía

- Ávila, J.C. y Lazarte, J.E. 2010. Mineralización en el basamento metamórfico de bajo grado de Catamarca y N de La Rioja (Argentina). Serie de Correlación Geológica, 26: 85-102.
- Bau, M. 1996. Controls on the fractionation of isovalent trace elements in magmatic and aqueous systems: evidence from Y/Ho, Zr/Hf and lanthanide tetrad effect. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 123: 323-333.
- Beder, R. 1922. Informe sobre estudios geológicos – económicos en la provincia de Catamarca. Dirección General de Minería, Geología e Hidrogeología, Buenos Aires, Boletín 31.
- Clemens, J.D. 2003. S-type granitic magmas petrogenesis issues, models and evidence. *Earth-Science Reviews*, 61: 1-18.
- González Bonorino, F. 1972. Descripción geológica de la hoja 13c-Fiambalá. Servicio Nacional Minero Geológico, Buenos Aires, Boletín 127.
- Gorustovich, S. y Guidi, F. 1993. Caracterización uranífera de los granitoides del N de las Sierras Pampeanas noroccidentales. XII Congreso Geológico Argentino, Mendoza, Actas 5: 297-305.
- Grosse, P., Söllner, F., Báez, M., Toselli, A., Rossi, J. y De la Rosa, J. 2009. Lower Carboniferous post-orogenic granites in central-eastern Sierra de Velasco, Argentina: U-Pb monazite geochronology, geochemistry and Sr-Nd isotopes. *International Journal of Earth Sciences*, 98: 1001-1025.
- Harris, N., Pearce, J. y Tindall, A. 1986. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. En: Shackleton, R., Ries, A. y Coward, M.(Eds.), *Collision Tectonics*, Geological Society of London, Special Publication, 19: 67-81.
- Irber, W. 1999. The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu*, Sr/Eu, Y/Ho and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63: 489-508.
- 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., Tokyo, 617 pp.
- 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 estanno-wolframífera en las Sierras Pampeanas occidentales. Serie de Correlación Geológica, 21: 75-104.
- Lazarte, J.E., Gianfrancisco, M. y Ávila, J.C. 2011. La mineralización wolframífera de mina San Antonio y su relación con los granitos peraluminosos del extremo norte de la sierra de Vinkuis, Catamarca, Argentina. XVIII Congreso Geológico Argentino, Neuquén, Actas: 1116.
- McLennan, S.M. 1994. Rare earth element geochemistry and the “tetrad” effect. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58: 2025-2033.
- 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 Pellitero, E. 1996. Eventos magmáticos fuertemente peraluminosos en las Sierras Pampeanas. XIII Congreso Geológico Argentino, Buenos Aires, Actas 5: 337-353.
- Sheepers, R. 2000. Granites of Saldania mobile belt, South Africa: radioelements and P as discriminators applied to metallogeny. *Journal of Geochemical Exploration*, 68: 69-86.
- Smith, T.E., Miller, P.M. y Huang, C.H. 1982. Solidification and crystallization of a stanniferous granitoid pluton, Nova Scotia, Canada. En: Evans, A. (Ed.), *Metallization Associated with Acid Magmatism*, J. Wiley and Sons, 6: 301-319.
- Taylor, S.R. y McLennan, S.M. 1995. The geochemical evolution of the continental crust. *Reviews in Geophysics*, 33: 241-265.
- Tezón, R.V. 1957. Minería de la hoja 13c, Fiambalá, provincia de Catamarca. Dirección Nacional de Minería, Buenos Aires, Anales 5.
- 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.
- Villaseca, C., Barbero, L. y Herreros, V. 1998. A re-examination of the typology of peraluminous granite types in intracontinental orogenic belt. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh- Earth Sciences*, 89: 113-119.

Recibido: 28 de octubre de 2011
Aceptado: 20 de diciembre de 2011

