

## **GEOLOGIA Y MINERALIZACION AURIFERA EN EL DISTRITO JESUS MARIA, ATACAMA CHILE.**

## **GEOLOGY AND GOLD MINERALIZATION IN THE JESUS MARIA DISTRICT, ATACAMA CHILE**

**Carlos Palacios M. y Alfredo Lahsen A.**

*Departamento de Geología y Geofísica, Universidad de Chile  
Casilla 13518, Correo 21, Santiago - Chile*

### **RESUMEN**

*Los estudios geológicos en el distrito aurífero Jesús María indican que la mineralización corresponde al tipo epitermal de sulfidación baja (modelo adularia-sericita). Los depósitos consisten en vetas emplazadas en rocas volcánicas asignadas al Jurásico Superior-Neocomiano e intrusivos Cretácico Superior. Se reconocen 2 facies de alteración hidrotermal: sericita-adularia y clorita-sericita-illita. Las asociaciones mineralógicas de alteración y el estudio de inclusiones fluidas indican que los procesos de mineralización habrían tenido lugar a temperaturas entre 280° y 290°C, a profundidades entre 730 y 850 m, y en un ambiente dominado por fluidos alcalino-clorurados cercanamente neutros. Finalmente, las vetas se interpretan como la raíz del sistema epitermal.*

### **ABSTRACT**

*The geological studies in the Jesus María gold district reveal that the mineralization corresponds to epithermal deposits of low sulfur type (the adularia-sericite model). The ore bodies consist of veins emplaced in Upper Jurassic to Neocomian volcanic rocks and Upper Cretaceous intrusives. Two facies of hydrothermal alteration have been recognized: sericite-adularia and chlorite-sericite-illite. The study of fluid inclusions and the alteration mineralogy indicate that mineralization was probably formed at temperatures between 280° and 290°C, at 730 to 850 m depth, and under the influx of near-neutral alkali-chloride fluids. Finally, the veins are interpreted as the root of the epithermal system.*

## INTRODUCCION

La zona se ubica 15 km al S de la ciudad de Copiapó, III Región de Atacama ( $27^{\circ}25'S/70^{\circ}18'W$ ), a una elevación fluctuante entre 900 y 1400 m sobre el nivel del mar (Fig. 1). El distrito presenta abundante mineralización aurífera vetiforme, la que se ha explotado en minería de pequeña escala. El área corresponde al sector sur de la franja epitermal Cretácico Superior Inca de Oro, donde la mineralización de metales preciosos está controlada por un sistema estructural de transpresión sinistral orientado NE- SW (Palacios et al., 1990; Sylvester y Palacios, 1990). El objetivo del estudio consiste en aportar nuevos antecedentes geológicos que permitan comprender la génesis de los yacimientos de metales preciosos en el norte de Chile.

La mineralogía de alteración hidrotermal se determinó mediante petrografía microscópica y análisis de rayos X. Se utilizó un equipo de difracción de rayos X Phillips con filtro de Ni y radiación CuK a 40 kV y 20 mA. Las técnicas empleadas consistieron en análisis orientado, glicerolado, tratamiento HCL y calentamiento a  $550^{\circ}C$ .

Las investigaciones microtermométricas se realizaron en inclusiones fluídas primarias presentes en cuarzo hidrotermal asociado a mineralización aurífera.

Los análisis termométricos se realizaron con una platina calentadora/enfriadora Chaixmecca, la que se calibró usando inclusiones de  $CO_2$  líquido, mercurio bi-distilado e inclusiones de agua pura. La precisión en las medidas de temperatura de homogenización ( $T_h$ ) y temperatura de fusión ( $T_m$ ) se estimaron en  $\pm 2^{\circ}C$  y  $\pm 0,5^{\circ}C$  respectivamente. La velocidad de calentamiento fue de  $1^{\circ}C/min$  cerca de  $T_h$ . Las mediciones se efectuaron en inclusiones fluídas con tamaños oscilantes entre 5 y 25  $\mu m$ .

## MARCO GEOLOGICO

Las rocas más antiguas que afloran en el área corresponden a una secuencia volcánica andesítica de edad Jurásico Superior - Neocomiano (Segerstrom, 1968; Mercado, 1978). Esta secuencia, de unos 300 m de potencia, presenta una actitud monoclinal de rumbo aproximado  $N40^{\circ}E$  y buzamientos variables entre  $15^{\circ}$  y  $25^{\circ}$  hacia el SE (Morales, 1988). Estas rocas se distribuyen en una franja irregular elongada en dirección NW-SE, que se sitúa diagonalmente a lo largo del área (Fig. 2).

En el área de estudio afloran, al menos, tres unidades intrusivas de composición intermedia, que cortan a la secuencia volcánica anteriormente descrita (Morales, 1988; Hansen, 1981). Estas unidades intrusivas de edad Cretá-

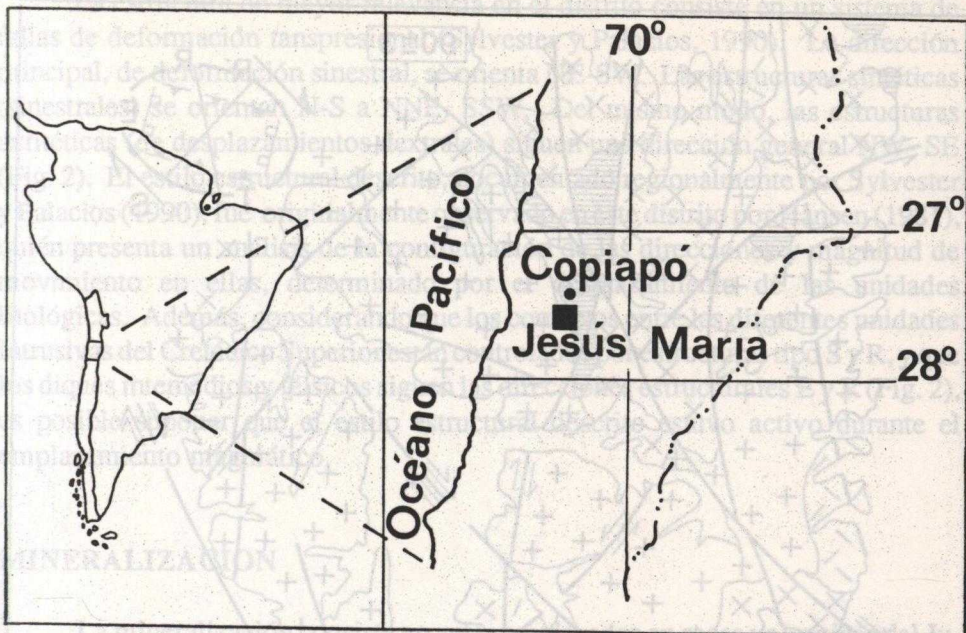


Fig. 1.- Mapa de ubicación del distrito minero Jesús María.

Fig. 1.- Location map of the Jesus María district.

cico Superior (Segerstrom, 1968; Zentilli, 1974) corresponden a:

- i) granodioritas leucocráticas (unidad 1)
- ii) granodioritas, tonalitas, dioritas, cuarzo dioritas y monzodioritas cuarcíferas (unidad 2)
- iii) dioritas y cuarzo dioritas mesocráticas (unidad 3), Fig. 2).

Los límites de los afloramientos de las tres unidades intrusivas suelen corresponder a fallas de rumbos NE-SW, N-S y NW-SE. Sin embargo, las rocas de la unidad 1 gradan composicionalmente a los tipos litológicos de la unidad 2; los cuales a su vez presentan contactos graduales con las dioritas y cuarzo dioritas de la unidad 3. Relaciones de contacto entre las unidades 1 y 3 sugieren que la primera correspondería a la unidad más antigua, y la última a la unidad más joven en el complejo ígneo respectivamente (Morales, 1988). Zentilli (1974) reporta una edad de  $90,1 \pm 3$  Ma (K/Ar en biotita) para rocas de la unidad 2.

Una gran cantidad de diques, de composición intermedia a félsica, cortan a las rocas volcánicas e intrusivas descritas. Presentan rumbos predominantes N20°W y N30°E, y potencias variables entre 0.1 y 16 m.

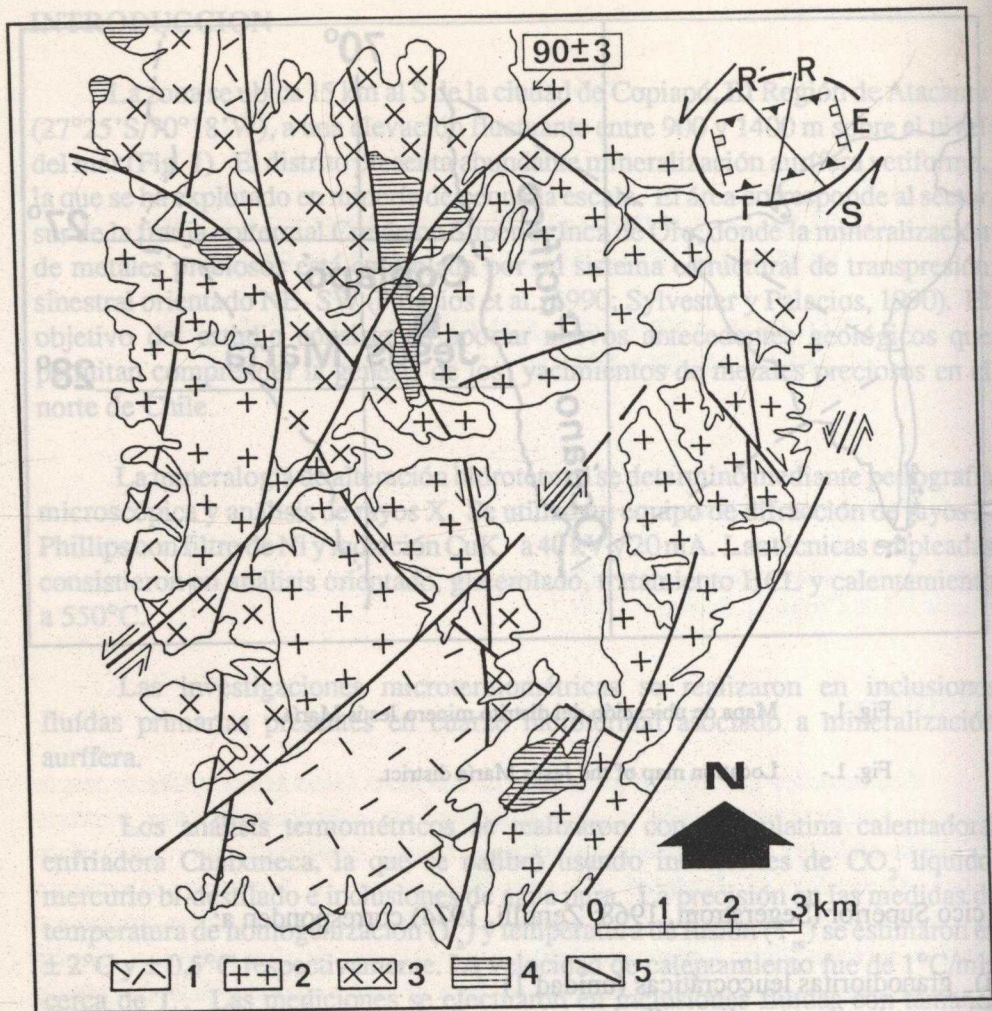


Fig. 2.- Mapa geológico del distrito minero Jesús María. Interpretación estructural basada en Sylvester y Palacios (1990).

- 1.- Granodioritas leucocríticas Cretácico Superior (unidad 1).
- 2.- Granodioritas, tonalitas, dioritas, cuarzo dioritas y monzodioritas cuarcíferas Cretácico Superior (unidad 2).
- 3.- Dioritas y cuarzo dioritas mesocríticas Cretácico Superior (unidad 3)
- 4.- Rocas volcánicas andesíticas Jurásico Superior-Neocomiano
- 5.- Fallas

Fig. 2.- Geological map of the Jesús María district. Tectonic interpretation after Sylvester and Palacios (1990).

- 1.- Upper Cretaceous leucocratic granodiorites (unit 1)
- 2.- Upper Cretaceous granodiorites, tonalites, diorites, quartz diorites, and quartz monzodiorites (unit 2)
- 3.- Upper Cretaceous mesocratic diorites and quartz diorites (unit 3).
- 4.- Upper Jurassic to Neocomian andesitic volcanic rocks
- 5.- Faults.

La estructura de mayor relevancia en el distrito consiste en un sistema de fallas de deformación tanspresional (Sylvester y Palacios, 1990). La dirección principal, de deformación sinestral, se orienta NE-SW. Las estructuras sintéticas (sinestrales) se orientan N-S a NNE- SSW. Del mismo modo, las estructuras antitéticas (de desplazamientos dextrales) siguen una dirección general NW- SE (Fig. 2). El estilo estructural descrito, documentado regionalmente por Sylvester y Palacios (1990), fué originalmente observado en este distrito por Hansen (1981), quién presenta un análisis de la configuración de las direcciones y magnitud de movimiento en ellas, determinado por el desplazamiento de las unidades litológicas. Además, considerando que los contactos entre las diferentes unidades intrusivas del Cretácico Superior están controlados por estructuras tipo S y R, y que los diques intemedios y félsicos siguen las direcciones estructurales E y R (Fig. 2), es posible suponer que el estilo estructural descrito estuvo activo durante el emplazamiento magmático.

## MINERALIZACION

La mineralización consiste en vetas emplazadas en rocas volcánicas del Jurásico Superior - Neocomiano y en rocas intrusivas del Cretácico Superior. Estos cuerpos mineralizados se orientan NW-SE, NNW-SSE y NE-SW, siguiendo las direcciones R', E y S respectivamente (Figs. 2 y 3). Las vetas son generalmente sub-verticales o se inclinan con  $70^\circ$  hacia el SW, presentan 100 a 300 m de largo, y su ancho varía entre 0.1 y 2.8 m. Corresponden generalmente a estructuras compuestas, que consisten en varias vetas paralelas separadas por lentes de roca de caja brechizada, e intensamente alterada hidrotermalmente, y vetillas formadas por minerales de alteración. Esto sugiere una probable brechización hidráulica. Estructuras de crustificación, bandeamiento y relleno de espacios abiertos son comunes. Contienen entre 3 y 280 ppm de Au, 2 a 75 ppm de Ag y 0.1 a 3% de Cu. La mineralogía metálica consiste en magnetita, hematita, oro, pirita, calcopirita, electrum, calcosina, bornita y pirrotina. Los minerales de ganga corresponden a cuarzo, calcita y baritina. Entre un 40% a 50% del oro corresponde a oro fino (0.001 a 0.009 mm), el que aparece como inclusiones en cristales de pirita. Cristales de oro grueso (0.09 a 2.2 mm) se presentan normalmente como inclusiones en cuarzo. El techo de la zona con mineralización primaria es muy variable, y normalmente se ubica entre 50 y 100 m de profundidad.

Con el fin de conocer con mayor detalle los cuerpos mineralizados, se estudió la Veta Resguardo, localizada en el sector occidental del distrito (Fig. 3). Corresponde a una veta orientada  $N10^\circ W$ , de 0.7 a 2.8 m de potencia. La Fig. 4 muestra en una sección longitudinal la distribución de oro en dicha veta. Se observa una inclinación hacia el norte de los cuerpos de bonanza, los que se ubican preferentemente en el sector central rodeados por mineral de baja ley.



Fig. 3.- Distribución de la mineralización vetiforme en el distrito Jesús María

Fig. 3.- Veins distribution in the Jesús María district

### ALTERACION HIDROTHERMAL

La mineralización aurífera vetiforme está estrechamente conectada con el desarrollo de alteración hidrotermal hipógena, afectando tanto a las rocas de caja volcánicas como intrusivas. Las rocas alteradas se ubican en franjas paralelas a las vetas, reconociéndose alteración sericita- adularia en contacto con el cuerpo

mineralizado, y clorita-sericita-illita en la periferia. En ambos casos la alteración es de carácter penetrativo. La alteración sericita-adularia consiste en sericita, cuarzo (normalmente de tipo criptocrystalino) y frecuentemente adularia, biotita y magnetita. La sericita y el cuarzo reemplazan completamente a los minerales primarios, en cambio adularia y biotita se presentan en vetillas junto a magnetita y sulfuros. El ancho de la zona sericita-adularia oscila entre 0.1 y 1.2 m. La alteración clorita-sericita-illita se presenta en franjas delgadas (0.1 a 0.3 m) y consiste en clorita, sericita, illita, cuarzo y calcita. La clorita reemplaza a los minerales ferromagnesianos, en tanto que la illita y la sericita alteran tanto a feldespatos como a minerales ferromagnesianos. El cuarzo y la calcita normalmente rellenan espacios abiertos.

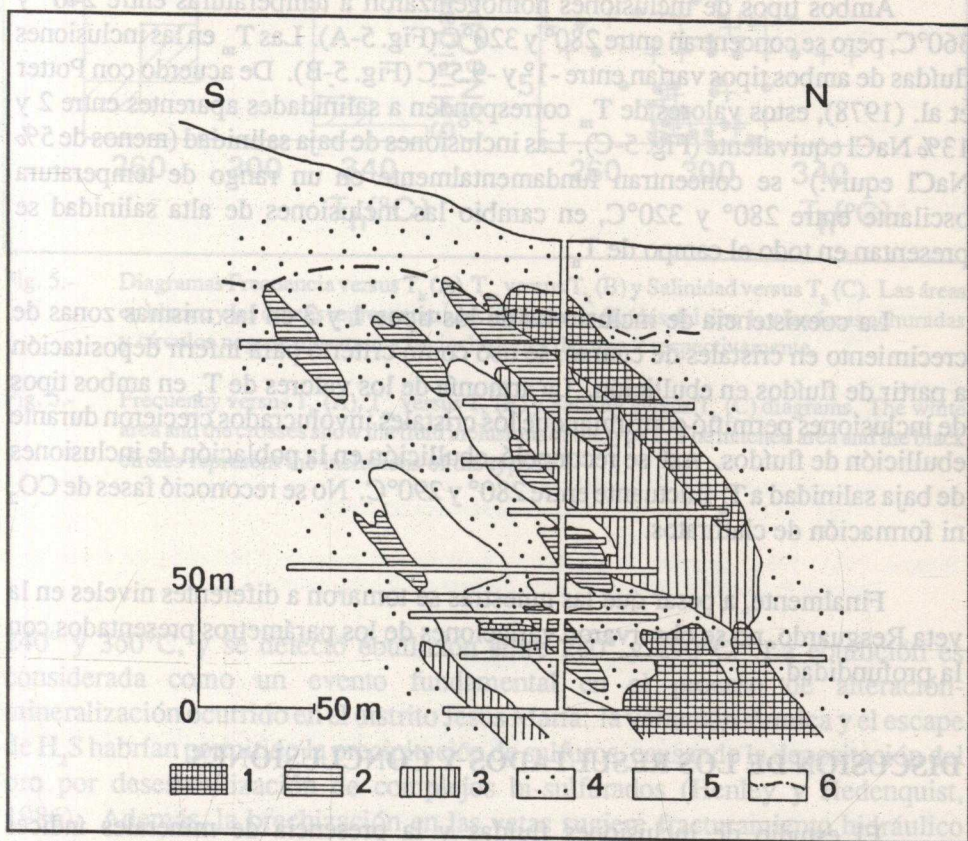


Fig. 4.- Sección longitudinal de la Veta Resguardo (vista hacia el W), que presenta la distribución de leyes de oro basado en un muestreo regular de 120 canaletas (Albormoz, 1988).  
1: > 50 ppm, 2: 20.1 - 50 ppm, 3: 10.1 - 20 ppm, 4: 2 - 10 ppm, 5: < 2 ppm, 6: límite superior de zona primaria.

Fig. 4.- Longitudinal section of the Resguardo vein distribution of the gold grade (from Albormoz, 1988).  
1: > 50 ppm, 2: 20.1 - 50 ppm, 3: 10.1 - 20 ppm, 4: 2 - 10 ppm, 5: < 2 ppm, 6: top of the primary zone.

## INCLUSIONES FLUIDAS

El estudio se realizó en muestras tomadas de la Veta Resguardo. La petrografía a temperatura ambiente de las inclusiones fluidas permitieron clasificarlas en 2 tipos:

**Tipo 1:** Inclusiones de 2 fases, ricas en líquido (burbuja de vapor < 20% en vol.), las cuales presentan formas ovaladas o elongadas.

**Tipo 2:** Inclusiones de 2 fases, ricas en vapor (burbuja de vapor > 30% en vol.), las cuales muestran formas elongadas y extranguladas.

Ambos tipos de inclusiones homogenizaron a temperaturas entre 240° y 360°C, pero se concentran entre 280° y 320°C (Fig. 5-A). Las  $T_m$  en las inclusiones fluidas de ambos tipos varían entre -1° y -9.5°C (Fig. 5-B). De acuerdo con Potter et al. (1978), estos valores de  $T_m$  corresponden a salinidades aparentes entre 2 y 13% NaCl equivalente (Fig. 5-C). Las inclusiones de baja salinidad (menos de 5% NaCl equiv.) se concentran fundamentalmente en un rango de temperatura oscilante entre 280° y 320°C, en cambio las inclusiones de alta salinidad se presentan en todo el campo de  $T_h$ .

La coexistencia de inclusiones de los tipos 1 y 2 en las mismas zonas de crecimiento en cristales de cuarzo, se usó como criterio para inferir depositación a partir de fluidos en ebullición. La armonía de los valores de  $T_h$  en ambos tipos de inclusiones permitió confirmar que los cristales involucrados crecieron durante ebullición de fluidos. Así se reconoció ebullición en la población de inclusiones de baja salinidad a  $T_h$  fluctuante entre 280° y 290°C. No se reconoció fases de  $CO_2$  ni formación de clathratos.

Finalmente, a pesar que las muestras se tomaron a diferentes niveles en la veta Resguardo, no se observaron variaciones de los parámetros presentados con la profundidad.

## DISCUSION DE LOS RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El estudio de inclusiones fluidas y la presencia de minerales índices corresponden a criterios normalmente usados para inferir la temperatura de los fluidos hidrotermales al momento de la alteración (y mineralización). La illita es estable sobre 220°C (Browne, 1984) y la asociación clorita-arcillas hidrotermales representa temperaturas superiores a 220°C (De Ronde y Blattner, 1988). Por otro lado, Beané y Titley (1981) indican que la asociación sericita-adularia-biotita es estable a partir de aproximadamente 300°C. Estos valores son concordantes con aquellos obtenidos en el estudio de inclusiones fluidas entrampadas en cristales de cuarzo hidrotermal. En efecto, las temperaturas de homogenización varían entre



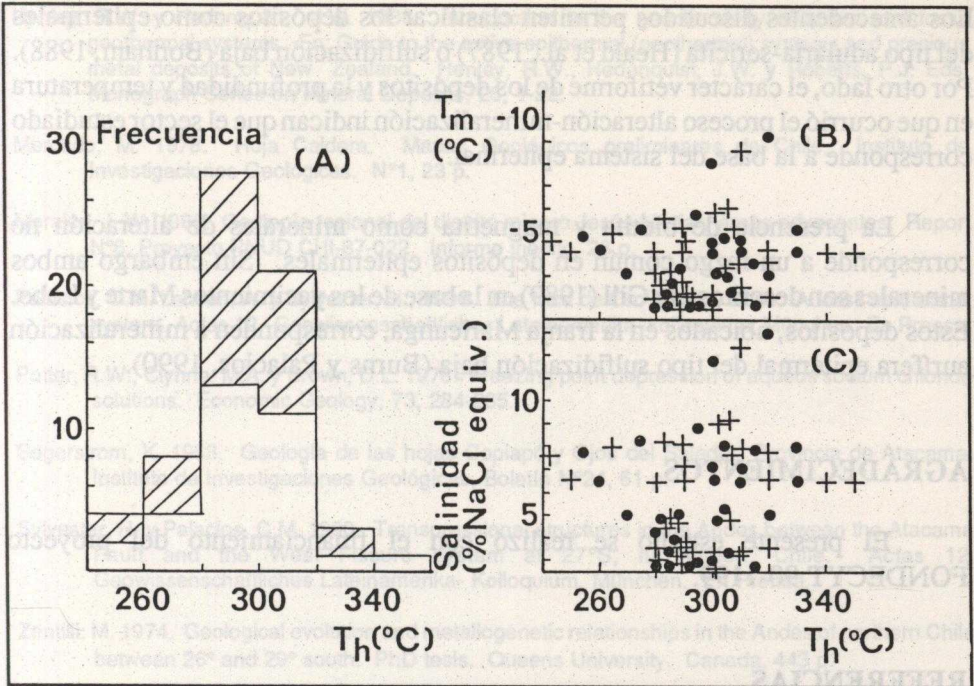


Fig. 5.- Diagramas Frecuencia versus  $T_h$  (A),  $T_m$  versus  $T_h$  (B) y Salinidad versus  $T_h$  (C). Las áreas en blanco y las cruces representan a las inclusiones fluidas del tipo 1, y las áreas achuradas y círculos negros muestran a las inclusiones del tipo 2 respectivamente.

Fig. 5.- Frequency versus  $T_h$  (A),  $T_m$  versus  $T_h$  (B) and Salinity versus  $T_h$  (C) diagrams. The white area and the crosses show the fluid inclusions of the type 1. The hatched area and the black circles represent the inclusions of the type 2.

240° y 360°C, y se detectó ebullición entre 280° y 290°C. La ebullición es considerada como un evento fundamental en el proceso de alteración-mineralización ocurrido en el distrito Jesús Marfa: la variación térmica y el escape de  $H_2S$  habrían permitido la precipitación de sulfuros, causando la depositación del oro por desestabilización de complejos bi-sulfurados (Henley y Hedenquist, 1986). Además, la brechización en las vetas sugiere fracturamiento hidráulico durante el proceso hidrotermal. Concordantemente, los datos obtenidos en las inclusiones fluidas entrampadas durante la ebullición permiten, asumiendo presión hidrostática y usando los diagramas de Haas (1971), inferir que la mineralización en el sector estudiado habría ocurrido entre 730 y 850 m de profundidad.

Por otro lado, la alteración de la roca de caja sugiere que los fluidos tenían un carácter alcalino-clorurado cercanamente neutro (De Ronde y Blattner, 1988).

Los antecedentes discutidos permiten clasificar los depósitos como epitermales del tipo adularia-sericita (Heald et al., 1987) o sulfidización baja (Bonham, 1988). Por otro lado, el carácter vetiforme de los depósitos y la profundidad y temperatura en que ocurrió el proceso alteración-mineralización indican que el sector estudiado corresponde a la base del sistema epitermal.

La presencia de biotita y magnetita como minerales de alteración no corresponde a un rasgo común en depósitos epitermales. Sin embargo ambos minerales son descritos por Gill (1989) en la base de los yacimientos Marte y Lobo. Estos depósitos, ubicados en la franja Maricunga, corresponden a mineralización aurífera epitermal del tipo sulfidización baja (Burns y Palacios, 1990).

## AGRADECIMIENTOS

El presente estudio se realizó con el financiamiento del proyecto FONDECYT 90-1199.

## REFERENCIAS

- Albornoz, R. 1988. Geología y evaluación de la veta Resguardo. Distrito minero Jesús María, III Región de Atacama. Report N°6. Proyecto PNUD CHI-87-022. Informe inédito, 56 p.
- Beane, R.E. y Titley, S.R. 1981. Hydrothermal alteration and mineralization. Porphyry copper deposits: Part II. Seventy-Fifth Anniversary Volume. Economic Geology, 235-269.
- Bonham, H. F. 1988. Models for volcanic-hosted epithermal precious metal deposits. En: Bulk mineable precious metal deposits of the western United States. Schafer, R.W., Cooper, J.J. y Vidre, P.G. Eds. Geological Society of Nevada, 256-271.
- Browne, P.R.L. 1984. Lectures on geothermal geology and petrology. Iceland, UNA Geothermal Training Programme National Energy Authority. Unpubl. course notes, 92 p.
- Burns, P.J. y Palacios, C.M. 1990. Precious metals mineralization in the Maricunga Belt. Sometido a Journal of South American Earth Science.
- De Ronde, C.E.J. y Blattner, P. 1988. Hydrothermal alteration, stable isotopes, and fluid inclusions of the Golden Cross epithermal gold-silver deposit, Waihi, New Zealand. Economic Geology, 83, 895-917.
- Gill, F.D. 1989. The Marte and Lobo deposits, Chile. Proceedings of the Northwest Miners Association. Annual Meeting Spokane. Washington.
- Haas, J.L.Jr. 1971. The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure. Economic Geology, 66, 940-946.
- Hansen, G.P. 1981. Geología del distrito minero Jesús María. III Región de Atacama. Chile. Memoria de Título Departamento de Geología, Universidad de Chile, 218 p.
- Heald, P., Foley, N. y Hayba, D.O. 1987. Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: acid-sulfate and adularia-sericite types. Economic Geology, 82, 1-26.

- Henley, R.W. y Hedenquist, J.W. 1986. Introduction to the geochemistry of active and fossil geothermal systems. En: Guide to the active epithermal (geothermal) systems and precious metal deposits of New Zealand. Henley, R.W., Hedenquist, J.W. y Roberts, P.J. Eds. Monograph Series on Mineral Deposits, 26, 1-22.
- Mercado, M. 1978. Hoja Caldera. Mapas Geológicas preliminares de Chile. Instituto de Investigaciones Geológicas. N°1, 23 p.
- Morales, J. W. 1988. Geología regional del distrito minero Jesús María y áreas adyacentes. Report N°8. Proyecto PNUD CHI-87-022. Informe inédito, 23 p.
- Palacios, C.M. Lahsen, A. y Sylvester, H., 1990. The Inca de Oro district, Chile: A fossil epithermal system. Actas 12. Geowissenschaftliches Lateinamerika-kolloquium, München. En Prensa.
- Potter, R.W., Clynne, M.A. y Brown, D.L. 1978. Freezing point depression of aqueous sodium chloride solutions. Economic Geology, 73, 284-285.
- Segerstrom, K. 1968. Geología de las hojas Copiapó y Ojos del Salado. Provincia de Atacama. Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín N°24, 61 p.
- Sylvester, H. y Palacios, C.M. 1990. Transpressional structures in the Andes between the Atacama Fault and the West Fissure system at 27°S, III Region, Chile. Actas 12. Geowissenschaftliches Lateinamerika-Kolloquium, München. En Prensa.
- Zentilli, M. 1974. Geological evolution and metallogenetic relationships in the Andes of northern Chile between 26° and 29° south. PhD tesis. Queens University. Canada, 443 p.

