



MICROTERMOMETRIA EN LAS FASES DE ALTERACION-MINERALIZACION TEMPRANA DEL PORFIDO AURIFERO VERDE, TERCERA REGION DE CHILE

Santiago Collao I.* Román Flores V. y Eduardo Campos S.***

RESUMEN

El yacimiento Verde, del sistema de pórfidos auríferos de Refugio, de edad Oligoceno Superior-Mioceno Inferior, se enmarca en la Franja de Maricunga, en la parte sur de los Andes Centrales, Chile.

Estudios de inclusiones fluidas hospedadas en cuarzo, indican que en el yacimiento Verde, existen dos eventos termométricos que se asocian a las fases de alteración-mineralización inicial, asignadas como tardimagnética e hidrotermal temprana. El primero, ha sido detectado en fenocristales de cuarzo de la brecha intrusiva, con temperaturas sobre los 600°C y salinidades entre 35% a 52% en peso de Na Cl equivalente. El segundo es evidenciado en fenocristales y vetillas primarias de cuarzo, con modas de temperatura entre los 325° a 450°C y salinidad alrededor de 35% en peso de Na Cl equivalente, correspondientes a los pórfidos diorítico, dacítico y brecha intrusiva, afectados por alteración silicea, clorítica, argílica, asociada a mineralización de magnetita, rutilo, pirita, bornita, calcopirita y blenda.

Las variables termométricas y composicionales aportadas por el estudio de inclusiones fluidas, con altos valores de temperatura y salinidad, para la fase temprana, son coherentes con datos expresados para otros pórfidos auríferos.

INTRODUCCION

El yacimiento Verde es el depósito más meridional del megayacimiento de pórfidos auríferos de Refugio, localizado a 120 km al este de la ciudad de Copiapó, Tercera Región de Chile (Fig. 1). El depósito, se considera uno de los centros de mayor potencial de metales preciosos de la Franja de Maricunga, situada en los Andes Centrales, Chile.

Estudios en el yacimiento, han caracterizado la geología y definido bien, las relaciones con la alteración hidrotermal, de pórfidos y brechas de intrusión^(1,2). Las reservas geológicas fueron estimadas en 216 millones de toneladas con una ley de 0.88 g Au/t, con un contenido de 190 toneladas de oro y una ley de corte de 0.5 Au/t. El oro, ocurre en partículas entre 5 a 50 micrones, como oro nativo, tanto en las rocas porfídicas como en la brecha, afectadas por moderada silificación⁽²⁾. En la actualidad, el depósito opera con una planta de tratamiento de 40.000 tons/día de material, con ley media de 1.0 g Au/t.

La finalidad del estudio de inclusiones fluidas ha sido caracterizar las inclusiones, medir la temperatura, salinidad y densidad de los fluidos, para aportar con datos cuantitativos al modelo y definición del yacimiento Verde.

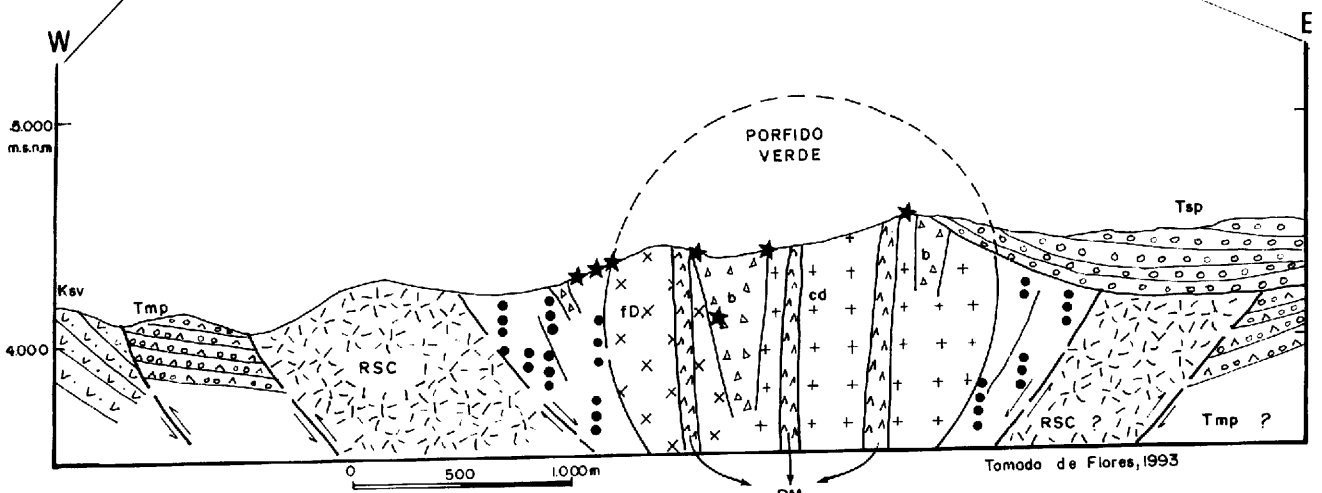
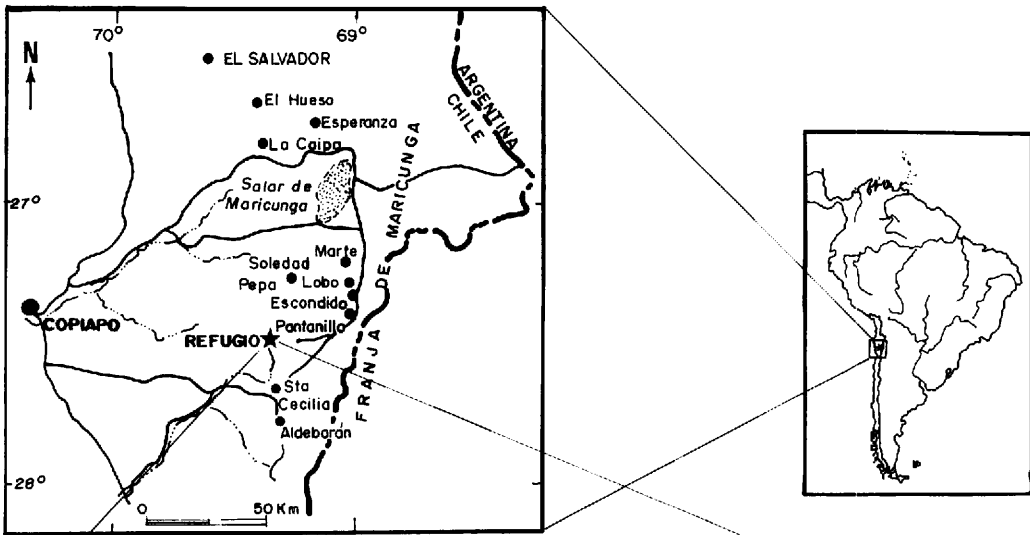
El trabajo, comprenden los primeros resultados del proyecto de investigación P.I. N° 95.25.03-1.2 (Apoyo a Gestión Fondecyt) financiado por la Dirección de Investigación de la Universidad de Concepción. A esta Dirección de Investigación, así como a los geólogos de la Compañía Minera Maricunga, los autores agradecen su cooperación.

METODOLOGIA

Los minerales no metálicos con inclusiones fluidas, así como los minerales de alteración, se investigaron con un microscopio Olympus, modelo BX-40, de luz transmitida. Los minerales metálicos, asociados a aquellos portadores de inclusiones, se investigaron con un microscopio Zeiss Universal de luz reflejada, equipado con accesorios para medidas cuantitativas. Las medidas microtermométricas se ejecutaron en una platina calentadora-enfriadora marca Linkam⁽³⁾ modelo TP - 92, de mayor rapidez de medidas. Los límites de temperatura medibles oscilaron entre los

* Departamento de Ciencias de la Tierra, Casilla 3-C, Universidad de Concepción, Concepción Chile.

** Minera Cyprus Chile Ltda. J. A. Soffia 2747 Of. 014 Providencia, Santiago, Chile.



LEYENDA

- | | | |
|--|---|---|
| Rocas volcánicas del Cretácico (Formación Quebrada Seca) | Complejo subvolcánico de Refugio (Oligoceno Superior) | Rocas con alteración argílica |
| Flujos piroclásticos (Oligoceno) | Brecha de intrusión | Porfido pasmineralización |
| Depósitos piroclásticos (Mioceno Medio) | Pórfido dacítico | Vetas |
| | Pórfido diorítico | Fallas con movimiento relativo |
| | | Muestras investigadas por inclusiones fluidas |

Fig. 1. Sección Geológica Esquemática W-E del Pórfido Aurífero Verde, Refugio y Ubicación en la Franja de Maricunga,

las temperaturas de fusión final del congelamiento de la fase fluida (TC) y de fusión de cristales de halita (TFh). TH, se obtuvo por la desaparición final de la fase gaseosa, líquida o del cristal de halita. La concentración de la salinidad del fluido de las inclusiones, expresada en % en peso de NaCl equivalente, se determinó de tabla standard que permite ligera corrección de valores, según las ecuaciones⁽⁴⁾, haciendo uso de los datos de TC de las inclusiones bifásicas o de TFh de la halita, en las inclusiones polifásicas.

MARCO GEOLOGICO

El yacimiento Verde y los pórfidos auríferos de Pancho y Guanaco se emplazan en rocas subvolcánica de edad Oligoceno Superior-Mioceno Inferior^(5,6), denominado Complejo Subvolcánico Refugio⁽²⁾. Estos depósitos, junto a varios otros yacimientos y zonas de alteración hidrotermal, conforman la faja de metales preciosos, conocida como Franja de Maricunga, que alcanza casi 150 Km de longitud (Fig. 1). En ella se han realizado varios otros estudios geológicos, que han contribuido significativamente a la comprensión de la distribución de metales preciosos^(7,8).

En Refugio, los intrusivos subvolcánicos comprenden pórfidos dacítico, diorítico, brecha intrusiva y granodiorita postmineralización. Algunos de estos cuerpos, contienen en sectores, concentraciones económicas de oro y en parte, están asociados a una fuerte argilización de la roca caja, en especial en las zonas de Verde, Pancho y Guanaco⁽²⁾. En el entorno sur y oriental a los pórfidos, afloran tobos y brechas alteradas del Oligoceno Superior-Mioceno Inferior (21 a 26 Ma), lavas andesíticas (16 a 14Ma) e ignimbritas (11 a 10 Ma). Hacia el norte y occidente de los pórfidos, afloran rocas mesozoicas y paleozoicas, especialmente expuestas por fallamiento⁽⁶⁾.

Las estructuras más notables en las cercanías de Refugio son fallas inversas⁽⁸⁾. En la zona de Refugio, se observan fallas del tipo normal de rumbo norte, noreste, noroeste y este. En el yacimiento Verde, el sistema de fallas este-oeste, limita la zona mineralizada con rocas estériles del Complejo Subvolcánico Refugio. Estructuras menores que corresponden a una intensa red de vetillas y microvetillas polidireccionales y en actitud subvertical a subhorizontal, principalmente con cuarzo, en espesores entre 0.5 a 5 mm, tipifican al depósito como stockwork⁽²⁾.

INCLUSIONES FLUIDAS

En este estudio, se describen los resultados microtermométricos en inclusiones fluidas hospedadas en fenocristales de cuarzo en forma de ojos(FQZ), como en cuarzo de vetillas primarias (QzVP), de los pórfidos y brecha intrusiva, que se relacionan con fases de alteración-mineralización temprana del yacimiento Verde (Fotomicrografía 1). Otras vetillas con cuarzo, granate, calcita y aragonito, post mineralización temprana, están en etapa de medición

Las inclusiones fluidas investigadas en microvetillas primarias con cuarzo, son más pequeñas (5 y 20 μ de largo de sección) que las hospedadas en fenocristales de cuarzo de la matriz de las rocas, donde pueden alcanzar hasta 50 μ de largo de sección. Las formas en que ocurren, son subredondeadas y elipsoidales. Algunas de estas últimas, seudo hexagonales son morfológicamente similar a lo que se denomina cristal negativo hexagonal del cuarzo (Fotomicrografía 2). Estas, se atribuyen a un origen más primario en relación a aquellas elipsoidales e irregulares, que son más frecuentes en las vetillas. Las mediciones microtermométricas se concentraron en inclusiones primarias y seudo secundarias, con el propósito de registrar condiciones asociadas al origen de cada evento paragenético.

Tipos de Inclusiones Fluidas

De acuerdo a criterios tradicionales^(9,10), la clasificación de tipos de inclusiones fluidas, consideró las fases líquido, gas y sólidos; presentes en ellas, distinguiéndose tres tipos:

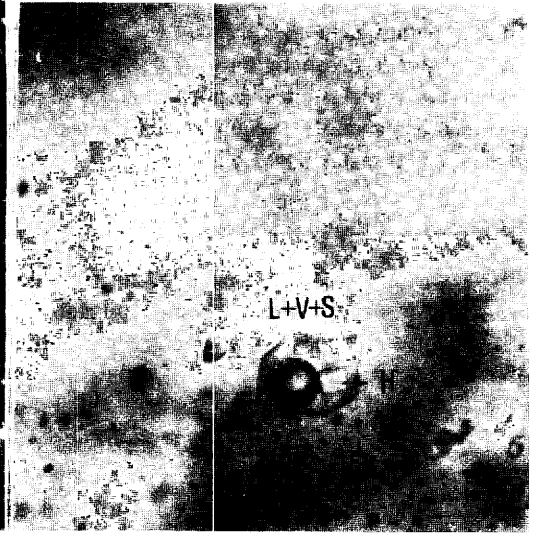
Inclusiones fluidas tipo I, bifásicas ricas en líquido(L+V): la burbuja de la fase gaseosa, comunmente varía entre 5% a 25% en volumen, en relación a la líquida. Estas inclusiones durante el proceso de calentamiento homogenizaron a líquido entre 269° a 450°C y tienen salinidades variables entre 3% a 20% en peso de Na Cl equivalente (Figs. 2B 3) y densidad de los fluidos entre 0.75 a 1.05 gr/cm³. Este tipo de inclusiones es frecuente y más ligada a las generaciones de cuarzo de vetillas, que en los fenocristales de cuarzo, de la masa fundamental.

Inclusiones fluidas tipoII, bifásicas ricas en vapor (V+L): consisten en una fase predominantemente gaseosa, con una proporción de la burbuja de casi 80% en volumen, en relación a la fase líquida. Estas inclusiones, que homogenizan a gas, son escasas. En dos de ellas la temperatura fue de 304° y 371°C y no se lograron medidas de TC, para determinar la salinidad, la que comunmente es baja en este tipo de inclusiones.

Inclusiones fluidas tipo III, polifásicas con halita (L+V+S): están compuestas de una fase gaseosa, una fase sólida consistente en halita y una fase líquida (Fotomicrografía 2). Fueron escasas las ue mostraron una fase metálica. Las



Fotomicrografía 1. Fenocristal (FQz) y vetillas (QzVP) de cuarzo de generación temprana. Muestra de brecha intrusiva. Observación en microscopio de luz transmitida a nicoles cruzados. Magnificación X 13.



Fotomicrografía 2. Inclusión polifásica (L+V+S) con halita (H), pseudo-hexagonal, hospedada en cuarzo. Muestra de brecha intrusiva. Observación en microscopio de luz transmitida a nicoles paralelos. Magnificación X 132.

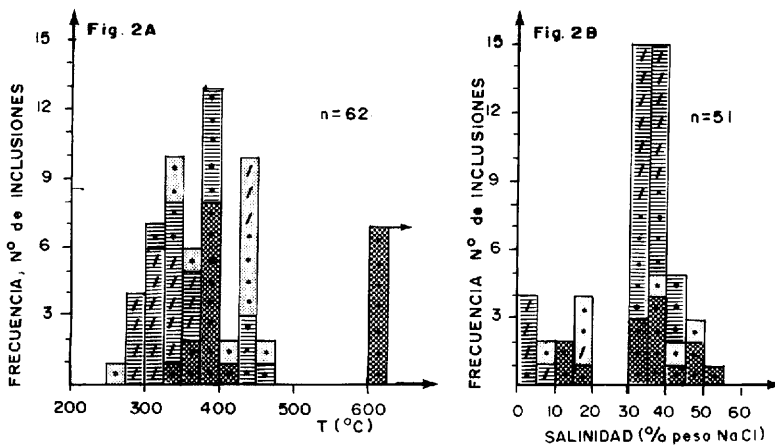


Fig. 2. Histogramas de temperatura de homogenización (2A) y salinidad (2B) para inclusiones fluidas en fenocristales (•) y vetillas (/) de cuarzo en la brecha intrusiva (▨), pórfidos dacítico (⊖) y diorítico (⊕) del yacimiento Verde.

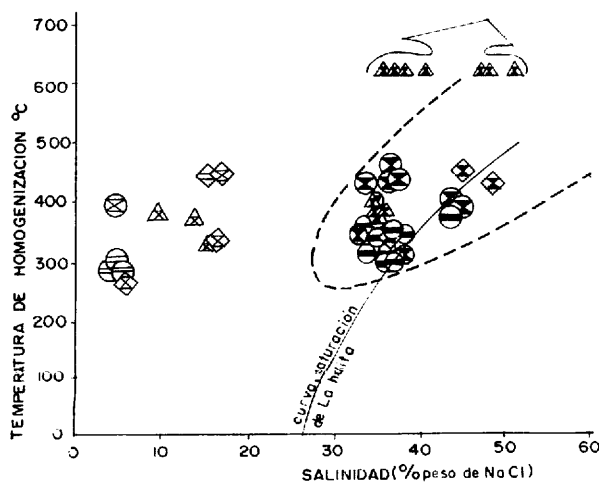


Fig. 3. Diagrama de temperatura de homogenización versus salinidad para inclusiones fluidas bifásicas (X), polifásicas (⊗) en fenocristales y vetillas (bifásicas, polifásicas) de cuarzo de brecha intrusiva (Δ) y pórfidos diorítico (O), dacítico (◊) del yacimiento Verde. Campo entre líneas segmentadas corresponden a distribución de inclusiones fluidas polifásicas en pórfidos cupríferos (Nash, 1978).

inclusiones, homogenizan, ya sea a líquido por desaparición final de la burbuja de gas, o por la fusión del cristal de halita, durante el calentamiento. Estas inclusiones son más abundantes que las tipo I, ocurriendo tanto en fenocristales de cuarzo como en vetillas, en todas las unidades litológicas y son interpretadas para provenir de dos fluidos. El primero reflejado sólo en inclusiones polifásicas de fenocristales en cuarzo de la brecha intrusiva, proviene de un fluido muy salino (35.4% a 50.8% en peso de Na Cl equivalente, con densidad de entre 0.85 a 1.15 gr/cm³) de alta temperatura (mayor de 600°C), generado durante la etapa final de la fase magmática. El segundo se relaciona con la etapa inicial de alteración y mineralización metálica, representado por modas de temperaturas entre los 325° a 450°C y salinidad alrededor de 35% en peso de Na Cl equivalente (Fig. 3), con densidad de los fluidos similar a las anteriores, asignada como fase hidrotermal temprana que afecta tanto a pórfidos como a la brecha. En el pórfido dacítico la moda de temperatura se sitúa alrededor de los 437°C, en la brecha intrusiva y pórfido diorítico en torno a los 388°C, para fenocristales de cuarzo y de 325°C para cuarzo en vetillas, sólo en el pórfido diorítico. Relacionando estos datos con la geología (Fig. 1), se observa que pudo haber una migración de las soluciones, expresada en gradientes termales que son más altos hacia el oeste.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En consideración del modelo genético propuesto para el yacimiento ^(1,2), durante la intrusión de pórfidos de la zona subvolcánica, con desarrollo de la brecha de intrusión, se concluye que la fase silicatada con inclusiones polifásicas encapsuladas en fenocristales de cuarzo, indican una formación a temperaturas sobre los 600°C con salinidades entre 35 a 51% en peso de Na Cl equivalente, desarrollada como etapa finimagmática.

La alteración hidrotermal temprana en la que se deposita principalmente cuarzo, arcillas y clorita, asociada a mineralización de magnetita, rutilo, pirita, bornita, calcopirita y blenda, se desarrolló a temperaturas entre los 325° a 450°C y salinidad alrededor de 35% en peso de Na Cl equivalente. Estos valores indicarían que esta fase temprana derivó de un fluido magmático homogéneo. Sin embargo, inclusiones bifásicas de alta temperatura y salinidad más baja (Fig. 3); que también ocurren en fenocristales de cuarzo, pueden sugerir que se deba a una mezcla isotérmica de fluidos, con salinidades contrastantes, que al final derivan a uno saturado, en estado de ebullición.

La comparación de estos resultados con otros datos de pórfidos auríferos, como el de Porguera en Papúa, Nueva Guinea ⁽¹¹⁾, con rangos de temperatura entre 400° a 450°C y salinidades entre 30.5% a 62.2% en peso de Na Cl detectados en fenocristales de cuarzo, asociado a pirita aurífera, reflejan una similitud para las fases iniciales de alteración-mineralización. Comparado con los pórfidos auríferos de Marte y Lobo ⁽⁷⁾, los datos microtermométricos en cuarzo de vetillas primarias, con temperaturas entre 345° a 375°C y salinidades de hasta 42% en peso de Na Cl, encontrados para esos depósitos ⁽¹²⁾, también guardan cierta similitud, pero, no así comparado a datos de pórfidos de Cu ⁽⁹⁾, Mo y Sn ⁽¹⁰⁾, los cuales, en términos generales, son más altos en temperatura como en la salinidad.

REFERENCIAS

1. Nordin, G.; Flores, R. 1991. The geology of the Verde gold deposit. Refugio Project, Chile. In Canadian Institute of Mining and Metallurgy Annual Convention, Vancouver, 9 p.
2. Flores, R. 1993. Geología del pórfido aurífero Verde, Proyecto Refugio, IIIª Región, Chile. Rev. Geol. de Chile. 20, N° 1, p.57-69.
3. Sheperd, T. J. 1981. Temperature programable heating-freezing stage for microthermometric analysis of fluid inclusions. Econ. Geol. 76, p. 1244-1247.
4. Potter, H. R. W.; Clyne, M. A.; Brown D. L. 1978. Freezing point depression of quiescent sodium chloride solutions. Econ. Geol., 73, p.284-285.
5. Sillitoe, R.H.; McKee, E.H.; Vila, T. 1991 Reconnaissance K-Ar geochronology of Maricunga gold-silver belt, northern Chile. Econ. Geology, Vol. 86 N° 6, p.1261-1271.
6. Mpodozis, C.; Conejo, P.; Kay, S. Y.; Titler, A. 1995. La Franja de Maricunga: síntesis de la evolución del Frente Volcánico Oligoceno-Mioceno de la Zona Sur de los Andes Centrales. Rev. Geol. de Chile. 21, p.273-313.
7. Vila, T. y Sillitoe, R. 1991. Gold-rich porphyry systems in the Maricunga Belt, N.Chile. Econ. Geol. 86, N°6, p.1238-1260.
8. Davidson, J.; Mpodozis, C. 1991. Regional Geologic Setting of Epithermal Gold Deposits, Chile. Economic Geology, Vol. 86, N°6, p.1174-1186.
9. Nash, J.T. (1976) Fluid inclusion petrology data from porphyry copper deposits and applications to exploration. U.S. Geol. Survey prof. paper 9070. 16p.
10. Roedder, F. (1984). fluid inclusions. Reviews In Mineralogy. Vol. 12. Mineral Soc. of America 644 p.
11. Richards, J. y Kerrich, R. 1993. The porguera Gold Mine, Papua New Guinea: Magmatic Hydrothermal to epithermal evolution of an alkalic-type precious metal deposit. Econ. Geol. 88, p.1017-1052.
12. Campos, C. 1991. Estudio mineralógico y microtermométrico en vetillas de cuarzo, Mina Marte. Coloquio de Geol. Econ. Univ. Concepción, Concepción, Chile. p.1-12.