INCLUSIONES FLUIDAS Y MECANISMOS DE PRECIPITACION DE METALES PRECIOSOS EN EL YACIMIENTO EPITERMAL EL BRONCE DE PETORCA, CHILE

MILKA ALEXANDRA SKEWES Casilla 970, Correo Central, Santiago, Chile
FRANCISCO CAMUS Compañía Minera El Bronce, Carmencita 240, Santiago, Chile

RESUMEN

A través del estudio de inclusiones fluidas en el yacimiento vetiforme polimetálico El Bronce de Petorca, situado en los Andes de Chile Central, se determinó que la zona con mineralización importante de metales preciosos (Au) se formó a una profundidad entre 400 y 1.200 m bajo la paleosuperficie, aproximadamente. Las inclusiones fluidas asociadas a la mineralización de metales preciosos tienen temperaturas de homogenización entre 230° y 345°C y salinidades entre 5% y 10% en peso equivalente de NaCl. La mineralización de oro se encuentra situada bajo la zona de ebullición de fluidos hidrotermales.

Las temperaturas y salinidades tienden a disminuir desde los niveles más profundos a los más superficiales en el yacimiento. Las variaciones calculadas en la entalpía de los fluidos hidrotermales sugieren que, durante la formación del depósito, operó un mecanismo de mezclas de fluidos de distinta naturaleza. Fluidos ascendentes, calientes, salinos y metalíferos, se mezclaron con fluidos más fríos, de origen meteórico, produciendo como resultado la depositación de sulfuros de Fe, Cu, Zn y, subsecuentemente, del oro.

Palabras claves: Oro, Inclusiones fluidas, Yacimiento epitermal, El Bronce de Petorca, Chile.

ABSTRACT

A fluid inclusion study of veins of the polymetallic deposit El Bronce de Petorca, located in the Andes of Central Chile, indicates that the zone of precious metal mineralization (Au) formed approximately 400 to 1,200 m below the paleosurface. The fluid inclusions associated with the precious metal mineralization at El Bronce have temperatures of homogenization that range between 230° and 345°C and salinities from 5 to 10 weight percent of NaCl equivalent. Gold mineralization is observed to underlie the zone of boiling of hydrothermal fluids.

Temperature and salinity tend to decrease from the deeper to the shallower levels of the deposit . The calculated vertical variations of enthalpy of the hydrothermal fluids suggest that a mechanism of mixing of fluids was operating in the deposit. Hot saline ore-rich ascendent fluids mixed with cooler meteoric fluids producing precipitation of Fe, Cu, and Zn sulfides and subsequently, gold.

Key words: Gold, Fluid Inclusions, Epithermal deposit, El Bronce de Petorca, Chile.

INTRODUCCION

El Bronce es un depósito vetiforme, polimetálico, con Au, Ag, Cu, Pb y Zn, situado 140 km al norte de Santiago y 8 km al norte del pueblo de Petorca. De acuerdo a la clasificación de Heald *et al.* (1987), El Bronce es un yacimiento epitermal profundo, del tipo adularia-sericita, en el cual la mineralización se concentra, principalmente, en vetas. En este trabajo, se presentan los resultados de un estudio de inclusiones fluidas en algunas de las vetas o cuerpos mineralizados que componen el yacimiento.

El Bronce se encuentra en un ambiente geológico enmarcado por rocas volcánicas, cretácicas, principalmente piroclásticas, asociadas a una caldera volcánica denominada Morro Hediondo (Fig.1; Camus *et al.*, 1986), la cual ha tenido importancia

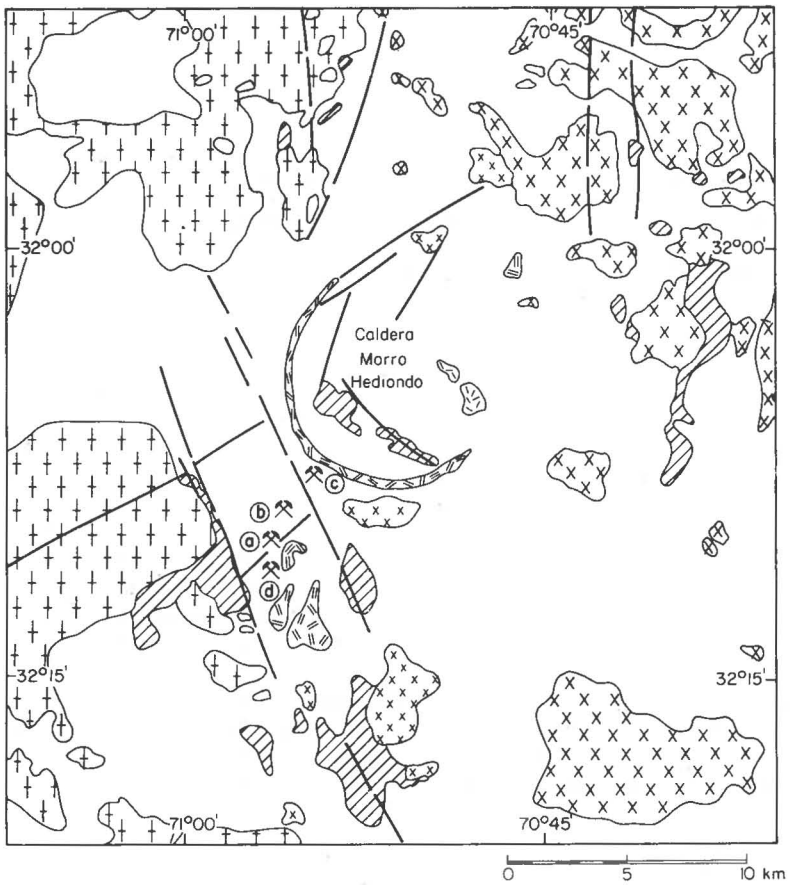


FIG. 1. Mapa del distrito El Bronce. Se observa la caldera Morro Hediondo y principales rasgos geológicos asociados a ellas. Se muestra la ubicación de las vetas El Bronce, Guanaco, San Lorenzo y El Espino. **Intrusivos**: 1. Diorita Superunidad Cogotí (38-67 Ma); 2. Pórfido andesítico dacítico; 3. Diorita (porfídica en bordes); 4. Pórfido tonalítico-granodiorítico (K-Ar, 86-80 Ma); Diorita (K-Ar, 86-106 Ma). 6. Alteración hidrotermal moderada o intensa, sin especificar (principalmente argilización); 7. Yacimientos: a. El Bronce; b. El Guanaco; c. San Lorenzo; d. El Espino; 8. Falla; 9. Contacto.

en el control de la mineralización aurífera del distrito. Edades K-Ar en las zonas de alteración asociadas a El Bronce, dan valores de 82 ± 9 Ma (Camus *et al.*, 1986).

El sistema epitermal consiste en una estructura lineal principal, de aproximadamente 7 km de extensión y de rumbo NS-N20°E. A lo largo de este complejo estructural, se localizan varios cuerpos o vetas de formas lenticulares o clavos de formas irregulares (Fig. 1). Los cuerpos tienen dimensiones entre 100 y 600 m de largo, 200-400 m de profundidad y potencias de 1-20 m. Estos cuerpos se alojan en brechas volcánicas, andesitas ocoíticas, tobas de lapilli y andesitas porfídicas.

Los cuerpos lenticulares están compuestos por una zona de mineralización maciza con pirita, calcopirita, esfalerita y cuarzo, que gradan lentamente a zonas de "stockwork" con vetillas de cuarzo-pirita-calcopirita-esfalerita-carbonatos. Las zonas de vetillas están, a su vez, bordeadas por zonas de mineralización diseminada de pirita. Las tres zonas descritas están intruidas longitudinalmente por un dique andesítico mineralizado con vetillas de carbonatos y, localmente, de pirita (Fig. 2).

La alteración hidrotermal se centra en las zonas de "stockwork", diseminada y en los diques andesíticos y consiste en sericita, caolinita, clorita y carbonato. Rodeando a cada cuerpo mineralizado existe un cierto grado de propilitización caracterizado por la presencia, principalmente, de clorita con menor cantidad de epidota.

Las vetas del sistema El Bronce consisten, principalmente, de sílice. En las zonas superiores del yacimiento, la sílice es del tipo calcedónico, intersticial a cuarzo euhedral, lo que confiere a la veta un aspecto bandeado. En las zonas más profundas, el bandeamiento tiende a disminuir y el cuarzo se presenta como un mineral anhedral, de textura granular y grano más pequeño. En las zonas superiores del yacimiento, el bandeamiento de la veta, junto a la orientación perpendicular a las paredes de la roca de los ejes de los cristales de cuarzo, sugieren que la depositación a lo largo de estos niveles fue en fracturas abiertas a la superficie. Por otra parte, en las zonas más profundas del yacimiento, las texturas de reemplazo, el tama-

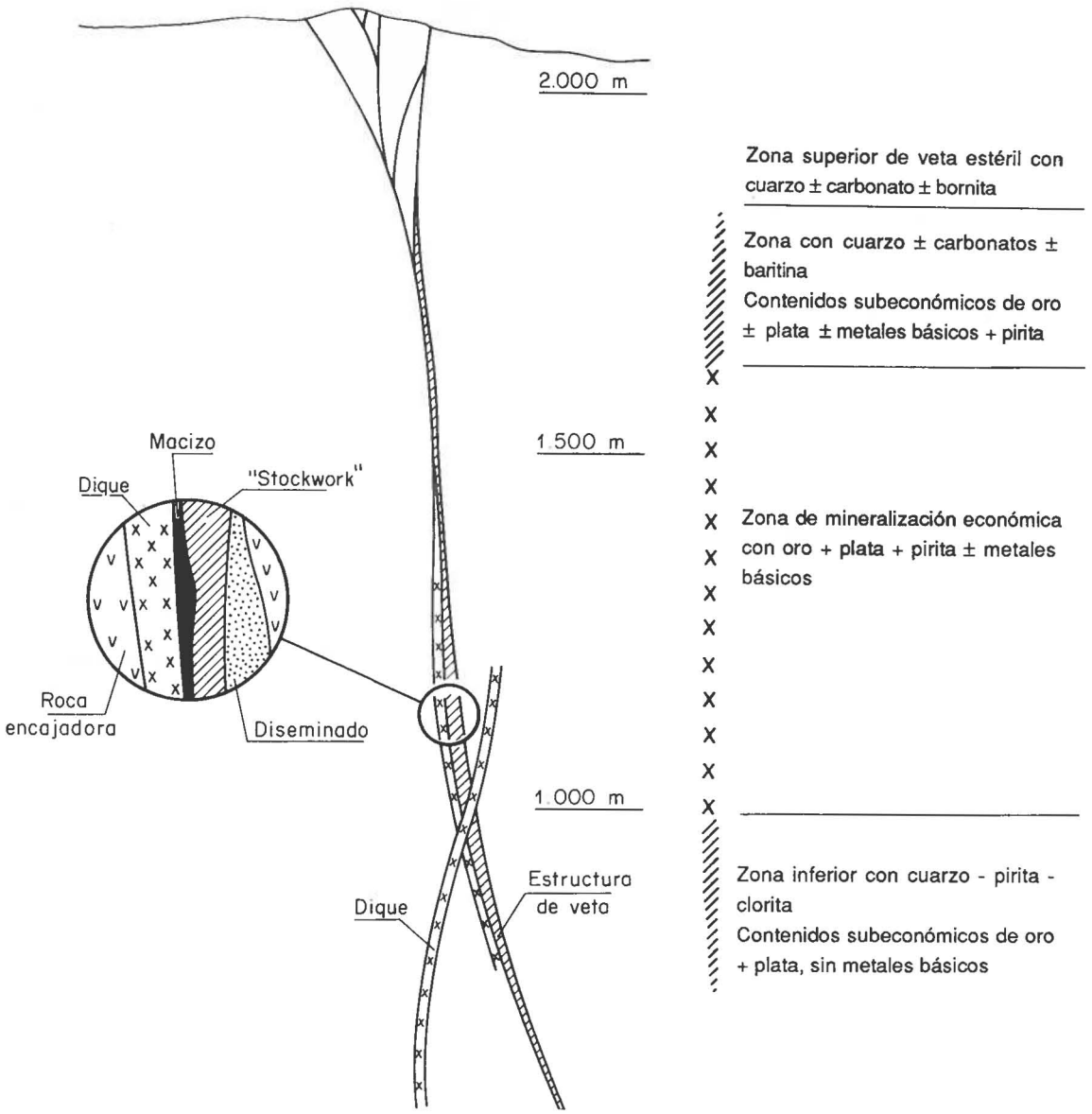


FIG. 2. Zonación vertical y horizontal del sistema El Bronce. La veta muestra variaciones en la vertical, con cuarzo a lo largo de toda su longitud. En la zona superior, se observa baritina y cuarzo, con contenidos subeconómicos de oro. En las zonas intermedias aparecen las leyes económicas de oro y los metales básicos. El oro continúa en profundidad, junto con la pirita, sin metales básicos. En su extensión lateral, la veta muestra una clara zonación, con una zona central maciza, que grada a una zona de "stockwork", donde la mineralización se presenta en vetillas, luego esta zona grada a una zona diseminada. Entre la roca de caja y la zona de "stockwork" se observa un dique andesítico.

ño equigranular y las formas anhedrales de algunos minerales, en especial del cuarzo, indican que la depositación en estos niveles se produjo cuando las fracturas no estaban abiertas a la superficie.

En las vetas del sistema se evidencian, por lo menos, cinco etapas paragenéticas (Fig. 3). La sílice se encuentra en todas las etapas. La primera etapa se caracteriza por pirita. Esta pirita, por lo común, hospeda al oro a lo largo de fracturas en ellas y se encuentra atravesada y reemplazada por

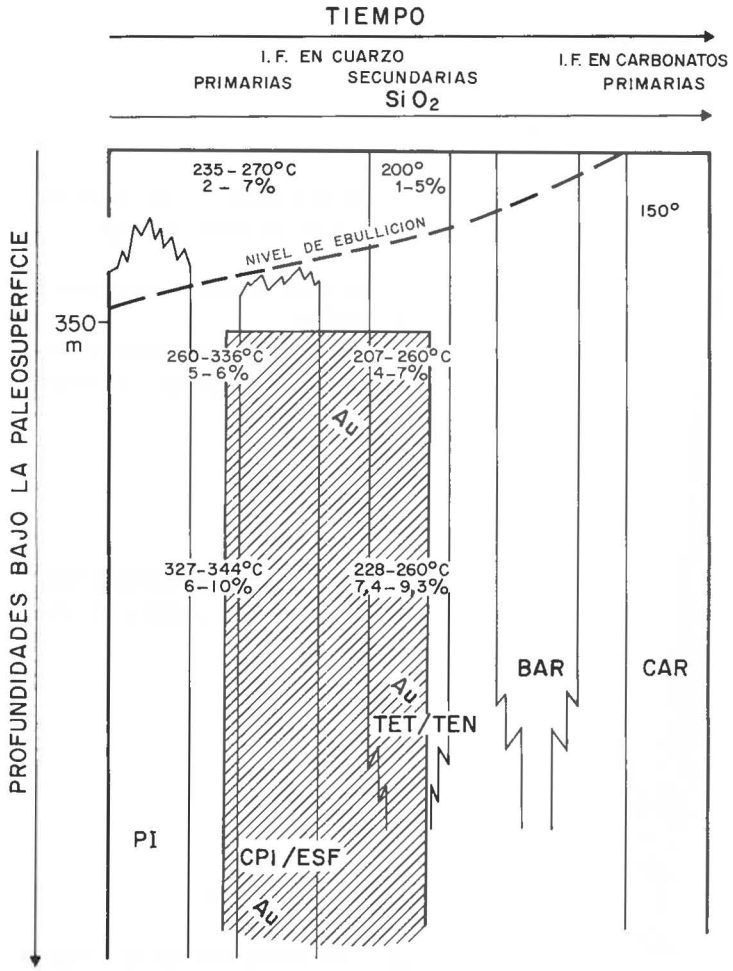


FIG. 3. Diagrama de paragénesis en el sistema El Bronce. El eje horizontal muestra el tiempo y el vertical la profundidad durante la evolución del yacimiento en las diversas etapas. Las barras representan los minerales principales en las diferentes secuencias paragenéticas (PI: pirita; CPI: calcopirita; ESF: esfalerita; TET/TEN: tetrahedrita-tennantita; BAR: baritina; CAR: carbonatos). Se muestran, además, las temperaturas de homogenización de las inclusiones fluidas (I.F.), primarias y secundarias, a distintas profundidades en el depósito. La línea segmentada muestra el nivel hasta el cual se extendió la ebullición en el yacimiento, en las diferentes etapas. El rectángulo con líneas diagonales representa el área en el tiempo y espacio de la formación de las zonas con leyes económicas de oro (Skewes y Camus, 1987).

sulfuros más tardíos. La segunda etapa paragenética se caracteriza por calcopirita y esfalerita de color oscuro. Esta última presenta textura de exsolución con la calcopirita y, ocasionalmente, contiene pequeñas inclusiones de oro dentro de ella. Localmente, se observa bornita asociada a la segunda etapa. La tercera etapa se caracteriza por sulfosales (tetrahedrita-tennantita) y también galena. La tetrahedrita-tennatita reemplaza a la calcopirita. La galena reemplaza a la calcopirita, esfalerita y tetrahedrita-tennantita. La galena contiene gotas de oro nativo. La baritina se restringe a los niveles superiores del depósito y se formó durante la cuarta etapa paragenética. Por último, la quinta etapa se caracteriza por carbonatos y esfalerita de color verde pálido a miel; los carbonatos corresponden, principalmente, a siderita.

El oro se presenta después de la primera etapa, primordialmente como oro nativo, asociado a fracturas que atraviesan la pirita y, también, como pequeñas inclusiones dentro de la pirita, del cuarzo, de la esfalerita, de la galena y de la tetrahedrita-tennantita. La granulometría del oro es fina, rara vez excede los 40 micrones.

INCLUSIONES FLUIDAS

El estudio termométrico de las inclusiones fluidas se realizó en muestras de los sectores Guanaco, San Lorenzo, Clavo Rosario III de El Bronce y en el sector El Espino (Fig. 1). Las inclusiones fluidas se estudiaron principalmente en cuarzo, ya que este mineral se presenta a lo largo de una gran extensión vertical y se formó durante la mayor parte de la evolución hidrotermal del yacimiento. Tam-

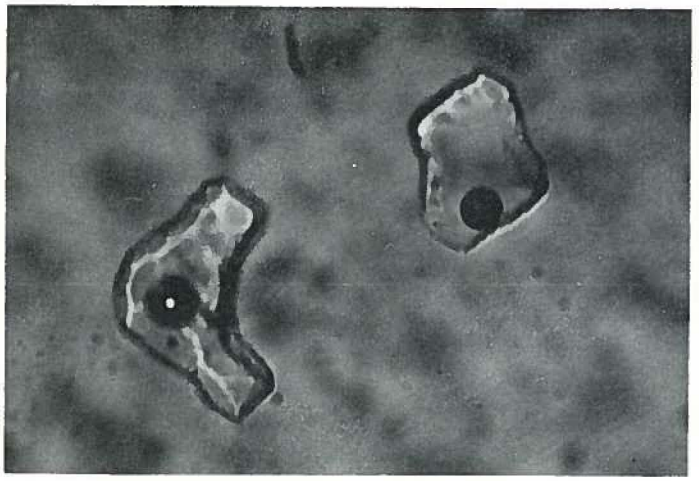


FIG. 4. Microfotografía de inclusiones fluidas de un cristal de cuarzo, en un nivel relativamente profundo del yacimiento El Bronce. Las inclusiones tienen dos fases: vapor y líquido.

bién se estudiaron inclusiones en baritina y un número limitado de inclusiones en carbonatos de la última etapa paragenética. Se analizaron inclusiones en cuarzo asociado a leyes altas de oro y, también, en zonas con leyes bajas de oro, para así poder entender algo más sobre los mecanismos de depositación de metales preciosos.

Las inclusiones fluidas de este depósito son de dos fases: vapor y líquido (Fig. 4). No se observaron en ellas CO_2 líquido ni clatratos ($CO_2 \cdot 5{,}75\ H_2O$). Tampoco se observó CO_2 al decrepitar las inclusiones en una platina destructora ("crushing stage"). Las inclusiones fluidas estudiadas determinaron un punto eutéctico cercano a los -20°C. Esta temperatura es indicativa de que estos fluidos pertenecieron, principalmente, al sistema NaCl-H_2O (Potter *et al.*, 1978).

En el sector Guanaco se estudiaron inclusiones fluidas primarias y secundarias en muestras a lo largo de una extensión vertical de 300 m (entre 1.500 y 1.800 m s.n.m.) lo que permitió observar variaciones, temporales y verticales, de los fluidos hidrotermales que circularon cuando los minerales se depositaron en la veta. En el nivel más profundo (1.500 m) y en los intermedios (1.563-1.628 m), donde se encuentran las leyes económicas de oro, las razones de vapor/líquido en las inclusiones primarias y secundarias son constantemente bajas (por lo general, inferiores al 20%) y no se observaron inclusiones ricas en vapor. Esto se interpreta como evidencia de que los fluidos no se encontraban en ebullición en estos niveles. En los niveles profundos, las temperaturas de homogenización de las inclusiones primarias varían entre 327° y 344 °C; estas inclusiones tienen salinidades entre 6 y 10% en peso de NaCl equivalente (Figs. 3, 5), mientras que las inclusiones secundarias, en esta zona, se homogenizan entre 228° y 260°C y poseen salinidades entre 7,4 y 9,3% en peso de NaCl equivalente (Fig. 3). En los niveles de profundidad intermedia, las temperaturas de homogenización de las inclusiones primarias varían entre 260° y 336°C, con salinidades entre 5 y 6% en peso de NaCl equivalente (Figs. 3, 5), mientras que las de origen secundario, a esta misma profundidad, tienen temperaturas de homogenización entre 207° y 260°C y poseen salinidades entre 4 y 7% en peso de NaCl equivalente (Fig. 3). En la zona intermedia, las inclusiones fluidas primarias decrecen en temperatura y mantienen su salinidad con el tiempo.

Por otra parte, las zonas más altas del yacimiento (1.738-1.810 m) se caracterizan, en el sector Guanaco, por poseer inclusiones fluidas ricas en vapor, otras ricas en líquido y un tercer grupo con una razón vapor/líquido muy variable. Las inclusiones ricas en vapor son muy abundantes. Las inclusiones homogenizan tanto a vapor como a líquido y lo hacen dentro del mismo intervalo de temperatura. Este comportamiento indica que los fluidos hidrotermales se encontraban en ebullición. Las inclusiones primarias se homogenizan dentro de un orden de temperatura entre 235° y 270°C y poseen salinidades entre 2 y 7% en peso de NaCl equivalente (Figs. 3, 5). Las inclusiones secundarias se homogenizan a temperaturas cercanas a 200°C y tienen salinidades entre 1 y 5% en peso equivalente de NaCl (Fig. 3). En esta misma zona, se midieron temperaturas de homogenización en carbonatos, las que son cercanas a los 150°C (Fig. 3). Se observa un decrecimiento de las temperaturas con el tiempo, en la zona más alta.

Las inclusiones en los sectores de San Lorenzo y Clavo Rosario III tienen un orden de temperaturas de homogenización y salinidad semejante al de Guanaco (Skewes, informe inédito para la Compañía Minera El Bronce, 1986). Las inclusiones en El Espino caen dentro del orden de temperaturas y salinidades de Guanaco, pero presentan valores más restringidos que en éste (Skewes, informe inédito para la Compañía Minera El Bronce, 1987).

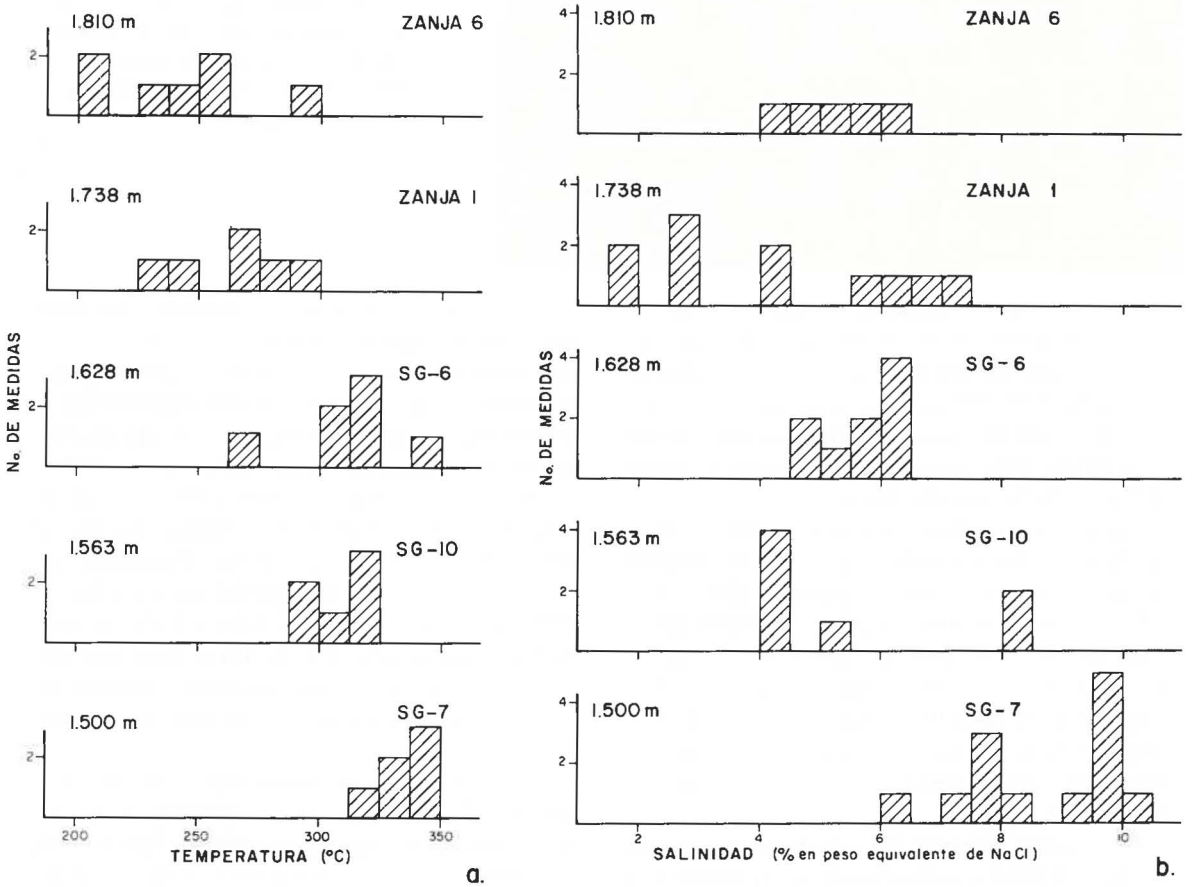


FIG. 5. Las divisiones **a** y **b** muestran histogramas de temperaturas (°C) y salinidad (% en peso de NaCl equivalente), respectivamente, en distintos niveles en la veta Guanaco de El Bronce. Se observa un incremento tanto en temperatura como en salinidad de las inclusiones al aumentar la profundidad en la veta.

DISCUSION

PROFUNDIDAD DE FORMACION DEL DEPOSITO

Basado en la información termométrica, se estimó que la zona con mineralización de oro, donde los fluidos no presentan evidencias de ebullición, tenía una profundidad mínima aproximada entre 400 y 1.200 m, bajo la paleosuperficie. Estas profundidades fueron calculadas de acuerdo con el método de Haas (1971) suponiendo: 1. Condiciones hidrostáticas para los niveles superiores, ya que la evidencia textural es sugerente de depositación en espacios abiertos a lo largo de las vetas; y 2. En las zonas más profundas, las condiciones probablemente oscilaron entre hidrostáticas y litostáticas, a medida que las fracturas se abrían y se sellaban.

La evidencia obtenida a partir de las inclusiones fluidas estudiadas indican que el episodio de mineralización, en El Bronce, no estuvo ligado a un proceso de ebullición como ha sido observado en algunos depósitos epitermales de metales preciosos (Buchanan, 1981). En El Bronce existió ebullición, pero sólo restringida a los niveles superiores del sistema, sobre la zona de mineralización económica (Fig. 3). Esta zona de ebullición, en las etapas paragenéticas iniciales, tuvo una profundidad máxima de alrededor de 350 m bajo la paleosuperficie. En el sector de Guanaco, donde aún se conservan evidencias de ebullición, es posible suponer un nivel de erosión inferior a 350 m.

EVOLUCION TERMICA DEL SISTEMA EPITERMAL EL BRONCE

Las soluciones ascendentes, en un sistema hidrotermal, pueden enfriarse ya sea por conducción, ebullición o mezcla con soluciones más frías, o por una combinación de estos procesos (Fournier, 1979). Cada proceso afecta, de diferente manera, la salinidad de los fluidos hidrotermales. Las inclusiones fluidas proveen de información directa sobre las variaciones en temperatura y salinidad de un sistema hidrotermal. Ambos factores pueden tener importancia fundamental en el control de la depositación de los metales.

En el sector Guanaco se observa un decrecimiento abrupto en temperatura (Fig. 5b) desde las zonas intermedias (1.628 m) a las superficiales (1.810 m). Esto muestra una gran pérdida de calor, lo que puede ser atribuido a ebullición en los niveles superiores del yacimiento.

En las partes más porfundas e intermedias del depósito, no se observan evidencias de ebullición. Por otra parte, en la zona con mineralización de metales preciosos, la gradiente térmica es mucho menor. Aquí, las salinidades muestran grandes variaciones mientras que la temperatura tiene un intervalo más reducido (Figs. 5a, b). Es por esto que la conducción, como mecanismo responsable del enfriamiento de las soluciones, puede ser descartado para las zonas profundas de El Bronce. Si la conducción produjese el enfriamiento, las salinidades de las soluciones se mantendrían constantes, lo que no se observa en El Bronce.

Como una forma de evaluar las relaciones de temperatura y salinidad con los procesos de enfriamiento producidos por conducción, ebullición y mezcla de fluidos se han usado, comúnmente, los diagramas de entalpía-salinidad (Fournier,1979; Fig. 6a). La entalpía no sólo considera la temperatura sino también la salinidad de los fluidos. Cada proceso de enfriamiento disminuye la entalpía, pero produce un efecto distinto en la salinidad; la ebullición aumenta la salinidad (tramo OC, Fig. 6a), mientras que la mezcla de fluidos calientes y salinas con fluidos más finos y diluidos disminuye la salinidad (tramo OA, Fig. 6a) y la conducción mantiene la salinidad constante (tramo OB, Fig. 6a). Este último tramo, OB, con un decrecimiento constante en la entalpía y salinidad, se puede obtener, también por una combinación de procesos de mezcla de fluidos y ebullición.

Para El Bronce, se calculó la entalpía de los fluidos dentro de las inclusiones fluidas a distintas profundidades en el sector Guanaco, utilizando las temperaturas y salinidades en cada nivel, de acuerdo con Haas (1976a, b) y Haas y Potter (1977). En este sector, las muestras más profundas tienen valores altos de entalpía y de salinidad, disminuyendo ambas hacia la zona de profundidad intermedia del depósito (Fig. 6b). El primer tramo, desde las zonas de mayor profundidad a las intermedias, que es donde se presenta la mineralización de oro, se podría interpretar como el producto de mezcla de soluciones ascendentes con soluciones más frías y diluidas. La mezcla de fluidos es considerada como un factor importante en la depositación de oro en otros depósitos epitermales del tipo adularia-sericita (Heald *et al.*, 1987).

De manera diferente, en el segundo tramo, desde las zonas intermedias a las superficiales (Fig. 6b), las salinidades se mantienen relativamente constantes mientras que la entalpía disminuye drásticamente. No es posible explicar este cambio sólo como el producto de las mezclas de fluidos, ya que la dilución de las soluciones no aparece. El segundo tramo podría explicarse como el resultado de conducción (dado que la salinidad se mantiene relativamente constante), pero se ha determinado que en esta zona existió ebullición. Por lo tanto, se estima que una combinación de ebullición y mezcla de fluidos produciría también esta tendencia, por lo que se descarta la conducción como un proceso importante de enfriamiento de los fluidos hidrotermales.

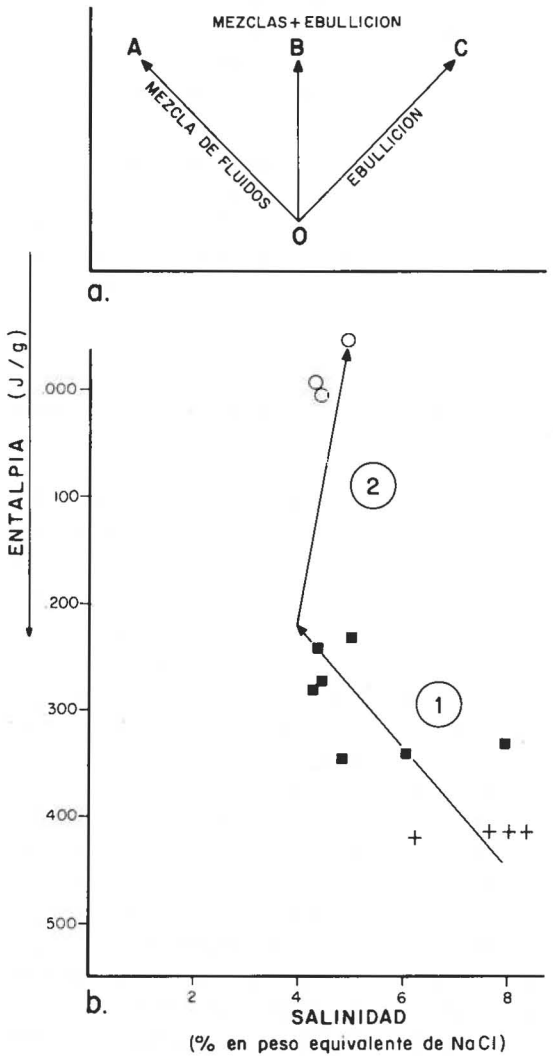


FIG. 6. Las divisiones **a** y **b** de esta figura corresponden a diagramas de entalpía (joules/gramos) *versus* salinidad (equivalente al porcentaje en peso de NaCl). En **a** se observan las distintas formas de enfriamiento de un fluido hidrotermal: por ebullición (tramo OC), lo que produce un incremento de la salinidad al disminuir la entalpía; por mezcla de fluidos (tramo OA) se disminuye tanto la salinidad como la entalpía; por conducción (tramo OB) se mantiene la salinidad constante y disminuye la entalpía. Este último tramo se puede obtener, también, por una combinación de procesos: mezcla de fluidos y ebullición. En **b** se presentan las variaciones de entalpía y salinidad en el sector de Guanaco. Las flechas muestran la dirección de los flujos hacia la superficie disminuyendo la entalpía. Los círculos corresponden a muestras más superficiales; los cuadrados, a muestras de las zonas intermedias; y las cruces a las de profundidad.

DEPOSITACION DE LOS SULFUROS DE Cu, Fe, Zn Y DE LOS METALES PRECIOSOS

Las interpretaciones realizadas, a partir de diagramas de entalpía-salinidad, muestran que el principal mecanismo de enfriamiento de los fluidos en las zonas profundas a las intermedias, donde se ubica la mayor parte del oro, fue el de mezclas de fluidos. En El Bronce se encuentra gran cantidad de sulfuros de Fe, Cu y Zn y la mayor parte del oro desde las zonas más profundas a las intermedias.

En el intervalo de temperatura (inferior a 350°C) y salinidad (inferior al 10% de NaCl equivalente) de los fluidos hidrotermales asociados a la mineralización de oro en El Bronce, los complejos sulfurados son los únicos capaces de transportar el oro (Henley, 1973). Los complejos sulfurados pueden bajar su solubilidad causando la precipitación del oro por diversas razones:

1. Disminución de la concentración del H_2S en solución, como consecuencia de la depositación de sulfuros;
2. Disminución en el pH;
3. Aumento de la fugacidad O_2;
4. Dilución;
5. Disminución de la temperatura (Barnes, 1979).

En El Bronce, la depositación de los sulfuros de Fe, Cu y Zn anteceden, paragenéticamente, a la depositación del oro nativo. Esto sugiere que el oro en El Bronce se depositó como producto de la disminución en H_2S debido a la precipitación de los sulfuros y de la dilución de las soluciones. Una vez que los sulfuros precipitan, el H_2S baja drásticamente desestabilizando los tío complejos de S en los fluidos hidrotermales forzando la precipitación del oro a profundidad, de la siguiente manera:

$$Au_2S(HS)_2 + H_2\,(g) \rightarrow 2Au + H_2S(aq) + 2HS$$

(Barnes, 1979)

Existen varias razones por las cuales las solubilidades de los complejos clorurados que acarrean el Cu, Fe, y Zn disminuyen causando la precipitación de los sulfuros. Según Barnes (1979), las solubilidades se reducen ya sea por:

1. Aumento de la concentración de los sulfuros en solución;
2. Aumento en el pH;
3. Disminución de los cloruros en la solución (dilución);
4. Baja en la temperatura de las soluciones; o
5. Baja en la fugacidad del oxígeno.

En las zonas profundas a intermedias, la salini-

dad disminuye debido a mezclas de fluidos ascendentes calientes y salinos con fluidos más fríos y diluidos, produciendo la subsecuente dilución y enfriamiento de las soluciones ascendentes metalíferas, lo que, a su vez, causa la depositación de los sulfuros de Fe, Cu y Zn de acuerdo con la siguiente reacción:

$$Me^{+}Cl_2(aq) + H_2S(aq) \rightarrow MeS + 2H^{+} + 2Cl^{-}$$

Me^{+} = Metal (Barnes, 1979)

Esto, a su vez, decrece el contenido de azufre en las soluciones ascendentes resultando en la depositación del oro.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a C.R. Stern (University of Colorado, U.S.A.), por la revisión crítica de este manuscrito tanto en su versión original como en la final. Conversaciones con R. Henley (Bureau of Mineral Resources, Australia), ayudaron a aclarar algunos aspectos. J. Haas (U.S. Geological Survey), proveyó de material bibliográfico de gran utilidad para los cálculos de entalpía. La lectura crítica de este trabajo por los geólogos A. Cruzat, J. Ambrus, C. Holmgren, F. Henríquez y G. Westra fue beneficiosa para la versión final de este trabajo.

Se agradece, también, a los geólogos A. Mestre, G. Sánchez, E. Reichhard y L. Ribba, de la Compañía Minera El Bronce, por el apoyo prestado en terreno, durante el desarrollo de este trabajo.

REFERENCIAS

Buchanan, L. 1981. Precious metal deposits associated with volcanic environment in the southwest. *Arizona Geological Society Digest*, Vol. 14, p. 237-262.

Barnes, H.L. 1979. Solubilities of ore minerals.*In* Geochemistry of hydrothermal ore deposits (Barnes, H.L.; editor). *Wiley Intersciences*, p. 404-460. New York, U.S.A.

Camus, F.; Boric, R.; Skewes, M.A. 1986. El distrito de oro El Bronce y su relación con la caldera Morro Hediondo, Región de Valparaíso, Chile. *Revista Geológica de Chile*, No. 28-29, p. 95-101.

Fournier, R. 1979. Geochemical and hydrological considerations and the use of enthalpy-chloride diagrams in the prediction of underground conditions in hot-spring systems.*Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol. 5, p. 1-16.

Haas, J.L. Jr. 1971. The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrostatic thermal system at hydrostatic pressure. *Economic Geology*, Vol. 66, p. 940-946.

Haas, J.L. Jr. 1976a. Thermodynamical properties of the coexisting phases and thermodynamical properties of H_2O component in boiling solutions. *U.S. Geological Survey, Bulletin*, No. 1421-A, 73 p.

Haas, J.L. Jr. 1976b. Thermodynamical properties of the coexisting phases and thermodynamical properties of the NaCl component in boiling solutions. *U.S. Geological Survey, Bulletin*, No. 1421-B, 71 p.

Haas, J.L. Jr.; Potter, R.W. 1977. The measurements and evaluations of PTVX properties of geothermal brines and derived thermodynamic properties. *In Symposium on Thermophysical Properties*, No. 7, *Proc.*, p. 604-614. Gaithersburg, M.D., U.S.A.

Heald, P.; Foley N.K.; Hayba, D.O. 1987. Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: Acid-Sulfate and Adularia-Sericite types. *Economic Geology*, Vol. 82, No. 1, p. 1-26.

Henley, R.W. 1973. Solubility of gold in hydrothermal chloride solutions. *Chemistry and Geology*, No. 11, p. 73-87.

Potter, R.W., Clyne M.A.; Brown D.L. 1978. Freezing point depression of aqueous sodium chloride solutions. *Economic Geology*, Vol. 73, No. 2, p. 284-285.

Skewes, M.A.; Camus, F. 1987. Inclusiones fluidas en el sistema El Bronce de Petorca, Chile: Implicaciones para la génesis de un yacimiento epitermal asociado a actividad volcánica del Cretácico Superior en los Andes. *In Simposio Internacional del Volcanismo Andino, Congreso Geológico Argentino*, No. 10, Actas, Vol. 1. p. 290-291. San Miguel de Tucumán, Argentina.