

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y MICROTERMOMETRÍA DEL DISTRITO LOS MELLIZOS (37°20'LS, 70°30'LO), PROVINCIA DE NEUQUÉN

Laura J. SCHENCMAN¹, Pablo R. LEAL¹ y Daniel J. PÉREZ²

¹ Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires (IGEBA). Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). E-mail: jazminsch@gmail.com, leal@gl.fcen.uba.ar

² Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Ciudad Universitaria, Pabellón II. Instituto de Estudios Andinos "Don Pablo Groeber" (IDEAN). E-mail: daniel@gl.fcen.uba.ar

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es la caracterización de una manifestación cuprífera hospedada en la faja plegada y corrida del Agrio (20 km al oeste de Chos Malal, provincia de Neuquén). Dadas las estructuras y texturas que pudieron ser documentadas en la mineralización y la roca de caja, se asigna al yacimiento un origen hidrotermal. Se establecieron dos grupos de minerales: uno primario de sulfuros de hierro y cobre y uno secundario de óxidos e hidróxidos, con cantidades subordinadas de carbonatos y silicatos. La interacción con la roca de caja es escasa y se limita a una parcial sericitización, con menores proporciones de óxidos de hierro y carbonatos. En función de la disposición espacial de la mineralización y la geometría de las vetas se determinó que el principal metalotecto de la manifestación fueron estructuras subverticales. A partir del análisis textural del depósito se reconocieron tres eventos de deformación, que afectaron tanto a la roca de caja como a la mineralización. Estudios microtermométricos realizados sobre carbonatos de los estadios finales evidenciaron temperaturas de entrapamiento de 95,4 °C en promedio.

Palabras clave: *Anomalía de cobre, inclusiones fluidas, Cuenca Neuquina*

ABSTRACT

Geological characterization and microthermometry of the Los Mellizos ore deposit (37°20'LS, 70°30'LO), Neuquén Province.

The aim of this paper is the characterization of a copper mineralization located in the Agrio fold and thrust belt (20 km to the west of Chos Malal, Neuquén Province). Analyzing the structures and textures that could be researched in the mineralizations and the bed rock, we deduced a hydrothermal origin for the deposit. We had determined two assemblages: a primary one of iron and copper sulphids, and a secondary one of oxides and hydroxides, with minor quantity of carbonates and silicates. The interaction with the bed rock is limited to a partial sericitic alteration, with subordinated amount of iron oxides and carbonates. In relation to the spatial distribution of the mineralization and the vein's geometry, we had determined that the main control of the deposit were subvertical structures. After a textural analysis of the mineralization we recognized three deformation events, which affected the bed rock and the ore deposit. The microthermometric studies made over carbonates from the latest stages of the mineralization process had showed a trap temperature of 95.4 °C as an average.

Keywords: *Copper anomaly, fluid inclusions, Neuquén Basin*

INTRODUCCIÓN

El área de estudio se encuentra al noroeste de la provincia de Neuquén, aproximadamente a 20 kilómetros en línea recta hacia el oeste de la ciudad de Chos Malal (Fig. 1). La zona está comprendida entre los paralelos 37°22'30"S y 37°16'30"S, y los meridianos 70°24'00"O y 70°26'50"O. La presente contribución se sitúa en el distrito minero Los Mellizos ubicado unos pocos kilómetros al sur de la cordillera del

Viento, entre el arroyo Chacay Melehue al norte y el río Neuquén al sur (Fig. 1a).

La Cuenca Neuquina, mejor conocida como productora de hidrocarburos, posee vastas manifestaciones minerales que han sido estudiadas desde principios del siglo XX por numerosos autores. El primer trabajo relativo a las mineralizaciones cupríferas de la Cuenca Neuquina corresponde al realizado por Rassmuss (1922), quien describió impregnaciones de cobre al norte del río Neuquén producto de la acción

volcánica de las andesitas de la Sierra de Huantraico. Posteriormente, Wichmann (1927) estudió las manifestaciones de cobre en los "Estratos con dinosaurios" (Grupo Neuquén). Sgross (1933) advirtió la presencia de vetas en la región de Picún Leufú en las proximidades del cerro Bayo Mesa. Luego, Fernández Aguilar (1945) realizó un análisis de las manifestaciones de cobre en la zona de Plaza Huincul entre los ríos Neuquén y Picún Leufú a fines de estimar su potencial pa-

ra ser explotado. En la misma zona se encuentra un trabajo realizado por Granelo Hernández y Schmid (1956). Respecto a las manifestaciones cupro-uraníferas al sur del río Neuquén se encuentran los aportes efectuados por Latorre (1962a, 1962b). En el marco del Plan Cordillerano, se cuenta con los trabajos de Nuñez (1968) y Soto *et al.* (1968), en los cuales se estudiaron las manifestaciones de Barda Negra y Balsa Huitrín, proponiéndose un origen hidrotermal para dichas manifestaciones. Cabe destacar los trabajos realizados por Del Vo y Davids (1962), Beluco *et al.* (1974) y Moreno y Pujol Ferré (1962) en los que se analizaron los yacimientos de uranio de la región de los Chihuidos, estrechamente asociados a los depósitos cupríferos. Años más tarde, Ramos (1975) estudió una serie de manifestaciones cupríferas ubicadas al este del meridiano 70 donde postuló un fuerte control tectónico y una asociación a cambios climáticos. Posteriormente, se encuentran los aportes realizados por Franchini y Malvicini (1998) quienes analizaron la asociación de skarns de cobre y pórfiros cupríferos en la Cordillera Principal dentro de la provincia de Neuquén. Luego, Lyons (1999) realizó un estudio de las areniscas cupríferas comprendidas en el sector central de dicha provincia. Por último, se encuentra un trabajo reciente de Giusiano *et al.* (2009) en el que se planteó una relación genética entre los depósitos de cobre alojados en el Grupo Neuquén y los yacimientos de hidrocarburos presentes en la zona de la dorsal de Huincul.

A diferencia de la mayoría de las manifestaciones de Cu, U y V antes mencionadas, las aquí estudiadas adquieren particular interés gracias a su estructura vetiforme en clara discordancia con la roca de caja que las hospeda (Formación Tordillo). En este contexto resulta difícil vincular a Los Mellizos con las manifestaciones de cobre típicas de la región puesto que no poseen coincidencias morfológicas ni paragenéticas. Al mismo tiempo, este trabajo complementa los estudios realizados previamente en el área (Granelo Hernández y Nieniewski 1953, Barrionuevo y Nieniewski 1955 y Bassi *et al.* 1985) efectuan-

do un análisis detallado de la mineralogía y el estudio microtermométrico sobre la ganga más importante del yacimiento.

Sobre la base de estas premisas el objetivo de este trabajo es la caracterización metalogenética del distrito Los Mellizos. Para este cometido se detalla la ubicación geográfica de cada manifestación, la petrografía de la roca de caja, la alteración sobreimpuesta, la caracterización mineralógica, la secuencia de precipitación y los estudios microtermométricos. Finalmente, a partir de estos resultados se discuten los posibles procesos geológicos que dieron origen a esta anomalía.

METODOLOGÍA

Para realizar el trabajo de mapeo correspondiente al área fueron necesarias dos campañas, el empleo de imágenes satelitales y la cartografía geológica realizada por Zöllner y Amos (1973), Ramos (1975) y Bassi *et al.* (1985). Los datos fueron proyectados bajo el dátum WGS84 en un sistema de coordenadas geográficas. Los análisis químicos efectuados para este trabajo se realizaron en el Centro de Microscopía Avanzada de la Universidad de Buenos Aires, mediante un Microscopio *Field Emission SEM* (FESEM, Zeiss-Supra 40) con un detector de EDS (*Energy Dispersing Spectroscopy*), marca Oxford Instruments, modelo Inca X-Sight. La capacidad de detección de este instrumento es de 0,1 % en peso de cada elemento con volumen de interacción mínimo de un micrón. Los estudios petrográficos y calcográficos fueron realizados con técnicas convencionales que no requieren mayores especificaciones. Las inclusiones fluidas se estudiaron sobre cristales de calcita mediante esquirilas para evitar pérdidas de fluidos durante la elaboración de láminas bipulidas. Las determinaciones se realizaron empleando una platina de calentamiento/enfriamiento Linkam (cuyo intervalo de temperatura es de -180 a 600 °C) calibrada al comienzo y al final de la toma de datos mediante muestras estándares. La misma se encuentra adosada a un microscopio Leica DMLP (Departamento de Ciencias Geológicas - UBA)

que posee además una cámara fotográfica Sony-Cybershot DSC-P2000 mediante la cual se obtuvo el registro fotográfico.

MARCO GEOLÓGICO

La zona forma parte de la provincia geológica correspondiente a la Cuenca Neuquina según fue originalmente definida por Braccini (1970) y comprende la región extraandina de Neuquén y sur de Mendoza (Herrero Ducloux 1946).

Es de común acuerdo que la cuenca neuquina tuvo su origen en el Triásico Tardío como resultado de un evento de extensión de intraplaca continental. Entre el Triásico Tardío y el Cenozoico se desarrolla como cuenca y en este período pueden identificarse tres etapas principales: una etapa inicial de rift, una etapa de subsidencia por enfriamiento (postrift) y, por último, el desarrollo de una cuenca de antepaís (Howell *et al.* 2005).

En la zona de estudio la columna estratigráfica comienza con remanentes de la fase de postrift (Jurásico Temprano - Cretácico Temprano), cuando se desarrolla una zona de subducción activa en el margen oeste que genera un arco magmático andino (Franzese *et al.* 2003). Como consecuencia de la subducción se incrementa la subsidencia en el retroarco lo que permite un mayor ingreso del mar y la inundación de la cuenca por parte del proto-Pacífico (Spalletti *et al.* 2000, Macdonald *et al.* 2003). Dichas secuencias son interpretadas como una compleja serie de regresiones/transgresiones de magnitud variable, controladas por diversos factores (subsidencia, levantamiento localizado, oscilaciones del nivel del mar, etc.). En el Jurásico Tardío comienza un período de inversión tectónica, que hacia el final coincide con la depositación de sedimentos marinos y evaporíticos. Dichos depósitos conforman la secuencia Loteniana - Chacayana, la que incluye las Formaciones La Manga, Barda Negra y Auquillo (Fig. 1b). Durante el Oxfordiano - Kimmeridigiano se produce un segundo período de inversión, que afecta algunas de las estructuras preexistentes, restringe la cuenca y es en este lapso en que se depo-

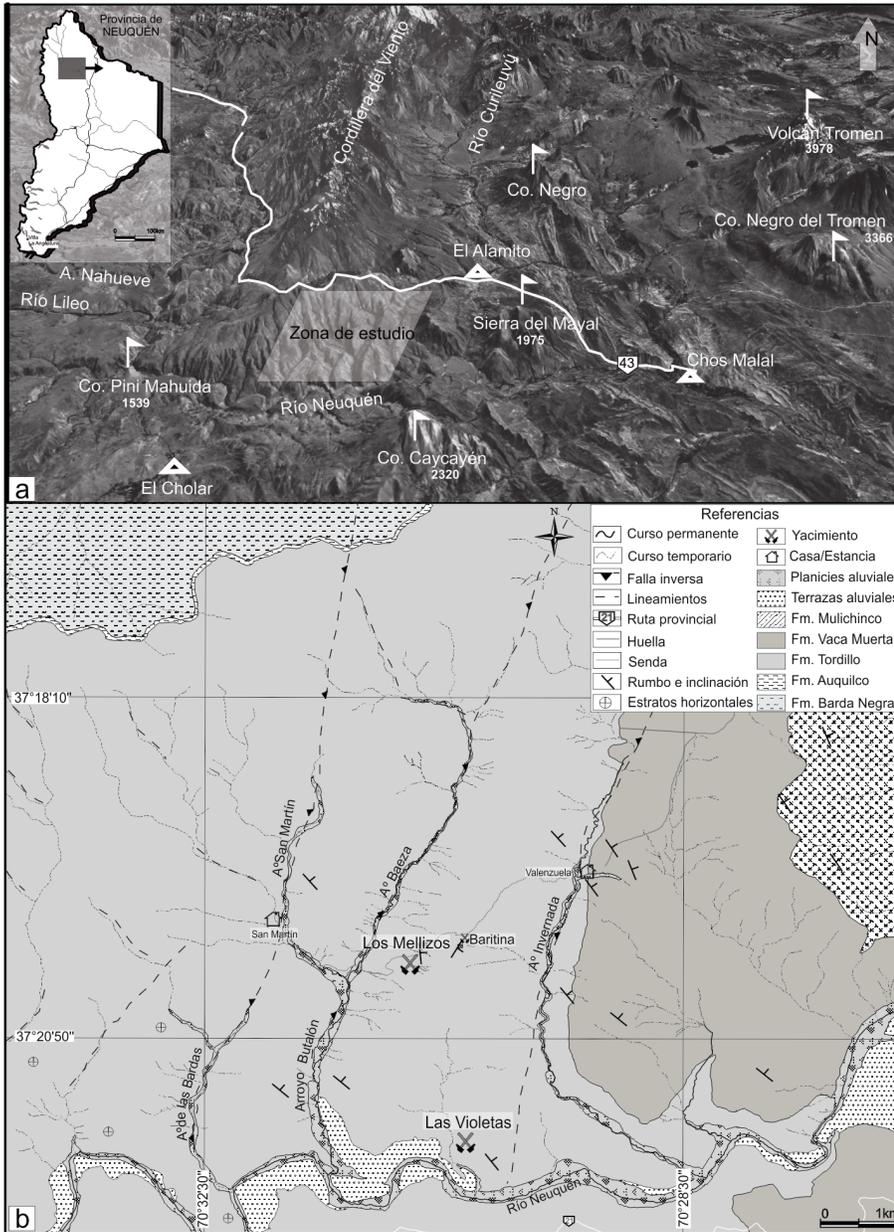


Figura 1: a) Esquema del distrito Minero Los Mellizos y sus alrededores. b) Mapa geológico de detalle del Distrito Minero Los Mellizos, donde se encuentran indicadas las labores mineras identificadas.

sita la Formación Tordillo (Fig. 1b). La invasión marina y la expansión de la cuenca están reflejadas en el Grupo Mendoza (Gulisano *et al.* 1984). Durante el Valanginiano se produce un cambio en la subsidencia, interrumpiéndose la sedimentación marina. En el sector este de la cuenca se encuentran depósitos fluviales (areniscas calcáreas y pelitas) interdigitadas hacia el norte con pelitas marinas y carbonatos que conforman la Formación Mulichinco (Fig. 1b). En la fase de compresión (Cretácico Tar-

dío - Cenozoico) la cuenca se encontraba muy expandida por lo que llega a fusionarse con otras cuencas aledañas, conformando un único y extenso depocentro (Franzese *et al.* 2003). Al mismo tiempo se produce un ascenso del nivel del mar a escala global, lo que permite el ingreso del océano Atlántico y genera los depósitos marinos someros (Barrio 1990). Una disminución del ángulo de subducción provoca una subsidencia flexural y compresión (Vergani *et al.* 1995) que produce acortamiento cortical (45-57 km),

el levantamiento de la faja plegada y corrida del Agrio (Introcaso *et al.* 1992, Ramos 1999, Ramos y Kay 2006) y la migración del arco magmático hacia el este. Al cambiar el régimen tectónico de extensivo a compresivo se invierten las estructuras preexistentes generando sistemas depositacionales fuertemente controlados por los esfuerzos compresivos. La región neuquina actúa, durante esta etapa, como cuenca de retroarco; se producen variaciones en la forma y tamaño, además de la migración hacia el este de los depocentros (Franzese *et al.* 2003). El levantamiento de la cadena montañosa al oeste conlleva la depositación de más de 2000 m de sedimentos de origen continental los que conforman los grupos Rayoso y Neuquén (Legarreta y Uliana 1991, 1999, Vergani *et al.* 1995).

De la secuencia previamente resumida la Formación Tordillo adquiere particular interés puesto que constituye la roca de caja de la manifestación bajo estudio. Fue definida por Groeber (1946) como Tordillense y luego, Stipanovic (1966) la denominó formalmente Tordillo y de este modo fue adjudicado al Preándico. Las litologías dominantes de esta formación son areniscas y conglomerados, encontrándose en menor proporción arcilitas dentro de areniscas y tufitas (Leanza *et al.* 2006, Zöllner y Amos 1973). Spalletti *et al.* (2008) a partir del estudio de las distintas litologías vinculan a esta unidad con un ambiente de sedimentación continental de ríos anastomosados (proximales y distales), así como también depósitos de llanuras pedemontanas. Las arcilitas que se encuentran en el techo de la secuencia serían producto de la depositación en un ambiente lacustre (Leanza *et al.* 2006). Si bien esta formación está ampliamente representada en el área de este trabajo, dada la cubierta regolítica y la vegetación, los perfiles mejor expuestos se encuentran en los valles de los arroyos Butalón y La Invernada (Fig. 1b).

DISTRITO LOS MELLIZOS

Para caracterizar a las manifestaciones del área de estudio se describen la geometría

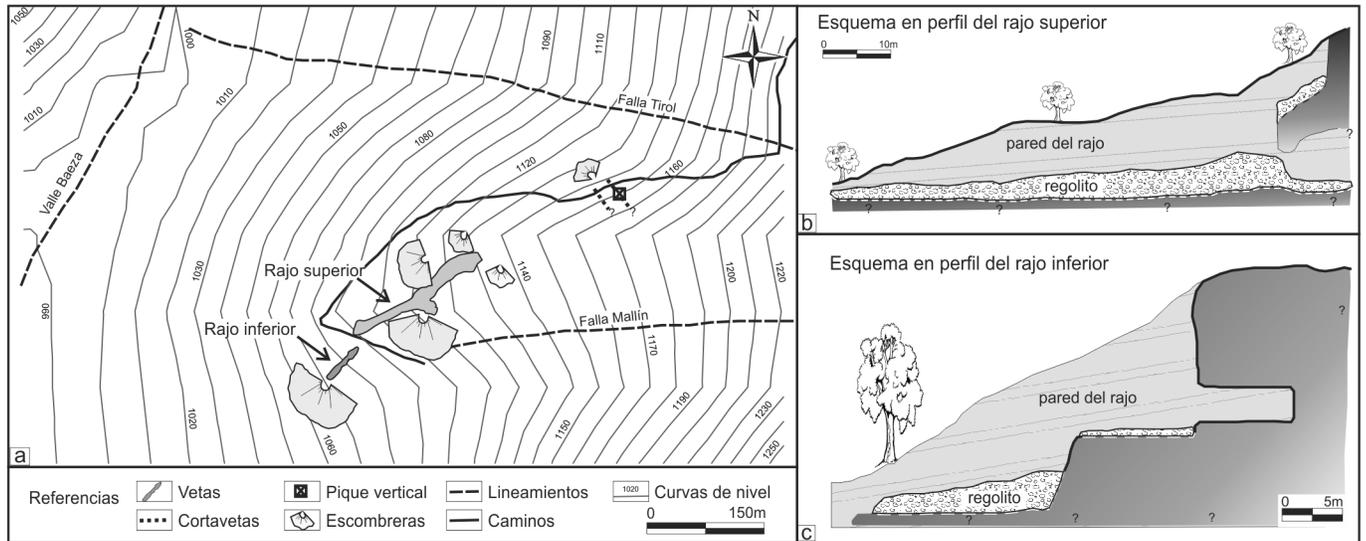


Figura 2: a) Esquema de mina Los Mellizos donde se encuentran las manifestaciones cupríferas de mayor relevancia. Se observan los rajos principales, las labores menores, la topografía local y las estructuras más importantes según fueron nombradas por Bassi *et al.* (1985). b) Perfil del rajo superior en el que se observan las dimensiones del mismo y la galería subterránea encontrada en la base. c) Esquema del rajo inferior de la Mina Los Mellizos.

de los rajos encontrados, su relación con la estructura, la roca de caja, las paragénesis y la secuencia de cristalización.

Morfología de los rajos

Dadas las dimensiones de la mineralización, algunas anomalías se manifiestan como pequeños asomos que tienen la roca de caja y no cuentan con labores. Algunas de ellas, previamente mencionadas por Bassi *et al.* (1985) en los alrededores del distrito Los Mellizos, no fueron localizadas dada su reducida extensión. Por el contrario, dentro de las manifestaciones de mayor envergadura se destacan Los Mellizos y Las Violetas, siendo la primera de ellas la de mayores dimensiones.

En la mina Los Mellizos se reconocen dos rajos de mayor desarrollo (denominados inferior y superior por su diferencia topográfica) y pequeños asomos observables gracias a la presencia de cortavetas y piques verticales (Fig. 2a). El rajo superior conforma la expresión principal de la mineralización. Es subvertical y presenta dos rumbos dominantes: N 74° E en el tramo sur y N 30° E en el sector norte. En el lugar donde se encuentra el cambio de rumbo se produce una somerización del rajo. El ancho de la labor varía entre 7 y 20 metros. El desnivel existente entre el terreno y la base del rajo no presenta variaciones de importancia, siendo el valor

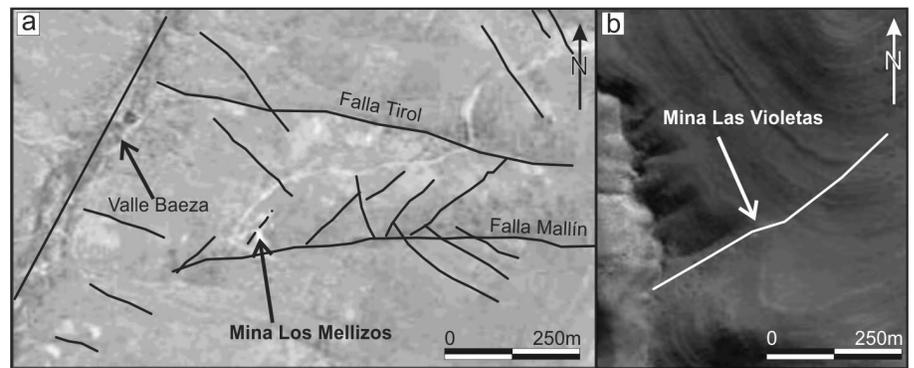


Figura 3: a) Imagen satelital en la que se muestran los lineamientos presentes en el área de la mina Los Mellizos. En línea punteada se indica el lineamiento supuesto que coincide con la veta principal de la mineralización. b) Imagen satelital del área de la mina Las Violetas donde se indica el lineamiento coincidente con las vetas.

medio 7 metros. No obstante, la cubierta regolítica de la base del mismo impide conocer la potencia de la veta y su continuación en profundidad. En el perfil realizado se observa la presencia de una galería subterránea cuya extensión no pudo determinarse por el colapso del techo (Fig. 2b). El rajo inferior es más pequeño, tal como se encuentra representado en la figura 2c. Al igual que el rajo superior, su inclinación es subvertical y su rumbo es norte 35° este.

Es importante destacar que debido a su explotación la morfología de esta mina sufrió modificaciones que impiden reconocer las geometrías originales. Bassi *et al.*

(1985) en la mina Los Mellizos describen una mineralización vetiforme y diseminada donde discriminan dos vetas subparalelas separadas entre sí a una distancia que varía de 100 m a 20 metros. En ese momento reconocieron laboreos de escaso desarrollo vertical (20-30 m a partir de la superficie), donde pudieron observar una zona de oxidación y una de cementación. Según los autores, la veta norte se observaba en dos afloramientos aislados: un cortaveta y una guía delgada. La veta sur conformaba la manifestación de mayor importancia del distrito minero. Los trabajos realizados por Barrionuevo y Nieniewski (1955) y por Granero Her-

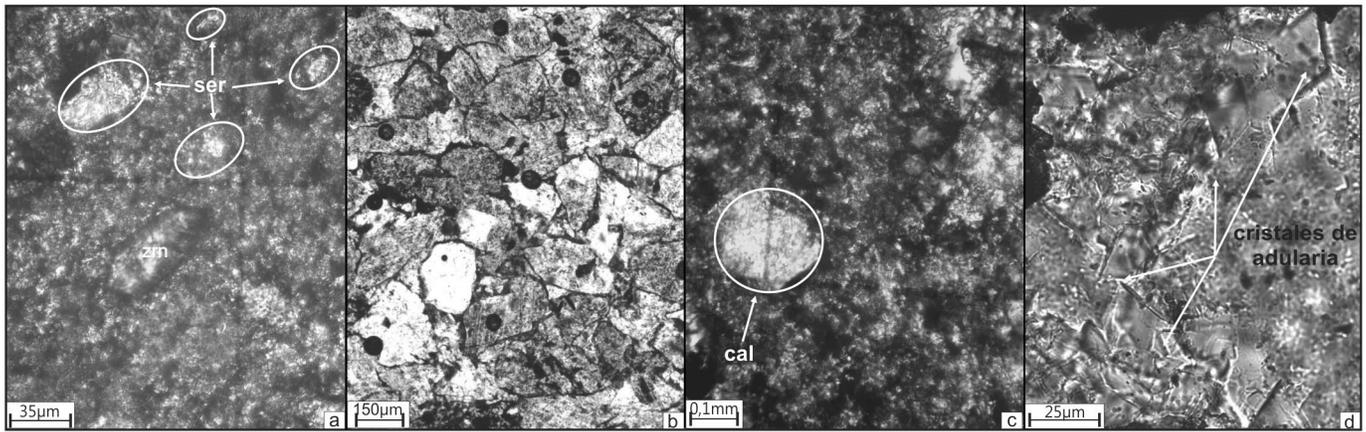


Figura 4: a) Fotografía en la que se observa un parche conformado por filossilicatos y un cristal de circón. b) Fotografía donde los minerales opacos se encuentran cubriendo los contornos de los clastos y tiñendo la matriz. c) Fotografía en la que se observa un parche de carbonatos. d) Fotografía donde se observa una cavidad rellena por cristales de adularia. Las abreviaturas de los distintos minerales siguen la norma internacional propuesta por Kretz (1983).

nández y Nieniewski (1953) son previos a la explotación minera del área, por lo tanto, las observaciones realizadas por ellos son difícilmente correlacionables con las que pudieron ser efectuadas en el año 2010. Cabe destacar que Granero Hernández y Nieniewski (1953) observaron que los minerales metalíferos constituyen lentes alargados discontinuos, que en sectores presentan estructuras brechosas con trozos de roca de caja. Por último, en el trabajo realizado por Barrionuevo y Nieniewski (1955) se menciona la presencia de pequeños laboreos (alrededor de 13 en total) y de fallas transversales a las vetas. Sin embargo, estas estructuras menores no pudieron ser identificadas en este trabajo ya sea por el importante avance en la explotación o por la cubierta de derrubio que se extiende sobre la ladera del cerro. Por otra parte, la mina Las Violetas se encuentra ubicada en las cercanías del río Neuquén, y está conformada por dos piques de escaso desarrollo, los que denominamos pique Este y pique Oeste. Las galerías existentes tienen largos que no superan los 2 m y alturas máximas de 1,5 metros. El rajo Este sigue un plano de falla con rumbo N 45° E y el Oeste uno de rumbo N 50° E, ambos subverticales.

Estructura local

En el área de estudio se encuentran una serie de lineamientos de diversas edades (Fig. 3). El lineamiento coincidente con el valle del arroyo Baeza correspon-

CUADRO 1: Resultados de los análisis realizados con EDS en agregados botroidales de crisocola.

Muestra	Valor teórico*	B3(8)	B5(1)	Ca(1)	Ca(2)	Ca(3)	Ca(4)
O	45,06	34,09	30,48	47,41	36,37	34,29	35,09
Si	17,1	21,11	14,26	21,28	24,15	25,74	22,16
Al	2,05	1,29	1,04	0,42	0,71	0,83	0,88
Cu	33,86	38,29	42,65	30,53	38,13	38,74	41,19
H	1,92	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ca	n.d.	0,96	0,56	0,37	0,64	0,4	n.d.
Fe	n.d.	4,27	11	n.d.	n.d.	n.d.	0,67
Total	100	100	100	100	100	100	100

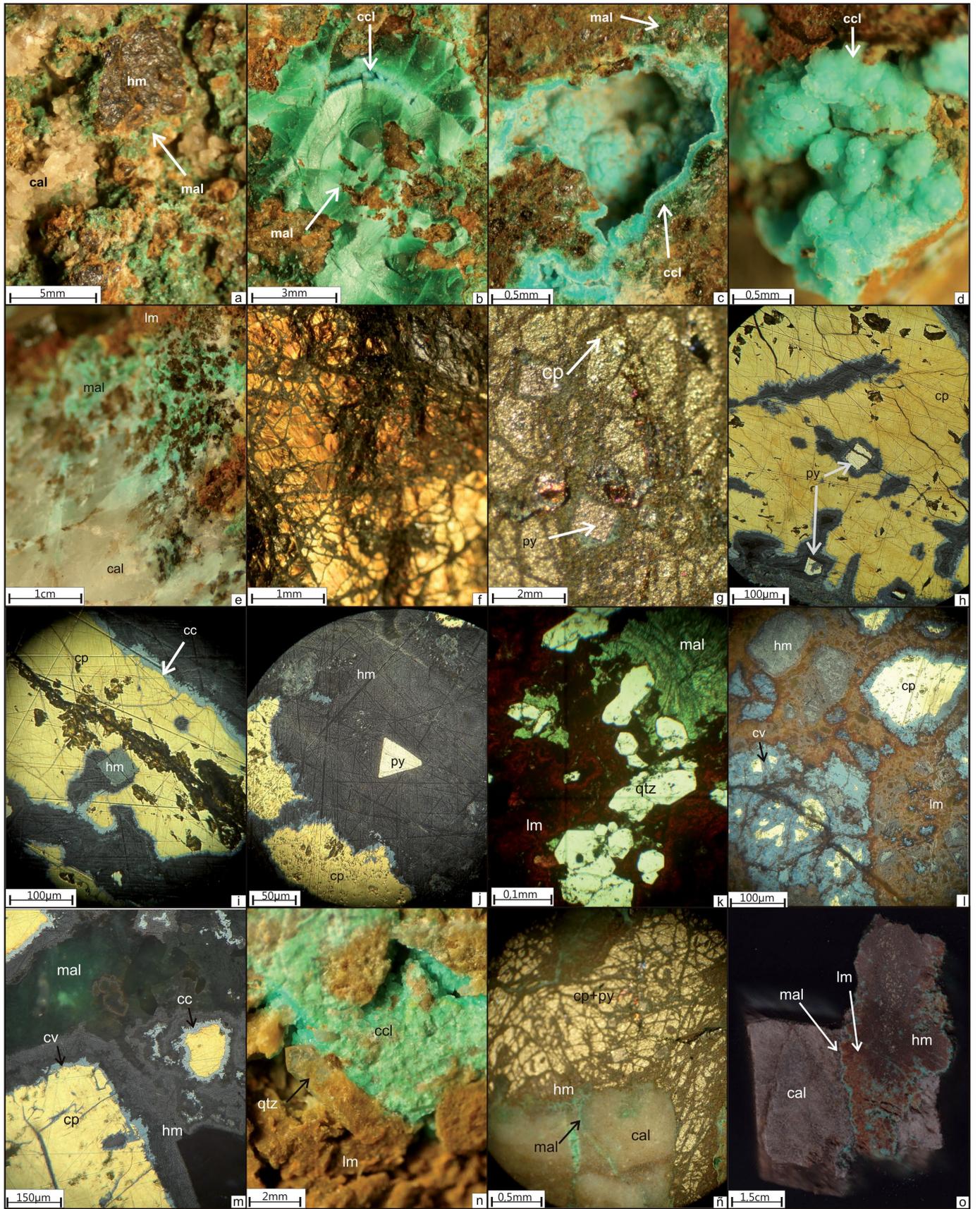
Los valores representan los porcentajes en peso de los elementos. *Extraído de Mandarin y Back (2004).

de a la última etapa de deformación de la zona, por lo que constituye así un factor geomorfológico de relevancia, y que es identificado en el campo. Por otra parte cabe destacar la presencia de dos fallas de rumbo E-O, indicadas en la figura 2a con las denominaciones otorgadas por Bassi *et al.* (1985). En último lugar se observan dos direcciones dominantes de lineamientos más antiguos con rumbos NO-SE y NE-SO, los que no poseen una clara expresión en superficie y son sólo identificables mediante imágenes satelitales. Aquellos de rumbo NE-SO coinciden con la orientación dominante de las vetas de mayor relevancia halladas en la zona (Los Mellizos y Las Violetas, Fig. 3). En el trabajo realizado por Bassi *et al.* (1985) se sugiere que, dentro de la mina Los Mellizos, las fallas de rumbo E-O son más antiguas que las de rumbo NE-SO. Las primeras presentan rechazos de 50 m (la del norte) y 10 m (la del sur) según

lo observado en las labores subterráneas. Dichos autores reconocen en la veta Norte un solo plano de falla, donde el bloque Este es el hundido, en tanto que en la veta Sur hallaron un grupo de fracturas que controlan la mineralización. Barrionuevo y Nieniewski (1955) observaron una serie de fallas con diversos rumbos e inclinaciones que cortan a la veta de la mina Los Mellizos. Estas serían de pequeña extensión y no se preservaron debido a la explotación de la misma.

Roca de caja

Como se mencionó anteriormente la roca de caja está conformada por areniscas rojizas, ampliamente distribuidas en la zona de estudio, correspondientes a la Formación Tordillo. Su color típico está asociado a minerales opacos que se hallan en proporciones que varían entre un 2 % y un 8 % del volumen total de roca, donde rellenan cavidades, tiñen su ma-



triz y reemplazan los bordes de los clastos (Fig. 4b). Estos opacos forman agregados criptocristalinos de tonalidades castañas rojizas compuestos principalmente por óxidos e hidróxidos de hierro. Su distribución areal no sigue un patrón determinado puesto que se extienden más allá de las zonas mineralizadas.

En las inmediaciones de las manifestaciones se evidencia un cambio en la coloración hacia tonalidades castañas – anaranjadas que conforma una franja de aproximadamente 50 m alrededor del rajo y que se debe a la alteración o relleno de cavidades de la roca de caja con minerales secundarios.

Las especies secundarias presentes en las areniscas se estudiaron microscópicamente sobre muestras tomadas de las paredes del rajo de la veta principal de Los Mellizos. Entre ellas se reconocieron sericita, carbonatos, opacos y cantidades accesorias de posible adularia (Fig. 4 a, c y d). La sericita posee una distribución espacial directamente asociada a la geometría de las vetas donde ocupa alrededor del 80 % del volumen de la roca, alterando principalmente a la matriz y en menor proporción a los clastos de feldespatos (Fig. 4a). Como productos de relleno se observan agre-

gados de carbonatos, opacos y diminutos cristales aislados de adularia. En conjunto estos últimos representan aproximadamente el 1 % del volumen de la roca (Fig. 4c). En cuando a los minerales opacos no es posible discriminar respecto de los óxidos diagenéticos heredados de la roca de caja y los que resultaron del proceso mineralizador. La presencia de adularia se estimó, dada su baja proporción, solo a partir de las propiedades ópticas de cristales con formas romboidales, baja birrefringencia y tamaños inferiores a los 0,045 milímetros (Fig. 4d).

En base a las observaciones realizadas resulta evidente que el proceso mineralizador generó escasos productos secundarios en un área muy restringida. La alteración se limita a una sericitización cuya intensidad depende al mismo tiempo de la proporción de material fino (matriz) que posee la muestra y del contenido de feldespatos de las areniscas. Según Hemley y Jones (1964) la estabilidad de los feldespatos, micas y arcillas está controlada por la hidrólisis, en los que una serie de cationes (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , entre otros) son transferidos desde las fases sólidas a la solución, en tanto que H^+ entra a la estructura de los minerales para formar filosilicatos a temperaturas menores a los 300 °C.

Estudios geoquímicos preliminares sobre muestras de la roca de caja tomadas a distancias variables de los rajos (en superficie) no evidenciaron importantes cambios en la concentración de sus elementos mayoritarios, hecho que sustenta la hipótesis de que el proceso mineralizador no afectó a la roca de caja más allá de pocos metros (Schencman 2012).

Mineralogía de las vetas

En el conjunto de muestras halladas en las inmediaciones de las vetas de las minas Los Mellizos y Las Violetas se encuentran agregados minerales relacionados con la mineralización que conforma el tema central de este trabajo. Para realizar un estudio de los mismos, su génesis y el significado de ellos en torno al ambiente en que fueron generados, se describen los diferentes minerales encontrados, la forma en que se hallan dispuestos

y la abundancia en que se los observa.

Malaquita: Se presenta con su característica color verde en proporciones variables con porcentajes que oscilan entre un 2 y un 5 %. Este mineral se encuentra en finos agregados en torno a núcleos de óxidos (Fig. 5a), conforma pátinas en las superficies de las muestras, tapiza pequeñas cavidades (con agregados cristalinos de hábito radial cuyo radio oscila entre 1 mm y 3 mm), rellena delgadas venillas del orden del milímetro y/o tiñe la roca de caja. Los cristales dispuestos radialmente tienen dos tamaños diferentes, uno más abundante distinguible bajo lupa donde se reconocen cristales de formas prismáticas, y otro más escaso cuyos individuos no pudieron ser diferenciados aún bajo la lupa binocular (Fig. 5b).

Crisocola: Conforman pátinas en la superficie de algunas muestras o rellena cavidades de pocos milímetros en cantidades accesorias (<1 %). En la mayoría de las muestras aparece intercrecida en agregados con malaquita (Fig. 5b) o como fase posterior. Se la observa de color celeste claro-turquesa, en agregados cristalinos de hábito botroidal (Fig. 5c y d). Los individuos que forman dichos agregados sólo se reconocen bajo lupa binocular y en ninguna muestra desarrollan tamaños superiores a 5 décimas de milímetro. El cuadro 1 muestra los resultados de los análisis semicuantitativos realizados con EDS sobre los agregados botroidales de crisocola, junto a la composición teórica del mineral. Los resultados obtenidos no sólo sustentan la determinación óptica si no que también sugieren el reemplazo parcial de Cu por Ca y/o Fe en la mayoría de los agregados analizados. Cabe destacar que dada la incapacidad de determinar átomos ligeros (como el hidrógeno) mediante la técnica empleada (EDS) y la presencia de protones, oxidrilos y agua en la estructura de esta especie, resulta difícil balancear los valores obtenidos sobre la base del número de oxígenos por celda unidad y así obtener la fórmula exacta de cada cristal.

Calcita: Rellena pequeñas cavidades y/o forma venas de decenas de centímetros de espesor que en algunos sectores constituyen el cemento de brechas con clas-

Figura 5: Fotografía tomadas bajo lupa, microscopios de refracción y reflexión en las que se observan: a) Núcleos de hematita cubiertos por pátinas de malaquita. b) Agregados radiales de malaquita acicular, con una delgada capa de crisocola en el borde. c) Cavidad tapizada por malaquita y crisocola. d) Agregados botroidales de crisocola. e) Calcita con inclusiones mecánicas de malaquita. f) Calcopirita fracturada y reemplazada por venillas de hematita. g) Pirita en contacto con malaquita, agregados de hematita y cristales de calcopirita. h) Pirita incluida completamente en un cristal de calcopirita. i) Calcosina alterando en halo un cristal de calcopirita. j) Pirita y cristales de calcopirita separados por un agregado de hematita. k) Agregados radiales de malaquita, cristales euhedrales de cuarzo y agregados de limonitas. l) Calcopirita alterada a covelina en matriz de limonitas. m) Cristales de calcopirita con alteración a covelina y a calcosina. n) Cristal de cuarzo y agregados de crisocola. ñ) Cristal de calcita de la primera generación en contacto con agregados de hematita y limonitas; afectado por una venilla de malaquita. o) Se observa la relación espacial entre la hematita, la limonita, la malaquita y la calcita de la segunda generación. Las abreviaturas de los distintos minerales siguen la norma internacional propuesta por Kretz (1983).

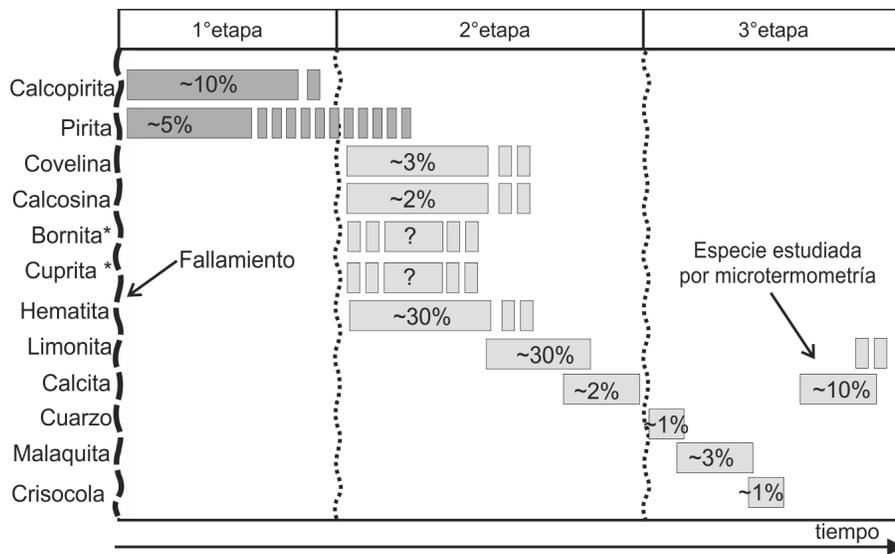


Figura 6: Secuencia de precipitación de los minerales encontrados en las minas Los Mellizos y Las Violetas. Las líneas punteadas separan tres etapas de mineralización identificadas según la disposición de las sucesivas especies, mientras que las barras de color gris oscuro y gris claro representan a los minerales primarios y secundarios respectivamente. Los minerales identificados con (*) corresponden a aquellos descritos en Bassi *et al.* (1985) que no pudieron ser identificados en las muestras recolectadas.

tos de la roca de caja. En este último caso se encuentran fragmentos de cristales de forma romboédrica, con tamaños que alcanzan los 5 cm con tonalidades blanquecinas a castaño-amarillentas (Fig. 5a). Cuando estos carbonatos rellenan pequeñas oquedades ocupan entre un 70 % y un 10 % del volumen de dicha cavidad. En algunas muestras se distinguen inclusiones mecánicas de malaquita que le confieren tonalidades verdosas (Fig. 5e), en otras los cristales adquieren color negro con brillo mate debido a inclusiones mecánicas de óxidos (manifestación Los Mellizos).

Calcopirita: Se la encuentra en porcentajes que oscilan entre el 2 % y el 10 %. Conforma pátinas sobre agregados de otras especies y pequeños cristales de tamaño promedio de 3 mm (Fig. 5f). El color de estas pátinas en fractura fresca es el característico amarillo anaranjado con brillo metálico, en tanto que en superficies de exposición se la observa con tonos castaños y brillo submetálico.

Piritita: Se la distingue en cortes petrográficos como pequeños cristales de secciones cuadradas y tamaño promedio de 0,3 mm en cantidades accesorias. Bajo lupa se observan individuos de hábito cúbico, color amarillo pálido y brillo metálico (Fig.

5g), inmersos en una masa conformada por óxidos e hidróxidos de hierro. Dado su reducido tamaño y la baja cantidad de sulfuros que se preservan en este distrito resulta difícil discriminar macroscópicamente entre esta especie y la calcopirita para estimar el grado de abundancia de cada una. No obstante, mediante el estudio de los pulidos calcográficos se la identifica en proporciones cercanas al 12 %, donde la mayoría de los individuos se encuentran leve a moderadamente alterados a hematita (Fig. 5h).

Hematita: Esta especie se encuentra formando agregados microcristalinos que se reconocen por su color negro, brillo submetálico y raya de tonalidades rojizas (Fig. 5a). Se trata de la variedad terrosa cuyos individuos no son distinguibles siquiera bajo lupa binocular. Se encuentra en porcentajes variables, alrededor de cristales de sulfuros y en la mayoría de las muestras presentan una paulatina transformación a limonitas. Dado el tamaño diminuto de los individuos y el contenido de Cu de los análisis realizados por Bassi *et al.* (1985) no puede descartarse la presencia de cuprita formando parte de estos agregados. Bajo microscopio de reflexión se observa que este mineral se encuentra reemplazando cristales de piritita (Fig. 5i) y

conformando agregados que rodean a los sulfuros previamente mencionados (Fig. 5j). En los pulidos calcográficos se determinaron cantidades de aproximadamente el 40 % del volumen de las muestras.

Limonita: Se presenta como agregados muy finos de colores amarillentos a castaños anaranjados, fácilmente disgregables y cuyas proporciones varían entre 10 % y 50 % del volumen total de las muestras, conforma texturas terrosas a masivas (Fig. 5e). Bajo microscopio petrográfico se las reconoce como agregados microcristalinos con reflejos de colores amarillentos-rojizos, acompañados de otros minerales opacos (Fig. 5k). Bajo microscopio de reflexión se las identifica por su coloración rojiza anaranjada, rellenando venillas o bien conformando una masa que contiene los relictos de los minerales de mena (Fig. 5l).

Covelina: Es reconocida principalmente en pulidos calcográficos. Se la identifica por sus características ópticas y aparece siempre alterando a la calcopirita, concentrándose en la periferia de los cristales en forma de delgadas pátinas (Fig. 5m). Representa porcentajes inferiores al 2,5 % del total de la muestra.

Calcosina: Al igual que la covelina se encuentra como producto de alteración de la calcopirita. Es reconocida por sus características ópticas y se presenta en proporciones similares a las de la covelina (Fig. 5m).

Cuarzo: Esta especie se encontró sólo bajo lupa. Son pequeños cristales que rellenan diminutas cavidades. Los individuos poseen formas de prismas ditrigonales y su tamaño es inferior al milímetro. Se lo encuentra en cantidades accesorias, diseminados en los agregados de hematita, y en ocasiones teñidos por la misma (Fig. 5k y n).

Finalmente, es importante destacar que Bassi *et al.* (1985) describen también agregados de bornita y cuprita que no fueron encontradas en las muestras estudiadas para este trabajo. La cuprita, en particular, fue inferida por los autores a partir de los elevados valores de cobre que se obtuvieron en muestras de óxidos e hidróxidos de hierro donde no se reconocen agrega-

dos de calcopirita que pueda aportar dicho elemento. Según los autores mencionados estos minerales se encuentran en las vetas de la mina Los Mellizos a una profundidad del orden de los 30 m desde la superficie del terreno. También describen cristales de baritina en la manifestación cuya presencia no pudo ser corroborada a partir de las muestras recolectadas durante este trabajo probablemente debido a la imposibilidad de acceder a los mismos niveles del yacimiento.

Secuencia de cristalización

La mineralogía descripta evidencia la presencia de distintas especies minerales que según sus relaciones espaciales y propiedades pueden dividirse en dos grupos: los minerales primarios y los minerales secundarios.

Entre los minerales primarios se reconoció pirita y calcopirita. Los mismos representan bajos porcentajes del volumen total de las muestras, y su estado es moderadamente alterado. Analizando los cortes calcográficos es posible establecer una relación temporal entre dichas especies. Dado que se encuentran cristales de pirita incluidos en cristales de calcopirita puede inferirse que la cristalización del primero debió comenzar antes o durante la cristalización del segundo (Fig. 6). Al mismo tiempo, la presencia de cristales euhedrales de pirita dentro de agregados de hematita sugieren la precipitación simultánea de ambas especies durante la transición entre distintas etapas (Fig. 5j). Es importante destacar que el avanzado grado de oxidación de los minerales primarios solo permite reconocer relictos de la paragénesis hipogénica. Por esta razón resulta imposible asegurar que estos sulfuros sean los únicos minerales de mena originales.

Los minerales secundarios presentan, en comparación, mayor diversidad de especies puesto que entre ellos se hallan óxidos, hidróxidos, carbonatos, sulfatos y silicatos. Del análisis textural de los pulidos calcográficos se evidencia que la hematita, la covelina y la calcosina se forman principalmente a partir de la alteración de los sulfuros primarios.

La hematita constituye la alteración prin-

cipal de la pirita, reemplazándola parcial o completamente. En el segundo caso presenta las formas características del mineral primario. Por otra parte este mineral secundario conforma una matriz que en ocasiones contiene relictos de los cristales primarios (Fig. 5g, j y 6).

La covelina y la calcosina son productos de alteración habituales de la calcopirita cuando la misma se encuentra en ambientes oxidantes (Ramdohr 1969). Dado que son identificadas alterando diferentes individuos de calcopirita es imposible determinar si una de estas especies se generó antes que la otra. Lo mismo ocurre entre estas dos y la hematita que altera a los cristales de pirita (Fig. 6).

Se reconocen agregados de limonitas formados a expensas de hematita. Estos hidróxidos son posteriores a las especies antes mencionadas puesto que conforman pátinas que tapizan las superficies de exposición (Fig. 5k, n y 6).

Finalmente se produjo la cristalización de una primera generación de calcita que se encuentra en contacto con los agregados de hematita y limonitas (Fig. 5ñ y 6).

Mediante observaciones realizadas bajo lupa binocular y microscopio petrográfico se identifican pequeños cristales de cuarzo que rellenan cavidades. Dadas las relaciones espaciales observadas, corresponde a una fase posterior a la que generó hematita, puesto que algunos individuos se encuentran inmersos en agregados de dicho mineral. Como consecuencia de su forma puede inferirse que los mismos se generaron en cavidades abiertas (Fig. 5n). Inmediatamente después se observa la cristalización de malaquita puesto que se identifican venillas de este carbonato en los cristales de calcita (Fig. 5ñ). También conforma venillas del orden del milímetro atravesando los agregados de hematita y relictos de cristales de calcopirita. A la vez este mineral tapiza las superficies de los agregados de limonitas y está en contacto con la siguiente generación de calcita (Fig. 5o).

Cabe destacar que entre la cristalización de malaquita y una segunda generación de calcita se produce la precipitación de la crisocola (Fig. 6), presente tanto como

delgadas pátinas que cubren a los agregados radiales de malaquita (Fig. 5b), intercrecidos en los agregados superficiales que conforma dicho mineral (Fig. 5c) o relleno el interior de cavidades (Fig. 5d). Es dentro de las cavidades donde se presenta con hábito botroidal.

Según las relaciones espaciales descriptas entre las distintas especies se establece la secuencia de precipitación graficada en la figura 6. El proceso comenzó con el fallamiento de la roca de caja que fue seguido por tres etapas de mineralización. La primera, dio lugar a la precipitación de sulfuros de hierro y cobre (pirita y calcopirita). Luego, en una segunda etapa, se formaron la covelina, calcosina, hematita, limonitas y la primera generación de calcita. Por último la tercera etapa se halla representada por cuarzo, malaquita, crisocola, calcita (que en sectores presenta inclusiones mecánicas de malaquita) y una segunda generación de limonitas.

Cabe destacar que los aportes realizados anteriormente por Bassi *et al.* (1985), Barrionuevo y Nieniewski (1955) y por Grano Hernández y Nieniewski (1953) coinciden con la asociación mineral descripta en este estudio.

INCLUSIONES FLUIDAS

Dada la mineralogía antes descripta el estudio de inclusiones fluidas solo pudo realizarse sobre los carbonatos que componen el tercer y último pulso mineralizador. Desafortunadamente, los cristales de cuarzo encontrados no solo son en extremo escasos sino que además resultaron inferiores al milímetro. Bajo estas condiciones las descripciones y resultados que se detallan a continuación reflejan las condiciones finales del proceso que generó a las manifestaciones aquí estudiadas.

Puesto que los carbonatos no son especies óptimas para el estudio microtermométrico se debió trabajar con esquirlas para minimizar la deformación de las cavidades. Para esto se seleccionaron cristales de calcita de la mina Los Mellizos de los cuales se extrajeron más de 200 esquirlas de espesores inferiores al milímetro para el posterior estudio bajo mi-

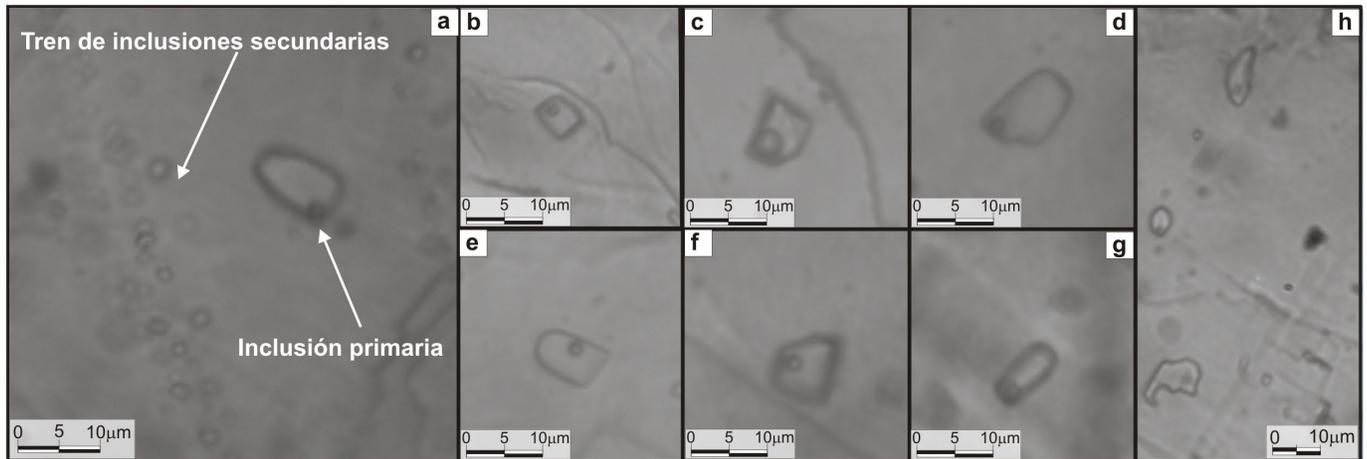


Figura 7: a) Fotografía en la que se observa un tren de inclusiones secundarias y una inclusión primaria. b, c, d, e, f, g) inclusiones primarias de formas regulares (cristal negativo), donde se puede observar un grado de llenado homogéneo en las mismas. h) Inclusiones primarias de formas irregulares.

croscopio petrográfico y la platina de enfriamiento-calentamiento.

Petrografía de las inclusiones

La observación de las esquirilas seleccionadas para este estudio evidenció que aproximadamente el 20 % de los cristales analizados preservaban inclusiones óptimas para su análisis. El estudio textural y morfológico de las mismas permitió distinguir dos familias distintas. El primer grupo se compone de inclusiones cuyo tamaño es menor a 0,001 mm, presentan formas equidimensionales y se encuentran en grupos de varias decenas de inclusiones conformando franjas que se disponen de forma paralela u oblicua al contorno del cristal (Fig. 7a). Estas inclusiones son denominadas secundarias y fueron halladas en un 80 % de las muestras observadas. El relleno de las cavidades es bifásico, pero debido a su reducido tamaño la estimación del grado de llenado ($F = V_{\text{Liq}} / V_{\text{Total}}$) es imprecisa.

El segundo grupo se encuentra compuesto por aquellas inclusiones cuyo tamaño oscila entre 0,012 y 0,005 mm, se encuentran en su gran mayoría aisladas, presentan formas euédricas (Fig. 7b, c, d, e, f y g) con contornos paralelos a las caras del cristal o, excepcionalmente, irregulares (Fig. 7h). Estas inclusiones son denominadas primarias y fueron halladas en el 20 % de las muestras analizadas. En su interior se distinguen dos fases, donde la

parte gaseosa ocupa un 10 % del volumen total de la inclusión, aunque en algunos casos, puede ser de hasta 30 %.

Microtermometría

La microtermometría se realizó exclusivamente sobre la familia de inclusiones primarias. Para este estudio se midieron tantas esquirilas como resultó necesario para el análisis estadístico de los datos. Los valores obtenidos y las características de las inclusiones medidas se compilaron en el cuadro 2.

Temperatura de eutéctico (Te): Pese al reducido tamaño de las inclusiones se dedicó especial atención a la determinación de esta temperatura para poder identificar al sistema. Las medidas se realizaron enfriando hasta $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$ y calentando a velocidades de 1 o 2 grados por minuto. Como se observa en el histograma de la figura 8a el primer fundido se observó en un amplio rango de temperaturas ($-69,7$ y $-46,6\text{ }^{\circ}\text{C}$), con un predominio entre $-69,7$ y $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dado el diminuto tamaño de las inclusiones los valores obtenidos pueden representar dos escenarios distintos:

a) Las temperaturas pueden corresponder a un punto eutéctico cuyo valor real debe ser inferior a los obtenidos (más frío) puesto que se requirió de un volumen de fundido considerable para poder observarlo. En este caso dicho punto eutéctico del sistema debe tener temperaturas inferiores a $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sobre la base de esta

premisa y las observaciones de cambios de fases observadas las calcitas estudiadas podrían pertenecer al sistema ternario $\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl} + \text{LiCl}$ cuya temperatura de eutéctico es de $-77\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Dubois *et al.* 2010). Sustenta esta propuesta la observación de Dubois *et al.* (2010) quienes destacan que, en inclusiones de este sistema, los primeros fundidos se observan a temperaturas mayores al punto eutéctico, más precisamente en el intervalo entre -70 y $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$.

b) Las temperaturas medidas pueden corresponder a cambios de fase de sistemas ternarios como $\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl} + \text{CaCl}_2$ o $\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl} + \text{MgCl}_2$. Estos sistemas, si bien tienen puntos de eutécticos más altos a los obtenidos (más cálidos), son propicios a mostrar un comportamiento metaestable de algunas fases que pueden malinterpretarse como temperaturas eutécticas, en particular cuando las inclusiones son de tamaño reducido (Davis *et al.* 1990).

Es importante destacar que el método de enfriamiento secuencial propuesto por Haynes (1985) no pudo aplicarse dada la baja hialinidad de las esquirilas y el reducido tamaño de las inclusiones. No obstante, el comportamiento y las temperaturas observadas en escasas esquirilas de $20\text{ }\mu\text{m}$ sugieren que la segunda de las hipótesis propuestas sería la más probable.

Temperaturas de fusión (Tmi y Tmb): Dada la imposibilidad de precisar la composición del sistema el reconocimiento de las fases

CUADRO 2: Resultados del estudio microtermométrico de inclusiones fluidas.

Inclusión	Tamaño (μm)	Vapor (%)	Th ($^{\circ}\text{C}$)	Te ($^{\circ}\text{C}$)	Tmi ($^{\circ}\text{C}$)
1	0,012	10	62,5	-65	-34
2	0,02	10	n.d.	-46,6	-14,8
3	0,005	10	119,9	-57,7	-33,3
4	0,012	10	n.d.	-65,8	n.d.
5	0,012	15	94,3	-67,2	-13,2
6	0,0075	15	n.d.	-66,5	-39,1
7	0,01	10	92	-67,9	-40,9
8	0,01	10	102,5	n.d.	n.d.
9	0,012	10	82,4	-60,9	-35,2
10	0,01	10	82,1	-65	-33,7
11	0,01	10	n.d.	n.d.	-26
12	0,0075	20	118,9	-66,2	n.d.
13	0,0075	10	72	-69,7	-33,5
14	0,0125	10	93,4	-67,6	-35,5
15	0,01	5	70	-63,8	-32,5
16	0,005	10	98,3	-65,8	-37,8
17	0,01	10	94,1	-50	-36,3
18	0,012	10	84,9	-53	n.d.
19	0,012	20	105,3	-67,2	-29,8
20	0,0075	10	84,5	-59,9	-31,1
21	0,0075	15	84,7	-65,5	-32,1
22	0,005	10	99,7	-66,2	-34,2
23	0,0075	10	91,5	-64,4	-40
24	0,0075	10	n.d.	-64,4	-32,3
25	0,01	10	119,8	-65,3	-31,9
26	0,01	10	89,4	-48,5	-21
27	0,012	10	n.d.	-64,8	-36,8
28	0,005	10	110,2	-64,8	-33,4
29	0,012	10	109,5	-63,2	-7,3
30	0,0075	5	100,6	-63,9	-25
31	0,012	5	226,2	-56,1	-15,4
32	0,0075	5	169,9	-62,1	-8
33	0,0075	5	111,8	-58,9	-5,3
34	0,012	10	95	-61,7	-37,2
35	0,01	5	150	-64,7	-30,4
36	0,01	15	n.d.	-61,5	-27,4
37	0,01	15	n.d.	-61,7	n.d.
38	0,005	10	80,4	-66,1	-31,9
39	0,01	10	108	-62,4	-34
40	0,0075	10	n.d.	-62,8	-30,3
41	0,0075	10	112	n.d.	-30,1
42	0,01	10	89,3	-64,7	-30,4
43	0,012	5	88	-67,2	-26,6
44	0,01	15	104,4	-65,8	-34,7
45	0,01	10	160,3	-66,2	-32,3
46	0,0075	30	n.d.	-66	-22,8
Promedio			104,4	-62,9	-29,2

sólidas resulta complejo debido a la gran diversidad de posibles especies. Pese a esto en todas las inclusiones, sometidas al paulatino calentamiento, se reconocieron dos sólidos distintos: uno cuyas temperaturas de fusión son bajas (posiblemente algún hidrato) y otro de mayor tamaño, forma irregular e isótropo que se identificó como hielo. Si bien el punto de fusión

de los hidratos (T_{mh}) pudo observarse en algunas inclusiones, resultó imposible obtener un mínimo de medidas que nos permita precisar una moda. Por el contrario, el punto de fusión del hielo (T_{mi}) se determinó en la gran mayoría de las inclusiones analizadas obteniendo valores entre -40,9 y los -5,3° centígrados (Fig. 8b). La variación de este parámetro en un rango

tan amplio y la imposibilidad de precisar el sistema impiden determinar el porcentaje de sales disueltas.

Temperaturas de homogeneización (Th): Como es frecuente estas temperaturas muestran mayor dispersión debido a su dependencia con los cambios de volumen de la cavidad original. Si bien, como se indicó anteriormente, para minimizar la deformación mecánica de las inclusiones se prefirió trabajar con esquizas y se seleccionaron inclusiones sin evidencias de procesos secundarios, la distribución errática de las temperaturas de homogeneización mayores a los 120 °C sugieren la deformación de algunas inclusiones o la pérdida parcial de la fase líquida (Fig. 8c). Por esta razón dichas medidas no se consideran representativas de la temperatura de entrapamiento. Salvando estas pocas mediciones erróneas, la temperatura de homogeneización muestra una moda en el intervalo 80-90 °C y una media de 95,4 °C. Estos resultados evidencian que las temperaturas de entrapamiento, a las cuales se formaron las calcitas estudiadas, debieron ser iguales o mayores a 95,4 °C, lo cual sugiere bajas temperaturas durante los estadios finales de la mineralización.

DISCUSIONES

La composición, la geometría y las texturas del distrito Los Mellizos sugieren en principio alguna correlación regional con los yacimientos de Cu vetiformes que se hallan en la zona extrandina de la cuenca (Ramos 1975). En estas últimas Malvicini (1962) describe zeolitas, arseniuros de cobre y azurita que no fueron halladas en el distrito Los Mellizos. Por lo tanto, las paragénesis y la roca de caja son considerablemente diferentes. Sobre la base de estas premisas no creemos que existan suficientes evidencias que permitan asegurar alguna filiación genética entre ambas mineralizaciones.

Por otro lado, en la zona andina los yacimientos metalíferos próximos a la zona de estudio son: cerro del Diablo, Rahueco, Colipilli y Mayal. El primero corresponde a un depósito vetiforme ubicado 35 km hacia el sudoeste de Chos Malal y

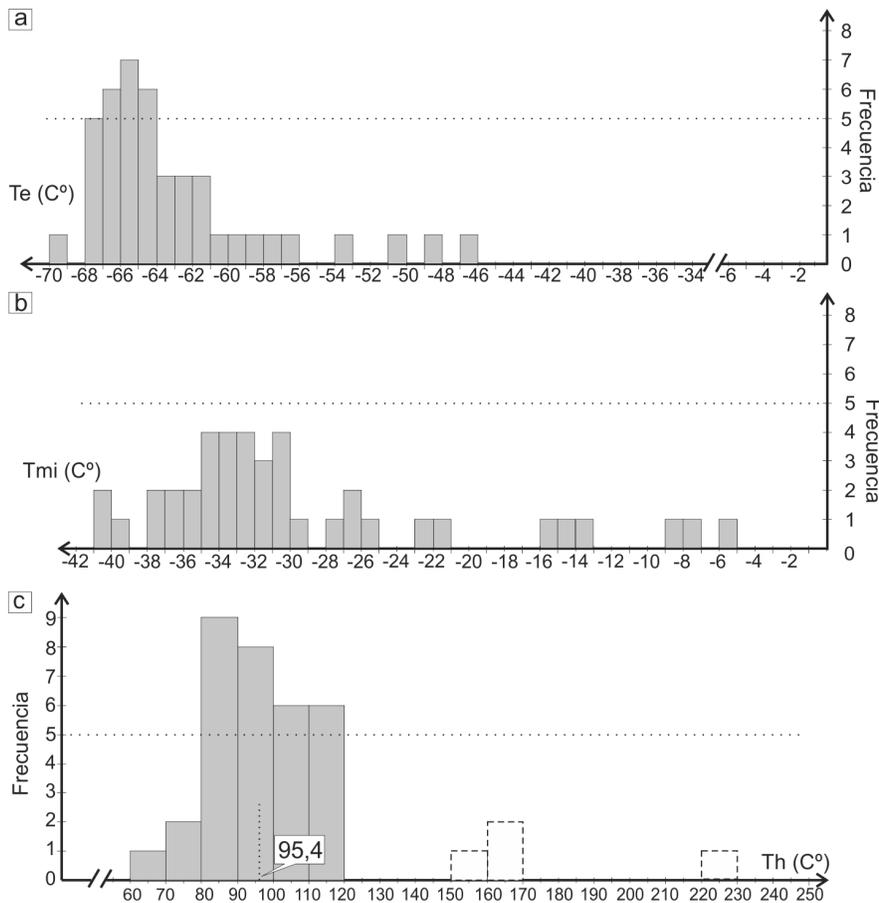


Figura 8: Histogramas, a) Frecuencia obtenida para la temperatura de eutéctico (Te). b) Frecuencia de temperaturas de fusión del hielo (Tmi). c) Frecuencia de las temperaturas de homogeneización (Th).

presenta una mineralización primaria de calcopirita y bornita y una secundaria de malaquita, azurita y limonitas (Zanettini 2011). Soto y Davids (1954) vinculan a dicha mineralización con la Andesita Colipilli, y por lo tanto le otorgan una edad eocena temprana. Puesto que ambos depósitos se encuentran próximos geográficamente y su mineralogía es similar, no puede descartarse una posible relación entre este yacimiento y el estudiado en la presente contribución. Por otro lado, Bassi *et al.* (1985), en función de la cercanía entre Los Mellizos y Rahue-Co propone vincular genéticamente estas anomalías. Sin embargo, la ausencia de materia orgánica (asociada a la mineralización de Rahue-Co, Latorre 1962a), la geometría vetiforme de Los Mellizos (en contraste con el carácter estratoligado de Rahue-Co) y la ausencia de minerales de uranio y vanadio sugieren procesos

distintos. En cuanto a las anomalías minerales del área de Collipilli, destacan depósitos de baritina, galena y blenda, con menores proporciones de calcopirita, tetraedrita y pirita entre otros (Llambías y Malvicini 1978). Esta asociación mineral evidencia poca participación de Cu, razón por la cual no consideramos que existan razones suficientes para correlacionar a esta mineralización con el distrito Los Mellizos. Por último, en relación a la mineralización del Cerro Mayal, la mineralogía primaria presente en este depósito vetiforme se compone de pirita, arsenopirita, calcopirita con pirrotina-esfalerita y oro; la secundaria de digenita y covelina y la ganga de calcita y cuarzo (Franchini y Malvicini 1999). Según dichas autoras las vetas se encuentran relacionadas a intrusivos calcoalcalinos de composición intermedia. A diferencia del cerro Mayal en el área del yacimiento Los Mellizos no

hay evidencias de actividad magmática que permita establecer alguna vinculación entre ambos. No obstante, esta posibilidad no puede ser descartada sin estudios geofísicos que permitan determinar la continuidad del sistema en el subsuelo. En relación a la edad de la manifestación aquí descrita si bien no existen dataciones que permitan concluir al respecto, las relaciones estratigráficas permiten acotar su período de formación. En primer lugar dado que la roca de caja es de edad kimmeridigiana superior la mineralización bajo estudio debe ser posterior a dicho período. Por otro lado, del análisis de las estructuras se desprende que aquellas que hospedan a la mineralización son más viejas que las estructuras correspondientes a los últimos movimientos tectónicos ocurridos en el área de edad Miocena superior (Folguera *et al.* 2011, Silvestro y Atencio 2009). Si bien dentro de este amplio período no es posible acotar la edad del depósito, la presencia de minerales frágiles conservando su hábito y de cavidades abiertas con diminutos cristales perfectamente preservados, sugieren escasa deformación sobrepuesta. Sobre la base de esta premisa se propone que la edad de la mineralización no difiere sustancialmente de los últimos eventos diastróficos que afectaron al área de estudio. Al respecto cabe destacar que Zanettini (2011) propone una edad eocena temprana para los depósitos de cobre vetiformes de la Cuenca Neuquina dada la asociación espacial y temporal con el magmatismo de la Andesita Colipilli. Aunque esta hipótesis no puede descartarse, es importante resaltar que en el área de estudio no se hallaron evidencias de actividad ígnea espacialmente asociada. Por otro lado, Bassi *et al.* (1985) concluyen que la mina Los Mellizos es de la misma edad que la mina Rahue-Co (post-oligocena) dada su cercanía geográfica y las similitudes geológicas encontradas entre ambas mineralizaciones. En relación a esta última hipótesis, como ya se explicó, consideramos que los datos compilados hasta el momento no son suficientes para asegurar dicha correlación. Respecto de las inclusiones fluidas, anali-

zadas sobre cristales de calcita, resta por definir la composición exacta del sistema. La microtermometría solo permitió determinar la presencia de dos o más sales disueltas en una solución acuosa, pero la composición de dichas sales debe determinarse mediante otras técnicas. No obstante, puesto que los cationes más probables son Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y Li^+ , todos ellos frecuentes tanto en soluciones hidrotermales como en depósitos evaporíticos (Braitsch 1971, Wedepohl *et al.* 1978, Roedder 1984, Warren 2006), los fluidos a partir de los cuales precipitaron los carbonatos pudieron tener alguna filiación magmática o pudieron incorporar a estos cationes de bancos evaporíticos subyacentes. Se requerirán de estudios orientados a precisar la fuente de las soluciones para poder concluir al respecto. Por otro lado, es importante resaltar que el estudio microtermométrico realizado no puede extrapolarse a las etapas iniciales del sistema, cuando precipitaron los sulfuros de mena, puesto que refleja las condiciones mayormente imperantes durante los estadios finales de la mineralización.

CONCLUSIONES

Sobre la base del estudio presentado se concluye que el distrito Los Mellizos se compone de una paragénesis primaria (sulfuros de hierro y cobre) y una asociación de minerales secundarios (óxidos e hidróxidos, con cantidades subordinadas de carbonatos y silicatos), que responden a etapas de mineralización independientes. La mineralogía primaria fue generada en un ambiente reductor y sólo se preservan escasos relictos de la misma. Los minerales secundarios son producto de la alteración de los minerales primarios y representan un ambiente oxidante de niveles someros.

La roca de caja no constituye un metalotecto puesto que la distribución espacial de la anomalía es escasa en relación con la de la Formación Tordillo, representada ampliamente en la zona estudiada. A su vez, la mineralización es discordante respecto a la estratificación de las areniscas, siendo las vetas mineralizadas subverti-

cales, en tanto que las areniscas inclinan un promedio de 30° hacia el oeste.

La geometría y las texturas de relleno evidencian una mineralización de tipo hidrotermal como proceso responsable del distrito Los Mellizos. Dado el emplazamiento vetiforme de la mineralización y la presencia de espejos y jaboncillo de falla asociados a ella, resulta evidente que los fluidos mineralizantes debieron circular por dichos planos de falla hasta llegar a zonas donde se desestabilizaron y precipitaron a los minerales observados. La distribución de la mineralización en forma lentes y la escasa extensión superficial de los productos de alteración sobre la roca de caja indican que el volumen tanto de mena como de ganga no alcanza valores importantes en superficie. No obstante, debemos destacar que no existen relevamientos geofísicos que permitan estimar la continuidad de la estructura en el subsuelo, razón por la cual no hay motivos para desestimar la presencia de anomalías de dimensiones importantes a mayores profundidades.

Por otra parte, la alteración que presenta la roca de caja como consecuencia del proceso mineralizador es escasa y restringida, lo cual sustenta las temperaturas obtenidas mediante el estudio de inclusiones fluidas. La presencia casi exclusiva de sericita como mineral de alteración y las temperaturas mínimas obtenidas para el último evento de precipitación permiten inferir una temperatura de los fluidos entre 100 y 300°C , razón por la cual el proceso solo oblitera la composición de la roca de caja a escasos metros de los rajos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo debe su realización al financiamiento otorgado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) a través del subsidio PICT 2011/2013-00011. Debemos un profundo agradecimiento a la Dra. Marta Franchini y la Dra. Teresita Montenegro quienes arbitraron este trabajo y al Dr. Eduardo Zappettini como editor del mismo ya que permitieron mejorarlo sustan-

cialmente. De igual modo agradecemos también al Dr. Mauro Spagnuolo y la Lic. Soledad Rodríguez Otero por la asistencia brindada en los trabajos de campo.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Barrio, C.A. 1990. Late Cretaceous-Early Tertiary sedimentation in a semi-arid foreland basin (Neuquen Basin, western Argentina). *Sedimentary Geology* 66: 255-275
- Barrionuevo, L.A. y Nieniewski, A. 1955. Informe Geológico Minero sobre algunos yacimientos cupríferos de la zona noroeste del Territorio Nacional de Neuquén. Dirección General de Fabricaciones Militares (inédito), 47 p., Buenos Aires.
- Bassi, H.G.L., Rochefort, G.M. y Alonso, M.S. 1985. Los Mellizos, un distrito terciario ligado al jurásico costanero neuquino, República Argentina. 6° Congreso Latinoamericano de Geología, Actas 3: 225-242, Bogotá.
- Beluco, A., Diez, C. y Achen, H. 1974. Los depósitos uraníferos de las provincias de Mendoza y Neuquén. 5° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 35-53, Córdoba.
- Braitsch O., 1971. Salt Deposits. Their Origin and Composition. Springer-Verlag, 297 p., Berlin.
- Bracaccini, O. 1970. Rasgos tectónicos de las acumulaciones mesozoicas en las provincias de Mendoza y Neuquén, República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 25: 275-284.
- Davis, D. W., Lowenstein, T. K., y Spencer, R. J. 1990. Melting behavior of fluid inclusions in laboratory-grown halite crystals in the systems $\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$, $\text{NaCl} + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$, $\text{NaCl} + \text{MgCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$, and $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 54: 591-601.
- Del Vo, A. y Davids, N.C. 1962. Aspectos salientes de las concentraciones uraníferas del Chihuido medio, Departamento Añelo. Provincia del Neuquén. Primeras Jornadas Geológicas Argentinas, Actas 3: 91-102, San Juan.
- Dubois, M., Monnin, C., Castelain, T., Coquinot, Y., Gouy, S., Gauthier, A. y Goffé, B. 2010. Investigation of the H_2O - NaCl - LiCl system: a synthetic fluid inclusion study and thermodynamic modeling from -50° to $+100^\circ\text{C}$ and up to 12 mol/kg. *Economic Geology* 105: 325-332.

- Fernández Aguilar, R. 1945. Los yacimientos de areniscas cupríferas del Neuquén, Dirección General de Minas, Geología e Hidrogeología, Bol. 58, Buenos Aires.
- Folguera, A., Rojas Vera, E., Spagnuolo, M., Orts, D., Sagripanti, L., Mariot, M., Ramos, M., Bottesi, G. y Ramos, V.A. 2011. Los Andes Neuquinos. Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén, Relatorio 18°, Congreso Geológico Argentino, 349-354, Neuquén.
- Franzese, J., Spalletti, L., Gomez Pirez, I. y Macdonald, D. 2003. Tectonic and paleoenvironmental evolution of Mesozoic sedimentary basins along the Andes foothills of Argentina (32°-54°S). *Journal of South American Earth Sciences* 16: 81-90.
- Franchini, M. y Malvicini, L. 1998. Las alteraciones y mineralizaciones de Campana Mahuida y Caicayén, Neuquén: nuevos datos para la exploración de la asociación skarns de Cu – pórfiros cupríferos en la Cordillera Principal. *Revista Asociación Geológica Argentina* 53: 401-415.
- Franchini, M. y Malvicini, L. 1999. Las vetas auríferas del Cerro Mayal, Neuquén. En Zapettini, E. (ed.) *Recursos Minerales de la República Argentina*, Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR. Tomo 2: 1365-1367, Buenos Aires
- Giusiano, A., Franchini, M., Pons, J. y Impiccini, A. 2009. Mineralización de Cu en el Grupo Neuquén asociada a la presencia de hidrocarburos, Dorsal de Huinul, Provincia de Neuquén, Argentina. *Asociación Argentina de Geólogos Economistas*. 9° Congreso de Geología Económica, 53-58, Catamarca.
- Granero Hernández, A. y Nieniewski, A. 1953. Informe de la Comisión de cobre – Neuquén. Dirección General de Fabricaciones Militares, (inédito), 15 p., Buenos Aires.
- Granero Hernández, A. y Schmid, J. 1956. Estudio geológico económico de las areniscas cupríferas de la zona de Plaza Huinul. Dirección General de Fabricaciones Militares (inédito), 93 p., Buenos Aires.
- Groeber, P. 1946. Observaciones geológicas a lo largo del meridiano 70. Hoja Chos Malal. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 1: 177-208.
- Gulisano, C. A., Gutierrez Pleimling, A. R. y Digregorio, R. E. 1984. Análisis estratigráfico del intervalo Tithoniano- Valanginiano (formaciones Vaca Muerta, Quintuco y Mulinchín) en el suroeste de la Provincia del Neuquén. 9° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 221-235, San Carlos de Bariloche.
- Haynes, F. M. 1985. Determination of fluid inclusion compositions by sequential freezing. *Economic Geology* 80: 1436-1439.
- Hemley, J.J. y Jones, W.R. 1964. Chemical aspects of hidrothermal alteration with emphasis on hydrogen metasomatism. *Economic Geology* 59: 538-569.
- Herrero Ducloux, A. 1946. Contribución al conocimiento del Neuquén extrandino. *Boletín Informaciones Petroleras*, 23(266):1-39. Buenos Aires.
- Howell, J.A., Schwarz, E., Spalletti, L.A. y Veiga, G.D., 2005. The Neuquén Basin: an overview. Geological Society, London, Special Publications; 1-14, London.
- Introcaso, A., Pacino, M.C. y Fraga, H. 1992. Gravity, isostasy and Andean crustal shortening between latitudes 30° and 35°S. *Tectonophysics* 205:31-48.
- Kretz, R., 1983. Symbols of rock-forming minerals. *American Mineralogist* 68: 277-279.
- Latorre, C.O. 1962a. Los yacimientos Cupro-Uraníferos de Rahue-Co, Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 17: 105-124.
- Latorre, C.O. 1962b. Metatorbenita y metazenerita del yacimiento “La primera”, Rahue-Co, Neuquén. *Anales de las Primeras Jornadas Geológicas Argentinas*, Actas 3: 169-175, Buenos Aires.
- Leanza, H.A., Repol, D., Hugo, C.A. y Sruoga, P. 2006. Hoja Geológica 3769-31, Chorríaca, provincia de Neuquén. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 354: 93, Buenos Aires.
- Legarreta, L. y Uliana, M. A. 1991. Jurassic / Cretaceous marine oscillations and geometry of a back-arc basin fill, central Argentine Andes. En Mc Donald D.I.M. (ed.) *Sedimentation, Tectonics and Eustacy*, I.A.S. Special Publication 12: 429-450, London.
- Legarreta, L. y Uliana, M. A. 1999. El Jurásico y Cretácico de la Cordillera Principal y la Cuenca Neuquina. 1. Facies Sedimentarias. En Caminos, R. (ed.) *Geología Argentina*, Instituto de Geología y Recursos Minerales, 399-416.
- Llambias, E.J. y Malvicini, L. 1978. Geología, petrología y metalogénesis del área de Colipilli, Provincia del Neuquén, República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 33: 257-276.
- Lyons, W.A. 1999. Las areniscas cupríferas del Neuquén. *Recursos Minerales de la República Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, 1149-1158, Buenos Aires.
- Macdonald, D., Gomez Perez, I., Franzese, J., Spalletti, L., Lawver, L., Gahagan, L., Dalziel, I., Thomas, C., Trewin, N., Hole, M. y Paton, D. 2003. Mesozoic break-up of SW Gondwana: Implications for South Atlantic regional hydrocarbon potential. *Marine and Petroleum Geology* 20: 287-308.
- Malvicini, L. 1962. Algodonita en la paragénesis mineralógica de la Mina Kokito II, Provincia del Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 17: 85-96.
- Mandarino, J.A. y Back, M. 2004. Fleischer’s Glossary of Mineral Species. The Mineralogical Record Inc., 309 p., Tucson.
- Moreno, G.E. y Pujol Ferré, R.H.J. 1962. Las manifestaciones uraníferas conocidas en la provincia del Neuquén. *Primera Jornada Geológica Argentina*, Actas 3: 219-232, San Juan.
- Nuñez, E. 1968. Área de reserva “Zona Barda Negra”. Informe final. Plan Cordillerano. Dirección General de Fabricaciones Militares. Buenos Aires.
- Ramdohr, P. 1969. The ore minerals and their intergrowths. 3° Edición. Editorial Pergamon Press, 1174 p., New York.
- Ramos, V.A. 1975. Los ciclos sedimentarios y la bio-rhexistacia en el control de las manifestaciones cupríferas del Neuquén extraandino-Argentina. 2° Congreso Iberoamericano de Geología Económica, Tomo 5: 373-394, Buenos Aires.
- Ramos, V.A. 1999. Evolución Tectónica de la Argentina. En Caminos, R. (ed.) *Geología Argentina*, Instituto de Geología y Recursos Minerales, 715-759.
- Ramos, V.A. y Kay, S.M. 2006. Overview of the tectonic evolution of the southern Central Andes of Mendoza and Neuquén (35°-39° S latitude). En Kay, S.M. y Ramos V.A. (eds.) *Evolution of andean margin: A tectonic and magmatic view from the Andes to the Neuquén Basin (35°-39° S latitude)*. Geological Society of America, Special Paper 1-17.
- Rasmuss, J. 1922. Breves apuntes geológicos sobre la parte del territorio del Neuquén entre

- Auca Mahuida y El Tromen. Dirección General de Minas, Geología e Hidrogeología. Boletín, 6 p., Buenos Aires.
- Roedder, E., 1984. Ore deposition environments. En *Fluid Inclusions. Reviews in Mineralogy*, Mineralogical Society of America 12: 413-471.
- Schenckman, L.J. 2012. Geología del distrito minero Los Mellizos y sus alrededores (37°20'LS, 70°10'LO), Provincia de Neuquén, Argentina. Trabajo Final de Licenciatura, Universidad de Buenos Aires (inédita), 106p., Buenos Aires.
- Sgrosso, P. 1933. Informe preliminar sobre las minas de cobre de Picún Leufú. Informes inéditos de la Dirección Nacional de Geología y Minería (inédito), Carpeta nro. 30, Dirección Nacional de Minas y Geología.
- Silvestro, J. y Atencio, M. 2009. La cuenca Cenozoica del Río Grande y Paluco: edad, evolución y control estructural. Faja plegada de Malargüe (36°S). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 65: 154-169.
- Spalletti, L., Franzese, J., Matheos, S. y Schwarz, E. 2000. Sequence stratigraphy of a tidally-dominated carbonate-siliciclastic ramp; the Tithonian of the southern Neuquen Basin, Argentina. *Journal of the Geological Society* 157:433-446.
- Spalletti, L.A., Queralt, I., Matheos, S.D., Colombo, F. y Maggi, J. 2008. Sedimentary petrology and geochemistry of siliciclastic rocks from the upper Jurassic Tordillo Formation (Neuquén Basin, western Argentina): Implications for provenance and tectonic setting. *Journal of South American Earth Sciences* 25: 440-463.
- Stipanovic, P.N. 1966. El Jurásico en Vega de La Veranada (Neuquén), el Oxfordense y el Diastrofismo Diversiano (Agazzis-Yalia) en Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 20: 403-478.
- Soto, A. y Davids, N. 1954. Informe geológico-minero del Cerro del Diablo, departamento de Ñorquinco, Territorio Nacional del Neuquén. Dirección General de Fabricaciones Militares (inédito), 27 p., Buenos Aires.
- Soto, A., Salaberry, C.A. y Nuñez, E. 1968. Área de reserva N°43 a Zona Río Neuquén, areniscas cupríferas. Plan Cordillerano. Dirección General de Fabricaciones Militares, (inédito), 10p., Buenos Aires.
- Vergani, G.D., Tankard, A.J., Belotti, H.J. y Welsink, H.J. 1995. Tectonic evolution and paleogeography of the Neuquén basin, Argentina. En A.J. Tankard, Suárez R. y Welsink J. *Petroleum basins of South America: AAPG Memoir* 62:383-402.
- Warren J.K., 2006. Depositional chemistry and hydrology. En Warren (ed.) *Evaporites*: 58-138, Wüzburg.
- Wedepohl, K.H., Correns, C.W., Shaw, D.M., Turekian, K.K. y Zemmann, J., 1972. *Handbook of Geochemistry*. Vol. 2(1). Springer-Verlag, Berlín.
- Wichmann, R. 1927. Los estratos con dinosaurios y su techo en el este del territorio de Neuquén. Dirección General de Minas, Geología e Hidrogeología. Tomo 32: 1-16, Buenos Aires.
- Zanettini, J.C.M. 2011. Recursos de Minerales Metalíferos. Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén, Relatorio 18°, Congreso Geológico Argentino, 709-724, Neuquén.
- Zöllner, W. y Amos, J.A. 1973. Descripción geológica de la Hoja 32b, Chos Malal, Provincia del Neuquén. Servicio Nacional de Geología Minera, Boletín, 91 p., Buenos Aires.

Recibido: 12 de febrero, 2013

Aceptado: 17 de septiembre, 2013