

Mineralogía y quimismo de sulfuros y sulfosales de estaño y plomo en las vetas de Mina Pirquitas, Jujuy, Argentina (22°41'S-66°28'W)

Werner H. Paar

Institut für Mineralogie, Universität Salzburg,
Hellbrunnerstrasse 34, A-5020, Salzburg, Austria
werner.paar@sbg.ac.at

Milka K. de Brodtkorb

CONICET-Universidad de Buenos Aires,
J.J. Paso 258, 9° Piso, Dpto. A, 1640 Martínez, Argentina
milkabro@gl.fcen.uba.ar

Ricardo J. Sureda

Cátedra de Mineralogía, Universidad Nacional de Salta-CONICET, Argentina
Avda. Bolivia 5150, 4400 Salta, Argentina
rjsureda@unsa.edu.ar

Dan Topa

Institut für Mineralogie, Universität Salzburg,
Hellbrunnerstrasse 34, A-5020, Salzburg, Austria
dan.topa@sbg.ac.at

RESUMEN

La compleja paragénesis mineral en el yacimiento de Mina Pirquitas, departamento Rinconada, provincia de Jujuy, Argentina, incluye sulfuros de estaño, sulfosales de plata, de plata y plomo, de plomo y estaño, minerales de bismuto, que acompañan la presencia dominante de pirita-marcasita, casiterita, esfalerita-wurtzita, calcopirita, arsenopirita y más escasa wolframita. En el sector Oploca existe una importante concentración de sulfuros y sulfosales de estaño y plomo como cilindrita (rica en plomo), miembros de la isoserie triclinica de franckeíta (serie de soluciones sólidas franckeíta-potosiíta), teallita y la recientemente descrita nueva especie mineral suredaíta. Este sulfuro es un miembro extremo de la isoserie mineral ottemannita-suredaíta, químicamente Sn_2S_3 - PbSnS_3 con simetría rómbica holoédrica. También se encuentran las nuevas especies minerales, aún no bien caracterizadas, 'As-franckeíta' y 'As-cilindrita'. Los análisis recientes de microsonda revelan una zonación química destacada en este grupo de sulfosales. Las vetas xenotermiales (Sn-Ag) en Mina Pirquitas intruyen las pelitas y areniscas del Ordovícico marino de la Formación Acoite (Arenigiano) y se vinculan a los episodios magmáticos calcoalcalinos propios del volcanismo neógeno en los Andes centrales.

Palabras claves: Sulfuros y sulfosales de Sn-Pb. Análisis de microsonda, Mina Pirquitas, Jujuy, Argentina.

ABSTRACT

Mineralogy and chemistry of tin and lead sulfides and sulfosalts in the Pirquitas Mine vein deposit, Jujuy, Argentina (22°41'S-66°28'W). The complex mineralogical paragenesis of the Pirquitas mine deposit, Rinconada department, province of Jujuy, Argentina, includes Sn-sulfides, Ag-sulfosalts, Pb-Ag sulfosalts, Bi-minerals, besides pyrite-marcasite, chalcopyrite, arsenopyrite, cassiterite, sphalerite-wurtzite and minor wolframite. In the Oploca sector, an important concentration of Sn-Pb sulfosalts occurs. The latter are present as the minerals cylindrite (Pb-rich), members of the triclinic franckeite isoserries (franckeite solid solutions -potosiite), teallite and the recently described new mineral species suredaite. The last mineral is one of the end members of the isoserries ottemannite-suredaite, chemically Sn_2S_3 - PbSnS_3 with

orthorhombic symmetry. New and yet not completely characterized mineral species are 'As-franckeite' and 'As-cylindrite'. Recent microprobe analyses indicate a pronounced chemical zoning of the above mentioned sulfosalts. The xenothermal Sn-Ag Pirquitas vein deposit is emplaced into Ordovician pelites and quartzites of the Acoite Formation, and it is related to the Neogene calc-alkaline episodes of the central Andean volcanism.

Keywords: Sn-Pb sulfosalts, Chemical microprobe analysis, Pirquitas Mine, Jujuy, Argentina.

INTRODUCCION

Este artículo es un nuevo aporte al conocimiento de la mineralogía en el yacimiento Pirquitas de la Puna de Jujuy. Se describen las paragénesis halladas en el sector de Oploca y la composición química analizada con microsonda de los sulfuros y sulfosales de Sn-Pb: cilindrita, franckeíta s.s., potosiíta, suredaíta, teallita, 'As-franckeíta' y 'As-cilindrita'. En una contribución anterior (Paar *et al.*, 1996), se han mostrado los resultados de las investigaciones en este yacimiento sobre las siguientes especies: **a-** los sulfuros y óxidos comunes; **b-** la familia de las estannitas y otros sulfuros de Sn: estannitas s.s. (o ferrokesterita), kesterita, pirquitasita-hocartita, petrukita, toyohaita-rodoestannita, canfieldita, Tecanfieldita; **c-** los sulfoantimoniuros de Pb y Ag: quatrandorita, ramdohrita, diaforita-brongniardita; **d-** los sulfuros y las sulfosales de bismuto: bismutina, aramayoíta, matildita, pavonita, benjaminita y tetradimita.

La mina Pirquitas se localiza a 135 km al oeste de Abra Pampa con las coordenadas 22°41'S-66°28'W, en el departamento Rinconada de la provincia de Jujuy, Argentina. Yace en el marco de la Hoja 3 ab,

Mina Pirquitas, de la Carta Geológico-Económica de la República Argentina (Turner, 1982). Sus vetas constituyen un sistema hidrotermal que ocupa un área de 3 km² y se hospeda en pelitas y areniscas ordovícicas de la Formación Acoite, a 4.250 m s.n.m. (Fig. 1). En las comarcas aledañas se encuentran sucesiones sedimentarias continentales intercaladas con piroclastitas de ignimbrita y lavas dacíticas a riódacíticas del Cenozoico superior. Los yacimientos de este tipo pertenecen al tramo austral de la franja boliviana de estaño y plata, como parte característica de la gran Provincia Metalogénica Polimetálica del Altiplano asociada con el volcanismo andino neógeno, de naturaleza calcoalcalina y con edades situadas entre el Mioceno y el Cuaternario (Petersen, 1965; Alhfeld, 1967; Ericksen y Cunningham, 1993). En Pirquitas, los trabajos de exploración minera realizados en años recientes por Sunshine Argentina Inc., con 11.000 m de perforaciones, respaldan un proyecto de factibilidad aprobado para operar un 'open pit' de 500 x 160 x 150 m, con reservas de 47,5 Mt de menas a 6,57 oz/t Ag y 0,49% Sn (Sureda, 1997).

MINERALOGIA

La paragénesis mineral del yacimiento en Pirquitas es polimetálica y muy compleja. Las especies minerales muestran diversos estadios de cristalización sucesiva en los que predominan pirita y minerales de estaño y plata. Las texturas son coloidales, costriformes y porosas, siempre como relleno de vetas, en donde abundan las bandas monominerales y las cocardas son más escasas. Numerosos espacios abiertos exhiben drusas y geodas diminutas que permiten el crecimiento de pequeños cristales. Los minerales suelen presentarse entrecrecidos en agrupaciones de individuos subidiomorfos, con su dimensión mayor entre 20 y

100 micrómetros para el grano individual. Es muy común la textura bandeada centrípeta, de una granometría más gruesa y con bandas milimétricas a centimétricas de tendencia monomineral, formadas por el depósito sucesivo de uno a tres minerales diferentes. Las rocas de caja tienen una alteración hidrotermal suave, en la cual se reconocen procesos de caolinización y silicificación con escasa alunitización. La ganga principal de las vetas es cuarzo, con muscovita, sericita y cloritas como minerales accesorios. En los niveles superiores existe alunita en cantidades moderadas.

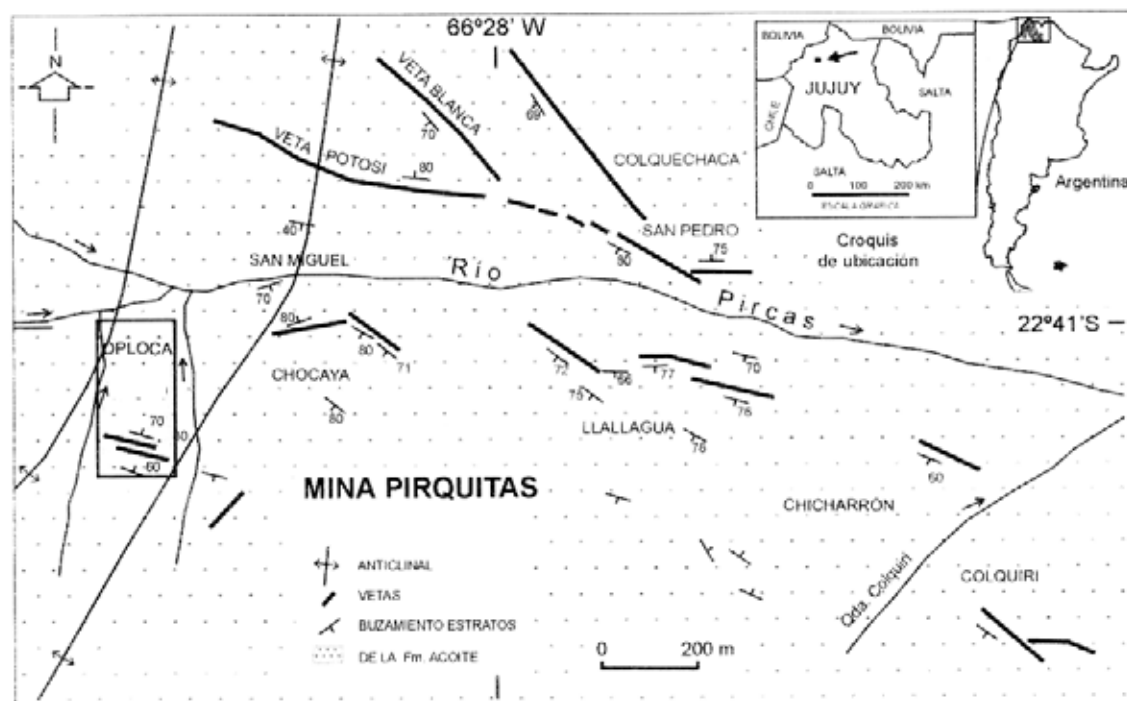


FIG. 1. Croquis de ubicación del yacimiento vetiforme de Mina Pirquitas.

La mineralización estannífera muestra abundancia de casiterita de grano fino y estannita s.l. (estannita-ferrokesterita), con cantidades menores y más bien localizadas de kesterita, canfieldita y miembros de las series hocartita-pirquitasita y rodoestannita-toyohaita. De modo ocasional y en un volumen muy limitado existen Te-canfieldita y petrukita. Los sulfuros y sulfosales de estaño, junto a numerosos sulfuros y sulfosales de plata, configuran desde apretados entrecrecimientos a bandas simétricas y centimétricas de granometría mayor. Este trabajo aporta datos mineralógicos y químicos de otros sulfuros y sulfosales de estaño estudiados sobre muestreos realizados en los años 1993, 1995 y 1998, en especial del sistema vetiforme en el sector Oploca del yacimiento Pirquitas (Fig. 2). Este sistema presenta dos vetas paralelas principales, con abundantes sulfuros en ganga de cuarzo, un rumbo entre 105 y 110° y con 0,2 a 0,5 m de potencia. El acceso tiene lugar mediante un cortaveta, de 341 m de longitud y orientación meridiana, ubicado en el Nivel 2 de Oploca. La galería de la Veta Norte se abre a 315 m de la entrada y contiene una mineralización visible de suredaíta y 'As-franckeíta' en bandas de 1 a 3 cm de espesor. La galería de la Veta Sur

intersecta a 322 m y exhibe mineralización dominante de hocartita-pirquitasita con pirita. La mayor parte de las muestras analizadas corresponden a un segmento de la Veta Norte, con una extensión de 12 m y 0,3 a 0,4 m de potencia, que se observa en el techo de la primera galería. Las texturas son típicas del relleno de espacios abiertos, en donde predomina el bandeamiento y la costrificación paralela sobre nódulos y cocardas. La asociación de minerales con hábito acicular o prismático tiende a formar agregados fibroparalelos o fibrorradiados según el caso. Las texturas coloiformes microgranulares, con esferita y 'As-franckeíta' entrecrecidas, indican temperaturas de precipitación muy bajas, algo inferiores a 100°C.

LOS SULFUROS Y LAS SULFOSALES DE ESTAÑO Y PLOMO

En las vetas del sector Oploca, en muestras de su cancha mina y en algunos testigos de perforación, se encontraron, mayoritariamente, miembros de la homoserie cilindrita-franckeíta, la nueva especie mineral suredaíta y 'As-franckeíta' con una distribución muy amplia y en cantidades propias de los minerales de mena. En cambio, la teallita y 'As-

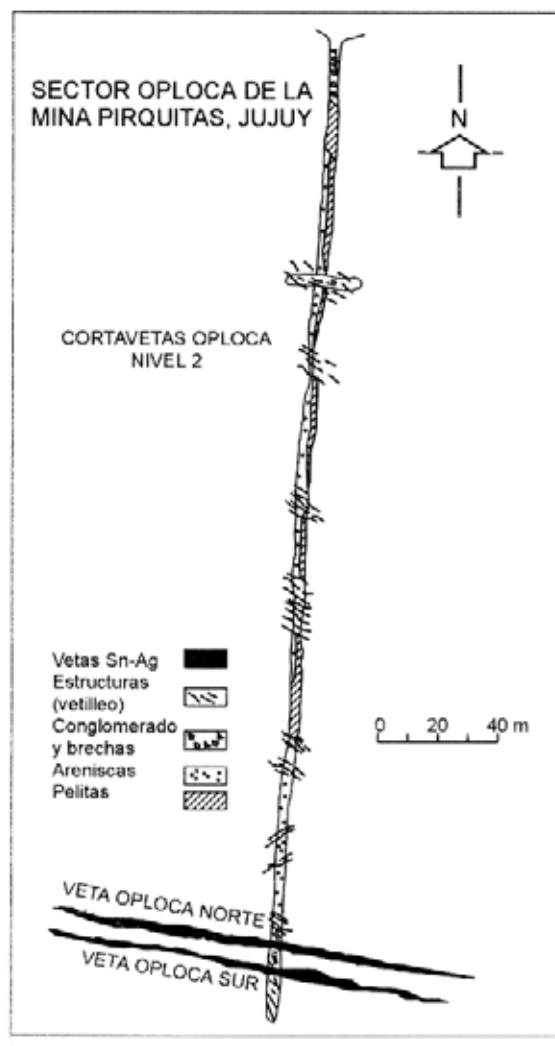


FIG. 2. Detalle que ilustra las labores del sector Oploca de Mina Piriquitas, con dos vetas paralelas identificadas como Veta Norte y Veta Sur, ambas de rumbo ESE-WNW (modificada de Sunshine Argentina Inc., 1998).

cilindrita', siempre como minerales accesorios, son raros y de tamaño microscópico. La tabla 1 resume la procedencia de las muestras estudiadas, su contenido en sulfuros y sulfosales de Sn y Pb, con la paragénesis local o la asociación mineral característica.

Según Y. Moëlo y N.N. Mozgova¹ y comunicación oral, 1999, la homoserie cilindrita, con estructu-

ra conmensurable compuesta, se divide en las isoserias cilindrita y franckeita. En esta última, las especies potosiita e incaita pueden ser consideradas variedades de franckeita ($\text{Pb}_6\text{Sn}_2^{4+}\text{FeSb}_2\text{S}_{14}$). Conforme a esta reciente propuesta, la potosiita sería un sulfoestannato de plomo y hierro o franckeita libre de Sn^{2+} , con fórmula $\text{Pb}_6\text{Sn}_2^{4+}\text{FeSb}_2\text{S}_{14}$, mientras que la incaita sería una variedad rica en Sn^{2+} , o sea, $\text{Pb}_4\text{Sn}_2^{2+}\text{Sn}_2^{2+}\text{FeSb}_2\text{S}_{14}$, exenta de estaño en estado de oxidación mayor o máxima valencia para la posición de diadocia Pb-Sn.

En la tabla 1, al ilustrar la paragénesis de estos minerales, no se han mencionado las especies comunes, siempre presentes, como ser, pirita, marcasita, arsenopirita, casiterita, galena, esfalerita y wurtzita. Como observación general válida de las investigaciones en este sector del yacimiento, se aprecia que los sulfuros y sulfosales de Sn y Pb están asociados con miembros de las series hocaritita-piriquitasita y rodoestannita-toyohaíta de una manera preferente, mientras la pirargirita, miargirita, aramayoíta, diaforita y andorita, entre otras especies, parecen limitadas a las zonas superiores del sistema vetiforme de Oploca.

ASPECTOS MESOSCÓPICOS Y PROPIEDADES ÓPTICAS DE LOS MINERALES

Los minerales cilindrita, franckeita, suredaíta y 'As-franckeita' son de fácil determinación meso y microscópica; sin embargo, sólo es posible distinguir los diferentes términos en la serie isomorfa de franckeita mediante análisis de microsonda. La teallita es muy poco frecuente y fue identificada al microscopio sólo en cantidades mínimas. Las figuras 3-8, con microfotografías, muestran imágenes de electrones retrodispersados (BSE= backscattered electrons) y su contenido se describe en este apartado.

Cilindrita: $\text{Pb}_3\text{Sn}_4\text{FeSb}_2\text{S}_{14}$ - P1. Presenta la típica textura en capas concéntricas, que en Mina Piriquitas, generalmente, es de pocos milímetros de diámetro y está asociada con franckeita. La composición química entre las capas registra fuertes variaciones. El corte longitudinal de cilindrita de la figura 3 exhibe un centro blanco con composición de franckeita, mien-

¹ 1998. Revision of sulfosalt nomenclature and definition: 1998'th situation. Internal Report (Inédito), Sulfosalt Subcommittee of the Commission of Ore Microscopy and Commission of New Minerals and Mineral Names of the International Mineralogical Association.

TABLA 1. UBICACION, PARAGENESIS Y QUIMICA EN MINERALES DE ESTAÑO Y PLOMO, MINA PIQUITAS.

Muestra/Mineral Testigos: No. pozo/mbbp	Franckeita ss (%)	'As-franckeita'	Suredaita	Cilindrita	Teallita	Paragénesis
DC 2/150	ss 98	-	-	-	-	py, st - ke, ho - pl
DC 14/183	ss 92	-	-	-	-	FR, py, mi, DI, HO, st - ke
DC 14/184	ss 92	-	-	-	-	fr, PY, mi, DI, AR, HO, st - ke
DC 17/127	ss 92	-	-	-	-	FR, MI, FI, DI, ho - pl, st - ke
DC 20/35	-	-	-	X	X	py, mi, DI, AR, HO, ST - KE
DC 41/141	ss 95	-	-	-	-	FR, ho - pl, st - ke
OPLOCA: Veta Norte						
98/1 (3-1)	-	-	X	X	-	FR, ho, rh
98/3	-	X	-	-	-	
PI/11	-	X	X	-	-	
MB 10	-	-	X	-	-	
OPLOCA: Escombreras						
97/R1	-	-	-	X	-	TO
97/R2	ss 100-83	-	-	X	-	PI, TO
97/R3	ss 88-85	-	-	-	-	PI, RH, RA?
97/10	-	-	-	-	-	RH
17/17	ss 95	-	-	'As-cilindr.'	-	FI, RA?, AN, PI, TO
PI5/3	-	-	-	X	-	mi, an, ho - pl, rh
PI/7	-	-	X	X	-	an, rh
98/HA4	ss 88	-	-	X	-	rh
98/HA5	X	-	-	-	-	an rh
98/HA6	ss 85	-	-	X	-	an, rh
98/HA8	-	-	-	X	-	an, rh
PI/1	-	-	-	X	-	fr, py, ho, RH, TO, FE
PI/3	-	X	-	-	-	HO, PI, RH, TO, fe, PA?
PI/94	-	X	-	-	-	

La primera columna de la tabla 1 agrupa las muestras en tres procedencias. En primer lugar, figuran las muestras de los testigos de las perforaciones de Sunshine Argentina Inc., muestras que se identifican mediante dos números (e.g., 2/150, lo cual significa pozo No. 2, sección de testigo a 150 m bajo la boca del pozo). Luego, muestras procedentes de la Veta Norte en el sector de Oploca donde las nuevas especies suredaita y 'As-franckeita' llegan a formar la mena predominante en bandas sucesivas con espesores milimétricos a centimétricos. Al final, muestras procedentes de las escombreras de Oploca, desechos ubicados sobre el faldeo sur de la quebrada de Pircas. La primera fila del cuadro ubica los minerales hallados en columnas. La segunda columna expresa, por diferencia porcentual, la sustitución de los elementos diadocos Pb^{2+} versus Sn^{2+} en la estructura de la serie isomorfa de franckeita (e.g., 98 implica un reemplazo del 2% y 85 un reemplazo del 15%). La última columna expone la paragénesis mineral identificada en las muestras utilizando un sistema de abreviaturas. El uso de mayúsculas significa que el mineral de ese lugar cuenta con análisis químicos de microsonda y el de minúsculas indica que no fue químicamente analizado. Las abreviaturas empleadas son: an= andorita IV; ar= aramayoita; di= diaforita; fe= ferberita; fi= fizelyita; fr= freibergita; ho= hocartita; ke= kesterita; mi= miargirita; pa= pavonita; pi= piquitasita; py= pirargirita; ra= ramdohrita; rh= rodoestannita; st= estannita-ferrokesterita y to= toyoaita. X= presente; -= ausente.

tras las zonas exteriores ya corresponden al quimismo de la cilindrita (P97/R2-IV). En la figura 4, se observan diferentes capas en un corte perpendicular de cilindrita. Las zonas más claras presentan contenidos más altos de Pb. Las variaciones porcentuales en peso se encuentran entre 41,6 y 45,2% para Pb; entre 20,5 y 21,4% para Sn, y entre 8,2 y 11,6% para Sb (PI5-3). La figura 5 muestra cilindrita de hábito lamelar, con 'As-cilindrita' en entrecrecimientos localizados. Las láminas muy blancas representan zonas con quimismo de franckeita (PI17/1-17). Las

reflectividades biaxiales para 580 nanómetros de frecuencia, curvas próximas a la línea D de Fraunhofer, son de $R_{580}=31,0\%$ y $35,5\%$, respectivamente. Los registros de microdureza Vickers, bajo cargas de 100 pondios, muestran números $VHN_{100}=54-93$.

Franckeita y sus variedades incaíta y potosiita: $(Pb, Sn)_6Sn_2FeSb_2S_{14}$ - P1. Forman agregados pequeños de escamas diferentemente orientadas (Figs. 3-5). Algunas tablillas se encuentran dobladas y se caracterizan por presentar un maclado muy típico.

Las reflectividades biaxiales específicas en 580 nanómetros de frecuencia tienen valores de $R_{580}=35,3$ y 37,3%. Los números de microdureza Vickers varían entre $VHN_{100}=13$ y 108 para cargas de 100 pondios.

Suredaita: $SnPbS_3$ -Pnma. Es muy abundante y tiene cierto parecido en sus propiedades físicas con teallita, una causa posible para la confusión de ambos minerales durante las largas décadas de la explotación minera en Pirquitas (Paar *et al.*, 2000). Se presenta en bandas de hasta 3 cm de espesor con cristales individuales de 1 cm de longitud. Estos son cristales de color blanco a gris oscuro, de brillo metálico y raya negra, con hábito acicular a tabular y en agregados de disposición ordenada o aleatoria. Los agregados fibrosos ordenados pueden tener hábito fibroparalelo, con individuos de crecimiento normal a los hastiales, o muy rara vez fibrorradiado. Se observan cristales individuales de hasta 2,5 cm de largo, que yacen inmersos en una mesostasis de grano muy fino de 'As-franckeita' o de esfalerita. Poseen dureza 2,5 a 3 y clivaje perfecto {001}MB, {001}MB y {100}MB. Densidad_{calc} 5,615 g/cm³. En la figura 7, se pueden observar las variedades químicas SU-1, SU-2 y SU-3 de las cuales la SU-3 es la más rica en Pb (PI/II-2). Al microscopio, también, es un mineral blanco, de birreflectancia inapreciable a la vista, pero mensurable por vía instrumental. Las reflectividades específicas biáxicas en aire a la frecuencia de 580 nanómetros son de $R_{580} = 30,3$ y 31,7%. La anisotropía es débil en tonos de azul

metalizado a pardo guinda. Los números de microdureza Vickers para cargas de 50 pondios están entre $VHN_{50} = 182$ y 206. El mineral forma una serie isotópica con ottemannita Sn_2S_3 (Moh y Berndt, 1964; Moh, 1966).

'As-franckeita': $(Pb,Sn)_6Sn_2FeAs_2S_{14}$? - P1? Es uno de los minerales acompañantes de suredaita más abundantes. Se presenta en bandas de 10 cm de espesor, compuestas por agregados cristalinos de grano fino, con un aspecto mesoscópico semejante a los óxidos de Mn criptocristalinos. Forma así una mesostasis homogénea donde flotan los cristales aciculares a tabulares de suredaita. Ambos minerales constituyen nuevas especies, pero las propiedades estructurales de 'As-franckeita' están aún bajo estudio. En la figura 8, se observan agregados fibrosos de grano muy finos (de color gris), con inclusiones de galena (de color blanco), de pirita y de esfalerita (de color negro) (PI/3).

Teallita: $PbSnS_2$ -Pbnm. Este mineral se presenta al microscopio en cristales tabulares delgados con anisotropía de color azul a violeta, fuerte y típica, lo cual asegura una identificación diferencial eficaz de franckeita y suredaita (Fig. 6). En parte, exhibe las líneas de su clivaje muy bueno. En la investigación realizada sobre muestras procedentes del sector Oploca de Mina Pirquitas no fue posible hallarlo. Está presente en testigos de las perforaciones y forma un accesorio menor muy raro (DC 20/35).

FIG. 3. Muestra cortes longitudinales de cilindrilla-franckeita, de hábito fibroso a capilar, en donde la cilindrilla más oscura tiene posición externa y la franckeita blanca ocupa la posición central.

FIG. 4. Ilustra un corte transversal de cilindrilla zonal, en capas, con anillos más claros, de mayor contenido en plomo.

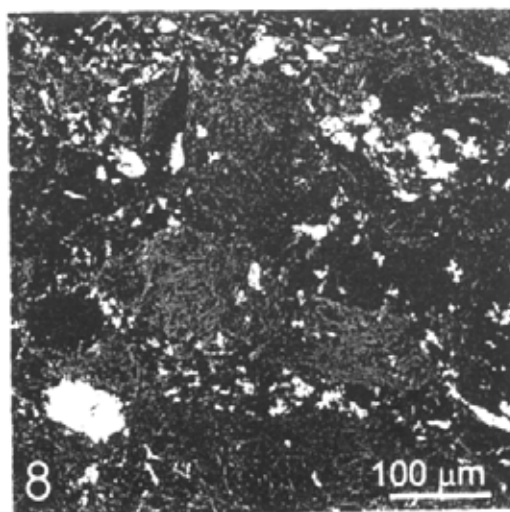
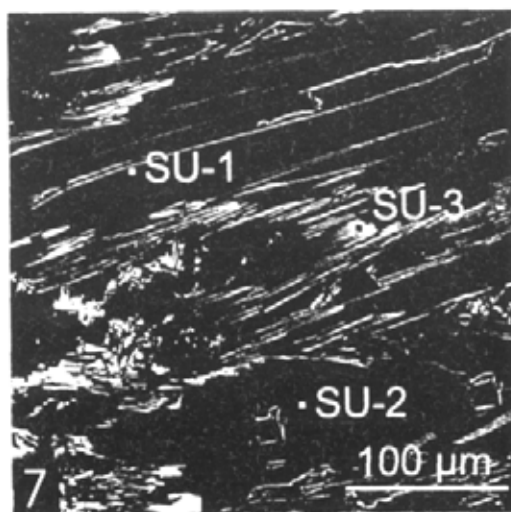
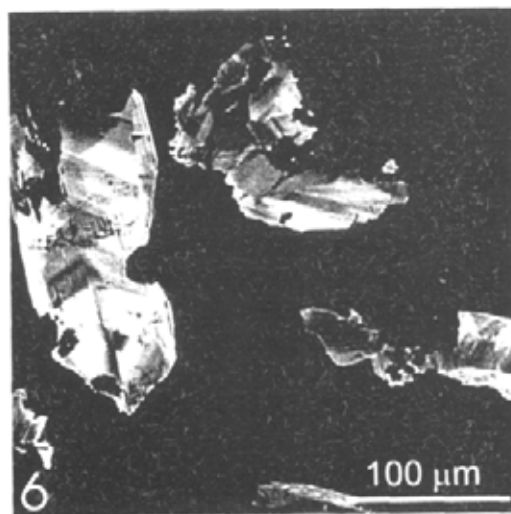
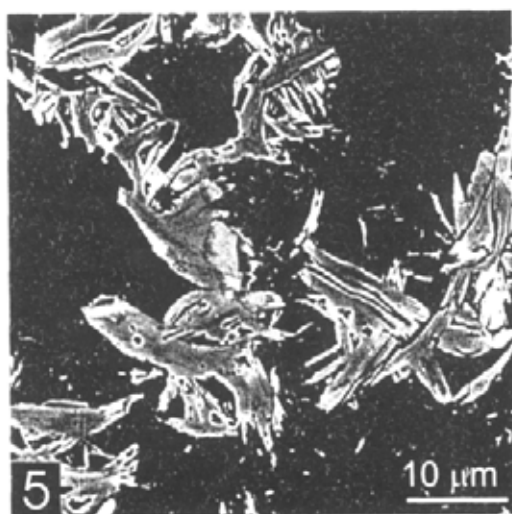
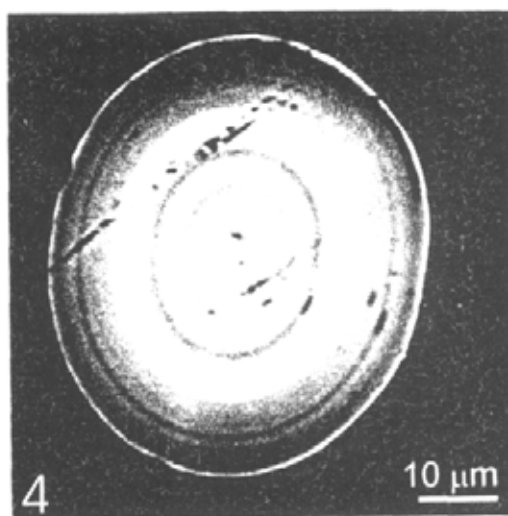
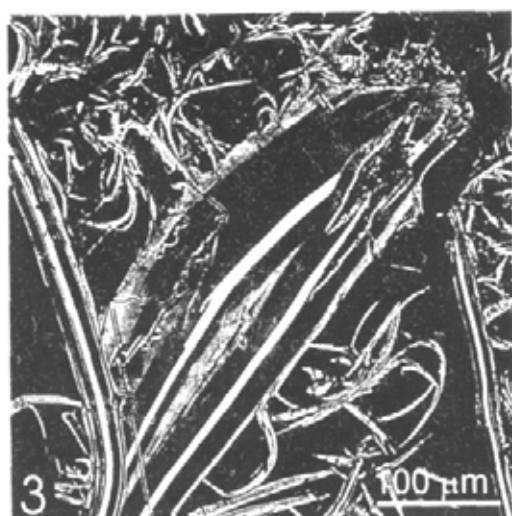
FIG. 5. Muestra los entrecrecimientos, de hábito lamelar, entre cilindrilla y 'As-cilindrilla'.

FIG. 6. Ilustra cristales tabulares delgados de teallita reconocidos por su anisotropía característica.

FIG. 7. Compara tres cristales de suredaita, con distinto contenido de plomo, donde SU-3 tiene la composición teórica extrema en la serie ottemannita-suredaita.

FIG. 8. Muestra un entrecrecimiento de 'As-franckeita' (gris), galena (blanco) y esfalerita-cuarzo (negro).

(Imágenes de electrones retrodispersados (BSE= backscattered electrons) de seis microfotografías con las secciones pulidas de los sulfuros y sulfosales de estaño y plomo con indicación de escala gráfica en micrones).



LA COMPOSICION QUIMICA DE LOS MINERALES

MATERIAL Y METODO

Se revisaron 25 cortes pulidos que contienen sulfuros y sulfosales de plomo y estaño, como se ilustra en las muestras de la tabla 1. En ellos, se realizaron 260 análisis puntuales de cilindrita y franckeíta, 70 análisis de 'As-franckeíta' y 'As cilindrita', más de 100 análisis de suredaíta y 10 de teallita. En la investigación se utilizó una microsonda electrónica JEOL Superprobe JKA-8600 con un ELX-Link System, bajo condiciones de trabajo de 25 kV, 30 nA a 20 seg de conteo. Los patrones naturales

y sintéticos usados: CuFe_2S_3 ($\text{CuK}\alpha$, $\text{FeK}\alpha$), Sb_2S_3 ($\text{SbL}\alpha$), PbS ($\text{PbM}\alpha$, $\text{SK}\alpha$), FeAsS ($\text{AsL}\beta$), ZnS ($\text{ZnK}\alpha$), Sn ($\text{SnL}\alpha$), Ag ($\text{AgL}\alpha$) y Bi_2S_3 ($\text{BiL}\alpha$). Para diferenciar cilindrita de franckeíta s.l., según Y. Moëlo, comunicación oral, 1999, se empleó la relación entre la suma de los metales *versus* el azufre, significativa por consideraciones cristaloquímicas. Esta relación es de 0,7 para cilindrita y 0,79 para franckeíta. Se efectuaron los cálculos correspondientes utilizando todos los datos analíticos obtenidos sobre ejemplares de la serie mineral, también para los definidos como 'As-franckeíta' y 'As-cilindrita'.

CONSIDERACIONES FINALES

En la figura 9 se ilustran los resultados analíticos obtenidos en franckeíta, cilindrita y sus variedades o especies afines. La composición química de franckeíta varía entre fr_{83} y fr_{100} . Se aprecia que fr_{100} corresponde a potosiíta, es decir, un sulfoestannato de plomo con el mayor reemplazo posible de estaño

en su máximo estado de oxidación (Sn^{4+}) o franckeíta libre de Sn^{2+} . La cilindrita se presenta en dos grupos de composición química diferente. El primero coincide, casualmente, con la composición química casi teórica de incaíta, variedad de franckeíta según Mozgova *et al.* (1976). El segundo es más rico en Pb

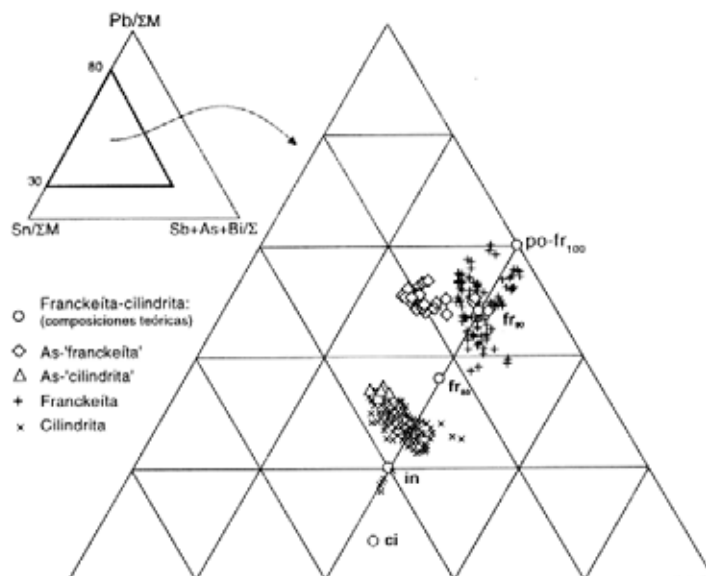


FIG. 9. Representación de los análisis químicos de cilindrita y de los miembros de la serie isomorfa franckeíta en el diagrama ternario de Makovicky (1974). Los vértices del triángulo de composiciones corresponden a Pb, a Sn y a la suma de (Sb+As+Bi), normalizados a la suma de los metales (Pb+Sn+Sb+As+Bi). En el diagrama: **fr** = franckeíta; **po** = potosiíta; **in** = incaíta; **ci** = cilindrita. El subíndice bajo franckeíta indica la diadocia de Pb^{2+} por Sn^{2+} , en donde fr_{100} = potosiíta.

con respecto a las cilindritas bolivianas (Makovicky, 1974), pero sólo con estudios roentgenográficos apropiados se podrá establecer si estas diferencias obedecen a la existencia de nuevas especies minerales. Los contenidos porcentuales en peso de Fe y de Ag varían para franckeita s.l. entre 1,6-2,4 y 0,1-2,2; para cilindrita entre 1,5-2,4 y 0,1-2,0 y para 'As-franckeita' entre 1,3-1,9 y 0,1-0,4, respectivamente. El único ejemplar de teallita encontrado hasta ahora no coincide con la composición teórica PbSnS_2 . Es extremadamente zonal y su quimismo puede ser definido como $\text{Pb}_2\text{Sn}_3\text{S}_5$, PbSn_2S_3 y PbSn_4S_6 , según las distintas zonas que las ubican en la mitad estannífera de la serie de solución sólida

galena-herzenbergita (PbS-SnS). La suredaíta, PbSnS_3 , es el equivalente natural del compuesto sintético homólogo conocido (Jumas *et al.*, 1972); como mineral fue aprobado por IMA-CNMMN No. 97.043 y descrito por Paar *et al.* (2000). La 'As-franckeita' es, también, un mineral nuevo, con Pb, Sn, Fe, As y S, que se encuentra todavía en estudio. La nueva información es consistente con la naturaleza xenotermal del depósito mineral, la asociación telescópica de sus paragénesis y su posición metalogénica regional como parte del notable cinturón de yacimientos análogos en los Andes centrales, tal como fuera reconocido en trabajos anteriores (Ericksen y Cunningham, 1993; Paar *et al.*, 1996).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado dentro del convenio CONICET (Argentina)-FWF (Austria). Asimismo, se agradece a los licenciados M. Tonel y G. Gimeno por todas las atenciones recibidas durante las visitas a Mina Pirquitas, el establecimiento de Sunshine Argentina Inc. en la quebrada de Pircas, provincia de Jujuy, Argentina. El reconocimiento es extensivo a

los árbitros de la Revista Geológica de Chile, Dr. C.G. Cunningham (U.S. Geological Survey) y otro revisor anónimo, quienes contribuyeron a mejorar la versión editorial definitiva. Al técnico R. Domínguez (CONICET) por facilitar las excelentes probetas minerográficas pulidas para microscopía de luz polarizada.

REFERENCIAS

- Ahlfeld, F. 1967. Metallogenic epochs and provinces of Bolivia. The tin province of Altiplano (Part II). *Mineralium Deposita*, No. 2, p. 219-311. Heidelberg.
- Ericksen, G.E.; Cunningham, C.G. 1993. Precious-metal deposits in the Neogene-Quaternary volcanic complex of the Central Andes. In *Investigaciones de metales preciosos en el complejo volcánico Neógeno-Cuaternario de los Andes Centrales. Proyecto BID/TC-88-02-32-5. Servicio Geológico Boliviano-Servicio Nacional de Geología y Minería, Chile-Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Perú-United States Geological Survey*, p. 3-16. La Paz.
- Jumas, J.C.; Ribes, M.; Phillipot, E.; Maurin, M. 1972. Sur la système SnS_2 -PbS. Structure cristalline de PbSnS_3 . *Comptes Rendus Hebdomadaire des Sciences de l'Académie des Sciences, Serie C, Sciences Chimiques* No. 275, p. 269-272. Paris.
- Makovicky, E. 1974. Mineralogical data on cylindrite and incaite. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monatshefte*, No. 6, p. 235-256.
- Moh, G.; Berndt, F. 1964. Two new natural tin sulfides, Sn_2S_3 and SnS_2 . *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monatshefte*, No. 4, p. 94-95.
- Moh, G. 1966. Das binäre System Zinn-Schwefel und seine Minerale. *Fortschritte der Mineralogie*, Vol. 42, 211 p.
- Mozgova, N.N.; Organova, N.I.; Gorshkov, A.I. 1976. Structural resemblance between incaite and franckeite. *Doklady Akademii Nauk SSSR*, No. 228, p. 110-113. Moscow.
- Paar, W.H.; Brodtkorb, M.K. de.; Topa, D.; Sureda, R.J. 1996. Caracterización mineralógica y química de algunas especies metalíferas del yacimiento Pirquitas, provincia de Jujuy, República Argentina. Parte 1. In *Congreso Geológico Argentino, No. 13, y Congreso de Exploración de Hidrocarburos, No. 3, Actas*, Vol. 3, p. 141-158. Buenos Aires.
- Paar, W.H.; Miletich, R.; Topa, D.; Criddle, A.J.; Brodtkorb, M.K. de.; Amthauer, G.; Tippelt, G. 2000. Suredaite, PbSnS_3 , a new mineral species from the Pirquitas Ag-Sn deposit, NW Argentina: mineralogy and crystal structure. *The American Mineralogist*, Vol. 85, No. 7-8, p. 1066-1075.
- Petersen, U. 1965. Regional geology and major ore deposits of Central Perú. *Economic Geology*, Vol. 60, No. 3, p. 407-476.

Sureda, R.J. 1997. Actualidad minera de la República Argentina. *Asociación Argentina de Geólogos Economistas, Revista*, No. 11, p. 46-83. Buenos Aires.

Turner, J.C.M. 1982. Descripción Geológica de la Hoja

3ab, Mina Pirquitas, provincia de Jujuy. *Servicio Geológico Nacional, Boletín*, No. 187, 54 p., escala 1:200.000. Buenos Aires.