

Geología, alteración hidrotermal e inclusiones fluidas del yacimiento del tipo cobre porfídico La Voluntad, Provincia de Neuquén, Argentina

Mirta Garrido

Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur, San Juan 670,
8000 Bahía Blanca, Argentina

Eduardo Domínguez

Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur, San Juan 670,
8000 Bahía Blanca, Argentina y CONICET

RESUMEN

En el yacimiento tipo de cobre porfídico La Voluntad, la alteración y mineralización se relacionan a una tonalita del Complejo Plutónico Chachil (Pérmico) que intruye a metamorfitas de la Formación Piedra Santa (Paleozoico Inferior). Volcanitas de la Formación Choiyoi (Triásico) la cubren discordantemente. La baja densidad de vetillas mineralizadas revela un sistema hidrotermal de baja permeabilidad, con un fracturamiento débil atribuido a un escaso volumen de fluidos. La alteración hidrotermal y la mineralización se desarrollaron en, al menos, dos episodios. El primero produjo una alteración potásica penetrativa de baja intensidad con una mineralización diseminada de pirita, calcopirita y escasa molibdenita. En el segundo, la alteración es filica de alta intensidad, se relaciona a vetillas y se sobrepone a la potásica. La mineralización es de pirita, calcopirita, bornita, esfalerita, molibdenita, arsenopirita y escasa wolframita. Las inclusiones fluidas revelan escasez de fluidos hipersalinos y la presencia de fluidos de salinidad baja a moderada, con temperaturas entre 240 y 420°C y ebullición esporádica durante la mineralización principal. Este yacimiento pertenece al ciclo metalogénico permo-carbónico, de potencialidad desconocida, vinculado a un arco magmático que a partir del Cerro Chachil (39° Latitud Sur y Longitud Oeste) y hacia el sur tiene una orientación sureste, oblicua a la Cadena Andina.

Palabras claves: Yacimiento de cobre porfídico, Densidad de vetillas, Alteración hidrotermal, Mineralización, Inclusiones fluidas, Neuquén, Argentina.

ABSTRACT

Geology, hydrothermal alteration and fluid inclusions of La Voluntad porphyry copper deposit, Neuquén Province, Argentina. In La Voluntad porphyry copper deposit the mineralization is related to a tonalite from the Chachil Plutonic Complex (Permian) intruded in the metamorphites of Piedra Santa Formation (Lower Paleozoic). Rhyolitic volcanic rocks from the Choiyoi Group (Triassic) cover unconformably the tonalite. The low mineralized vein densities indicate an hydrothermal system of low permeability with a weak fracturation attributed to a low hydrothermal fluid volume. The mineralization-alteration proceeded in two main stages. During the first stage, a low intensity pervasive potassic hydrothermal alteration with disseminated pyrite and chalcopyrite and scarce molybdenite was developed. During the second, a high intensity fracture related phyllic alteration was overprinted to the early potassic alteration. The mineralization consists of pyrite, chalcopyrite, bornite, molybdenite, sphalerite, arsenopyrite and scarce wolframite. Fluid inclusions indicate absence of hypersaline and presence of moderate to low salinity fluids, with temperatures between 240-420°C and sporadic boiling during main mineralization. This deposit belongs to a permo-carboniferous metallogenic cycle of unknown potential, related to a magmatic arc which trend SE south of Cerro Chachil, obliquely to the Andean Range.

Key words: Porphyry copper deposit, Vein densities, Hydrothermal alteration, Mineralization, Fluid inclusions, Neuquén, Argentina.

INTRODUCCION

El yacimiento de cobre porfídico La Voluntad, se encuentra ubicado a 74 km al suroeste de la ciudad de Zapala, en la Sierra de Chachil, integrante de la región andina de la cuenca neuquina (Fig. 1).

Los primeros estudios datan de 1934 en los que se menciona la presencia de cobre y molibdeno. J.C. Sabalúa¹ resumió y sintetizó las tareas de exploración realizadas por Fabricaciones Militares en el área, consistentes en el mapeo y la realización de estudios geoquímicos, de polarización inducida y tres sondeos (LV I, LV II y LV III). Esta información permitió concluir que se trata de un depósito de cobre diseminado, de edad cretácica superior, de baja ley (0,1-0,2% Cu). Sillitoe (1977) ubicó al intrusivo tonalítico de La Voluntad en el Permo-carbonífero en base a la edad de 281 ± 4 Ma obtenida por el método K-Ar sobre una biotita magmática. Con posterioridad, Ramos (1983) y Méndez y Zapettini (1984, 1990) continuaron asignando el cuerpo intrusivo La Voluntad al Cretácico. O.T. Maki² llevó a cabo un programa de muestreo de minerales pesados en batea, en la base de la zona mineralizada, con el objeto de determinar la presencia de oro y sólo halló wolframita junto a magnetita. A. De Ferrán³ sostuvo que el pórfido cuprífero de La Voluntad sólo tiene interés metalogenético, ya que esta mineralización se presenta muy al este del margen continental, y que podría tener interés económico si se detectara la presencia de oro. Malvicini y Caminos (1994) y Márquez (1994) asociaron la mineralización a un ciclo metalogenético gondwánico (Carbonífero y Permo-Triásico).

El objetivo de este trabajo es profundizar los estudios de alteración hidrotermal y mineralización junto al estudio de inclusiones fluidas, a fin de precisar algunas de las características físico-químicas del sistema hidrotermal, como son la composición, presión y temperatura de los fluidos. Se estudió, además, la densidad de vetillas para determinar la geometría de la permeabilidad del sistema. Con los estudios de superficie, se intentó determinar la potencialidad del yacimiento y se procuró hallar

evidencias que permitan aportar nuevos argumentos respecto a la edad de la mineralización y a su ubicación dentro de los ciclos metalogenéticos de la Patagonia.

Durante la realización de este estudio entre los años 1993 y 1994, la Compañía Placer International Exploration West Santiago Office⁴ realizó una evaluación del depósito que incluyó mapeo geológico, estudios geoquímicos, geofísicos y cuatro sondeos de exploración hallando una muy baja concentración de cobre, molibdeno y oro.

MÉTODOS DE ESTUDIO

Para este trabajo se utilizó como base geológica el mapa a escala 1:10.000 de Sillitoe (*in* J.C. Sabalúa¹). Se tomaron 120 muestras de roca a las que se deben agregar otras 40 suministradas por la Dirección de Minería de Neuquén, de forma tal, de cubrir todo el yacimiento. Se contó, además, con 20 muestras de testigos de las perforaciones: LV I (28 m), LV II (36,8 m) y LV III (94,2 m) realizados por la Dirección General de Fabricaciones Militares (J.C. Sabalúa¹). Sobre estas muestras se realizaron estudios de alteración hidrotermal, mineralización e inclusiones fluidas.

La densidad de vetillas mineralizadas en superficie se determinó con el método de Titley (1978). Se tomaron datos en todos los afloramientos donde pudo aplicarse el método (12 localidades) y los valores expresados en número de vetillas por cm^{-1} dan una medida semicuantitativa de la permeabilidad por fisuras, ya que no se conoce la paleoapertura de las vetillas. En los testigos se determinó la permeabilidad con el método de dos dimensiones propuesto por Haynes (1984) debido a que arroja valores comparables con los obtenidos en superficie y se estudiaron 150 m de testigo en muestras tomadas cada 5 m.

Las asociaciones minerales de alteración hidrotermal se clasificaron siguiendo a Lowell y Guilbert

¹ 1975. Informe final sobre la zona Mina 'La Voluntad', área de reserva No. 45, La Voluntad (Departamento de Catán Lil, Neuquén). Dirección Nacional de Fabricaciones Militares (Inédito), Dirección General de Minería de la Provincia de Neuquén, 17 p.

² 1983. Speculative observations regarding gold placer potencial of Cordillera del Viento, Andacollo, Neuquén (Unpublished), Dirección General de Minería de la Provincia de Neuquén, 60 p.

³ 1983. Sugerencia para la selección de proyectos y el desarrollo de recursos minerales de la Provincia de Neuquén. Argentina (Inédito), Dirección General de Minería de la Provincia de Neuquén, 48 p.

⁴ 1994. Proyecto La Voluntad, Provincia del Neuquén, República Argentina, Informe de la Campaña de Sondajes (Inédito), Placer International Exploration West (Santiago Office), 31 p.

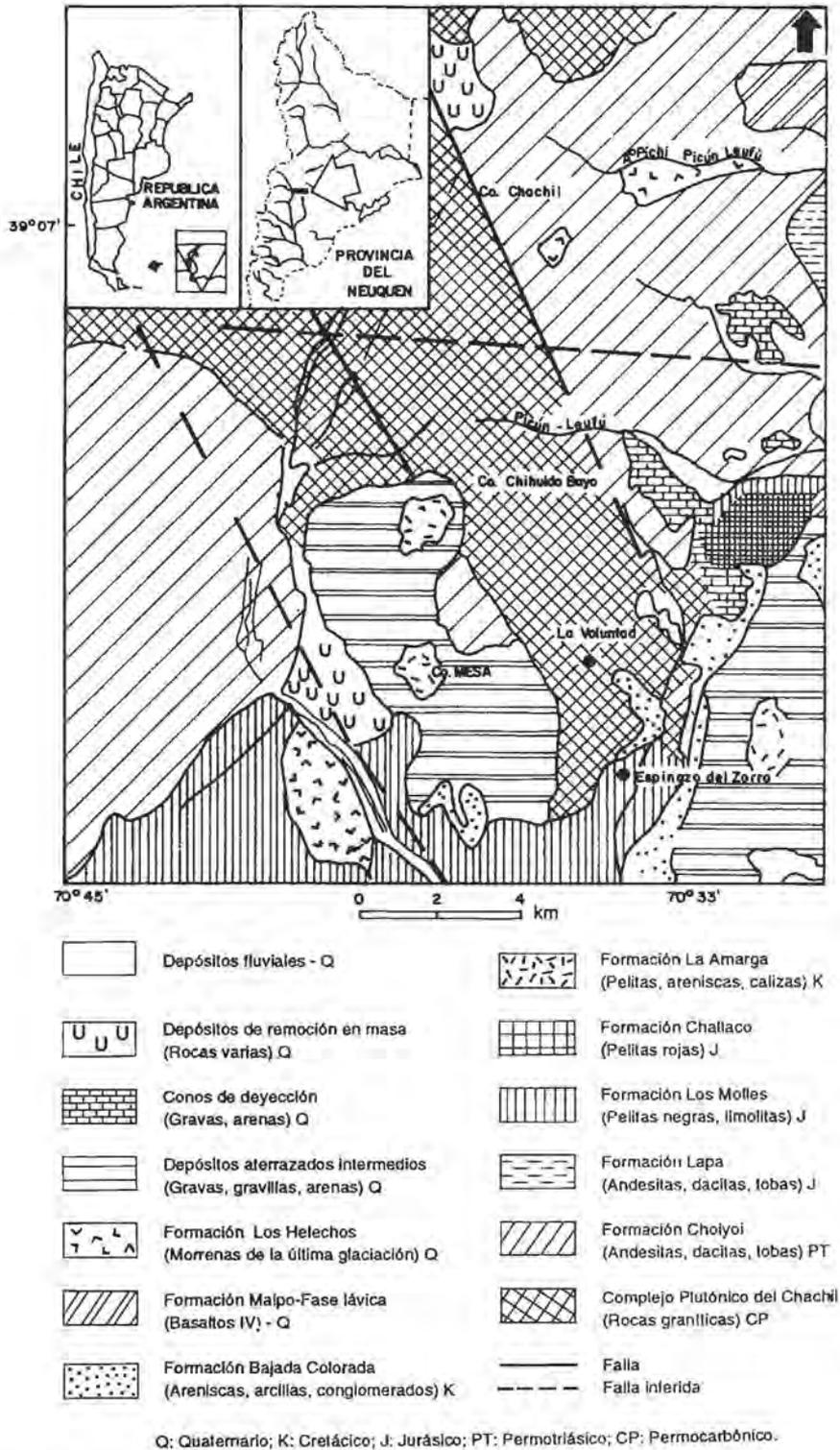


FIG. 1. Ubicación geográfica y geología regional del área del yacimiento La Voluntad (según Leanza, 1990).

(1970) y la forma de ocurrencia (penetrativa o vetiforme) a Titley (1982). Se introduce el nombre de penetrativa incipiente cuando este tipo es inferior al 30% en volumen de la muestra. Se utilizó la técnica descriptiva cuantitativa de Guilbert (*in* Guilbert y Park, 1986) con modificaciones para describir la intensidad de alteración. Las asociaciones se designan con la siguiente simbología: K (potásica); S (filica), P (proclítica); Q (silicificación). Para definir la intensidad de alteración se estima el porcentaje en volumen que ocupa cada asociación en una escala de 1 a 10 (1=10% y 10=100%). La forma de ocurrencia se califica, también, en una escala de 1 a 10, 1 para vetillas y 10 para penetrativa. Así, una anotación S6-10, indica que el 60% de la muestra presenta una alteración filica penetrativa.

El análisis de inclusiones fluidas se realizó sobre el cuarzo de la tonalita y el de las vetillas de las

distintas asociaciones minerales. Las inclusiones fluidas se estudiaron, a temperatura ambiente, en secciones doblemente pulidas y las determinaciones de calentamiento-congelamiento se realizaron sobre sus fragmentos. Se utilizó una platina CHAIXMECA con un rango de trabajo entre -110 y 600°C. La platina fue calibrada utilizando patrones; su precisión es de $\pm 2^\circ\text{C}$ hasta los 250°C y de $\pm 4^\circ$ a partir de los 250°C. En enfriamiento, la precisión es de $\pm 1^\circ\text{C}$. Se trabajó sobre inclusiones primarias (Roedder, 1979) y se siguió con la clasificación de Nash (1976) en la cual las inclusiones de tipo Y son bifásicas, ricas en líquido y de moderada salinidad; las de tipo II son bifásicas, con una fase gaseosa mayor al 50% del volumen de la cavidad; las de tipo III son multifásicas y portadoras de halita. La corrección de las temperaturas de homogeneización debida a la presión se hizo según Potter (1977).

GEOLOGIA REGIONAL Y DEL DEPOSITO

GEOLOGIA REGIONAL

En la región, la unidad más antigua aflorante es un basamento metamórfico integrado por esquistos cuarzo-biotíticos, biotíticos-muscovíticos, escasos gneisses y migmatitas de la Formación Piedra Santa (Digregorio y Uliana, 1980) de edad precámbrica o paleozoica inferior. Franzese (1995) confirmó la edad paleozoica (Devónico-Carbónico) en base a dataciones radiométricas K-Ar sobre los esquistos. Esta unidad está intruida por el Complejo Plutónico Chachil (Leanza, 1990) integrado por granitos, granodioritas, tonalitas, pórfidos tonalíticos y dioritas cuarcíferas. A este complejo le atribuyó una edad pérmica inferior en base a sus relaciones estratigráficas y a una datación radiométrica en el intrusivo de La Voluntad (K-Ar, 281 ± 4 Ma, Sillitoe 1977). Volcanitas riódacíticas de la Formación Choiyoi (Stipanovic *et al.*, 1968) del Pérmico Superior-Triásico Medio se apoyan en discordancia sobre dicho Complejo Plutónico. Andesitas de la Formación Lapa (Groeber, 1956a), lutitas negras y fangolitas de la Formación Molles (Weaver, 1931), pelitas rojas de la Formación Challacó (De Ferraris, 1947) todas de edad jurásica, basaltos de la Formación Maipo

(Yrigoien, 1972) del Pleistoceno y diversas formaciones, depósitos fluviales y de remoción en masa completan la secuencia estratigráfica del área.

GEOLOGIA DEL YACIMIENTO

En el área del yacimiento aflora una granodiorita intruida por una tonalita y numerosos diques claros (aplíticos) y oscuros (diabásicos) integrantes del Complejo Plutónico Chachil (Leanza, 1990). En el terreno, las variaciones texturales dentro de los tipos de rocas hallados son importantes, sin que se puedan precisar sus relaciones de contacto. Esto es similar a lo mapeado por Sillitoe (*in* Sabalúa, 1977) y difiere de lo informado por la 'Placer International Exploration West Santiago Office'⁵, en el que se reconocen distintas variedades litológicas en base a texturas, pero sin indicación de sus relaciones de contacto.

La granodiorita ocupa los bordes norte y sureste del mapa (Fig. 2). Presenta un relieve ondulado y evidencias de intemperismo. Es de color gris, de textura variable entre porfírica y equigranular, integrada por feldespato, cuarzo, biotita y anfíbola. En los sectores con textura porfírica los feldespatos alcanzan tamaños de hasta 2 cm.

⁵ 1993. La Voluntad Porphyry Copper-Gold Deposit. Geological Report (Inédito), Placer International Exploration West (Santiago Office), 93 p. Neuquén.

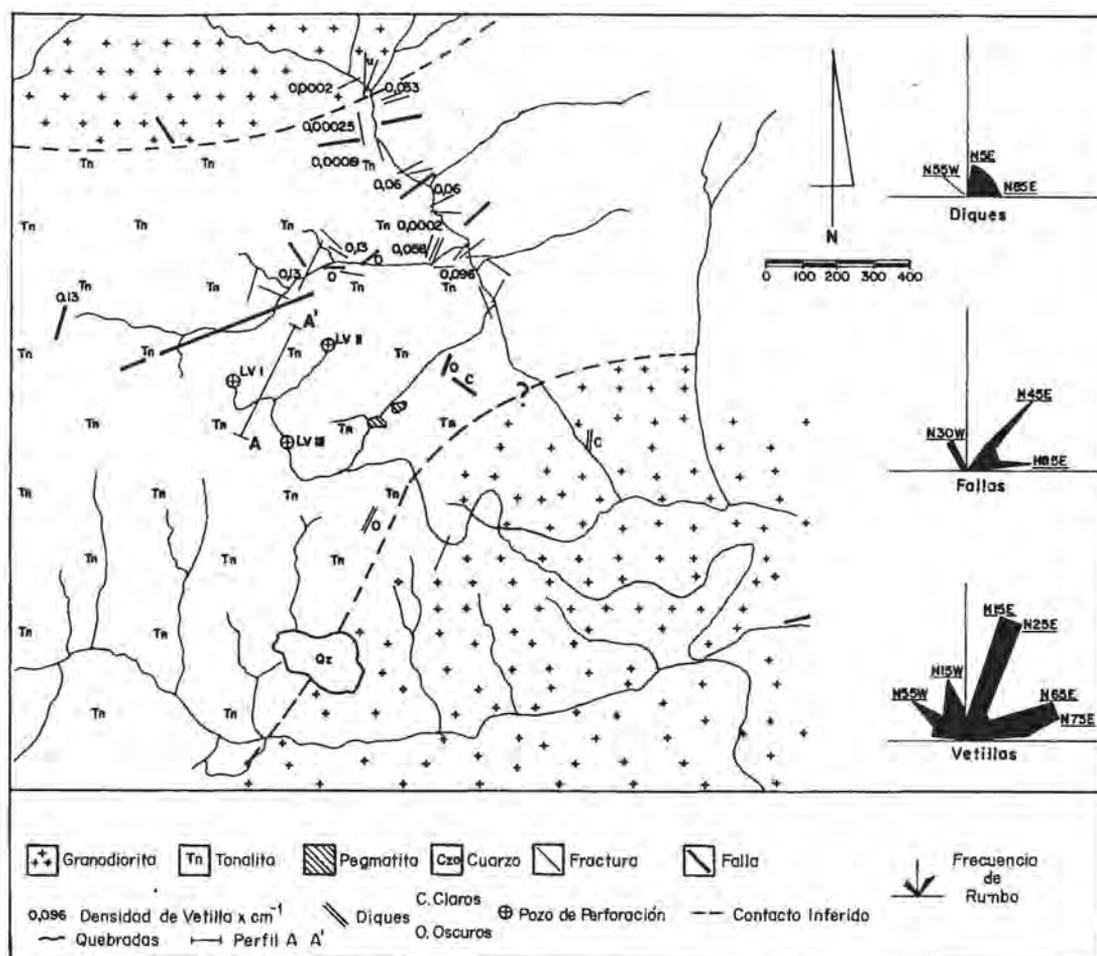


FIG. 2. Mapa geológico del yacimiento. Se muestran los valores de densidad de vetillas, la ubicación de los sondeos: LV I, LV II y LV III y la distribución de la frecuencia de diques, fallas y vetillas (según Sillitoe, *in* J.C. Sabalúa').

Un 'stock' tonalítico de 0,5 km² de superficie intruye a la granodiorita y se destaca, en el paisaje, por sus formas agudas y coloración gris oscura en los sectores con menor alteración y por sus tonalidades claras y rojizas en los sectores con mayor alteración hidrotermal. El contacto entre la tonalita y la granodiorita no es neto en los afloramientos reconocidos. La tonalita tiene una textura que varía desde porfírica con matriz fánérita a equigranular. En el sector suroeste del intrusivo tonalítico (Fig. 2), la roca es de color gris claro y su textura es equigranular, de grano medio, constituida por plagioclasa, cuarzo y biotita como minerales esenciales. En el resto del cuerpo la textura es porfírica y está compuesta por fenocristales de cuarzo, pla-

gioclasa y biotita en una matriz fánérita de los mismos minerales. El cuarzo de los fenocristales, es anhedral, en ocasiones con textura gráfica. La plagioclasa oligoclasa, es subhedral, zonada y con maclas. El feldespato alcalino es muy escaso y con texturas perfiticas. La biotita subhedral, está en ocasiones cloritizada, contiene minerales opacos y epidota siguiendo sus clivajes. La muscovita se presenta en algunas muestras como mineral accesorio y exhibe bandas 'kink'. La composición modal de seis muestras confirma a la plutonita como una tonalita según Streckeisen (*in* Teruggi, 1980). En una de las quebradas, en la tonalita, se encontraron xenolitos granodioríticos, redondeados y oscuros de hasta 30 cm de diámetro. Tienen una textura

bandeada y están formados por cuarzo, plagioclasa y feldespato alcalino con una biotitización muy marcada a lo largo de las bandas. Una falla vertical de rumbo N30°E corta al intrusivo tonalítico. La falla presenta una zona de brecha de 50 cm de ancho y está integrada por clastos angulosos de tonalita, rotados y cementados por cuarzo y sulfuros. A lo largo de la falla, la tonalita presenta texturas de deformación, el cuarzo tiene extinción ondulante y recristalización, la plagioclasa presenta fracturas con desplazamiento de maclas y la muscovita texturas 'kink'.

Un afloramiento ovoidal (50 m de largo por 25 m de ancho) se encontró incluido en la tonalita a 250 m hacia el este del sondeo LV III (Fig. 2). Presenta textura pegmatítica y está constituido por cuarzo y biotita de grano grueso. La biotita sin evidencias de alteración y el cuarzo tienen texturas de deformación. Al suroeste de la tonalita existen, también, otros afloramientos irregulares integrados solamen-

te por cuarzo macizo estéril interpretados por 'Placer Dome'⁴ como un estadio muy tardío en el Complejo La Voluntad.

Diques claros y oscuros cortan a la tonalita y la granodiorita con un amplio espectro de orientaciones y sin relaciones de corte entre ellos. Los diques claros son aplitas con textura granular allotriomorfa y consisten en cuarzo, feldespato alcalino, plagioclasa y muscovita. Los diques oscuros varían en su composición entre diabásicos y tonalíticos. Se encontró, también, una brecha de forma tabular integrada por fragmentos de cristales de cuarzo, feldespato alcalino y plagioclasa en una matriz de la misma composición y de grano más fino.

Un afloramiento irregular a pequeño de una riolita de grano fino se apoya sobre la tonalita cerca del sondeo LV II. La riolita tiene una textura porfírica con fenocristales de sanidina, oligoclasa y escasa biotita en una matriz felsítica.

DENSIDAD DE VETILLAS MINERALIZADAS

La cuantificación de la densidad de vetillas en la tonalita se realizó con el propósito de determinar su relación con la intensidad de la mineralización alojada en las fracturas.

En superficie, los máximos valores obtenidos, de 0,13 vetillas por cm^{-1} , se encuentran en la parte central del intrusivo tonalítico y disminuyen hacia la periferia hasta llegar a un mínimo de 0,0002 vetillas por cm^{-1} a una distancia mayor de 1 km (Fig. 2).

De los tres testigos estudiados, en el único que se obtuvieron datos semicuantitativos, debido al método utilizado en que las vetillas tienen que intersectar el eje principal del testigo, fue el del sondeo LV I, encontrándose un valor máximo de 0,4

vetillas por cm^{-1} a los 18 m de profundidad de la boca del pozo. En los dos sondeos restantes sólo se obtuvieron datos cualitativos sobre la base del número de vetillas observadas. En los sondeos LV II y LV III las vetillas son escasas, casi verticales, siendo más abundantes a los 18 m de profundidad del sondeo LV II y entre los 50 y 70 m del sondeo LV III.

Con los rumbos de las vetillas, diques y fallas se construyeron diagramas de frecuencia de orientaciones (Fig. 2). Su distribución presenta una orientación preferencial al NE, aunque las vetillas tienen, también, una orientación importante hacia el noroeste.

ALTERACION HIDROTÉRMAL Y MINERALIZACION

La alteración y mineralización están desarrolladas en el cuerpo tonalítico y son subordinadas en la granodiorita. La mineralización hipógena asociada a la alteración potásica es penetrativa y de baja intensidad y la relacionada a la alteración filica está controlada por vetillas y es de mayor intensidad.

ALTERACION HIDROTÉRMAL

En la tonalita se identificaron tres asociaciones: potásica, filica y propilítica, siendo la filica la mejor desarrollada.

ALTERACION POTASICA

Se manifiesta en la parte central de la tonalita siendo la forma penetrativa más importante, tanto en superficie (Fig. 3) como en los testigos de perforación (Fig. 4). Está compuesta por biotita, feldespato potásico subordinado, sericita y cuarzo. Aparecen también rutilo y apatita. La forma penetrativa es difícil distinguirla macroscópicamente debido al pequeño tamaño de la biotita y a que la roca conserva

su textura y su color. La biotita secundaria es subhedral, de color pardo y se la encuentra en la matriz de la tonalita, como fibras muy pequeñas (30-40 µm) que se disponen entre cristales formando nidos (Figs. 5A, 5B). Se le asocian apatita, pirita y calcopirita. También ocurre como agregacos con cuarzo y escasa sericita, englobando y reemplazando tanto a los fenocristales como a la matriz. El feldespato potásico es muy escaso y se lo encuentra en la matriz formando un mosaico junto a cuarzo

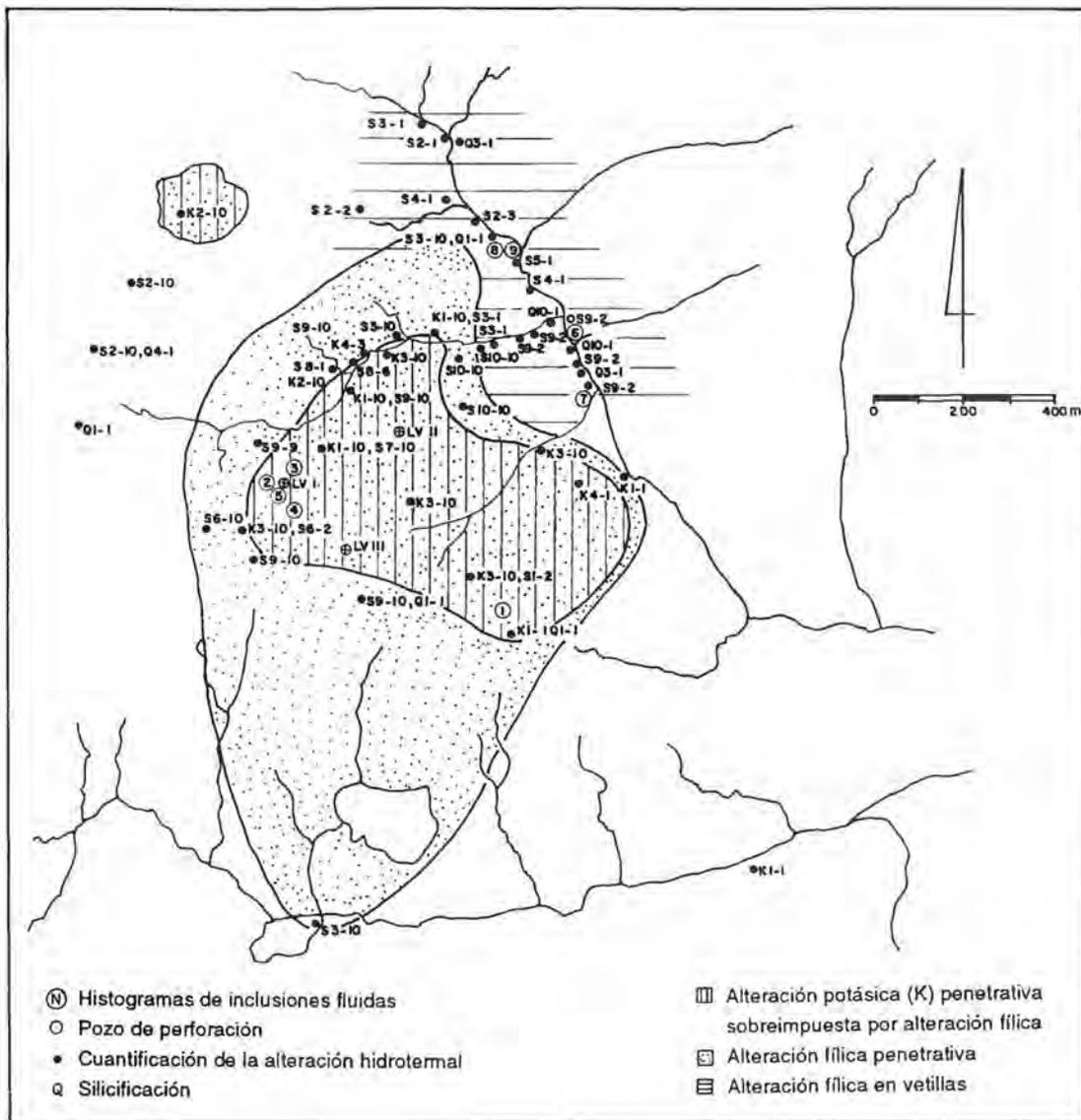


FIG. 3. Mapa mostrando la distribución, forma y cuantificación de los tipos de alteración hidrotermal (K1-10, S9-10: 10% de alteración potásica (K) penetrativa a la que se sobreimpone un 90% de alteración fílica (S) penetrativa.

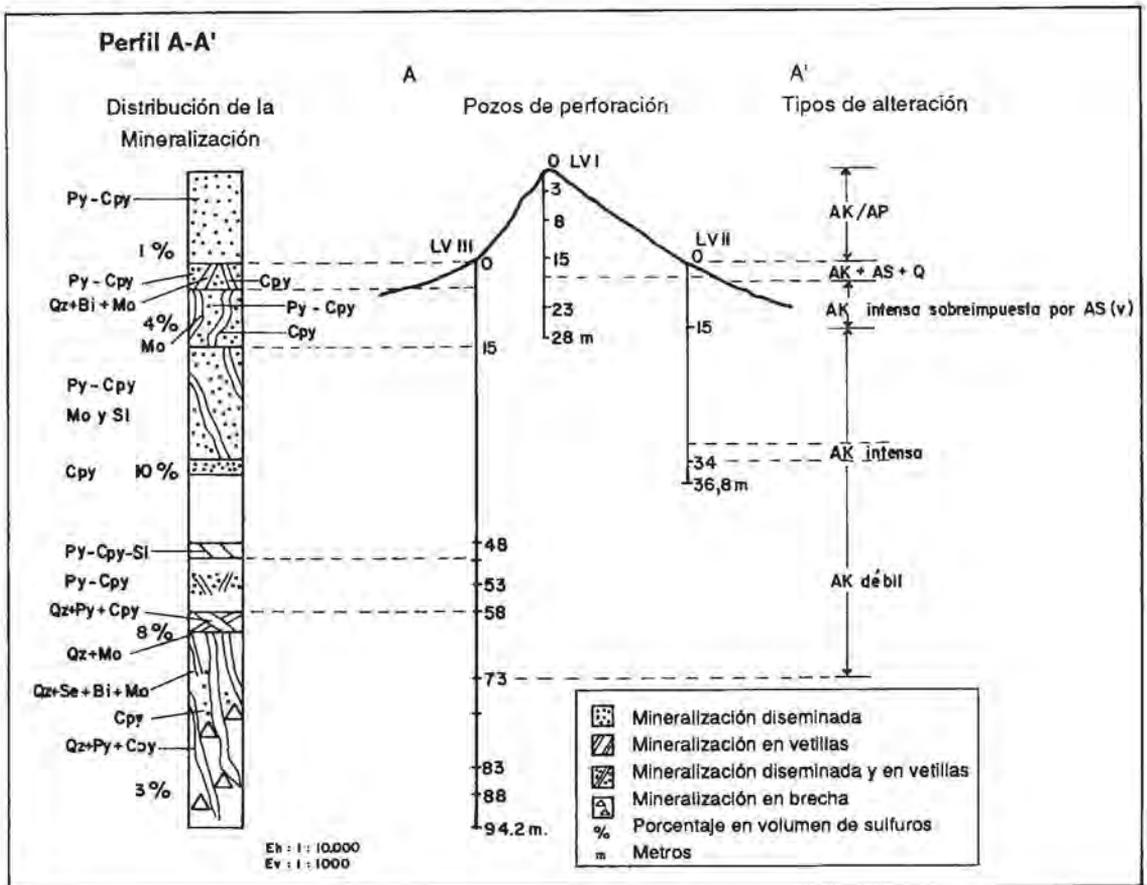


FIG. 4. Perfil A-A' mostrando la relación topográfica entre sondeos, la forma y el tipo de alteración y mineralización. Los porcentajes han sido estimados a partir de muestras de mano. Py- pirita; Cpy- calcopirita; Czo- cuarzo; Bi- biotita; Mo- molibdenita; S1- esfalerita; Se- sericita. LV I, LV II y LV III: sondeos de perforación. AK- alteración potásica; AS- alteración filica; AP- alteración propilítica; Q- silicificación. La ubicación del perfil está en la figura 2.

y reemplazando, ocasionalmente, a las plagioclasas. El rutilo aparece como aglomeraciones de color amarillento. La apatita reemplaza a la biotita magmática y coexiste con biotita hidrotermal.

En los sondeos, hasta 73 m por debajo de la boca del pozo del sondeo LV III, la alteración potásica, es de poca intensidad, con pirita y calcopirita diseminadas. Sólo en los diez primeros metros de los sondeos LV II y LV III y entre los 33 y 34 m del sondeo LV II, la alteración potásica es penetrativa y de mayor intensidad incluyendo, además, molibdenita.

Nidos de biotita hidrotermal, también, se observaron reemplazando, en forma incipiente, la matriz de la brecha tabular.

La alteración a través de vetillas es escasa y aparece en la periferia de la tonalita. Vetillas mono-

minerales de biotita; de biotita, feldespatos potásico y cuarzo (Fig. 5C); de biotita y cuarzo, y de cuarzo y feldespatos potásico cortan a la tonalita. Este último tipo de vetilla corta también a la biotita de la alteración potásica penetrativa. Las vetillas de cuarzo y biotita son segmentadas. Las vetillas van desde micrones hasta milímetros de ancho. Algunas alcanzan un espesor de 2 cm, están compuestas por cuarzo, feldespatos potásico y biotita. Una vetilla de cuarzo, feldespatos potásico y sericita (vetilla A1 de inclusiones fluidas) corta a un dique aplítico y es intersectada por una de cuarzo.

A los 18 m del pozo LV I, cuya cota topográfica coincide con la de los tres primeros metros del pozo LV II y LV III (Fig. 4), se encontraron dos vetillas compuestas por cuarzo, biotita, molibdenita y apatita (vetilla A2 de inclusiones fluidas) y cuarzo, sericita

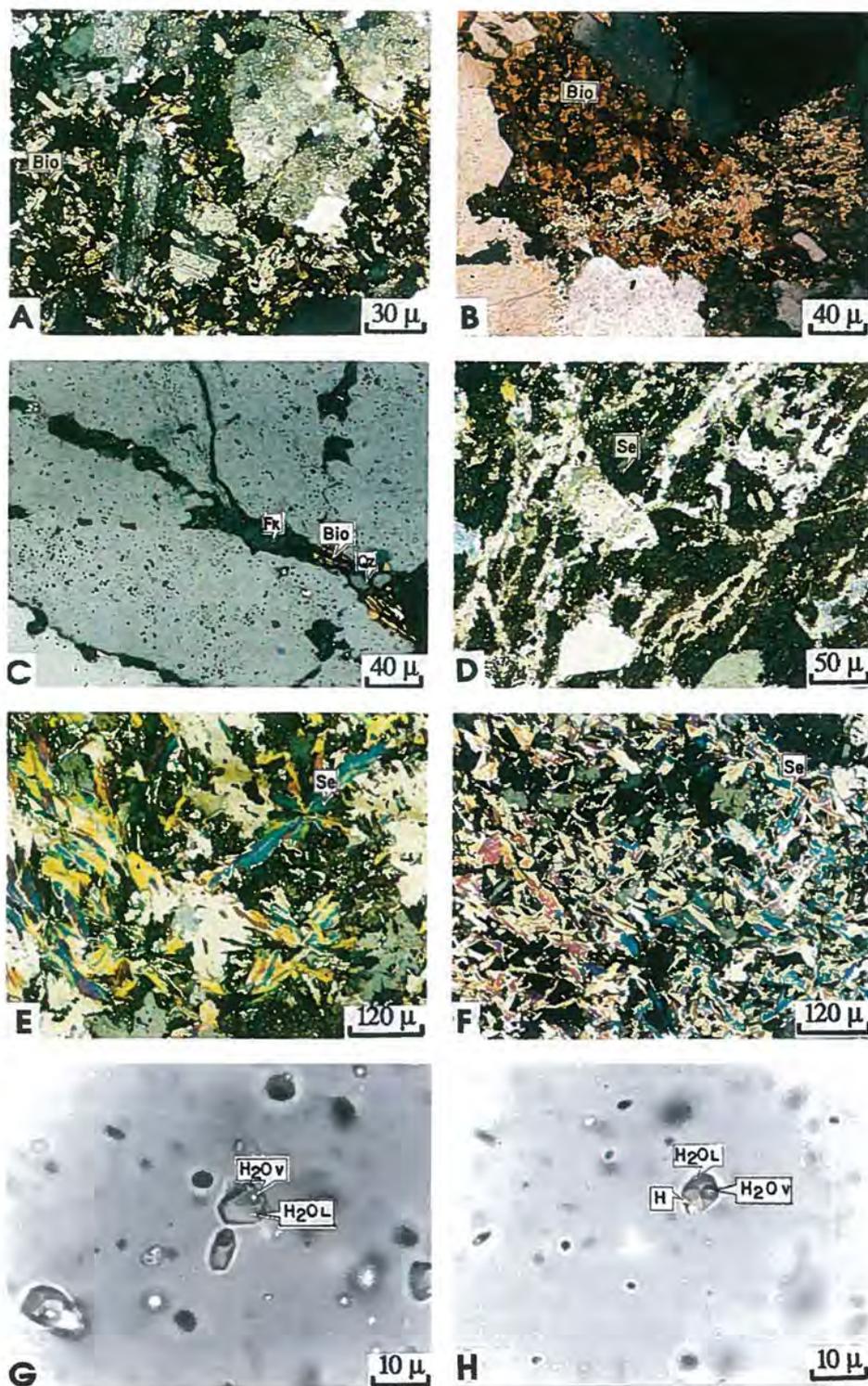


FIG. 5. Alteración potásica: **A**- biotita hidrotermal en forma de nidos y vetillas reemplazando feldspatos y cuarzo de la tonalita con sulfuros asociados; **B**- nidos de biotita de alteración penetrativa cortada por una vetilla de sericita; **C**- vetilla segregada de biotita, feldspato alcalino y cuarzo cortando un cristal de cuarzo magmático. Alteración fílica: **D**- microvetillas de sericita de relieve con reemplazos incipientes; **E**- distribución penetrativa de sericita con texturas en penacho; **F**- distribución penetrativa de sericita con textura afieltrada. Inclusiones fluidas: **G**- de tipo I. Se observa con claridad la fase fluida (L) y la fase gaseosa (V); **H**- de tipo III. Se observa un cristal cúbico de halita (H), la fase fluida y la fase gaseosa.

y feldespato potásico, siendo el cuarzo el mineral más abundante. Desde los 58 hasta los 88 m del testigo LV III, vetillas de cuarzo, sericita, biotita y molibdenita cortan a la roca con mineralización diseminada.

En la granodiorita, este tipo de alteración es escasa y está representada por finas vetillas de relleno de cuarzo y feldespato potásico.

ALTERACION FÍLICA

La alteración fílica presenta colores claros, se superpone a la alteración potásica tanto en superficie (Fig. 3) como en los testigos de perforación (Fig. 4) y está compuesta por cuarzo y sericita.

La forma penetrativa es escasa y muy variable en su intensidad. Comienza con un reemplazo incipiente de fenocristales de plagioclasa y biotita hasta llegar a un mosaico integrado por cuarzo y sericita. En este caso, la sericita se dispone en soles (Fig. 5E), con textura afieltrada (Fig. 5F) y la piritita alcanza hasta un 10% del volumen de la roca.

Guiada por fracturas, en forma de vetillas, es la más importante del depósito. Las vetillas tienen espesores variables desde micrones en el centro de la tonalita hasta vetas de 30 cm de espesor en las zonas periféricas.

Se han identificado los siguientes tipos de vetillas de acuerdo a su asociación mineralógica.

1- Sericita. Son vetillas monominerales, microscópicas y forman un reticulado en los fenocristales de plagioclasa (Fig. 5D). Estas vetillas cortan nidos de biotita hidrotermal y plagioclasas biotizadas (Fig. 5B).

2- Cuarzo. Son de relleno y cortan a vetillas de alteración potásica posteriores a los diques aplíticos. En los bordes de la tonalita, también son posteriores a la alteración fílica. Estas podrían pertenecer a un evento posterior de silicificación.

3- Cuarzo y sericita. Presentan texturas de relleno y están forradas por bandas de sericita en los bordes y cuarzo en el centro. Aparecen como vetillas anastomosadas y cortan a la tonalita con alteración potásica.

4- Cuarzo y piritita. Son vetillas de cuarzo que presentan fracturas paralelas a las paredes. Estas

microfracturas han sido cementadas por piritita generando texturas bandeadas.

5- Cuarzo, molibdenita y calcopirita. Son de relleno y están compuestas por abundante cuarzo, escasa molibdenita y trazas de calcopirita.

6- Cuarzo, sericita, sulfuros y wolframita. Presentan un reemplazo incipiente de cuarzo y sericita de grano fino en las paredes de la fractura y culmina con cuarzo con texturas en peine y espacios abiertos. Al cuarzo se le asocian piritita, calcopirita, arsenopirita y esfalerita. En otras vetillas, aparece molibdenita asociada a la sericita de los bordes y junto al cuarzo, piritita, calcopirita y esfalerita. Estas vetillas cortan a otras donde la sericita se asocia a wolframita y el cuarzo a calcopirita y molibdenita. Si bien la wolframita es muy escasa, O.T. Maki² la encontró en forma abundante en los concentrados de batea en las quebradas de la base de la tonalita.

En la granodiorita es difícil distinguir la alteración fílica hipógena debido a la superposición de procesos por intemperismo.

En los testigos, la alteración fílica está restringida a vetillas y se superpone a la potásica (Fig. 4). En los testigos LV I y LV II existen, al menos, dos juegos de vetillas, uno de cuarzo, sericita y apatita y otro de cuarzo. A los 18 m del testigo LV II, la alteración es intensa y las vetillas presentan sericita en las paredes y cuarzo en el centro.

La cuantificación de la alteración hidrotermal permite agrupar las asociaciones en tres zonas (Fig. 3).

- Una zona central, pequeña, de alteración potásica penetrativa incipiente, cuya intensidad varía entre el 10 y el 30% en volumen y una periférica de menor intensidad relacionada a vetillas. A esta alteración, se le superpone una fílica penetrativa y con vetillas de reemplazo.
- Una zona intermedia de alteración fílica, rodea a la anterior, su intensidad es importante entre el 60 y 90% del volumen de la roca en el sector norte. Esta alteración comienza con un reemplazo guiado por vetillas y se hace penetrativa. Es poco importante en el extremo sur.
- Una zona externa de alteración fílica restringida a vetas y vetillas localizada en el sector norte. Está cortada por las vetillas de cuarzo.

ALTERACION PROPILITICA

Es poco importante y está compuesta por clorita, calcita, epidota y zeolitas. La clorita es dominante; reemplaza a biotita y a la anfíbola de la tonalita y está asociada a epidota. La calcita se presenta en vetillas y, subordinadamente, como agregados junto al cuarzo. Una zeolita (laumontita) fue identificada en dos muestras; en una aparece junto a sericita y calcita reemplazando, selectivamente a la plagioclasa y en la otra se desarrolla en diaclasas.

Entre los 18 y 28 m del testigo LV I, y a los 88 m de LV II (Fig. 4), la alteración es intensa y se sobreimpone a la alteración potásica. Vetillas de calcita cortan y reemplazan a las plagioclasas y la clorita reemplaza a la biotita hidrotermal.

La clorita, también, es el principal mineral que reemplaza a los minerales máficos del dique diabásico.

MINERALIZACION HIPOGENA

La mineralización asociada a a alteración potásica penetrativa es diseminada y escasa; está formada por calcopirita dominante, pirita y escasa molibdenita (Fig. 6). Estos minerales aparecen, también, en forma subordinada en vetillas junto a biotita.

La mineralización en vetillas vinculada a la alteración filica es la más importante; los minerales encontrados presentan las siguientes características, ordenados de acuerdo a su secuencia paragenética (Fig. 6).

La arsenopirita tiene formas prismáticas o rómbicas y se han identificado dos generaciones. La primera generación es de aproximadamente 2 mm, y está fracturada. La pirita tiene cristales subhedrales a anhedrales (390 μm) con textura cataclástica y reemplaza a la arsenopirita con textu-

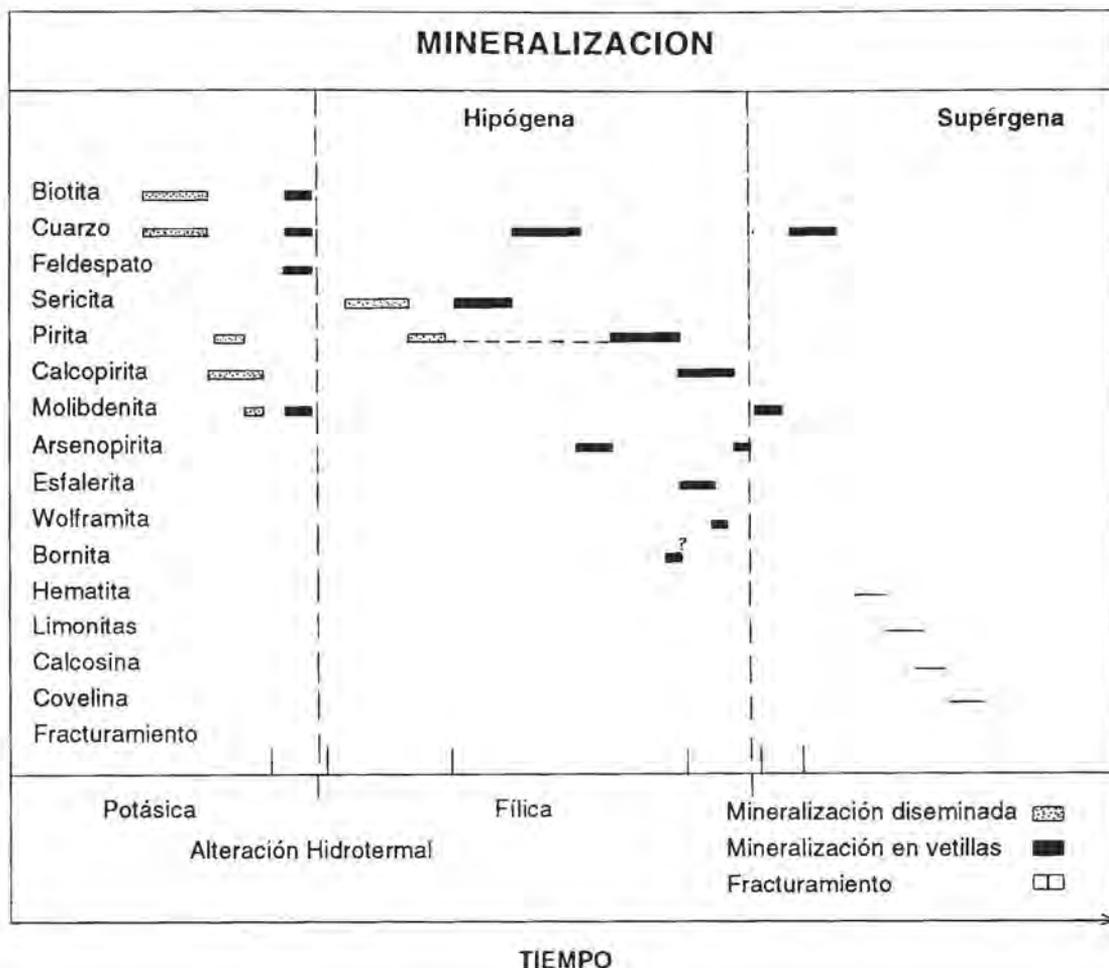


FIG. 6. Secuencia paragenética en el yacimiento La Voluntad.

ra de caries. La esfalerita es escasa y presenta relaciones variables con la calcopirita, desde contactos mutuos, hasta estrellas y vetillas guiadas cristalográficamente. La calcopirita es abundante y está asociada a pirita, esfalerita y arsenopirita. La calcopirita se desarrolla entre granos de cuarzo y lo reemplaza a través de fracturas; rodea y cementa fracturas en pirita y en arsenopirita; se presenta como motas y vetillas que cortan y reemplazan a granos subhedrales de esfalerita. Una segunda generación de arsenopirita tiene cristales pequeños de 25 μm , que forman núcleos y bordes de reemplazo sobre pirita y aparecen como vetillas en rosario en calcopirita y en esfalerita. La molibdenita es escasa y aparece entre granos y fracturas de cuarzo. Existen, por lo menos, dos generaciones de molibdenita, una asociada a calcopirita y a wolframita y otra posterior en la que aparece junto a pirita, calcopirita y esfalerita. La wolframita, como agregados prismáticos, se deposita en el contacto con la roca de caja. La bornita es escasa y está asociada a vetillas con alteración filica. Se la encontró en la parte superior y en los bordes del cuerpo intrusivo tonalítico.

En las vetillas formadas, en su inicio, la pirita y la calcopirita son las más abundantes, evolucionando a la deposición de molibdenita y calcopirita (con wolframita), para culminar con molibdenita asociada a cuarzo y cuarzo estéril. En el sector noreste, donde las vetillas son más anchas (10-30 cm), se observan las mayores concentraciones de molibdenita.

En los primeros metros del testigo LV I (Fig. 4), los sulfuros se presentan diseminados, son escasos (<1% en volumen) y de pequeño tamaño (<50

μm). En los metros iniciales de los sondeos LV II y LV III (Fig. 4) que coinciden con los 18 m del sondeo LV I, aparecen vetillas de molibdenita con cuarzo y biotita que cortan a la mineralización diseminada. Entre los 18 y hasta los 28 m del sondeo LV I (15 m, LV II y LV III), la mineralización de sulfuros es diseminada y alcanza un valor importante de un 4% en volumen (LV II). A partir de los 15 m de los sondeos LV II y LV III, la mineralización es de menor intensidad y va disminuyendo con la profundidad, con excepción del metro 34 (LV II) y el 58 (LV III) donde se registran valores máximos de hasta el 10% en volumen de sulfuros. La mineralización de baja intensidad se asocia a vetillas de cuarzo, sericita, biotita y molibdenita las que cortan a la roca con calcopirita diseminada. En los testigos se observa que la calcopirita se depositó en toda su longitud en forma diseminada y en vetillas y que su mayor volumen está vinculado a vetillas con alteración filica. La molibdenita se depositó en forma de vetillas que aparecen intermitentemente a lo largo de los testigos y que se relacionan con las últimas etapas de alteración filica.

MINERALIZACION SUPERGENA

Está poco desarrollada; se encontraron malaquita, calcosina, covelina, hematita y limonitas. La Calcosina y la covelina reemplazan a la calcopirita y en forma centrípeta, junto a finos prismas de hematita, reemplazan a bornita. Las limonitas (goethita), de color pardo rojizo, se asocian a pirita y a biotita. La malaquita se presenta como pátinas y relleno de diaclasas, con texturas coloidales y junto a calcita.

INCLUSIONES FLUIDAS

Se encontraron inclusiones fluidas en el cuarzo de la tonalita y en el de las vetillas mineralizadas.

En los fenocristales de cuarzo de la tonalita, las inclusiones fluidas se presentan aisladas, muy pequeñas (5 μm) y con forma de cristal negativo de cuarzo. En estas inclusiones, por su tamaño, sólo se pudieron realizar observaciones cualitativas. Se identificaron dos tipos: tipo I y tipo III. Las de tipo I son las más abundantes y, en casos, se observó una fase cúbica, opaca, atribuida a pirita. Las de tipo III son escasas y presentan un pequeño cristal de

halita respecto a la fase líquida. En algunas inclusiones, se observó además otro cristal hijo, prismático, incoloro, probablemente de anhidrita.

En las vetillas mineralizadas se estudiaron inclusiones vinculadas a la alteración potásica (A) y a la alteración filica (B); en este caso, se siguió el ordenamiento establecido en su descripción petrográfica.

A1- Vetilla de cuarzo, feldespato y sericita. Se encontraron inclusiones fluidas de dos tipos: tipo I y

tipo II. Las de tipo I son abundantes, regulares y pequeñas (10 μm ; Fig. 5G). Sus temperaturas de homogeneización a líquido, Th(L), están entre los 321 y los 399°C, presentando una mayor frecuencia entre los 360 y 390°C (Fig. 7.1).

Las de tipo II son escasas y pequeñas (10 μm). Coexisten con las de tipo I, y en un caso, se determinó una temperatura de homogeneización a vapor, Th(V), de 399°C igual a una temperatura de homogeneización a líquido, Th(L), de una inclusión de tipo I. En los otros casos, las Th(L) se encuentran entre los 358-395°C mientras que las Th(V) se mantienen en 394°C.

A2- Vetilla de cuarzo, biotita y molibdenita. Ubicada a los 18 m del sondeo LV I. Se encontraron inclusiones fluidas de los tres tipos. Las de tipo I, son

las más abundantes, regulares (bipiramidales prismáticas) y pequeñas (<10 μm). Sus Th(L) están entre 324 y 403°C, con dos modas entre 330-360°C y 360-390°C. Las de tipo II están próximas a la molibdenita, coexisten con las de tipo I y son regulares y escasas. Sus Th(V) están entre 382 y 423°C (Fig. 7.2). Las de tipo III son escasas, pequeñas (12 μm) y se alojan en cavidades prismáticas (Fig. 5H). Se identificaron dos cristales hijos: halita y anhídrita. La relación sólido a líquido es 20/80. En una inclusión fluida se observó la presencia de tres cristales hijos, incoloros, con una relación sólido a líquido de 80/20. Su Th(L) es de 312°C y la temperatura de disolución de una de las fases es de 226°C, mientras que las restantes no se disolvieron al finalizar el ensayo (400°C) debido a la pérdida de nitidez en la observación.

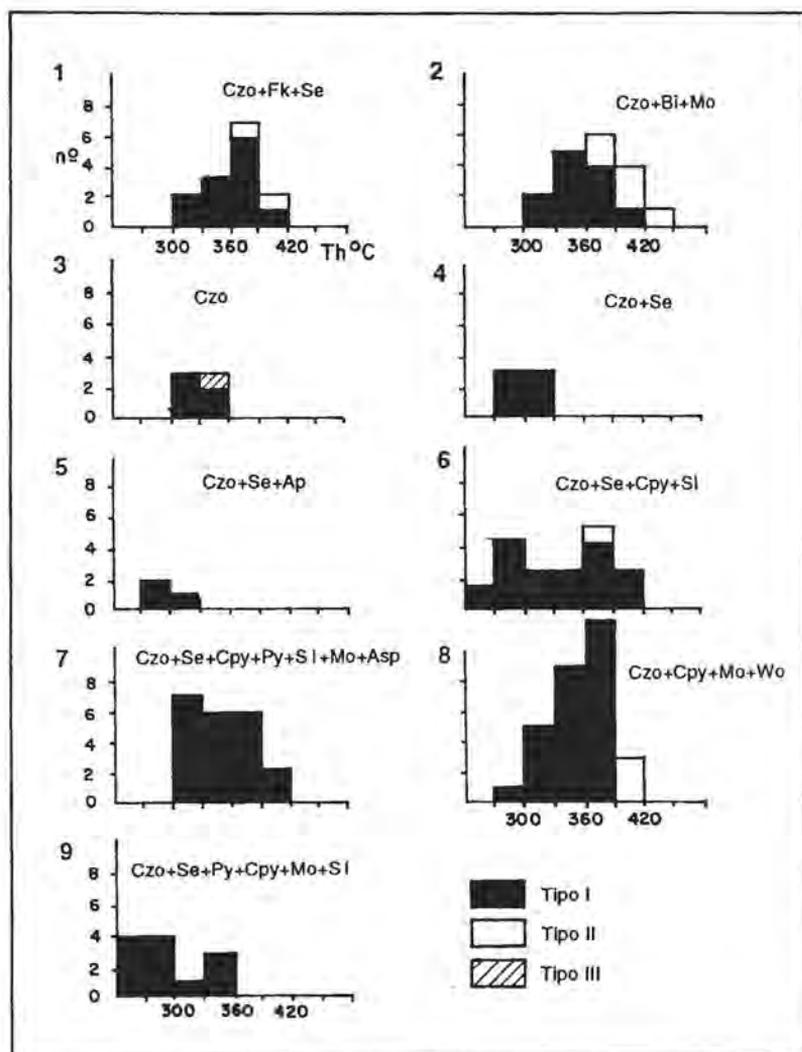


FIG. 7. Histogramas de temperaturas de homogeneización de inclusiones fluidas obtenidas en vetillas de alteración potásica y filica. Bi-biotita; Czo-cuarzo; Fk-feldespato potásico; Se-sericita; Ap-apatita; Py-pirita; Cpy-calcopirita; Mo-molibdenita; Asp-arsenopirita; Sl-esfalerita; Wo-wolframita; n-número de determinaciones; Th-temperaturas de homogeneización (°C).

B2- Vetilla de cuarzo. Se la encontró a los 18 m del testigo LV I. Se observaron inclusiones fluidas del tipo I y de pequeño tamaño (9 μm). Sus Th(L) están entre los 323 y 365°C (Fig. 7.3). Una inclusión fluida de tipo III tuvo una temperatura de disolución de halita de 200°C y Th(L) de 345°C.

B3- Vetilla de cuarzo y sericita. Sólo se encontraron inclusiones fluidas de tipo I, escasas y pequeñas (10 μm). Sus Th(L) están en el intervalo entre los 282 y los 323°C (Fig. 7.4).

B3- Vetilla de cuarzo, sericita y apatita. Ubicada a los 18 m del testigo LV I. Se observaron numerosas inclusiones fluidas de tipo I, pequeñas (<12 μm) con sus Th(L) variando entre los 283 y 334°C (Fig. 7.5).

B6- Vetilla de cuarzo, sericita con calcopirita y esfalerita. Se identificaron los tres tipos. Las de tipo I, son abundantes y pequeñas (10 μm). Sus Th(L) muestran una gran dispersión entre 273 a 405°C con dos modas, en 285 y 375°C (Fig. 7.6). Las de tipo II, son de forma regular, pequeñas (5 μm), escasas y coexisten con las de tipo I. Sus Th(V) son difíciles de precisar, ya que a los 390°C la cavidad se torna negra. Las de tipo III son más escasas que las de tipo II y con un cristal de halita muy pequeño en proporción al líquido; en una se halló un cristal hijo muy pequeño, circular, incoloro (anhidrita?).

B6- Vetilla de cuarzo, sericita con calcopirita, pirita, esfalerita, molibdenita y arsenopirita. Las inclusiones fluidas de tipo I son abundantes, regulares y pequeñas (10 μm). El límite de la fase vapor es grueso y de color oscuro. Sus Th(L) varían entre los 320 y 410°C con una distribución homogénea (Fig. 7.7).

B6- Vetilla de cuarzo, sericita con calcopirita, molibdenita y wolframita. Las inclusiones fluidas son de los tres tipos. Las de tipo I son pequeñas (10 μm) y las más abundantes. Sus Th(L) están entre 289 a 400°C (Fig. 7.8). Las de tipo II son escasas,

pequeñas y coexisten con las de tipo I. Sus Th(V) están entre 393 y 422°C. Las de tipo III son muy escasas y con tamaños entre 15 y 20 μm .

B6- Vetilla de cuarzo, sericita con pirita, calcopirita, molibdenita y esfalerita. Esta vetilla corta a la anterior. Las inclusiones fluidas son de dos tipos: de tipo I y de tipo II. Las de tipo I son pequeñas y sus Th(L) están entre 240 a 360°C (Fig. 7.9). Las de tipo II son escasas y en los ensayos de calentamiento el menisco de la fase vapor desaparece rápidamente sin cambios de volumen indicando una Th en el punto crítico (Tc) entre 414 y 420°C.

Salinidades. La mayoría de las inclusiones fluidas son pequeñas, oscilan alrededor de los 10 μm , lo cual impide una buena determinación de las salinidades por problemas ópticos.

En una vetilla de cuarzo asociada a vetillas con alteración potásica (18 m, sondeo LV I) se determinó, en una inclusión de tipo III, una salinidad del 30% en peso equivalente a NaCl sobre la base de la temperatura de disolución de halita (Ts) de 200°C con una Th(L)=345°C (Keevil, 1942). La presencia de cristales hijos de halita a temperatura ambiente, indica salinidades superiores al 26% en peso equivalente a NaCl (Roedder y Bodnar, 1980) en todas las inclusiones de tipo III.

En las vetillas de alteración filica predominan las inclusiones fluidas de tipo I. En una vetilla de cuarzo y sericita (B3) se obtuvieron valores de salinidad del 5 al 6% en peso equivalente a NaCl. En dos vetillas de cuarzo sericita con sulfuros (B6) se obtuvieron salinidades del 4 al 5% en peso equivalente a NaCl a partir de los valores de temperatura de homogeneización de las inclusiones fluidas en el punto crítico entre 412 y 420°C (Sourirajan y Kennedy *in* Roedder, 1984). Para estas inclusiones, subsaturadas a temperatura ambiente, la corrección por presión se realizó considerando una salinidad promedio del 10% en peso equivalente a NaCl para minimizar errores (Roedder y Bodnar, 1980), debido a que las inclusiones que pudieron ser medidas, son escasas.

DISCUSION

La alteración y la mineralización están vinculadas en el espacio y en el tiempo al intrusivo tonalítico. Las relaciones de contacto entre la granodiorita y la

tonalita no son netas en los afloramientos reconocidos. A las variaciones petrográficas se suman variaciones de expresión geomorfológicas, las que lleva-

ron a Leanza (1990) a agruparlas como una unidad que denominó Complejo Plutónico Chachil. La existencia de un afloramiento de riolita cubriendo a la tonalita, sin alteración hidrotermal y equiparable a la Formación Choyoi (Triásico) y de xenolitos de granodiorita, pone un límite geológico a la intrusión de la plutonita y a la edad del sistema hidrotermal. Su edad es así pretriásica y posiblemente pérmica, coincidiendo con la edad obtenida por el método K-Ar (281 ± 4 Ma) (Sillitoe, 1977). Rapalini (1988), con métodos magnetoestratigráficos, confirmó la edad pérmica superior para las volcanitas de la Formación Choyoi aflorantes en el cerro Chachil. Llambías y Caminos (1987) relacionaron los afloramientos del Cerro Chachil con los que aparecen en la Cordillera del Viento (37°S y $70^\circ 30'\text{W}$). En esta localidad, granodioritas (227 ± 16 Ma) y riolitas (260 ± 16 Ma, Llambías y Caminos, 1987), atraviesan rocas del Carbonífero Superior (Formación Huaraco) y están cubiertas en discordancia por coladas y aglomerados volcánicos riolíticos de la Formación Choyoi (Pérmico Superior-Triásico Medio).

La falla mapeada que corta a la tonalita presenta entre sus planos una brecha mineralizada, por lo que se debió formar cuando la tonalita estaba solidificada al igual que las vetillas. Los rumbos principales de las vetillas $\text{N}15\text{-}45^\circ\text{E}$, $\text{N}65\text{-}85^\circ\text{E}$ y los secundarios $\text{N}15\text{-}55^\circ\text{W}$ son coincidentes con los obtenidos por la 'Compañía Placer Dome' a escala regional. Se interpreta que la implantación del sistema hidrotermal fue guiada por alineaciones estructurales regionales.

Los mayores valores de densidad de vetillas, $0,13$ vetillas por cm^{-1} , se midieron en el centro de la tonalita, al norte de los sondeos, y son coincidentes con la mayor alteración filica y la mineralización. Estos valores son inferiores a los informados para depósitos económicos, mayor que $0,2$ vetillas por cm^{-1} (Haynes y Titley, 1980), con excepción de un valor anómalo hallado en el pozo LV I restringido a los 18 m de profundidad del sondeo. La densidad de vetillas representa una medida relativa de la permeabilidad de flujo que tenía el sistema hidrotermal (Vilas y Norton, 1977). Su baja densidad se debería a una pobre energía del sistema por el escaso volumen de los fluidos actuantes (Burnham, 1979). Una evidencia indirecta del volumen de los fluidos actuantes lo dan las texturas equigranulares y porfíricas con matriz fanerítica de la tonalita que son esperadas en la cristalización lenta de un magma

con contenidos iniciales del 2 al 4% en peso de agua, siguiendo los trabajos experimentales de Whitney (1989).

Se reconocen dos episodios principales de alteración hidrotermal de acuerdo a las relaciones de corte y a las texturas de reemplazo. En el primer episodio, la alteración hidrotermal es potásica penetrativa y de baja intensidad. La biotita es el principal mineral formado durante esta etapa y su abundancia se debe a la composición tonalítica de la roca alterada (Rose y Burt, 1979). La piritita, calcopiritita y molibdenita diseminadas se asocian a esta alteración. En la alteración potásica penetrativa el fluido circuló a través de límites de granos y de microfisuras. La débil intensidad de la alteración potásica se interpreta como debida a una baja relación agua/roca. Las vetillas de alteración potásica que incluyen feldespato potásico, biotita y sericita, se las considera como formadas en una etapa intermedia, por ser posteriores a la roca con alteración potásica penetrativa y anteriores a la alteración filica. En el segundo episodio las vetillas de alteración filica se superponen al arreglo potásico, siendo la alteración penetrativa e intensa en los sectores de mayor densidad de vetillas, particularmente en la zona al norte de los sondeos (Fig. 2). A este episodio se le asocia la mayor proporción de minerales como: piritita, arsenopiritita, calcopiritita, bornita, molibdenita, wolframita, esfalerita y galena.

En la tonalita son escasas las inclusiones portadoras de halita (tipo III) indicativas de una fuente magmática de los fluidos (Stefanini y Williams-Jones, 1996). El cuarzo debió incorporar parte de la fase acuosa exsuelta antes del inicio del proceso hidrotermal (Weisbrod, 1981). La escasez de este tipo de inclusiones y la baja relación de halita a líquido contrasta con la abundancia de las inclusiones fluidas portadoras de halita y el número de cristales hijos hallados en intrusivos vinculados a mineralizaciones de cobre porfírico importantes (Nash, 1976; Eastoe, 1978).

Existen numerosas asociaciones mineralógicas de vetillas con escasas relaciones de corte que impiden precisar los cambios del fluido con el tiempo. Esto puede ser aproximado si se consideran, además, la mineralogía y los datos de las inclusiones fluidas. Los primeros fluidos registrados tienen temperaturas entre 400 y 410°C , alta salinidad ($>26\%$ en peso equivalente a NaCl) y son los únicos

que presentan ebullición (Inclusiones de tipo II). Están asociados a vetillas con alteración potásica sin sulfuros o con escasa molibdenita y a vetillas con alteración filica con calcopirita y esfalerita; calcopirita, pirita, esfalerita, molibdenita y arsenopirita y calcopirita, molibdenita y wolframita. Le suceden fluidos con temperaturas de alrededor de 360°C, con salinidades bajas (5-6% en peso equivalente a NaCl). Se asocian a vetillas de alteración filica con pirita, calcopirita, molibdenita y esfalerita y a vetillas de cuarzo. Los últimos fluidos siguen siendo de baja salinidad, con temperaturas de 334°C y se relacionan a vetillas de cuarzo, o de cuarzo sericita y apatita. Estas evidencias indican que en el sistema hidrotermal predominaron fluidos de baja salinidad, siendo escasos los de alta. Las variaciones de salinidad encontradas en las inclusiones fluidas podría interpretarse, al parecer, como debido al ingreso de agua meteórica al sistema durante la fracturación.

Una presión de 250 bar se obtiene a partir de una inclusión fluida en una vetilla, A1, en que se observan fenómenos de ebullición con una $Th(L)_i = Th(V)_i = 399^\circ\text{C}$, una salinidad del 6% en peso equivalente a NaCl (Sourirajan y Kennedy, *in* Roedder y Bodnar, 1980) y una densidad de $0,64 \text{ gr cm}^{-3}$ (Urusova y Haas, *in* Roedder y Bodnar, 1980). En las restantes inclusiones fluidas con evidencias de ebullición, las $Th(L)_i$ y las $Th(V)_i$ están en intervalos próximos a los 400°C (Fig. 7). En este caso, es probable que las inclusiones hayan atrapado mezclas de fluidos en el momento de su ebullición (Roedder y Bodnar, 1980).

La corrección por presión de las temperaturas de homogeneización varían entre 25 y 30°C (Haas, 1976). Una presión de entrampamiento mínima de 130 bar se obtiene a partir de la $T_s = 200^\circ\text{C}$ y $Th(L)_i = 345^\circ\text{C}$ en inclusiones fluidas de tipo III (Sourirajan y Kennedy, *in* Roedder y Bodnar, 1980). Para una presión de 250 bar y asumiendo un sistema hidrostático, la profundidad de formación de dichas vetillas sería de 3,9 km.

La tonalita se habría formado en un borde destructivo de placas, similares a los procesos de subducción permocarbónicos descritos en Chile por Frutos y Alfaro (1985). Plutonitas vinculadas a un arco magmático permocarbónico han sido descritas en la zona de los lagos Ranco-Riñihue (Munizaga *et al.*, 1985), en la zona de Lago Aluminé-Rahue (Varela *et al.*, 1994), en Gastre (Rapela *et al.*, 1992) y en La Leona, Santa Cruz (Márquez, 1994). Este arco magmático se dispone a partir de los 40°S con un rumbo NW-SE en la Patagonia extrandina, oblicuo a la Cadena Andina (Rapela *et al.*, 1992). En forma coincidente, yacimientos de cobre porfírico de esta edad que al norte de los 40°S se encuentran paralelos a la Cadena Andina (Santa Clara, Infiernillo, Yalguaráz?, Provincia de Mendoza, Argentina) a partir de La Voluntad, se apartan de la Cadena Andina hasta aparecer en el Paraje Tres Cerros (yacimientos La Leona y La Juanita) 40 km al oeste de la costa atlántica (Provincia de Santa Cruz). La potencialidad económica de este evento metalogénico es aún desconocida.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado en el marco del PID, No. 3659/92, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, en el Departamento de Geología de la Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina. Los autores agradecen a la Dirección de Minería de Neuquén por las muestras y por la información brindada sobre el área de trabajo. Un especial agradecimiento a G. Aliotta (Universi-

dad Nacional del Sur, Bahía Blanca), M. Brodtkorb (Universidad de Buenos Aires), I. Schalamuck (Universidad Nacional de La Plata), F. Henríquez (Universidad de Santiago de Chile) y W. Vivallo (Servicio Nacional de Geología y Minería, Chile), por la lectura crítica del manuscrito y por sus valiosos comentarios.

REFERENCIAS

- Burnham, C.W. 1979. Magmas and hydrothermal fluids. In Geochemistry of hydrothermal ore deposits. 2nd edition (Lloyd Barnes, H.; editor). *John Wiley & Sons*, p. 71-136.
- De Ferraris, C. 1947. Edad del arco o dorsal antigua del Neuquén oriental, de acuerdo con la estratigrafía de la zona inmediata. *Asociación Geológica Argentina, Revista*, Vol. 2, No. 3, p. 256-283.
- Digregorio, J.; Uliana, M. 1980. Cuenca Neuquina. In Geología Regional Argentina. *Academia Nacional de Ciencias*. Vol. 2, p. 985-1032. Córdoba.
- Eastoe, C.J. 1978. A fluid inclusion study of the Panguna Porphyry Copper Deposit, Bouganville, Papua, Nueva Guinea. *Economic Geology*, Vol. 73, p. 721-748.
- Franzese, J.R. 1995. El Complejo Piedra Santa (Neuquén, Argentina) parte de un cinturón metamórfico neopaleozoico del Gondwana suroccidental. *Revista Geológica de Chile*, Vol. 22, No. 2, p. 193-202.
- Frutos, J.; Alfaro, G. 1985. El complejo ofiolítico de ámbito eugeosinclinal paleozoico en la Cordillera de la costa sur de Chile. In *Congreso Geológico Chileno*, No. 4, Actas, Vol. 1, p. 332-333. Antofagasta.
- Groeber, P. 1956a. Acerca de la edad del Sañicolitense. *Asociación Geológica Argentina, Revista*, Vol. 11, No. 4, p. 281-292.
- Guilbert, J. M.; Park, C. 1986. The Geology of ore deposits. *W.H. Freeman and Company*, 985 p.
- Haas Jr., J.L. 1976. Physical properties of the coexisting phases and the thermochemical properties of the H₂O components in boiling NaCl solutions. *U.S. Geological Survey, Bulletin*, No. 1421-A, p. 73.
- Haynes, F. 1984. Vein densities in drill core Sierrita Porphyry Copper deposit, Pima County, Arizona. *Economic Geology*, Vol. 79, p. 755-758.
- Haynes, F.; Titley, S. 1980. The evolution of fracture related permeability within the Rubby Star granodiorite, Sierrita porphyry copper deposit, Pima County, Arizona. *Economic Geology*, Vol. 75, p. 673-683.
- Keevil, N.B. 1942. Vapor pressures of aqueous at high temperatures. *Journal of the American Chemical Society*, Vol. 64, p. 841-850.
- Leanza, H. 1990. Estratigrafía del Paleozoico y Mesozoico anterior a los movimientos intermármicos en la comarca del Cerro Chachil, Provincia del Neuquén. *Asociación Geológica Argentina, Revista*, Vol. 45, No. 3-4, p. 272-299.
- Lowell, J.D.; Guilbert, J.M. 1970. Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits. *Economic Geology*, Vol. 65, p. 373-408.
- Llambías, E.; Caminos, R. 1987. El magmatismo neopaleozoico de Argentina. In *El Sistema Carbonífero en la República Argentina* (Archangelsky, S.; editor). *Subcomisión de la Geología y Estratigrafía del Carbonífero, Unión Internacional de Ciencias Geológicas*, p. 239-264. Córdoba, Argentina.
- Malvicini, L.; Caminos, R. 1994. La Epoca Metalogenética Gondwánica en la República Argentina. In *Congreso Geológico Chileno*, No. 7, Actas, Vol. 2, p. 848-852. Concepción.
- Márquez, M.J. 1994. Mineralizaciones de tipo cobre porfídico de la Patagonia Argentina. In *Congreso Geológico Chileno*, No. 7, Actas, Vol. 2, p. 860-864. Concepción.
- Méndez, V.; Zapettini, E. 1984. Los pórfidos de cobre de la República Argentina. In *Congreso Geológico Argentino*, No. 9, Actas, Vol. 1, p. 590-611. San Carlos de Bariloche.
- Méndez, V.; Zapettini, E. 1990. Depósitos minerales y ambiente geotectónico de emplazamiento en el orógeno andino central, provincias de San Juan, Mendoza y Neuquén, Argentina. In *Contribuciones al Conocimiento de la Mineralogía y Geología Económica de la República Argentina. Asociación Argentina de Geólogos Economistas, Publicación Especial*, p. 107-119.
- Munizaga, F.; Hervé, F.; Brook, M.; Pankhurst, R.J.; Snelling, N.; Drake, R. 1985. Geochronology of the granitoids of the Lake Region, Chile (39°-42°S Lat.). *Comunicaciones*. Vol. 35, p. 167-170.
- Nash, T. 1976. Fluid inclusions petrology data from porphyry copper deposits and applications to exploration. *U. S. Geological Survey, Professional Paper*, No. 907-D, p. 16.
- Potter II., R.W. 1977. Pressure corrections for fluid inclusion homogenization temperatures based on the volumetric properties of the system NaCl-H₂O. *Journal of Research of the U.S. Geological Survey*, Vol. 5, No. 5, p. 603-607.
- Ramos, V.A. 1983. Evolución tectónica y metalogénesis de la Cordillera Patagónica. In *Congreso Nacional de Geología Económica*, No. 11, Vol. 1, p. 107-124. San Juan.
- Rapalini, A. 1988. Interpretación del área del Cerro Chachil, provincia del Neuquén, como un bloque cortical rotado a partir de datos paleomagnéticos. *Asociación Geológica Argentina, Revista*, Vol. 43, No. 4, p. 445-461.
- Rapela, C.W.; Pankhurst, R.J.; Harrison, S.M. 1992. Triassic 'Gondwana' granites of the Gastre district North Patagonian Massif. *Earth Sciences*, No. 83, p. 291-304.
- Roedder, E. 1979. Fluid inclusions as samples of ore fluids. In *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*. 2nd. edition (Barnes, H.L.; editor). *John Wiley & Sons*, p. 684-737.
- Roedder, E. 1984. Fluid Inclusions (Ribbe, P.; editor). *Virginia Polytechnic Institute and State University, Review in Mineralogy*, Vol. 12, 644 p.
- Roedder, E.; Bodnar, R.J. 1980. Geologic pressure deter-

- minations from fluid inclusion studies. *Annual Review of Earth and Planetary Science*, Vol. 8, p. 263-301.
- Rose, A.W.; Burt, D.M. 1979. Hydrothermal alteration. In *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*. 2nd edition (Barnes, H.L.; editor). *John Wiley & Sons*, p. 173-235.
- Sillitoe, R. 1977. Permo-Carboniferous, upper Cretaceous and Miocene porphyry copper type mineralization in the Argentinian Andes. *Economic Geology*, Vol. 72, No. 1, p. 95-103.
- Stefanini, B.; Williams-Jones, A. 1996. Hydrothermal evolution in the Calabona porphyry copper systems (Sardinia, Italy): the path to an uneconomic deposit. *Economic Geology*, Vol. 91, No. 4, p. 774-791.
- Stipanovic, P.; Rodrigo, F.; Baulies, O.L.; Martínez, C.G. 1968. Las formaciones presenonianas en el denominado Macizo Nordpatagónico y regiones adyacentes. *Asociación Geológica Argentina, Revista*, Vol. 23, No. 2, p. 367-388.
- Teruggi, M.E. 1980. Clasificación de las rocas ígneas según la subcomisión de Sistemática de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas. *Ediciones Científicas Argentinas Librart, Estudios No. 1*, 34 p. Buenos Aires.
- Tittley, S.R. 1978. Geologic history, hypogene features and processes of secondary sulfide enrichment at the Plesyumi copper prospect, New Britain, Papua New Guinea. *Economic Geology*, Vol. 73, p. 768-784.
- Tittley, S.R. 1982. The style and progress of mineralization and alteration in porphyry copper systems, American Southwest. In *Advances in Geology of the porphyry copper deposits*. Southwestern North America (Tittley, S.R.; editor). *University of Arizona Press*, p. 93-116. Tucson.
- Varela, R.; Teixeira, W.; Cingolani, C.; Dalla Salda, L. 1994. Edad Rubidio-Estroncio de Granitoides de Aluminé-Rahue, Cordillera Nordpatagónica, Neuquén, Argentina. In *Congreso Geológico Chileno, No. 7, Actas*, Vol. 2, p. 1254-1258. Concepción.
- Vilas, R.N.; Norton, D. 1977. Irreversible mass transfer between circulating hydrothermal fluids and the Mayflower Stock. *Economic Geology*, Vol. 72, p. 1471-1504.
- Weaver, C. 1931. Paleontology of the Jurassic and Cretaceous of west central Argentina. *Universidad de Washington, Memoir*, Vol. 1, 469 p.
- Weisbrod, A. 1981. Fluid inclusions in shallow intrusives. In *Fluid inclusions, applications to petrology* (Hollister, L.S.; Crawford, M.L.; editors). *Short Course Handbook*, Vol. 6, p. 241-271.
- Whitney, J.A. 1989. Origin and evolution of silicic magmas. In *Ore deposition associated with magma* (Whitney, S.A.; Naldret, A.J.; editors). *Reviews in Economic Geology*, Vol. 4, p. 183-201.
- Yrigoyen, M.R. 1972. Cordillera Principal. In *Geología Regional Argentina* (Leanza, A.F.; editor). *Centro Académico Nacional de Ciencias*, p. 345-364. Córdoba.