

DEPÓSITOS DE SCHEELITA ASOCIADOS A LAMPRÓFIROS/BIOTITITAS DEPARTAMENTO SAN MARTÍN, SAN LUIS

Teresita MONTENEGRO^{1,3}, Ricardo O. ETCHEVERRY^{2,3}, Pablo R. LEAL^{1,3} y Milka K. de BRODTKORB^{1,3}

¹ Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. CONICET. Email: mon@gl.fcen.uba.ar, leal@gl.fcen.uba.ar, milkabro@gmail.com

² Universidad Nacional de La Plata. Instituto de Recursos Minerales (InReMi). Email: retcheve@fcnym.unlp.edu.ar

³ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

RESUMEN

En el noreste de la sierra de San Luis se encuentran numerosos yacimientos de wolframio. En el departamento San Martín hay tres grupos mineros: Los Avestruces, La Aspereza y Cerrito Blanco. La geología del área está constituida por rocas del Complejo Metamórfico Conlara, compuesto por esquistos cuarzo-micáceos de rumbo aproximado N300° y por granitoides y pegmatitas. Además, hay lamprófiros calcoalcalinos sobresaturados que conforman cuerpos subverticales de rumbo NO-SE a O-E. Hacia la salbanda se incrementa la cantidad de biotita hasta un 80-90% constituyendo una roca denominada biotitita que sería producto de procesos metasomáticos y posterior cataclisis del lamprófiro. La biotitita resulta enriquecida en potasio, rubidio y wolframio, entre otros elementos. La mineralización scheelítica, en ganga de cuarzo y biotita y/o turmalina, se dispone en vetas lenticulares que se alojan frecuentemente en el contacto entre lamprófiro/biotitita y roca de caja. La scheelita se dispone en ojos en los planos de esquistosidad de la biotitita y diseminada en el cuarzo. La mineralización de las vetas ha tenido lugar a partir de fluidos de composición compleja X_{H_2O} : 0,87/0,82 - X_{CO_2} : 0,11/0,16 - X_{NaCl} : 0,015/0,013 - (CH_4) y la scheelita precipitó por un proceso de desmezcla por debajo de 320°C y 2,3 kb según el estudio de las inclusiones fluidas. La deformación de la fase achaliana y la intrusión del batolito Las Chacras-Piedras Coloradas (Devónico a Carbonífero) son los eventos que promovieron la removilización de fluidos de los sedimentos del basamento, su canalización en fracturas, y el metasomatismo y la mineralización.

Palabras clave: *Lamprófiros, Biotitita, Scheelita, H₂O-CO₂-NaCl-(CH₄).*

ABSTRACT: *Scheelite ore deposit associated with lamprophyres and biotitite in San Martín District, San Luis province.* Towards the northeast of the Sierra de San Luis several wolfram ore deposits occur. In San Martín district they are divided into three groups: Los Avestruces, La Esperanza and Cerrito Blanco. The geology of this area is formed of the Conlara metamorphic complex composed of schists (with a strike of 300° north), granitoids and pegmatites. In the same area subsaturated chalc-alkaline lamprophyres also appear as subvertical bodies with NW-NE strikes. Toward the boundaries of these rocks, the amount of biotite rises gradually from 80 to 90% developing a biotitite rock due to metasomatic processes and the superimposed deformation. This biotitite is rich in K, Rb and W among other elements. The scheelite mineralization (with quartz, biotite and tourmaline as non ore minerals) occurs in veins that are usually hosted between the lamprophyres and the wall rocks. Scheelite also appears between the schist planes of the biotitite rocks as well as disseminated crystals in quartz aggregates. This mineralization took place from fluids with X_{H_2O} : 0.87/0.82 - X_{CO_2} : 0.11/0.16 - X_{NaCl} : 0.015/0.013 - (CH_4) meanwhile the scheelite, according to the fluid inclusions studies, precipitated from unmixing processes below 320°C and 2.3 kb. Achaliana orogeny and the intrusion of Las Chacras-Piedras Coloradas batholiths (Devonian-Carboniferous) were the responsible for the slight rise of the fluids from the basement, the generation of fault structures through which they rose, the metasomatism and the mineralization.

Keywords: *Lamprophyres, Biotite-enriched rock, Scheelite, H₂O-CO₂-NaCl-(CH₄).*

INTRODUCCIÓN

Las Sierras Pampeanas Orientales constituyen una importante provincia wolframífera con diferentes tipos de mineralización: a) depósitos de scheelita relacionados a volcanismo básico (ortoanfibolitas), b) depósitos scheelíticos asociados a

volcanismo ácido-intermedio (metavolcanitas) y sus rocas de caja, principalmente cuarcitas, y c) vetas de cuarzo-turmalina de diferentes tipos con scheelita y/o wolframita (Brodtkorb 1991).

En el sector norte de la sierra de San Luis, al sudoeste de la localidad de Libertador General San Martín, hay un impor-

tante distrito wolframífero, cuya asociación corresponde al último grupo, vetas de cuarzo-turmalina con scheelita y/o wolframita, y que está alojado preferentemente en el basamento metamórfico (Fig. 1). En esta área se presentan tres grupos mineros: Los Avestruces, La Aspereza y Cerrito Blanco (Fig. 2). La mineralización

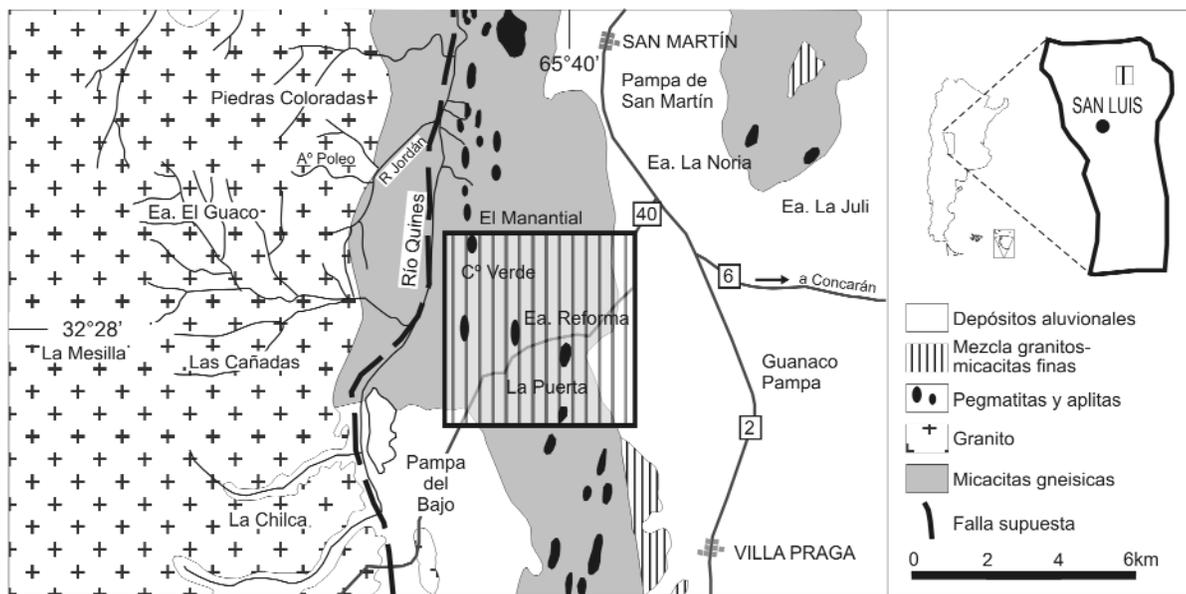


Figura 1: Mapa de ubicación del distrito wolframífero.

scheelítica se dispone en vetas lenticulares en ganga de cuarzo y biotita, que se ubican frecuentemente en el contacto lamprófito/biotitita - roca encajante. Otro modelo, de menor significación, es el de vetas lenticulares de cuarzo con wolframio en caja de esquistos y gneises. En ambos casos las texturas indican relieve de fracturas.

En esta contribución se presentan los resultados de estudios petrológicos, geoquímicos y de microtermometría de inclusiones fluidas de los grupos Los Avestruces, La Aspereza y Cerrito Blanco. El objetivo de este trabajo fue establecer la génesis de los depósitos y de los procesos actuantes.

METODOLOGÍA

Los análisis químicos (Cuadro 1) identificados con (a) fueron realizados por activación neutrónica, las restantes muestras (b) fueron analizadas en *Activation Laboratories*, Canadá, por el método *Inductively Coupled Plasma Optical Emissions Spectrometry* (ICP), para elementos mayoritarios y para elementos traza fue utilizado el *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry* (ICP/MS).

Las inclusiones fluidas fueron estudiadas en pastillas sin montar, doblemente pulidas, con una platina Linkam, con interva-

lo de temperatura entre -180 y 600°C , montada en microscopio Leica DMLP, perteneciente al Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA-Conicet. Los cálculos de los parámetros se realizaron con el programa Flincor (Brown 1989).

GEOLOGÍA REGIONAL Y LOCAL

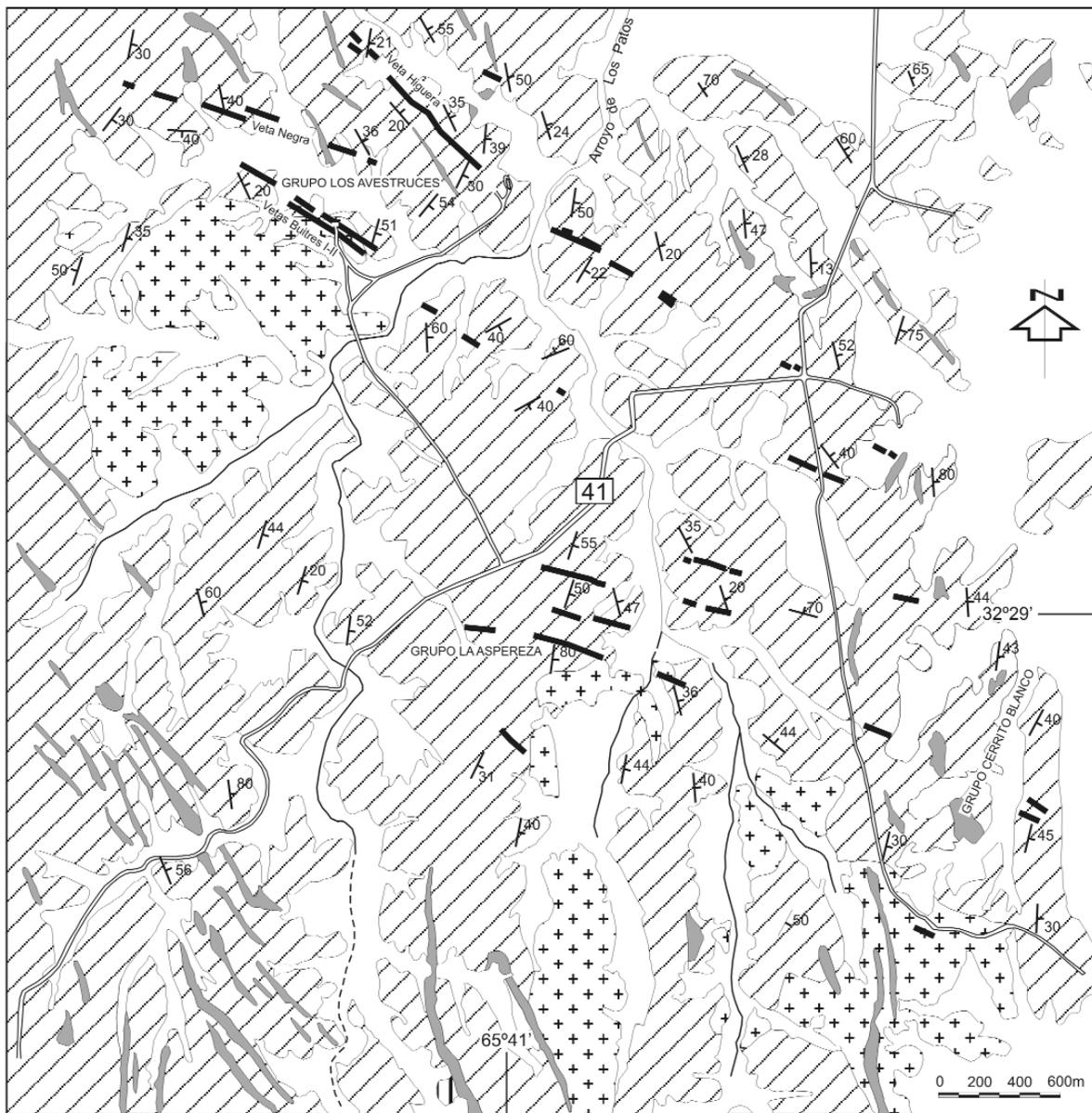
La sierra de San Luis, en este sector, está compuesta por un basamento integrado por rocas metamórficas e ígneas. Los miembros metamórficos consisten en filitas de grano fino, micaesquistos y gneises de grano más grueso, correspondientes a dos fases de deformación cuyas edades han sido asignadas al Precámbrico superior, ciclo Pampeano, y al Ordovícico, ciclo Famatiniano. Asociado a este último, se presentan intrusiones pre, sin y postectónicas con respecto a la fase oclógica, de acuerdo con la clasificación realizada por Ortiz Suárez *et al.* (1992) y Llambías *et al.* (1998) (Fig. 1).

Las rocas metamórficas, que pertenecen al Complejo Metamórfico Conlara (Sims *et al.* 1997), constituyen fajas de rumbo norte-sur y comprenden esquistos cuarzo-micáceos y biotíticos, y gneises biotíticos y hornblendíferos. Estas rocas son producto de metamorfismo dinamotér-

mico sobre una secuencia pelítica, proceso que fue caracterizado como de bajo grado y que sería homologable a la facies de esquistos verdes (Etcheverry 1987). La edad del metamorfismo ha sido calculada en $455\text{-}410$ Ma (edad K-Ar, Llambías y Malvicini 1982) y 453 ± 2 Ma (U-Pb en monacita, en Whitmeyer y Simpson 2004). En el sector centro-oriental, las mismas tienen una esquistosidad de dirección norte-sur con buzamientos en general al este, mientras que, en la parte occidental las rocas metamórficas describen plegamientos cuyas superficies axiales siguen una orientación aproximadamente norte-sur. Del análisis de los diagramas estructurales resulta que los principales esfuerzos de deformación se orientaron en dirección este-oeste (Etcheverry 1987) (Fig. 2).

En las proximidades de los granitoides y filones aplo-pegmatíticos, las metamorfitas pueden estar inyectadas, pero dicho fenómeno es local y no es el resultado de un proceso de migmatización dado que no se observa destrucción de las moscovitas de estas rocas.

Cuerpos irregulares de granitoides intruyen a estas metamorfitas. Dichas rocas constituyen afloramientos irregulares que no sobrepasan los 1.000 metros de diámetro, alguno de ellos tiene elongación en la dirección de la fábrica regional (Fig.



REFERENCIAS

- Depósitos aluviales
- Veta
- Pegmatoides
- Granitoides
- Metamorfitas
- Rumbo e inclinación

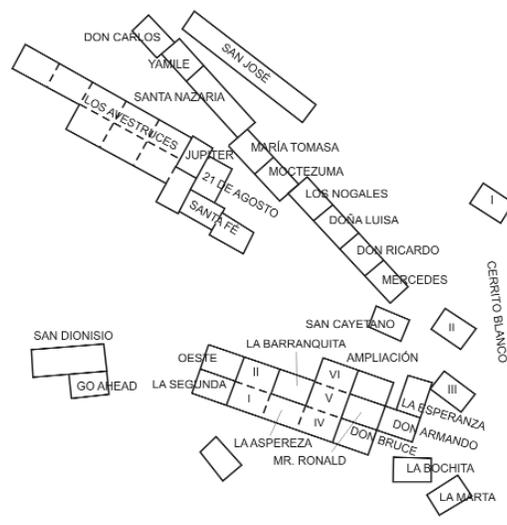


Figura 2: Mapa de grupos mineros Los Avestruces, La Aspepeza y Cerrito Blanco.

2). El contacto granitoide-metamorfitas es neto, a través de interdigitaciones entre ambas litologías.

Los estudios petrológicos permitieron reconocer distintas variedades de granitoides: tonalita, granodiorita y granito (Etcheverry 1987). Las mismas están caracterizadas como una asociación de signatura calco-alcalina y peraluminosa, con alto contenido en SiO₂, potásica a moderadamente sódica, leuco a subleucocrática e integrada por los dos feldespatos.

En un sector de Los Avestruces, entre vetas Buitres 1 y 2, el granito ha sufrido un proceso posmagmático de mucovitiación.

Estos granitoides muestran diferencias petrográficas y texturales con respecto al plutón de Las Chacras, que aflora al occidente del distrito wolframífero. Este gran intrusivo ha sido agrupado dentro de los cuerpos posttectónicos por Brogioni (1987, 1991) y Llambías *et al.* (1998) con respecto al ciclo Famatiniano y como sintectónico en referencia al ciclo Achaliano por Siegesmund *et al.* (2004). Sobre la base de las características petrográficas, químicas y texturales se considera que los cuerpos graníticos mineralizados serían algo anteriores al emplazamiento del batolito.

Además, afloran filones aplo-pegmatíticos, concordantes y discordantes, de dimensiones variables. Se reconocieron cuerpos homogéneos y heterogéneos, los primeros se alojan en las metamorfitas y siguen fielmente su estructura (N-S a NNE); mientras que los otros son de dirección noroeste, tienen mayor dimensión y presentan zonación, emplazándose tanto entre las metamorfitas como en los granitoides del área.

Otra roca filoniana que aflora en el área, son lamprófiro calcoalcalinos sobresaturados, tipo kersantita y spessartita, los cuales constituyen cuerpos subverticales y de rumbo general N300°-310° que, en algunos sectores tienen una alteración propilítica sobrepuesta. Los lamprófiro tienen dirección subparalela a la de las vetas, y su emplazamiento sería previo a la mineralización, la que habría prove-

chado el mismo plano de deformación tectónica para su emplazamiento. Hacia las salbandas de la estructura se incrementa la cantidad de biotita conformándose una roca de marcada esquistosidad y con 80-90% de biotita, a la que se asocian como componentes minoritarios plagioclasa, epidoto, cuarzo, apatita y scheelita, la cual fue denominada biotitita (Fig. 3a). Estas rocas tienen textura granoblástica a porfiroblástica-lepidoblástica. Están constituidas básicamente por biotita y cintas de cuarzo y feldespato. Hay epidoto, circón, titanita, apatita y fluorita (Fig. 3b).

Los lamprófiro tienen textura porfiroblástica a diablástica, con porfiroblastos de epidoto, clinozoisita, scheelita, calcita, biotita y clinoanfíboles. La biotita, mineral primario de la roca, es reemplazada por epidoto, clorita y clinoanfíboles. Localmente conservan feldespatos en tablillas radiales, plagioclasa y cuarzo originales del lamprófiro. Los feldespatos alcalinos son reemplazados por biotita, y la plagioclasa por epidoto. La matriz es granoblástica, diablástica a lepidoblástica, según la orientación de la biotita. Titanita, epidoto, calcita y cloritas son productos de alteración de los minerales primarios. Apatita y circón son los minerales accesorios (Fig. 3c).

GEOQUÍMICA

En el cuadro 1 se presentan los resultados de los análisis químicos de lamprófiro y biotitita de los grupos Los Avestruces, La Aspereza y Cerrito Blanco. Los elementos mayoritarios están expresados en porcentaje en peso y los elementos traza en partes por millón. En todos los grupos se analizaron el lamprófiro y la biotitita con la finalidad de evidenciar las ganancias y pérdidas de elementos a través del proceso de alteración. Con el mismo objetivo, las muestras de veta Higuera fueron tomadas en superficie y en el nivel -60 (lamprófiro centro, lamprófiro borde y biotitita). Con respecto a los elementos mayoritarios sílice y calcio disminuyen su contenido en la biotitita; no se modifica

el sodio, excepto en Cerrito Blanco y veta Higuera en los que disminuye. Aluminio, hierro, potasio, titanio y magnesio aumentan su concentración en la biotitita con respecto al lamprófiro. Los óxidos restantes (manganeso y fósforo) sólo se modifican ligeramente (Fig. 4). La profusa formación de biotita en la roca secundaria explica el aumento en alúmina, hierro, potasio y titanio.

Para los elementos de las tierras raras, cada grupo ha sido graficado con los contenidos normalizados a condritos (Nakamura 1974) (Fig. 5). Para el grupo Cerrito Blanco, la biotitita se enriquece en todo el conjunto de tierras raras, mientras que en Los Avestruces el enriquecimiento es en livianas y las pesadas están deprimidas, y en La Aspereza no se modifican las tierras raras livianas y hay enriquecimiento en las pesadas.

Los contenidos en W son, en general, elevados en los lamprófiro, granitoides del área y particularmente altos en las biotititas, si bien en algunas muestras no se manifiesta debido a que la mineralización está concentrada (Cuadro 2).

El comportamiento de los elementos traza en el pasaje del lamprófiro a biotitita es dispar. El Ba aumenta en todas las muestras excepto en Higuera donde baja más de 2.500 ppm, Sr baja en los cuatro, Rb sube en los cuatro; en general el grupo La Aspereza se aparta de la tendencia general (Fig. 6). La relación de Rb vs. Sr muestra que estos elementos se distribuyen en una alineación no continua pero que podría indicar cierta tendencia, en la cual la biotitita representaría un término más evolucionado con alto contenido de Rb y bajo de Sr (Fig. 7).

MINERALIZACIÓN

El grupo Los Avestruces está compuesto por un sistema de vetas de rumbo noroeste a casi este-oeste, integrado por las denominadas estructuras San Justo, Higuera, Negra y Buitres 1 y Buitres 2 (Fig. 2). Distintos autores estudiaron este depósito, entre otros Beder (1922), Angelilli (1950) y Liebers (1972).

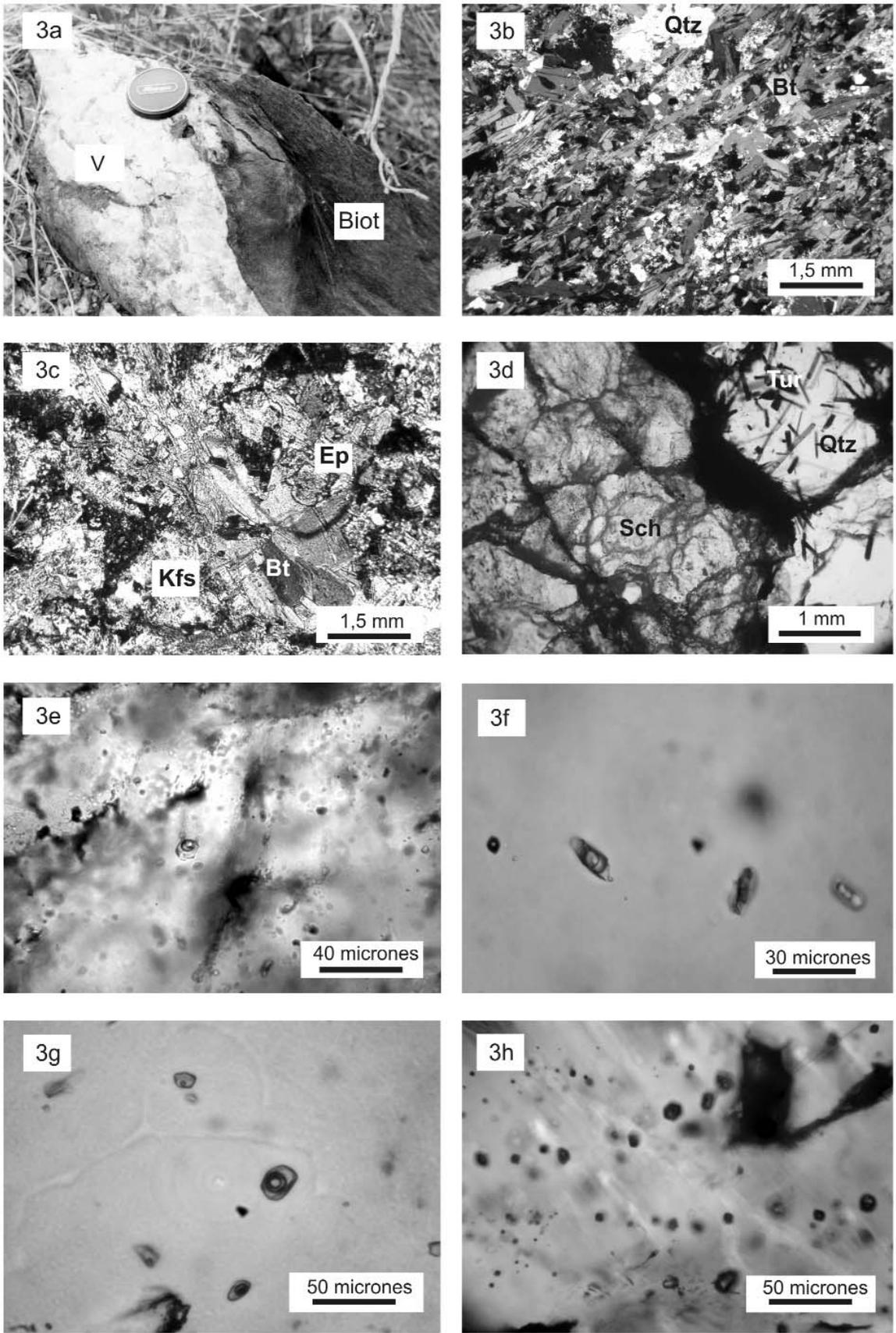


Figura 3: a) Contacto entre biotita (Biot) y veta de cuarzo-wolframita (V). Veta Los Buitres, Grupo Los Avestruces; b) Biotita Los Avestruces, veta Negra, textura lepidoblástica. Símbolos según Kretz (1983), Qtz: cuarzo, Bt: biotita. Fotografía tomada con niclos cruzados; c) Lamprófiro Cerrito Blanco. La roca presenta metasomatismo incipiente. Símbolos según Kretz (1983), Ep: epidoto, Kfs: feldspato alcalino, Bt: biotita. Fotografía tomada con niclos cruzados; d) Scheelita (Sch) en veta de cuarzo y turmalina. Grupo La Aspezeza. Símbolos según Kretz (1983), Qtz: cuarzo, Tur: turmalina. Fotografía tomada con niclos cruzados; e) Inclusiones fluidas tipo 1 en cuarzo de Los Avestruces. Burbujas con CO₂ líquido y vapor; f) Inclusiones fluidas tipo 1 en cuarzo de La Aspezeza. Burbujas con CO₂ líquido y vapor; g) Inclusiones fluidas tipo 1 en cuarzo de Cerrito Blanco. Burbujas con CO₂ líquido y vapor; h) Inclusiones fluidas tipo 2 en scheelita de La Aspezeza, probable CH₄.

CUADRO 1: Análisis químicos de lamprófiros y biotititas.

	Lamprófiro Centro Higuera (a)	Lamprófiro fino Higuera (a)	Biotitita Los Avestruces, Higuera (a)	Biotitita Los Avestruces, Negra (a)	Lamprófiro Los Avestruces Negra (a)	Lamprófiro La Aspereza (a)	Biotitita La Aspereza (a)	Lamprófiro La Aspereza (b)	Biotitita La Aspereza (b)	Lamprófiro Los Avestruces, Negra (b)	Biotitita Los Avestruces, Buitres (b)	Lamprófiro Cerrito Blanco (b)	Biotitita Cerrito Blanco (b)
Ubicación	32°28'12" 65°41'34"	32°28'12" 65°41'34"	32°28'12" 65°41'34"	32°28'13" 65°41'35"	32°28'13" 65°41'35"	32°29'25" 65°41'06"	32°29'25" 65°41'06"	32°29'25" 65°41'06"	32°29'25" 65°41'06"	32°28'13" 65°41'35"	32°28'21" 65°41'37"	32°29'29" 65°40'23"	32°29'05" 65°40'21"
SiO ₂	57,30	55,40	49,40	49,98	49,98	52,62	49,51	51,89	43,24	53,68	41,65	51,71	36,46
TiO ₂	1,35	0,91	1,93	1,84	1,84	1,27	1,46	1,106	1,175	1,048	1,243	1,104	2,088
Al ₂ O ₃	11,02	13,01	13,00	8,85	8,85	14,18	8,95	14,00	16,05	13,37	18,31	14,99	15,96
Fe ₂ O ₃ Tot	8,00	8,20	15,50	10,50	10,50	7,60	13,60	8,21	14,55	9,04	13,31	8,24	17,46
MnO	0,21	0,17	0,71	0,47	0,37	0,17	0,37	0,355	0,153	0,48	0,768	0,207	0,879
MgO	5,00	5,27	6,75	15,50	12,85	9,75	12,85	9,57	7,68	9,52	12,2	8,58	11,77
CaO	8,79	6,84	2,30	1,46	1,80	5,33	1,80	4,86	1,68	2,29	2,07	7,23	1,65
Na ₂ O	2,74	2,79	1,07	0,28	0,08	0,74	0,08	1,00	0,83	1,00	1	1,93	0,1
K ₂ O	3,49	3,88	5,92	7,72	7,34	3,41	7,34	4,99	7,52	6,08	8,33	3,31	9,2
P ₂ O ₅	0,52	0,62	0,70	0,95	1,10	0,59	1,10	0,57	0,52	0,89	0,94	0,49	0,92
LOI	1,53	1,96	1,90	1,47	2,12	3,99	2,12	3,08	6,68	1,13	1,21	1,83	2,23
Ba	3140	3580	1028		601	837		837	1035	917	1691	1063	1096
Zr	419	367	418		291	459		459	396	378	406	367	779
Y	88	70	214		215	25,7		25,7	29,6	29,1	27,5	29,5	35,9
Sr	1171	888	95		37	617		617	108	267	201	1077	129
Rb	166	152	902		898	731		731	>1000	952	>1000	410	>1000
Zn	398	240	761		190	530		530	180	840	870	250	950
V					166	166		166	123	129	201	177	320
Cr					420	420		420	360	800	880	370	520
Ni					240	240		240	180	200	260	200	230
Cs					208	337		337	433	447	447	159	687
La					98	105		105	60,6	90,5	90,5	87,8	166
Ce					188	189		188	128	174	174	203	345
Pr					20,4	21,4		20,4	21,4	15,9	19,8	21,7	35,9
Nd					70	69,2		70	50,3	50,3	65,9	74,5	109
Sm					13,5	11,9		13,5	10,6	10,6	13,3	11,8	19,4
Eu					3,25	3,15		3,25	2,61	2,61	3,25	3,53	4,08
Gd					8,35	7,80		8,35	7,82	7,82	9,75	9,07	12,8
Tb					1,04	1,01		1,04	1,01	1,07	1,19	1,15	1,56
Dy					4,91	5,33		4,91	5,33	5,64	5,3	5,49	6,9
Ho					0,89	1,01		0,89	1,01	0,98	0,84	0,99	1,16
Er					2,55	2,95		2,55	2,95	2,6	2,11	2,78	3,32
Tm					0,366	0,438		0,366	0,438	0,371	0,293	0,398	0,503
Yb					2,25	2,92		2,25	2,92	2,41	1,9	2,54	3,48
Lu					0,313	0,457		0,313	0,457	0,359	0,323	0,361	0,627
Hf					12,5	9,9		12,5	9,9	9,5	12,1	9,9	19,5
Th					15,7	20,2		15,7	20,2	12,8	14,9	19,1	32,1
U					3,49	3,46		3,49	3,46	2,79	5,25	3,16	11,8

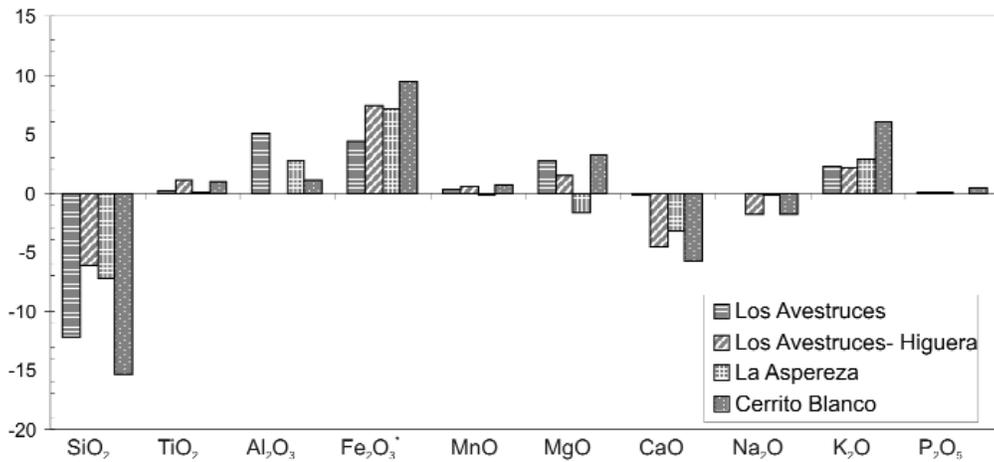


Figura 4: Variación en los contenidos de óxidos mayoritarios en el pasaje lamprófirio y biotitita.

De todas ellas, la más importante en cuanto a dimensiones y a los laboreos realizados es la veta Higuera. Consiste en dos lentes de cuarzo con tungsteno, subparalelas, subverticales, de anchos variables (0,20 a 1,20 m) y hasta 2.000 metros de longitud (Etcheverry 1987). Es de destacar que entre ambas ramas se interpone un filón lamprófirico de hasta tres metros de ancho, denominado por los mineros caballo de piedra. Hacia los bordes de esta roca se reconoce una mayor concentración y orientación de biotitas. Esquistos cuarzo biotíticos constituyen la roca de caja, pero en algunos sitios se mapeó lamprófirio (parte sur). Los contactos con la roca que aloja las mineralizaciones son netos. La estructura mineralizada fue desplazada por una falla posterior de dirección norte-sur. La mineralización está compuesta por scheelita en cuarzo y con menor cantidad de biotita, feldespato potásico y wolframita a la que siguen sulfuros de Bi, de Fe y de Cu.

Las vetas Buitres 1 y 2 presentan una longitud superficial de 700 y 500 m respectivamente, encontrándose distanciadas entre sí, por unos 25 - 30 m de granitoide. La roca granítica tiene una alteración moderada (caolinitización de feldespato potásico, aumento de cuarzo y moscovita y mayor contenido de volátiles/F y Li en esta roca), sin embargo se identifican sectores más alterados que constituyen una faja de cuarzo y moscovita próxima a las vetas.

En La Aspreza se reconocieron cinco

vetas de dirección N280°-300° e inclinación variable al sur, tienen estructura lenticular y corridas visibles de 200 a 400 m (Fig. 8). Las mismas se denominan correlativamente 1 a 5 y se alojan en esquistos cuarzo-biotíticos, gneises y en un pequeño cuerpo tonalítico. La asociación mineralógica identificada está conformada por cuarzo, scheelita, biotita, wolframita poco abundante, turmalina y escasos sulfuros (pirita, calcopirita y calcosina primaria)(Fig. 3d). En la veta 3, donde los laboreos no están aterrados, el lamprófirio atraviesa los esquistos y, adosadas al mismo hay dos vetas de hasta 20 cm de potencia con scheelita. Este mineral se dispone en ojos y diseminado en el cuarzo y biotita, y en mucha menor medida en el lamprófirio.

El grupo Cerrito Blanco comprende varias vetas subparalelas, distribuidas tanto en el esquisto cuarzo-micáceo como en el granito y diferenciados pegmatíticos (con berilo, turmalina y moscovita) (Fig. 2). Son estructuras subverticales y de rumbos N280° - 310°. La veta principal ha sido explotada a lo largo de un rajo de 100 m de corrida por 1,5 a 2 m de espesor. Se aloja en el esquisto, y se vincula a la asociación biotitita - lamprófirio, consiste en dos guías de cuarzo con scheelita de hasta 30 cm de potencia, dispuestas a ambos lados del dique. La scheelita se presenta a modo de nidos en el cuarzo o bien como fina diseminación en el contacto con el lamprófirio. Angelelli (1950) describe además la presencia de sanmartinita o wol-

CUADRO 2: Contenidos en W expresados en ppm (*)

	Lamprófirio	Biotitita
Cerro Blanco	114	1840
La Aspreza	31,5	1880
		5180 (a)
Los Avestruces	795	2
		5300 (a)
Los Piquillines (c)	125	978
Granitoides (a)	64; 10; 102	
Plutón Potrerillos (d)	7,2	

(*) (a) Etcheverry 1987, (c) Montenegro *et al.* (com. pers.), (d) Wul 2008.

fram opaco (wolframato de Mn, Fe, Zn) en labores de este depósito. Los laboreos realizados en este grupo en gran parte están aterrados e inundados.

Existen otras vetas de cuarzo-turmalina de hasta 0,4 m de potencia, con scheelita finamente diseminada y escasas wolframita y pirita.

INCLUSIONES FLUIDAS

Se estudiaron inclusiones fluidas en cuarzo y scheelita de los grupos La Aspreza, Cerrito Blanco y Los Avestruces (veta Buitres).

El cuarzo de los tres grupos contiene gran cantidad de inclusiones distribuidas en general en trenes como producto de microfracturas selladas. Se identificaron al menos dos generaciones de origen secundario, constituidas, una por inclusiones de reducido tamaño (< 1 micrón) y morfología regular y la otra, por inclusiones de morfología muy irregular y con evidencias de estrangulamiento.

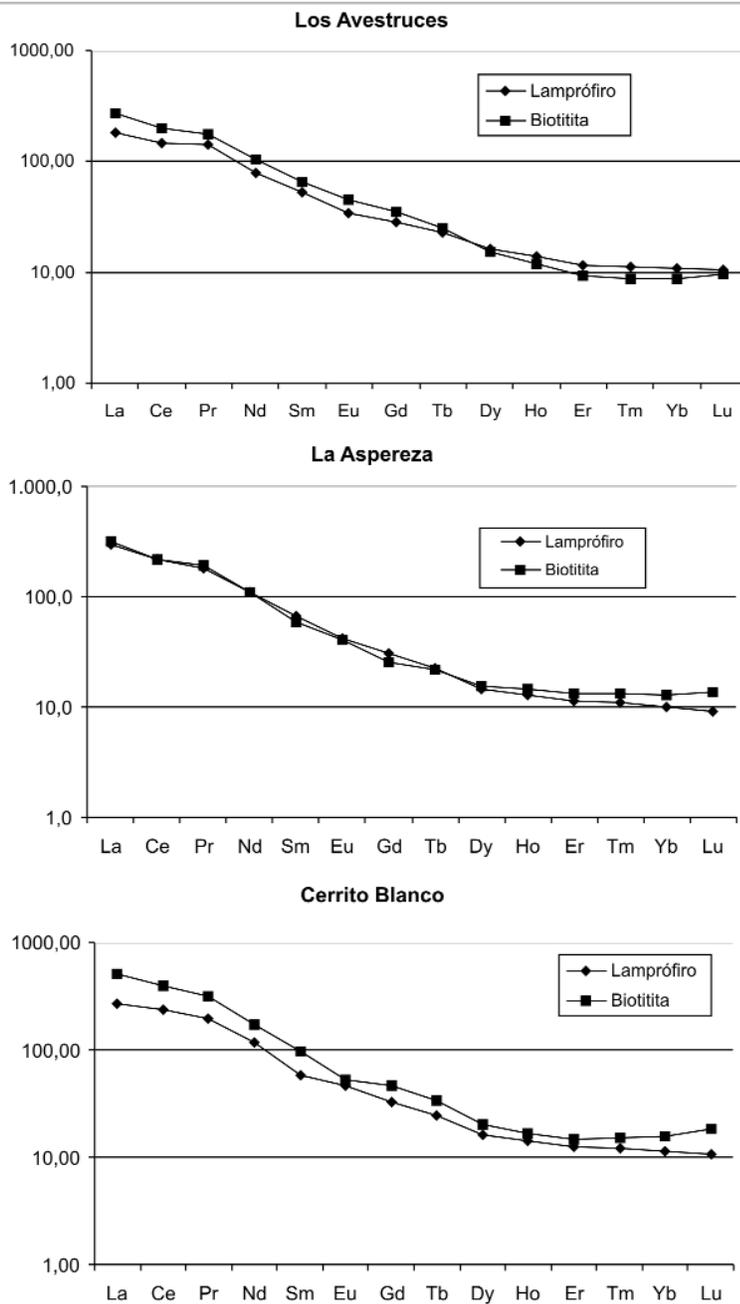


Figura 5: Variación en los contenidos de elementos de las tierras raras. Contenidos normalizados a condritos de Nakamura (1974).

Hay además en el cuarzo, tres tipos de inclusiones primarias o pseudo secundarias. El tipo 1, que corresponde a las inclusiones más abundantes, está constituido por inclusiones alineadas en trenes que no cortan los límites del cristal, con morfología de cristal negativo y algunas más bien irregulares, con tamaño entre 5 y 40 micrones, trifásicas, con CO_2 gaseoso y líquido y solución acuosa. La fase gaseosa ocupa entre el 30 y el 50% de la cavi-

dad. Asociadas a estas inclusiones, hay otras cavidades que contienen CO_2 líquido (alta densidad) ocupando el 50 a 70% de la cavidad y solución acuosa (tipo 2). Estas inclusiones (tipos 1 y 2) son las que se han utilizado para las determinaciones microtermométricas. Hay también escasas y aisladas inclusiones acuosas (tipo 3) (Figs. 5 e, f, g).

La scheelita aloja inclusiones con alto contenido en CO_2 líquido (70-90%) (tipo

2), con morfología de cristal negativo y en general de mayor tamaño que en el cuarzo (<50 micrones), dispuestas en grupos al azar (inclusiones primarias) o en microfracturas selladas que no llegan a los límites del cristal (inclusiones pseudo secundarias) (Fig. 3h). Las inclusiones fluidas son muy oscuras debido a reflejos internos. Hay también inclusiones tipo 3, con solución acuosa y sin fase carbónica visible, en grupos en el interior del cristal (inclusiones primarias). La burbuja ocupa entre 30 y 50% del volumen total de la cavidad. Además contiene inclusiones aciculares dispuestas en forma paralela y en textura sagenítica.

RESULTADOS MICROTERMOMÉTRICOS

Los Avestruces: para las inclusiones tipo 1 y 2, la fusión del CO_2 ocurre entre -57 y $-56,6^\circ\text{C}$, lo que sugiere la presencia de pequeñas cantidades de CH_4 (< 0,005 molar). Las temperaturas de homogeneización de las dos fases carbónicas varían entre 29 y 31°C en fase líquida que corresponden a densidades de $0,63 \text{ g/cm}^3$. La fusión del clatrato tuvo lugar en $2,2$ y 10°C indicando bimodalidad en la salinidad, correspondientes a $0,62$ y $12,9\%$ en peso de NaCl , aunque el desvío de los resultados con respecto al punto de fusión univariante del clatrato ($10,1^\circ\text{C}$) puede también, ser ocasionado por CH_4 . La homogeneización total fue muy difícil de alcanzar debido a la decrepitación de las cavidades por aumento de la presión interna con el aumento de la temperatura. Se obtuvo un valor máximo de 320°C en fase acuosa, a la cual le corresponde una presión de homogeneización de 2.350 bares (Brown y Lamb 1989). La ruptura de las cavidades ocurre entre 260 y 322°C . La composición total de fluido sería $\text{XH}_2\text{O}: 0,83$; $\text{XCO}_2: 0,16$ y $\text{X NaCl}: 0,0013$.

La Aspreza: en scheelita, las inclusiones de tipo 1 muestran homogeneización del CO_2 en $-56,6^\circ\text{C}$, punto triple del CO_2 puro por lo que no habría otros compuestos. En este tipo de inclusiones no se han

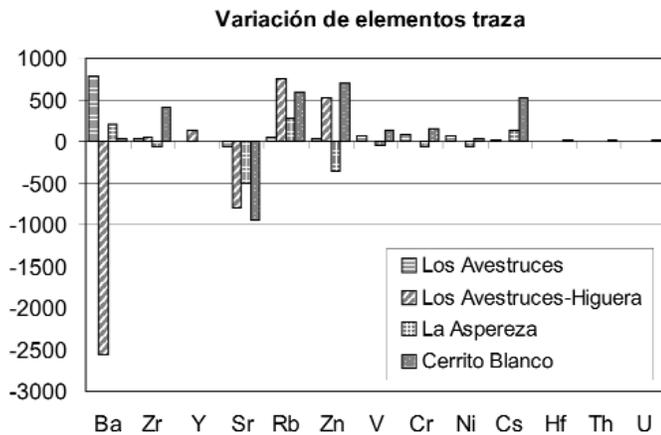


Figura 6: Variación en los contenidos de elementos traza.

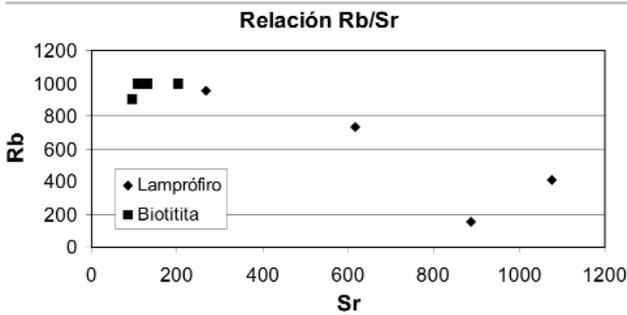


Figura 7: Relación Rb/Sr en lamprófiro y biotititas.

podido determinar otros cambios de fase debido a reflexiones internas. Las inclusiones de tipo 3 contienen fluidos acuosos de baja salinidad (1,6% equivalente en peso NaCl) y homogeneizan en fase líquida entre 254 y 278°C, a presiones entre 315 y 641 bares (Brown y Lamb 1989). En cuarzo, la fase carbónica de las inclusiones de tipo 1 fundió a -56,6°C, la fusión del clathrato se registró entre 7,6 y 6,9°C, correspondiendo a 5,15% equivalente en peso de NaCl. La homogeneización de las dos fases carbónicas produjo entre 24 y 28°C en fase líquida y en fase crítica. La densidad promedio del CO₂ es de 0,69g/cm³. La homogeneización total de las fases acuosa y carbónica tuvo lugar entre 192 y 245°C en fase crítica y acuosa y la ruptura de la cavidad se produjo alrededor de 198°C. La presión total de homogeneización fue de 2800 bares (Brown y Lamb 1989). La composición total de fluido sería XH₂O: 0,82; XCO₂: 0,16 y XNaCl: 0,013.

Cerrito Blanco: en las inclusiones de tipo 1 en cuarzo, el CO₂ fundió en -56,6°C, y el clathrato en 7,1°C, correspondiéndole una salinidad de 5,5% equivalente en peso de NaCl. La densidad de la fase carbó-

nica varía entre 0,60 y 0,71 de acuerdo con las temperaturas de homogeneización entre 25 y 29,7, en fase líquida. La homogeneización se produjo entre 230 y 270°C, en fase acuosa a presiones de alrededor de 3.000 bares (Brown y Lamb 1989). A 250°C muchas cavidades se rompieron por aumento de la presión interna. La composición total de fluido sería XH₂O: 0,87; XCO₂: 0,11 y XNaCl: 0,015.

DISCUSIÓN

La scheelita se aloja en venas de cuarzo y en planos de esquistosidad de las biotititas. El carácter metamórfico de estas rocas y su distribución espacial según lineaciones de rumbo noroeste, transversal a la esquistosidad regional, remite a algún evento de deformación que sería posterior al emplazamiento de los granitoides. Etcheverry (1987) ha interpretado a estas lineaciones como fracturas de tensión. Por otra parte, los lamprófiro asociados también muestran evidencias de alteración, si bien no tan marcada como en el caso de las biotititas. Según Etcheverry (1987) las biotititas serían producto de metasomatismo de los lamprófiro, con

posterior cataclasis. El proceso metasomático está evidenciado por la movilidad de elementos, particularmente, por el enriquecimiento en potasio, pero también en aluminio, hierro, titanio, magnesio, bario y rubidio. La fuente de aporte de fluidos enriquecidos, serían los granitos del área y/o las metasedimentitas.

Con respecto a la mineralización, no se descarta el aporte de wolframio por parte de los granitoides, ya que, como se indicó en el cuadro 2, tanto los cuerpos más pequeños, como el granito Las Chacras-Piedras Coloradas, están enriquecidos en W. Sin embargo, y sobre la base de la probable presencia de metano como componente de los fluidos atrapados en inclusiones, no debería descartarse la removilización de W a partir de las metasedimentitas. La removilización de scheelita a partir de metasedimentos se pone en evidencia por la adquisición de fluorescencia amarilla.

En cuanto a su génesis, los lamprófiro estarían relacionados con la intrusión de los cuerpos más pequeños o bien con la intrusión del batolito Las Chacras-Piedras Coloradas. En la sierra de San Luis son numerosos los diques de lamprófiro previos o posteriores a las intrusiones del Devónico (Orozco y Ortiz Suárez 2005), si bien muchos de ellos no tienen ningún rasgo metamórfico. La orientación de los cuerpos de esta zona, netamente discordante con respecto al metamorfismo regional que, en este sector tiene rumbo nor-noroeste dominante, permite atribuirlo a las fases póstumas de deformación de la región. Esta orientación nor-noroeste de los lamprófiro es similar a la de las fajas de cizalla póstumas de las sierras de Córdoba, asignadas por Martino (2003) a deformaciones acaecidas entre el Devónico y el Carbonífero, durante el ciclo achaliano. Según Sigismund *et al.* (2004) el granito Las Chacras-Piedras Coloradas sería sintectónico con respecto a la deformación achaliana. Consecuentemente, la intrusión del granito Las Chacras-Piedras Coloradas y la deformación achaliana, habrían favorecido la removilización de fluidos que dieron ori-

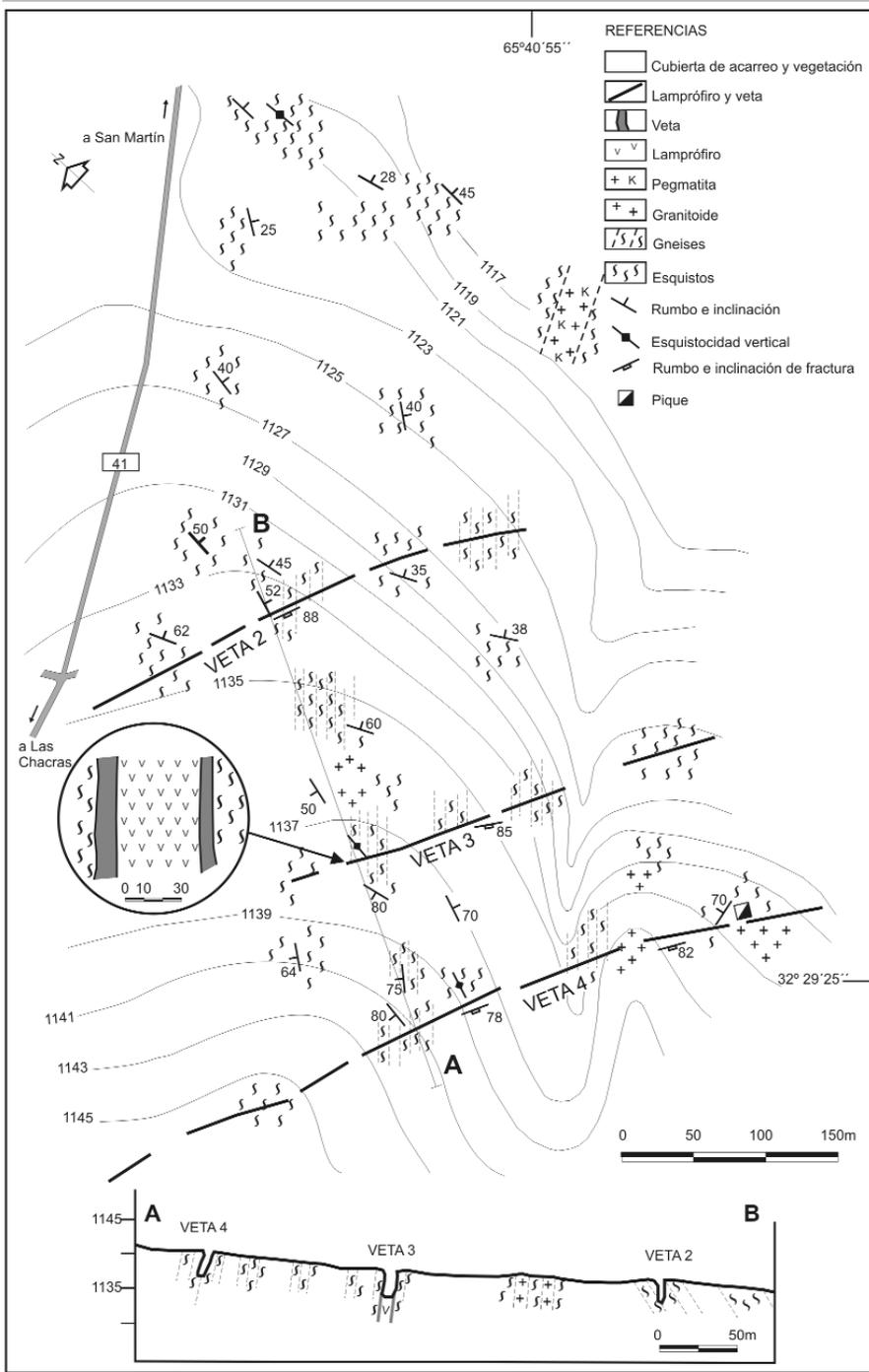


Figura 8: Grupo La Aspereza, detalle de las vetas.

gen a las biotitas y posteriormente a la mineralización.

Con respecto a la naturaleza de las soluciones mineralizantes, las inclusiones fluidas indican una composición compleja, con H₂O-CO₂-NaCl-(CH₄). Numerosas mineralizaciones de scheelita en rocas metamórficas (Ivanova *et al.* 1989, Schenck y Höll 1991, Kiliyas y Konnerup-

Madsen 1997) y mineralizaciones de wolframita, relacionadas a intrusivos graníticos (Noronha *et al.* 1992, Noronha y Lourenço 1999, Lourenço *et al.* 2001a, 2001b) han sido precipitadas a partir de soluciones con la misma composición.

Los intervalos de temperaturas de homogeneización mínima (320°C y 192°C) y de salinidad (bimodal 0,63 y 13% y ~ 5%

eq. en peso NaCl) de los grupos Los Avestruces, la Aspereza y Cerrito Blanco coinciden con los datos de la bibliografía para depósitos mundiales. La precipitación de los minerales en las vetas tendría lugar como consecuencia de la desmezcla entre fluidos con CO₂ y con H₂O-NaCl que habría ocurrido a temperaturas inferiores a 320°C y hasta 192°C, y presiones menores a 2,3 kb. La presencia de CH₄ indica un ambiente reductor y origen a partir de sedimentos psamopelíticos por lo que se refuerza la precedencia de los fluidos a partir de removilizaciones de fluidos de la roca de caja.

CONSIDERACIONES FINALES

La mineralización de los grupos Los Avestruces, La Aspereza y Cerrito Blanco consiste en scheelita alojada en vetas de cuarzo-turmalina y en planos de esquistosidad de la biotita. Esta roca, que puede describirse como un esquisto biotítico, se ha originado por metasomatismo de los lamprófitos, con enriquecimiento en potasio, rubidio y wolframio, entre otros elementos. La mineralización de las vetas se habría generado a partir de fluidos de composición compleja H₂O-CO₂-NaCl-(CH₄) y causada por un proceso de desmezcla que tuvo lugar por debajo de 320°C y 2,3 kb. Tanto la composición de los fluidos, XH₂O: 0,87/0,82; XCO₂: 0,11/0,16 y XNaCl: 0,015/0,013, como los datos de temperatura, presión y salinidad coinciden con otros depósitos de wolframio alojados tanto en rocas metamórficas como en rocas graníticas.

La deformación de la fase achaliana y la intrusión sintectónica del batolito Las Chacras-Piedras Coloradas, ocurridas entre el Devónico y el Carbonífero serían los eventos responsables de los procesos de metasomatismo y mineralización, por cuanto promovieron la removilización de fluidos contenidos en los metasedimentos psamopelíticos del basamento, y los canalizaron por las fracturas reactivadas donde precipitaron como relleno.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al Dr. Ariel Ortiz Suárez (UNSL) por los comentarios científicos y por el apoyo en tareas logísticas.

Las investigaciones se han desarrollado con el PIP 5556, Conicet, y parcialmente con proyecto UBACyT X829.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Angelelli, V. 1950. Recursos Minerales de la República Argentina. Yacimientos Metalíferos. INICN, Museo B. Rivadavia, 542 p., Buenos Aires.
- Beder, R. 1922. El yacimiento de mineral de tungsteno de los Avestruces, departamento San Martín, San Luis. Dirección General de Minería, Geología e Hidrogeología, Boletín 5, serie F: 1-16, Buenos Aires.
- Brodtkorb, M.K. de 1991. (Editora) Geología de yacimientos de wolframio de las provincias de San Luis y Córdoba. Instituto de Recursos Minerales, Universidad Nacional de La Plata, Publicación 1: 196 p., La Plata.
- Brogioni, N. 1987. El Batolito de Las Chacras-Piedras Coloradas, Provincia de San Luis. Geología y edad. Actas 10º Congreso Geológico Argentino, Simposio Granitos Fanerozoicos Circum-Pacíficos, Actas 4: 115-117, Tucumán.
- Brogioni, N. 1991. Caracterización petrográfica y geoquímica del Batolito de Las Chacras-Piedras Coloradas, San Luis, Argentina. 6º Congreso Geológico Chileno, Actas 1: 466-770, Viña del Mar.
- Brown, P.E. 1989. FLINCOR: a microcomputer program for the reduction and investigation of fluid-inclusion data. *American Mineralogist* 74: 1390-1393.
- Brown, P.E. y Lamb, W.M. 1989. P - V - T properties of fluids in the system $H_2O \pm CO_2 \pm NaCl$: New graphical presentations and implications for fluid inclusion studies. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 53: 1209-1221.
- Etcheverry, R.O. 1987. Geología y mineralización del área wolfrámica de Los Avestruces. Departamento San Martín, prov. de San Luis. Tesis doctoral, Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, (inédita), 489 p., La Plata.
- Ivanova, G.F., Kopneva, L.A. y Höll, R. 1989. Fluid inclusion in minerals from The Felbertal stratified scheelite deposit, Austrian Alps. *Geochemistry International* 27: 14-25, traducido de *Geokhimiya* 6: 785-797.
- Kiliás, S.P. y Konnerup-Madsen, J. 1997. Fluid inclusion and stable isotope evidence for the genesis of quartz-scheelite veins, Metagitsi area, central Chalkidiki Peninsula, N. Greece. *Mineralium Deposita* 32: 581-595.
- Kretz, R. 1983. Symbols for rock-forming minerals. *American Mineralogist* 78: 277-279.
- Liebers, A. 1972. Geología, mineralización y génesis del yacimiento de scheelita de Los Avestruces, zona de san Martín, San Luis. Trabajo de Licenciatura, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, (inédita), 87 p., La Plata.
- Llambías, E.J. y Malvicini, L. 1982. Geología y génesis de los yacimientos de tungsteno de las Sierras del morro, Los Morrillos y Yulto, provincia de San Luis. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 37: 100-143
- Llambías, E. J., Sato, A.M., Ortiz Suárez, A. y Prozzi, C. 1998. The granitoids of the Sierra de San Luis. En Pankurst, R. y Rapela, C. (eds), *The Proto-Andean Margin of Gondwana*, Geological Society of London, Special Publications 142: 325-341, London.
- Lourenço, A., Noronha, F. y Banks, D.A. 2001 a. Deposition of wolframite in the Panasqueira tungsten deposit: A consequence of fluid unmixing?. En Noronha, F., Dória, A. y Guedes, A. (eds), *ECROFI XVI, European Current Research on Fluid Inclusions*, Porto, Abstracts, Memórias, Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, 7: 267-269.
- Lourenço, A., Noronha, F. y Banks, D.A. 2001 b. Fluid evolution during the late stages of tungsten ore deposition in Panasqueira. En Noronha, F., Dória, A. y Guedes, A. (eds), *ECROFI XVI, European Current Research on Fluid Inclusions*, Porto, Abstracts, Memórias, Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, 7: 263-266.
- Martino, R.D. 2003. Las fajas de deformación dúctil de las Sierras Pampeanas de Córdoba: Una reseña general. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 58: 549-571.
- Nakamura, N. 1974. Determination of REE, Ba, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 38: 757-775.
- Noronha, F., Lourenço, A. y Banks, D. 1999. The tungsten-tin ore deposit of Panasqueira, Portugal (revisited). En Stanley, C.J., Criddle, A., Herrington, R., Williamson, B., Stockley, C., Wall, F., Williams, T., Wilkinson, J. y Halls, C. (eds.) *Mineral Deposits: Processes to Processing*: 75-78, Balkema, Rotterdam.
- Noronha, F., Doria, A., Dubessy, J. y Charoy, B. 1992. Characterization and timing of the different types of fluids present in the barren and ore-veins of the W-Sn deposit of Panasqueira, Central Portugal. *Mineralium Deposita* 27: 72-79.
- Orozco, B. y Ortiz Suárez, A. 2005. Los lamprófiro de la Sierra de San Luis. 16º Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 585-590, La Plata.
- Ortiz Suárez, A., Proxy, C. y Llambías, E. J. 1992. Geología de la parte sur de la sierra de San Luis y granitoides asociados. Argentina. *Estudios Geológicos* 48: 269-277, Madrid.
- Schenk, P. y Höll, R. 1991. Evolution of fluids and metamorphic ore remobilization in the Felbertal scheelite deposit, Eastern Alps. *Ore Geology Reviews* 6: 425-434.
- Siegesmund, S., Steenken, A., López de Luchi, M. G., Wemmer, K., Hoffmann, A. y Mosch S. 2004. The Las Chacras-Potrerillos batholith (Pampean Ranges, Argentina): structural evidences, emplacement and timing of the intrusion. *International Journal of Earth Sciences* 93: 23-43.
- Sims, J., Stuart-Smith, P., Lyons, P. y Skirrow, R. 1997. Informe Geológico y Metalogenético de las Sierras de San Luis y Comechingones. Provincias de San Luis y Córdoba. Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 28: 1-148, Buenos Aires.
- Whitmeyer, S.J. y Simpson, C. 2004. Regional deformation of the Sierra de San Luis, Argentina: Implications for the Paleozoic development of western Gondwana. *Tectonics* 23, Tc1005, Doi:10.1029/2003tc001542.
- Wul, J. 2008. Geología de los alrededores de Paso Grande, provincia de San Luis. Trabajo Final de Licenciatura. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, (inédito), 116 p., Buenos Aires.

Recibido: 25 de octubre, 2008

Aceptado: 01 de marzo, 2009