

PARAGÉNESIS MINERAL DEL DEPÓSITO TIPO *FIVE ELEMENT* PURÍSIMA-RUMICRUZ, JUJUY

Luciano LÓPEZ^{1,2} y Horacio ECHEVESTE^{1,3}

¹ INREMI. Facultad de Ciencias Naturales y Museo. UNLP, La Plata. E-mail: lopezluciano@hotmail.com

² CONICET. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

³ CICBA. Comisión de Investigaciones Científicas de Buenos Aires.

RESUMEN

El distrito polimetálico Purísima-Rumicruz se encuentra ubicado en el borde occidental de la Puna, a 26 km al SE de la localidad jujeña de Abra Pampa. El conjunto de estructuras presentan mineralizaciones de sulfuros de Cu y Pb y en menor proporción sulfoarseniuros de Ni, Co, y escasa presencia de pechblenda. Las vetas encajan en pelitas oscuras con intercalaciones delgadas de areniscas de la Formación Acoite, afectadas por un moderado a intenso plegamiento. Las estructuras mineralizadas registran textura brechosa con múltiples etapas de brechamiento, observándose abundantes clastos de roca de caja. La alteración hipogénica es escasa a nula, pero son particularmente importantes los procesos de oxidación y enriquecimiento supergénico. Las texturas minerales más comunes dentro del relleno de las brechas corresponden a sobrecrecimientos, mirmequitas, corrosión de cristales y reemplazos por minerales supergénicos. La secuencia paragenética muestra distintas etapas, siendo la primera rica en sulfuros, principalmente de cobre y plomo acompañados por carbonatos y cuarzo, la segunda concentra sulfoarseniuros y escasa pechblenda en ganga de carbonatos, la tercera caracterizada por sulfuros de cobre y hierro en ganga de carbonatos y en un estadio póstumo precipita baritina. La cuarta etapa está representada por un fuerte enriquecimiento secundario representado por covelina y, finalmente, la quinta reúne calcita y minerales de oxidación que forman finas vetillas o rellenan oquedades compuestos por malaquita, azurita y óxidos de hierro. La asociación mineralógica y la secuencia de precipitación mineral que se observa en el distrito estudiado, permite incluirlo dentro de los denominados *Five Element Deposits*.

Palabras clave: *Paragénesis de mena, vetas polimetálicas, Five Element Deposit, distrito Purísima-Rumicruz.*

ABSTRACT

Paragenetic characterization of the Five Element Deposit Purísima-Rumicruz, Jujuy, Argentina.

The Purísima-Rumicruz district is located in the eastern limit of Puna, 25 km northeastern of Abra Pampa town, Jujuy. It consists of polymetallic veins containing sulfides of Cu and Pb with minor Ni, Co, sulfarsenides and scarce pitchblende. Vein are hosted by folded interbedded black shales and sandstones of Acoite Formation. Veins have breccia texture with multiple stage of re-brecciation. The hypogene alteration is weak or absent, however oxidation and supergene enrichment is strong. Overgrowths, replaces, mirmequitic textures, and crystal corrosion are the more frequent mineral textures. The paragenetic sequence shows several stages, the first stage is sulfide rich with high concentration of Cu and Pb with quartz and carbonates, the second records sulfarsenides and scarce pitchblende, with carbonates; the third is copper iron rich sulfides with carbonates and late stage barite. The fourth stage is characterized by supergene enrichment that produced covellite and, finally, the fifth stage consist of malachite, azurite, iron oxides and calcite in thin veinlets and as open spaces infill. This mineralogical assemblage and the paragenetic sequence allow classifying it as a Five Element Deposit.

Keywords: *Ore paragenesis, polymetallic veins, Five Element Deposit, Purísima-Rumicruz district.*

INTRODUCCIÓN

Las vetas que componen el distrito Purísima-Rumicruz forman parte de una serie de manifestaciones polimetálicas que se encuentran distribuidas en una faja meridional en el límite de las provincias geológicas de Puna y Cordillera Oriental, Noroeste Argentino (NOA). La mayoría

de estas manifestaciones han sido clasificadas como mesotermales, con minerales de Cu, Pb, Zn y Ag, sin embargo su génesis dista de estar completamente comprendida.

En este estudio se profundiza el análisis mineralógico de las vetas que componen el distrito Purísima-Rumicruz y se comparan los resultados con el modelo para-

genético idealizado de los *Five Elements Deposits* (FED) (Kissin 1993, Lefebure 1996, Bagheri *et al.* 2007).

El distrito minero Purísima-Rumicruz se encuentra ubicado en el sector sur del cerro Colorado de Cobre, 20 km al sudeste de la localidad jujeña de Abra Pampa, departamento de Cochinocha, provincia de Jujuy. Se accede mediante un camino de

ripió vecinal que une las localidades de Abra Pampa con Tres Cruces. Desde este camino se desprende una huella minera, actualmente inutilizable, con la que se accede hasta el antiguo campamento y a la mayoría de las labores de explotación de la mina.

El yacimiento fue explotado a pequeña escala desde la década del cuarenta hasta la del setenta, en este lapso la producción exhibió un carácter variable. Al entrar en vigencia el Plan Cordillerano Norte el sector es declarado área de reserva N° 7 (Lurgo Mayón 1999). A partir de mediados de los años ochenta se inicia un plan de exploración que continúa hasta la fecha. Actualmente la concesión minera pertenece a la empresa Bolland Minera S.A.

La baritina constituyó el principal material explotado en el distrito, seguido por cobre y plomo. En el año 1968 el Banco Industrial de la República Argentina calculó reservas probables de 2.250 t con una ley de cobre de 5,5%. Ramallo (1975, en Rubiolo *et al.* 2003), estima un ley media de cobre de 4% y entre 1 a 7% de plomo. La ley del níquel estaría comprendida entre 0,01 y 0,3% y se registraron valores de plata de hasta 270 ppm. La explotación del yacimiento se llevó a cabo mediante 450 m de galerías, 40 m de piques y 30 m de chiflones (Lurgo Mayón 1999).

La mineralogía fue inicialmente estudiada por Angelelli (1950), que denominó la mineralización por primera vez como “veta de cobre” y una década más tarde Chomnales *et al.* (1960), describieron la presencia de galena, esfalerita, pirita, calcopirita, calcosina, bornita, malaquita y mencionan el hallazgo de minerales de níquel: niquelina y su producto de alteración, annabergita, en ganga de cuarzo, baritina y calcita. Los estudios mineralógicos detallados del distrito Purísima-Rumicruz fueron realizados por Brodtkorb (1965, 1972, 1973) quien añade a los descritos, la presencia de pechblenda, rammelsbergita, gersdorffita, tetraedrita, “chispas” de oro y covelina secundaria.

Brodtkorb (1973), propone una paragénesis similar para los yacimientos Purísima-Rumicruz, La Niquelina (Salta) y La

Esperanza (Salta) clasificándolos como mesotermales y posiblemente vinculados a un mismo ciclo magmático. Lurgo Mayón (1999), propone que estos yacimientos corresponden a depósitos polimetálicos de tipo *Five Element Deposits* con una paragénesis compuesta por U, Ni, Co, As, Ag±Bi, Cu, Pb, Zn, y subraya la ausencia de cuerpos ígneos vinculados a las mineralizaciones. El mismo autor sugiere que la génesis de estos depósitos estaría relacionada a un rifting intracratónico en el trasarco, durante el Cretácico superior-Eoceno.

MARCO GEOLÓGICO

Las vetas del distrito Purísima-Rumicruz se alojan en rocas de la Formación Acoite (Lurgo Mayón 1999) de edad tremadociana-arenigiana. Esta unidad está compuesta por areniscas y pelitas, depositadas en una plataforma con dominio de tormentas conformando una secuencia progradacional grano y estratocreciente (López *et al.* 2011). Hacia el tope de la unidad, en la región de Los Colorados, 70 Km al sur del área de estudio, se interpreta un ambiente de secuencia deltaica progradacional con fuerte influencia de oleaje y tormentas (Astini 2004). Las facies finas de la Formación Acoite corresponden a pelitas negras fosilíferas con pirita framboidal, que indican un ambiente de depositación reductor. Sobre esta unidad se apoya por contacto tectónico el Subgrupo Pirgua, perteneciente al Grupo Salta de edad cretácica (Fig. 1). Las rocas de caja de la mineralización presentan un plegamiento con ejes norte-sur, buzantes hacia el sur y fracturamiento con rumbos principales NO y E. La mineralización se aloja en vetas, vetillas y *stockworks*, las primeras con potencias variables, aunque raramente superan 0,5 metros. Las vetas del distrito fueron agrupadas en cuatro sectores; Purísima-Rumicruz, La Nueva, El Brechón y Jesuitas. El sector Purísima-Rumicruz, incluye a las vetas Purísima, Rumicruz, Liliana, sector I y sector II. El sector La Nueva incluye a la veta homónima, junto con escasas vetillas subparalelas. El sector El Brechón re-

úne a la veta El Brechón, explotada en superficie a partir de un rajo de más de 250 m y vetas y vetillas más delgadas. En el sector denominado Jesuitas se reconoció un sistema de vetillas con sulfuros junto a un pique y una escombrera de reducidas dimensiones. Asimismo han sido reconocidos tres tipos de vetas: a) de sulfuros, donde el material de relleno es principalmente de sulfuros, en ganga de carbonatos, baritina y cantidades menores de cuarzo, b) de baritina, constituidas por vetas y vetillas con relleno de baritina, con muy escasa o nula participación de sulfuros supergénicos, c) de cuarzo, con muy escasa presencia de sulfuros. Los afloramientos de las vetas presentan bajo contraste topográfico lo que dificulta su reconocimiento en superficie. En planta presentan corridas cortas, de pocas decenas de metros y discontinuas, tipo *pinch and swell*. Una excepción a esto es la veta “El Brechón” con hasta 4 m de potencia y una longitud mayor a 200 metros, de buena exposición gracias a labores de explotación superficial y destapes (Fig. 1).

Las vetas en planta presentan geometrías rectas a levemente curvas. Los contactos con la roca de caja suelen ser netos, aunque ocasionalmente pueden existir vetillas asociadas a la estructura principal cuya densidad disminuye al alejarse de la veta. Estas estructuras presentan inclinaciones altas, usualmente mayores a 70°.

La textura dominante en las vetas es de brecha multiepisódica donde sucesivos pulsos hidrotermales afectaron el mismo sistema de fracturas generando numerosos episodios de brechamiento y relleno. Los fragmentos más frecuente son de roca de caja con geometría angulosa a subangulosa, de pocos milímetros hasta decenas de centímetros de diámetro. Estos clastos están cementados por minerales hidrotermales, principalmente sulfuros, cuarzo y carbonatos que pueden sufrir a la vez sucesivos eventos de brechamiento-cementación.

METODOLOGÍA

Para las determinaciones mineralógicas, se efectuaron observaciones bajo lupa bi-

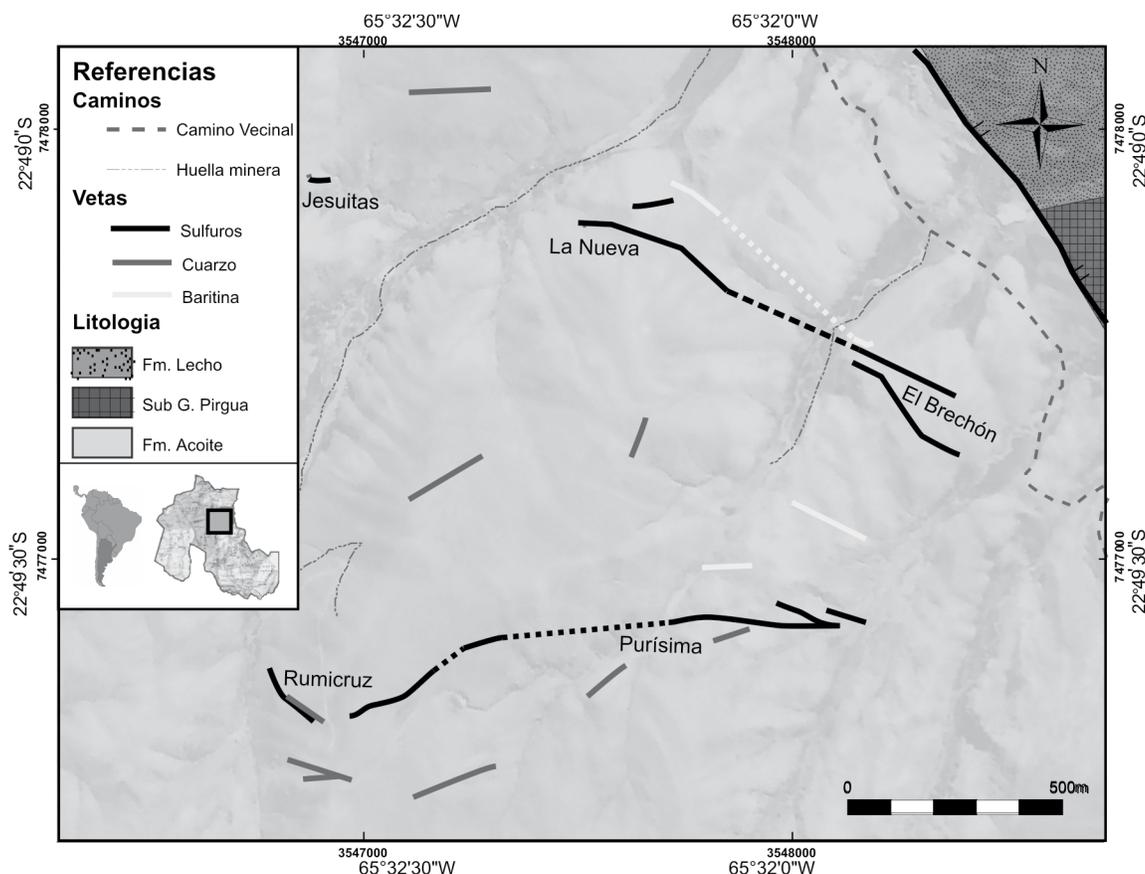


Figura 1: Mapa geológico simplificado del depósito polimetálico Purísima-Rumicruz.

nocular, estudios de secciones delgadas y pulidas bajo microscopio petrográfico de transmisión y reflexión respectivamente y análisis por difracción de rayos X. Estos últimos se realizaron con un difractómetro Philips PW 3710 sin monocromador y tubo de cobre perteneciente a la Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP).

RESULTADOS

Mineralogía

Los minerales opacos identificados en el sistemas de vetas Purísima-Rumicruz fueron los siguientes: calcosina (Cu_2S), digenita (Cu_3S_3), bornita, (Cu_3FeS_4), calcopirita (CuFeS_2), tennantita $[\text{Cu}_{10}(\text{Fe}, \text{Zn})_2\text{As}_4\text{S}_{13}]$ -tetraedrita $[\text{Cu}_{10}(\text{Fe}, \text{Zn})_2\text{Sb}_4\text{S}_{13}]$, (en adelante, *fablore*), galena (PbS), covelina (CuS), niquelina (NiAs), gersdorffita (NiAsS), millerita (NiS) y pecheblenda (UO_2).

Sulfuros: Los sulfuros reconocidos en el distrito Purísima Rumicruz, por orden de abundancia, son calcosina, bornita, *fablore*, galena, calcopirita y pirita.

El mineral más abundante es la calcosina, de hábito lamelar y masivo, se encuentra comúnmente reemplazada por digenita y covelina. En ocasiones conforma prismas alargados con intensa corrosión hacia los bordes de los cristales. Son comunes los intercrecimientos mirmequíticos de calcosina y bornita (Fig. 2a). Otro mineral intercrecido en calcosina y también en *fablore* es gersdorffita, que conforma pequeños cristales, principalmente hacia los bordes de los individuos de estos minerales (Fig. 2b). Ocasionalmente acompaña a esta variedad textural de gersdorffita pequeños cristales de niquelina.

La bornita es de hábito masivo y contiene texturas de intercrecimiento con calcopirita que suele presentar textura en llamas, asimismo son frecuentes las inclusiones de gersdorffita que conforma pequeños cristales aislados. La galena se encuentra como cristales gruesos, hasta centimétricos, hipidiomorfos, con bordes corroídos, asociada espacialmente con bornita, *fablore*, calcopirita (Fig. 2c), y pirita. La

calcopirita se encuentra tanto intercrecida en bornita o como pequeños cristales con bordes redondeados. La covelina se encuentra comúnmente reemplazando a otros minerales de cobre a partir de fracturas, con textura fibrosa radiada (Fig. 2d). La millerita es muy escasa, fue reconocida en solo una muestra conformando un cristal pequeño en contacto con pecheblenda y rodeado de gersdorffita.

Arseniuros y sulfoarseniuros: La gersdorffita es el sulfoarseniuro más frecuente, se presenta como cristales gruesos, vinculado a niquelina y pecheblenda, también se encuentra, junto con niquelina, como pequeños cristales conformando inclusiones en *fablore* y calcosina, y ocasionalmente constituye finas bandas rodeando cristales de *fablore*, calcosina, bornita y/o niquelina.

La niquelina se presenta vinculada a gersdorffita cuando esta última se encuentra como inclusiones dentro de la *fablore* o calcosina. Asimismo, puede conformar cristales de hasta un centímetro, euhe-

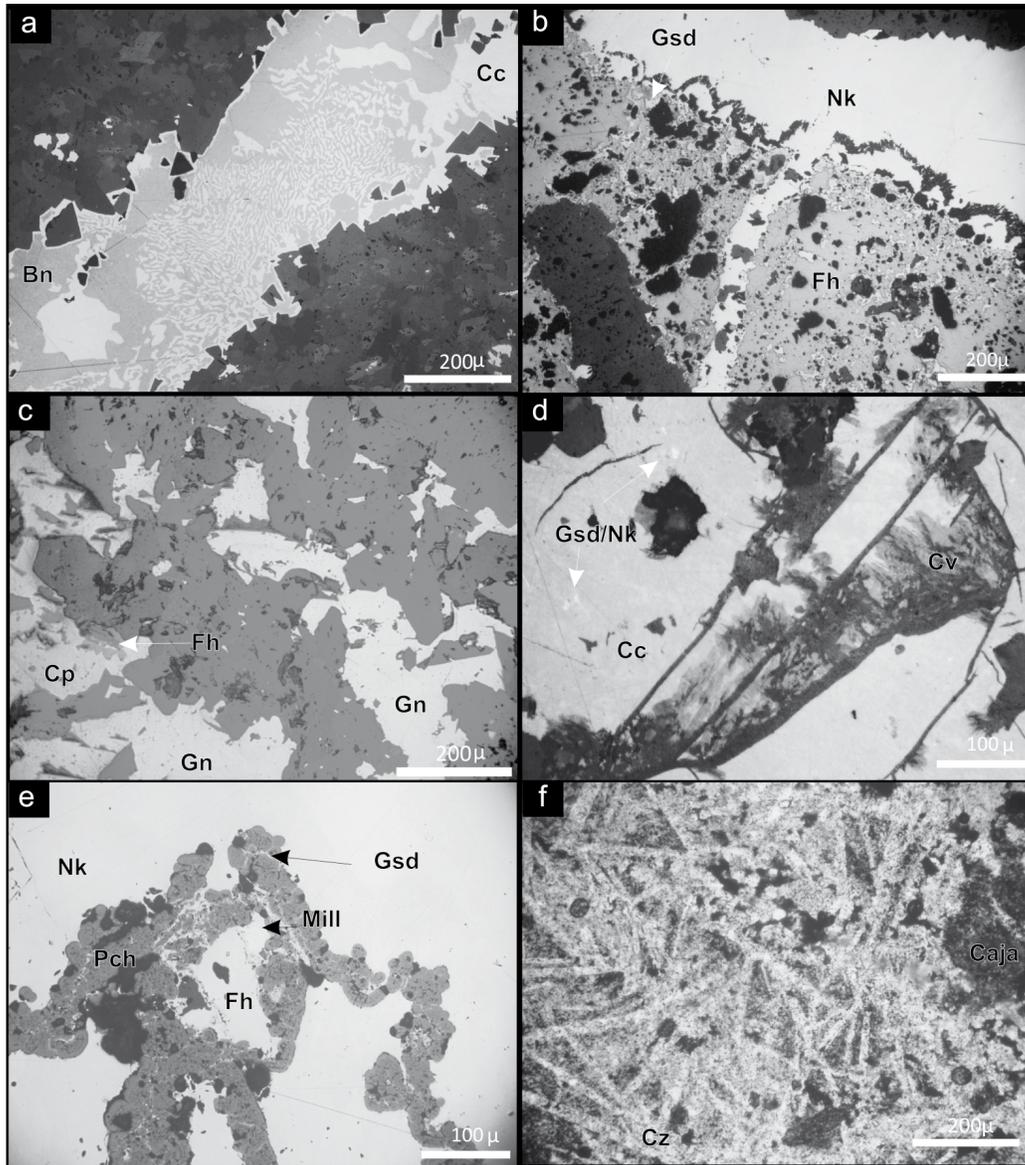


Figura 2: Microfotografías a) Textura mirrequitica entre bornita y calcosina. b) Vetilla de niquelina en *fablore* con desmezclas de gersdorffita. c) Asociación de galena con calcopirita y *fablore*. d) Calcosina con inclusiones de gersdorffita/niquelina, a partir de grietas, reemplazo de covelina. e) Pechblenda de hábito botroidal con grietas rellenas con gersdorffita, rodeando *fablore* y millerita, en niquelina. f) Cuarzo muy fino reemplazando calcita fibrosa. Nk: niquelina; Gsd: Gersdorffita; Pch: Pechblenda; Mill: Millerita; Gn: Galena; Fh: *Fablore*; Cp: Calcopirita; Cc: Calcosina; Bn: Bornita; Cz: Cuarzo.

drales, asociados a gersdorffita, millerita y pechblenda (Fig. 2e). Acompañando esta asociación se han reconocidos pequeños cristales de ullmanita.

Óxidos: La pechblenda se encuentra como agregados microscópicos generando cintas discontinuas con múltiples repliegues, de hábito botroidal que internamente exhiben bandas de crecimiento. Las bandas presentan típicas grietas y fracturas radiales que son rellenas por gersdorffita, que localmente le imprimen una textura brechosa (Fig. 2e).

Minerales de ganga: Los minerales de ganga representados en las vetas corresponden mayormente a carbonatos. Considerando las relaciones de corte, macroscópicas y microscópicas, se reconoce la presencia de cuatro etapas de precipitación de carbonatos. El más abundante es calcita, aunque también se reconoció dolomita, ankerita y siderita en análisis de difracción de rayos X.

El cuarzo es incoloro a blanco, de hábito prismático grueso o como reemplazo de calcita con textura pseudomórfica (Fig.

2f). La baritina, que en algunas vetas alcanza a ser un componente volumétrica-mente muy importante, es de color castaño claro a rojo intenso, de hábito tabular y tamaño centimétrico, en corte delgado exhibe hábito radiado.

Minerales secundarios: Los óxidos e hidróxidos de hierro son muy frecuentes, generados por alteración de sulfuros, se presentan como vetillas o relleno de oquedades. Es frecuente la presencia de malaquita y azurita constituyendo finas vetillas acompañadas de calcita o generando un fino

	Hipogénico			Supergénico	
	Etapas 1	Etapas 2	Etapas 3	Etapas 4	Etapas 5
Gn	■				
Cp	■				
Py	■				
Bn	■		■		
Fh	■		■		
Cc	■		■		
Nk		■			
Pch		■			
Ull		■			
Gd		■			
Gd-Co		■			
Dg			■		
Mill			■		
Cv				■	
Lm				■	
Mal					■
Az					■
Cal	■	■	■		■
Qz	■				
Bar				■	
Side				■	

Figura 3: Paragénesis del depósito polimetálico Purísima-Rumicruz. Etapas 1, 2 y 3 hipogénicas, etapas 4 y 5 supergénicas. Gn: galena; Cp: calcopirita; Py: pirita; Bn: bornita; Fh: falhore; Cc: calcosina; Nk: niquelina; Pch: Pechblendita; Ull: ullmanita; Gd: gersdorffita; Gd-Co: gersdorffita cobaltífera; Dg: digenita; Mill: millerita; Cv: covelina; Lm: limonita; Mal: malaquita; Az: azurita; Car: carbonato; Qz: cuarzo; Bar: baritina.

relleno en oquedades. La covelina se caracteriza por tener textura fibrosa radiada, comúnmente reemplazando calcosina a partir de pequeñas fracturas o grietas en el mineral.

Secuencia paragenética

Sobre la base a las texturas y relaciones de corte entre los minerales identificados en las vetas Purísima, Rumicruz, Liliána, El Brechón, La Nueva y Jesuitas y a modo de síntesis de las características descriptas, se presenta la secuencia paragenética para el distrito Purísima-Rumicruz.

Se reconocieron tres estadios principales de precipitación hipogénica, un cuarto estadio correspondiente con enriquecimiento secundario y un quinto pulso, también de naturaleza supergénica, que removiliza parte de los elementos previamente depositados (Fig. 3). El primer estadio está compuesto por sulfuros de metales base entre los que se encuentran galena, en cristales gruesos euédricos coprecipitando con calcopirita con cristales de bordes redondeados, bornita, *fahllore*, pirita y calcosina. Como ganga acompaña

un carbonato tabular, posiblemente calcita debido a su hábito (reemplazada por un agregado de cuarzo microcristalino) (Fig. 2f), cuarzo en cristales gruesos euédricos y luego, precipitación de otro carbonato fino.

El segundo estadio está compuesto por arseniuros y sulfoarseniuros de Ni - Co y pechblendita. Involucra, niquelina, pechblendita, gersdorffita y escasa ullmanita. Como ganga precipita nuevamente un carbonato. Se han identificado microvetillas de niquelina cortando falhore del primer pulso, este último presenta finas bandas de gersdorffita rodeándolo. La pechblendita posiblemente haya coprecipitado con la niquelina. La gersdorffita se ubica rellenando grietas en la pechblendita (Fig. 2e).

En el tercer estadio la calcosina es abundante, acompañada por calcopirita, *fahllore*, bornita, digenita y millerita. Se registra gersdorffita y niquelina, del segundo pulso como inclusiones en calcosina y *fahllore*. La ganga en este estadio consiste de carbonatos. Esta etapa culmina con un pulso que deposita abundante baritina bre-

chando a las secuencias anteriores.

El cuarto estadio corresponde a un enriquecimiento supergénico, donde se identificó covelina en la zona de cementación e hidróxidos de Fe, posiblemente limonitas de zona de oxidación. Finalmente el quinto estadio se caracteriza por finas vetillas que cortan a toda la secuencia previa, rellenas con calcita supergénica euédrica acompañada de malaquita y azurita formando cristales con textura fibrosa.

DISCUSIÓN

Las vetas que componen el distrito polimetálico Purísima-Rumicruz consisten en brechas con múltiples episodios de brechamiento donde precipitaron rellenos hidrotermales con diversas asociaciones mineralógicas, de las cuales pueden interpretarse variaciones en las condiciones físico-químicas del fluido hidrotermal.

Los pronunciados cambios, principalmente en la composición química del fluido son evidenciados por las texturas de corrosión de los cristales, particularmente característicos sobre los cristales de galena y calcosina. Otra evidencia de estos cambios es la precipitación de arseniuros entre pulsos de sulfuros, fundamentalmente durante el pulso dos, donde la fugacidad del azufre presenta una disminución relativa respecto al arsénico, permitiendo la precipitación de arseniuros. Sin embargo, esta disminución no logró elevar la fugacidad del arsénico para precipitar di o triarseniuros.

La mineralización se caracteriza por tener dos pulsos de sulfuros, principalmente de cobre-plomo, separada por un pulso de sulfoarseniuros de níquel y cobalto, mientras que la ganga está representada principalmente por carbonatos y baritina, el cuarzo es escaso, solo presente en el estadio inicial.

La millerita es un mineral que frecuentemente se forma a partir del níquel de otras especies precipitadas anteriormente, luego de un aporte hidrotermal con alta fugacidad de azufre (Brodtkorb 1965), esta condición es registrada en la tercer etapa. Este reemplazo es probable que haya sido a partir de niquelina o gersdorffita.

A temperaturas elevadas existe un campo extenso de soluciones sólidas de sulfuros de Fe-Cu (e.g. bornita, calcopirita). Cuando la temperatura desciende son comunes las exoluciones (Vaughan y Craig, 1997) como las llamas registradas de calcopirita en bornita. La tendencia de formar estas lamelas es mayor cuanto mayor es el período de enfriamiento. Sin embargo las texturas de desmezclas como las descritas anteriormente, por ejemplo las mirmequitas entre bornita y calcosina, o la calcopirita en llamas dentro de bornita, no son buenos indicadores como geotermómetros (Brett 1964).

Los anillos de covelina rodeando sulfuros hipogénicos pueden generarse debido a procesos supergénicos. Cuando se produce meteorización de sulfuros de Cu-Fe, sucede una extracción preferencial del hierro produciéndose una concentración residual del cobre que genera minerales secundarios como la digenita o covelina (Vaughan y Craig 1997), mientras que el hierro reprecipita como formas oxidadas en fracturas u oquedades.

Purísima-Rumicruz y otros depósitos del NOA como La Niquelina y La Esperanza han sido clasificados como *Five Element Deposits* (Lurgo Mayón, 1999). Kissin (1993) advierte la dificultad para una definición inclusiva a todos los depósitos denominados FED, sin embargo, propone que estos depósitos han de incluir al menos arseniuros de Ni-Co asociado a plata nativa y es recurrente la ausencia de oro. Estos depósitos son raros y escasamente distribuidos en el mundo y, a pesar de ser un tipo de depósito clasificable, no están asociados claramente a una provincia ni época metalogénica (Bagheri *et al.* 2007). Los criterios de clasificación son casi exclusivamente mineralógicos y paragenéticos. Ha sido propuesto un modelo idealizado de precipitación mineral, estableciendo una paragénesis en cinco etapas. La primera consiste en sulfuros (galena, calcopirita, piritita), luego pechblenda, seguida por arseniuros de Ni-Co y plata nativa, continúa una etapa de sulfuros y sulfosales de plata y culmina una etapa estéril de calcita-baritina (Kissin, 1993).

Sin embargo, este esquema ideal rara vez

se presenta manteniendo todas las etapas y preservando este orden. Generalmente las etapas descritas pueden estar incompletas o alterado su orden (Rubinstein y Morello 2006, Bagheri *et al.* 2007, Ahmed *et al.* 2009, Dolníček *et al.* 2009).

Algunas características descritas no se ajustan estrictamente a la definición de los *Five Element Deposits* propuesta por Kissin (1993). En Purísima-Rumicruz ha sido identificado chispas de oro por Brodtkorb (1965); sin embargo, los análisis químicos realizados sobre muestras de las vetas de sulfuros no indicaron contenido apreciable de este elemento (López *et al.* 2008). No se ha reconocido plata nativa ni sulfosales de plata en los estudios de microscopía, no obstante los análisis geoquímicos arrojaron valores de hasta 530 ppm de plata (López *et al.* 2008), indicando la presencia de este elemento en la paragénesis.

CONCLUSIONES

Los estudios mineralógicos confirman y amplían la mineralogía determinada en los estudios previos. La secuencia paragenética del distrito Purísima-Rumicruz comprende cinco etapas de precipitación, tres primarias, (1) galena, piritita, calcosina, fahllore y bornita; (2) niquelina, gersdorffita, pechblenda; (3) calcosina, calcopirita, *fahllore*, bornita, digenita y millerita, una cuarta etapa de enriquecimiento secundario con (4) covelina óxidos e hidróxidos de Fe y una quinta que removiliza los elementos previamente depositados con (5) malaquita y azurita supergénica. La ganga es predominantemente carbonática, y solo en la primera etapa precipitó escaso cuarzo.

Considerando la asociación mineral y los pulsos identificados, encontramos que la mineralogía y paragénesis establecida para el depósito Purísima-Rumicruz es acorde al modelo paragenético de los *Five Elements Deposits*.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento hacia Milka de Brodtkorb quien

gentilmente cedió algunas de las muestras analizadas en este trabajo. Asimismo desean agradecer a Bolland Minera S.A., y también extenderlo a la Comunidad de Rumicruz.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Ahmed, A.H., Arai, S. y Ikenne, M. 2009. Mineralogy and Paragenesis of the Co-Ni Arsenide Ores of Bou Azzer, Anti-Atlas, Morocco. *Economic Geology* 104: 249-266.
- Angelelli, V. 1950. Recursos minerales de la República Argentina I. Yacimientos metalíferos. Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia. Serie Ciencias Geológicas 2: 1-543, Buenos Aires.
- Astini, R.A., Waisfeld, B.G., Toro, B.A. y Benedetto, J.L. 2004. El Paleozoico inferior y medio de la región de Los Colorados, borde occidental de la Cordillera Oriental (provincia de Jujuy). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 59: 243-260.
- Bagheri, H., Moore, F. y Alderton, D.H. 2007. Cu-Ni-Co-As (U) mineralization in the Anarak area of central Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 29: 651-665.
- Brett, R. 1964. Experimental data on the system Cu-Fe-S and their bearing on exsolution textures in ores. *Economic Geology*. 59: 1241-1269.
- Brodtkorb de, M.K. 1965. Estudio de la mineralización del yacimiento "La Esperanza", Provincia de Salta. 2º Jornadas Geológicas Argentinas, V: 25-33, Tucumán.
- Brodtkorb de, M K. 1972. Hallazgo de pechblenda en la Mina Rumicruz, Prov. de Jujuy. 5º Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 63-68, Córdoba.
- Brodtkorb de, M K. 1973. Estudio de la mineralización del yacimiento "La Niquelina", provincia de Salta y un análisis comparativo de sus posibles relaciones con los depósitos "Rumicruz" y "Esperanza". *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 27: 364-368.
- Chomnales R., Vázquez R. y Palou R. 1960. Noticia preliminar sobre la existencia de minerales de Ni en la mina Purísima (Rumicruz), Dto. de Cochínoca, Jujuy. Instituto de geología y minería. 5 p., Jujuy.
- Dolníček Z., Fojt B., Prochaska W., Kučera J. y Sulovský P. 2009. Origin of the Zálesí U-Ni-Co-As-Ag/Bi deposit, Bohemian Massif,

- Czech Republic: fluid inclusion and stable isotope constraints. *Mineralium Deposita* 44: 81-97.
- Kissin, S.A. 1993. Five-element (Ni-Co-As-Ag-Bi) Veins. En Sheahan, P.A., y Cherry, M.E., (Eds). *Ore Models volumen 2*, Geoscience Canada, Series 6, 87-98.
- Lefebure, D.V. 1996. Five-element veins Ag-Ni-Co-As+/(Bi,U). En Lefebure, D.V. y Höy, T. (eds.) *Selected British Columbia Mineral Deposit Profiles*, vol. 2, *Metallic Deposits*. British Columbia Ministry of Employment and Investment, Open File report 1996-13, pp. 89-92, British Columbia.
- López L., Echeveste H. y Schalamuk I. B. 2008. Nuevos aportes en el distrito minero Purísima Rumicruz, provincia de Jujuy. 17° Congreso Geológico Argentino. Actas 1: 607-608, Jujuy.
- López L., Argüello Scotti, A. y Scivetti N. 2011. Depósitos de plataforma interna en la Formación Acoite, sector sur del Cerro Colorado de los Cobres, Jujuy, Argentina. 18° Congreso Geológico Argentino. Actas 2: 607-608, Neuquén.
- Lurgo Mayón C. S. 1999: Depósitos polimetálicos ricos en níquel, cobalto y arsénico de la Cordillera Oriental, Jujuy y Salta. En Zappettini (ed.) *Recursos Minerales de la República Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 999-1004, Buenos Aires.
- Rubinstein N.A. y Morello O. 2006. Las mineralizaciones de la zona del Carrizal, Precordillera Occidental, Argentina. *Boletín Geológico Minero* 117: 379-388.
- Rubiolo, 2003. Hoja Geológica 1:250.000 2366-II/2166-IV. La Quiaca. Provincia de Jujuy. Servicio Geológico Minero Argentino Boletín N° 24, 113 p., Buenos Aires.
- Vaughan, D.J. y Craig, J.R. (1997). Sulfide Ore Mineral Stabilities, Morphologies, and Inter-growth Textures. En Barnes (ed.) *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, Tercera Edición, John Wiley and Sons Inc. Publication, 367-435, New York.

Recibido: 1 de marzo, 2012.

Aceptado: 30 de julio, 2012.