

GEOLOGIA Y MINERALIZACION EN EL DISTRITO ARGENTIFERO CHIMBERO, ATACAMA, CHILE

GEOLOGY AND SILVER MINERALIZATION IN THE CHIMBERO DISTRICT, ATACAMA, CHILE

Carlos Palacios M.

Alfredo Lahsen A.

Departamento de Geología, Universidad de Chile

Casilla 13518, Correo 21, Santiago

RESUMEN

Los depósitos consisten en vetas, mantos y stockwork emplazados en rocas calcáreas y volcánicas asignadas al Cretácico inferior y en rocas intrusivas Cretácico superior. La mineralogía hipógena corresponde a pirita, calcopirita, esfalerita, galena, pirargirita, proustita, electrum, polibasita, tetraedrita, cobaltita, calcita, cuarzo y baritina. La alteración hidrotermal está caracterizada por clorita, sericita, calcita y cuarzo. El estudio de inclusiones fluidas indica que los procesos de mineralización habrían tenido lugar a temperaturas entre 260° y 300° C, a profundidades entre 800 y 850 m, y en un ambiente dominado por fluidos alcalino clorurados cercanamente neutros. De acuerdo a estos antecedentes se puede concluir que la mineralización en el distrito argentífero Chimbero corresponde al tipo epitermal de sulfidización baja.

ABSTRACT

The orebodies consist of veins, stockwork, and stratiform mineralization, which have been emplaced in Lower Cretaceous sedimentary and volcanic rocks and Upper Cretaceous intrusives. The ore assemblage includes pyrite, chalcopryrite, sphalerite, galena, pyrargyrite, proustita, electrum, polybasite, tetrahedrite, cobaltite, calcite, quartz, and barite. The alteration minerales are chlorite, sericite, calcite, and quartz. The study of fluid inclusions indicates that mineralization was formed at temperatures between 260° and 300° C, at 800 to 850 m depth, and under the influx of near-neutral alkali-chloride fluids. The geological studies in the silver district Chimbero reveal that the deposits correspond to epithermal mineralization of low sulfur type.

INTRODUCCION

El distrito argentífero Chimbero se ubica 80 km al NE de Copiapó, III Región de Atacama ($26^{\circ}46' S/69^{\circ}52' W$), a una elevación fluctuante entre 1500 y 2000 m sobre el nivel del mar (Fig. 1). Las minas del distrito se trabajaron intensamente desde fines del siglo pasado hasta las primeras décadas de este siglo, y la explotación se concentró en depósitos vetiformes y mantos argentíferos, fundamentalmente en minería de pequeña escala. Se estima que la producción total en el distrito alcanzó a unas 10 TM de plata fina extraída de vetas y mantos con leyes medias de 1 a 5 kg Ag/tonelada.

El distrito argentífero en estudio forma parte de la franja mineralizada Inca de Oro, que se reconoce desde Copiapó por el sur hasta el distrito aurífero Inca de Oro por el norte (Fig. 1). Esta zona mineralizada presenta rumbo NE, y contiene principalmente mineralización epitermal de metales pre-

ciados de edad Cretácico Superior (Palacios et al., 1991; 1992; Sylvester y Palacios, 1991).

Sobre la base de estudios geológicos, mineralógicos y de inclusiones fluidas se analizan las condiciones en que se desarrollaron los procesos que dieron origen a la mineralización argentífera en el distrito.

MARCO GEOLOGICO

Las rocas más antiguas que afloran en el área corresponden a una secuencia de sedimentos marinos de aproximadamente 300 m de potencia, datada bioestratigráficamente como Cretácico Inferior (Mercado, 1978). Consiste en calca-arenitas, lutitas, areniscas calcáreas y calizas con intercalaciones de tobas andesíticas (Fig. 2). Sobreyaciendo concordantemente a la secuencia sedimentaria marina aflora una serie volcánica andesítica de al menos 1.000 m. de potencia, constituida por flujos de lavas,

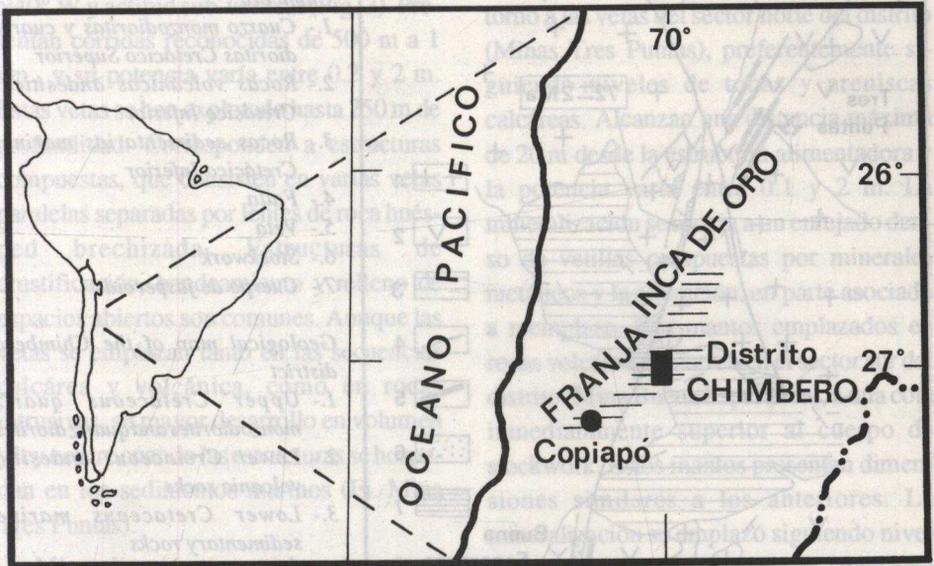


Fig. 1. Mapa de ubicación del distrito minero Chimbero.
Location map of the Chimbero district.

aglomerados, brechas volcánicas y areniscas, asignadas al Cretácico Inferior (Mercado, 1978).

Las rocas estratificadas están intruidas por cuerpos magmáticos de composición cuarzo monzonítica a cuarzo diorítica (Fig. 2). Estas rocas intrusivas fueron datadas por Brook et al. (1987) y Palacios et al (1992) como Cretácico Superior (80 Ma) en el distrito minero Inca de Oro, ubicado inmediatamente al norte. Así mismo, se dató radiométricamente una muestra de intrusivo ubicada en el centro del área de estudio, obteniéndose valores de 72 ± 2 Ma y 71 ± 3 Ma (Tabla 1, Fig. 2). Numerosas fallas con rumbos NE y NS a NW cruzan el distrito, destacando entre ellas una estructura orientada N25-30° E que desplaza

sinistralmente 500 m a un conjunto de fallas NW que presentan relleno de jaseroide (Fig. 2). En la zona de contacto con rocas intrusivas, y en torno a las fallas, en la secuencia calcárea se desarrollan cuerpos de jaseroide. Los cuerpos de jaseroide son mantiformes a irregulares, y corresponden a un reemplazo hidrotermal de areniscas calcáreas y tobos por sílice rica en Fe (Fig. 2). Comúnmente presentan un fracturamiento penetrativo paralelo a las fallas y su color varía entre pardo oscuro y negro. Consisten en sílice criptocrystalina a cuarzo microgranular, cruzando por vetillas de baritina, calcita y ocasionalmente piritita y calcopiritita. En torno a los cuerpos de jaseroide las rocas calcáreas presentan silicificación.

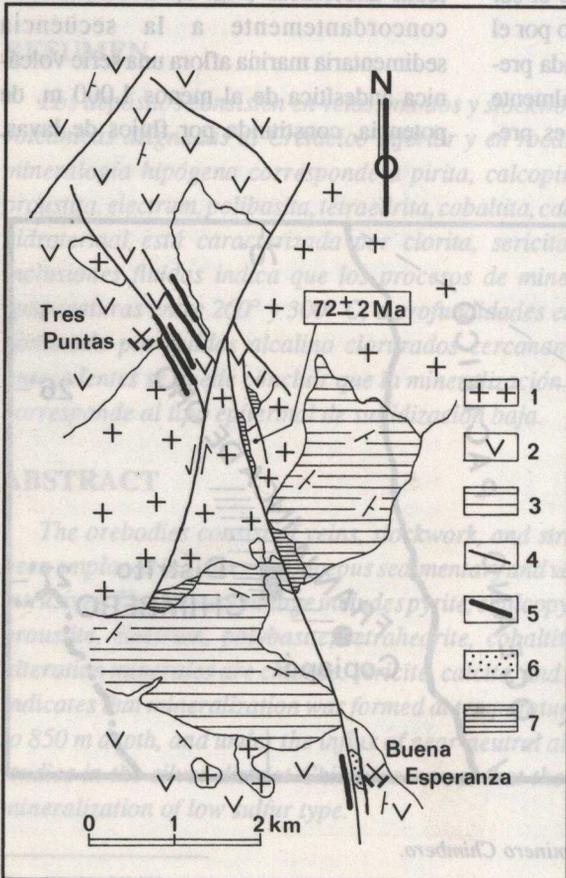


Fig. 2. Mapa geológico del distrito Chimbero

- 1.- Cuarzo monzodioritas y cuarzo dioritas Cretácico Superior
- 2.- Rocas volcánicas andesíticas Cretácico Inferior
- 3.- Rocas sedimentarias marinas Cretácico Inferior
- 4.- Falla
- 5.- Veta
- 6.- Stockwork
- 7.- Cuerpo de jaseroide

Geological map of the Chimbero district

- 1.- Upper Cretaceous quartz monzodiorites and quartz diorites
- 2.- Lower Cretaceous andesitic volcanic rocks
- 3.- Lower Cretaceous marine sedimentary rocks
- 4.- Fault
- 5.- Vein
- 6.- Stockwork
- 7.- Jasperoid body

TABLA 1: Análisis radiométricos de roca intrusiva (para ubicación, ver Fig. 2).

Muestra	Material analizado	% K	Ar rad. (nl/g)	% Ar Atm.	Edad Ma
Cuarzo	Anfíbol	0.350	1.281	73	92±11
diorita	Plagioclasa	2.190	6.252	23	72± 2
	Plagioclasa	2.190	6.125	41	71± 3

Las determinaciones radiométricas se efectuaron en el SERNAGEOMIN. El error en la medición en Anfíbol se atribuye a su bajo contenido de K.

MINERALIZACION

La mineralización argentífera en el Distrito Chimbero se presenta en vetas, stockwork y mantos, los que se emplazan en las secuencias calcárea y volcánica Cretácico Inferior, y en los cuerpos intrusivos Cretácico Superior (Figs. 2 y 3). Las vetas se desarrollan tanto en los sectores norte y sur del distrito (Minas Tres Puntas y Buena Esperanza), siguiendo fallas de rumbo N10° a N40° W y actitud sub-vertical (Fig. 2). Presentan corridas reconocidas de 500 m a 1 km., y su potencia varía entre 0.2 y 2 m. Estas vetas se han explotado hasta 250 m de profundidad. Corresponden a estructuras compuestas, que consisten en varias vetas paralelas separadas por lentes de roca huésped brechizada. Estructuras de crustificación, bandeamiento y relleno de espacios abiertos son comunes. Aunque las vetas se emplazan tanto en las secuencias calcárea y volcánica, como en rocas intrusivas, su mayor desarrollo en volumen y ley ocurre cuando las estructuras se hospedan en los sedimentos marinos (Ej. Mina Tres Puntas).

Mineralización tipo stockwork se desarrolla en un cuerpo semicircular en planta, de aproximadamente 50 m de diámetro, que se emplaza en rocas intrusivas en el sur del

distrito (Mina Buena Esperanza; Figs. 2 y 3). La mineralización ocurre en vetillas (de 1 a 15 mm de potencia) y diseminada. El stockwork se formó en un sector intensamente fallado, donde dominan las estructuras de rumbo NS (Fig. 3).

Se reconocen 2 modos de ocurrencia de mantos en el distrito: mantos emplazados en sedimentos calcáreos y mantos formados en rocas volcánicas. Los mantos emplazados en sedimentos marinos se desarrollan en torno a las vetas del sector norte del distrito (Minas Tres Puntas), preferentemente siguiendo niveles de tobas y areniscas calcáreas. Alcanzan una distancia máxima de 20 m desde la estructura alimentadora y la potencia varía entre 0.1 y 2 m. La mineralización se asocia a un enrejado denso de vetillas compuestas por minerales metálicos y la alteración, en parte asociado a reemplazo. Los mantos emplazados en rocas volcánicas ocurren en el sector sur del distrito (Mina Buena Esperanza), a una cota inmediatamente superior al cuerpo de stockwork. Estos mantos presentan dimensiones similares a los anteriores. La mineralización se emplazó siguiendo niveles porosos tanto de la base como del techo de las coladas.

La mineralogía hipógena de mena y ganga es similar en las vetas, mantos y

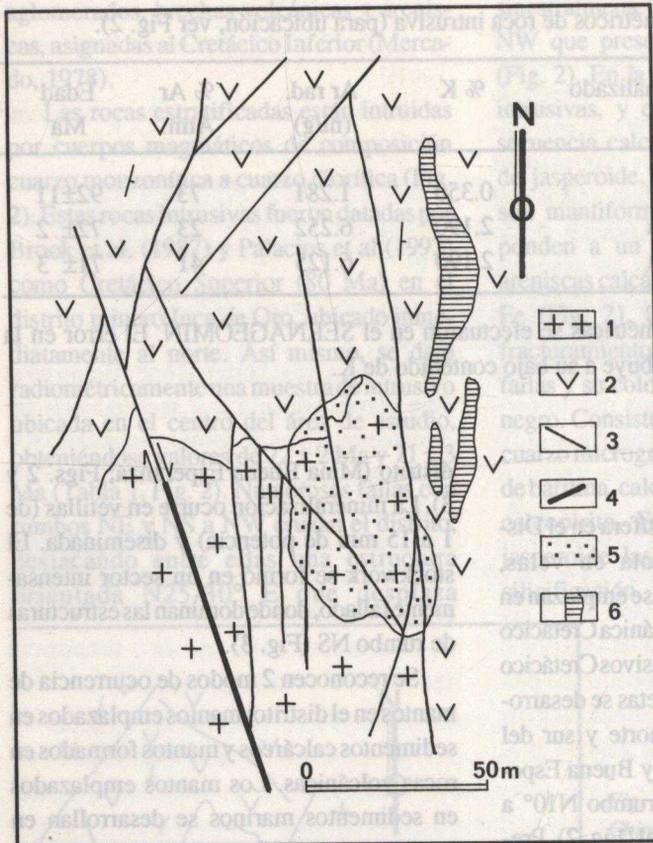


Fig. 3. Mapa geológico de la mina Buena Esperanza

- 1.- Cuarzo dioritas Cretácico Superior
- 2.- Rocas volcánicas andesíticas Cretácico Inferior
- 3.- Falla
- 4.- Veta
- 5.- Stockwork
- 6.- Manto

Geological map of the Buena Esperanza mine

- 1.- Upper Cretaceous quartz diorites
- 2.- Lower Cretaceous andesitic volcanic rocks
- 3.- Fault
- 4.- Vein
- 5.- Stockwork
- 6.- Stratiform mineralization

stockwork, y consiste en baritina, pirita, calcopirita, esfalerita, galena, pirargirita, proustita, electrum, polibasita, tetraedrita, cobaltita, calcita y cuarzo. La asociación supérgena incluye limonita, jarosita, argento-jarosita y óxidos de Mn. El límite superior de la zona primaria oscila entre 30 y 100 m de profundidad.

ALTERACION HIDROTHERMAL

La mineralización argentífera en vetas, stockwork y mantos está estrechamente relacionada con el desarrollo de alteración hidrotermal hipógena, que afecta tanto a las rocas de caja calcárea y volcánica como intrusiva. Las rocas alteradas se ubican en franjas paralelas a las vetas, con un ancho

que oscila entre 1 y 5 m. En los mantos y stockwork la alteración hipógena está restringida al sector mineralizado. Esta alteración, comúnmente de carácter penetrativo, consiste en clorita, sericita, calcita y cuarzo, que se presenta en vetillas junto a sulfuros, en cúmulo, o reemplazando a minerales primarios. La clorita reemplaza preferentemente a los minerales ferromagnesianos, en tanto la sericita altera a los feldespatos y minerales máficos. El cuarzo (en parte sílice criptocristalina y ópalo) y la calcita normalmente se presentan en vetillas o rellenan espacios abiertos. La calcita desarrolla con frecuencia en este último caso cristales en forma de espada (bladed crystals), parcialmente reemplazados por cuarzo. Es común observar en todo el distrito que la alteración

hidrotermal descrita se desarrolla en torno a la mayoría de las fallas principales, aunque éstas no presenten mineralización, y se restringe a franjas delgadas paralelas a las estructuras (desde algunos cm hasta 1 m).

Una alteración supérgena (minerales de arcillas, limonita, jarosita y cuarzo) se sobreimpone en los sectores mineralizados a la alteración hipógena.

INCLUSIONES FLUIDAS

Los análisis termométricos se efectuaron con una platina calentadora/enfriadora Linkam THM-600, con un sistema de control de temperatura Linkam TMS-90. El equipo se calibró usando naftaleno, ácido salicílico, agua pura y tetracloruro de carbono. La precisión en las medidas se estimó en $\pm 2^\circ \text{C}$ para temperatura de homogeneización y $\pm 0.5^\circ \text{C}$ para temperatura de fusión. La velocidad de calentamiento usada correspondió a $1^\circ \text{C}/\text{min}$. cerca de las temperaturas de homogeneización y fusión.

Las mediciones se efectuaron en inclusiones fluidas con tamaños oscilantes entre 5 y 25 μm . El estudio se realizó en muestras de cuarzo hidrotermal tomadas desde el cuerpo de stockwork ubicado al sur del distrito (Mina Buena Esperanza). Se consideraron sólo inclusiones de carácter primario. La petrografía de inclusiones fluidas a temperatura ambiente, permitió definir 2 tipos de inclusiones: Inclusiones de 2 fases, ricas en líquido (burbuja de vapor < 20% en vol.), que presentan formas ovaladas, elongadas y estranguladas (tipo 1), e inclusiones de 2 fases, ricas en vapor (burbuja de vapor > 25% en vol.), las cuales muestran formas comúnmente ovaladas (tipo 2). Ambos tipos de inclusiones homogeneizaron a temperaturas entre 160° y 340°C , pero se concentran entre 250° y 310°C (Fig. 4). Las temperaturas de fusión varían entre -0.5° y -4.5°C (Fig. 4). De acuerdo con Potter et al. (1978) estos valores corresponden a salinidades aparentes entre 1 y 5% NaCl equiv. La coexistencia de inclusiones de los

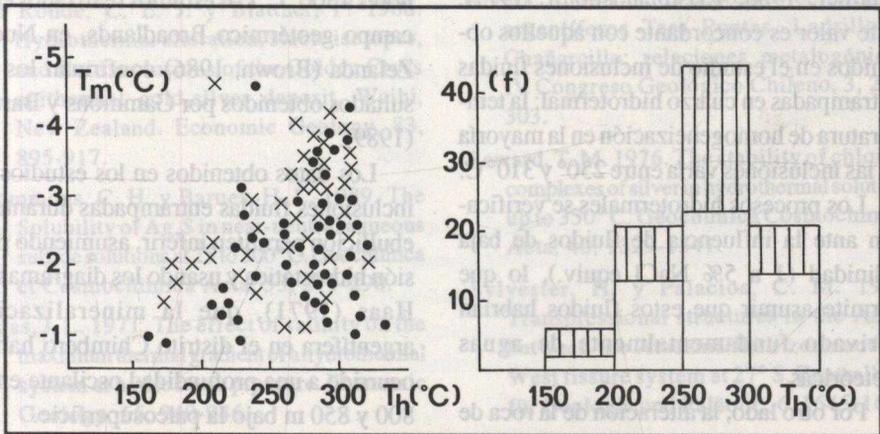


Fig. 4. Diagrama T_m versus T_h y Frecuencia versus T_h . Las áreas en blanco y las cruces representan a las inclusiones fluidas del tipo 1; las áreas achuradas y círculos negros muestran las inclusiones del tipo 2.

T_m versus T_h and frequency versus T_h diagrams.

The white area and crosses show the fluid inclusions of the type 1; the hatched area and the black circles represent the inclusions of the type 2.

tipos 1 y 2 en las mismas zonas de crecimiento en cristales de cuarzo hidrotermal, se usó como criterio para inferir depositación a partir de fluidos en ebullición. La armonía de los valores de temperaturas de homogeneización en ambos tipos de inclusiones permite confirmar que los cristales involucrados crecieron durante la ebullición de fluidos. Así, se reconoció ebullición a temperaturas fluctuantes entre 260° y 300° C. Finalmente, no se reconocieron fases de CO₂ ni se observó formación de clathratos.

DISCUSION DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El campo de estabilidad de los minerales de alteración y los resultados de estudios de inclusiones fluidas corresponden a criterios normalmente usados para inferir la temperatura de los fluidos hidrotermales al momento de la alteración y mineralización. La asociación mineralógica clorita-sericita es estable en ambientes hidrotermales sobre 220° C (De Ronde, 1986; De Ronde y Blattner, 1988; Kristmannsdottir, 1977). Este valor es concordante con aquellos obtenidos en el estudio de inclusiones fluidas atrapadas en cuarzo hidrotermal: la temperatura de homogeneización en la mayoría de las inclusiones varía entre 250° y 310° C.

Los procesos hidrotermales se verificaron ante la influencia de fluidos de baja salinidad (1 a 5% NaCl equiv.), lo que permite asumir que estos fluidos habrían derivado fundamentalmente de aguas meteóricas.

Por otro lado, la alteración de la roca de caja (clorita, sericita, calcita, cuarzo) sugiere que los fluidos tenían un carácter alcalino-clorurado cercanamente neutros (De Ronde y Blattner, 1988). La distribución de la alteración hidrotermal, restringida a los

márgenes de fallas y zonas fracturadas, indica que la circulación de fluidos estuvo controlada fundamentalmente por una permeabilidad estructural, y que la razón fluido/roca fue baja.

Los resultados del estudio de inclusiones fluidas y la morfología tipo bladed crystals en calcita (Browne y Ellis, 1970; Keith y Muffler, 1978; Keith et al., 1978; Tulloch, 1982) revelan ebullición de fluidos en las áreas mineralizadas. La ebullición es considerada como un evento crítico en el proceso de alteración y mineralización: El escape de H₂S permite la precipitación de sulfuros, causando la depositación de metales preciosos por pérdida de estabilidad de los complejos sulfurados. Aunque Seward (1976) ha demostrado que una cantidad considerable de Ag puede permanecer disuelta como complejos clorurados sobre 350° C, los datos reportados por Gammons y Barnes (1989) indican que Ag (HS)⁻² constituye la especie de Ag dominante en fluidos hidrotermales con un pH alcalino a cercanamente neutro y temperaturas menores a 300° C. Los estudios realizados en el campo geotérmico Broadlands, en Nueva Zelanda (Brown, 1986) confirman los resultados obtenidos por Gammons y Barnes (1989).

Los datos obtenidos en los estudios de inclusiones fluidas atrapadas durante la ebullición permiten inferir, asumiendo presión hidrostática y usando los diagramas de Haas (1971), que la mineralización argentífera en el distrito Chimbero habría ocurrido a una profundidad oscilante entre 800 y 850 m bajo la paleosuperficie.

Finalmente, los antecedentes presentados permiten clasificar los depósitos estudiados como epitermales de sulfidización baja (Bonham, 1988), confirmando lo propuesto por Rivera (1985).

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se realizó con el financiamiento del Proyecto FONDECYT 90-1199.

REFERENCIAS

- Brook, M., Pankhrust, R. J., Shepherd, T. y Spiro, B. 1987. Andchron report: Andean Geochronology and Metallogensis. British Geol. Survey, London. 190 p.
- Browne, P. R. L. y Ellis, A. J. 1970. The Ohaki-Broadlands hydrothermal area, New Zealand; mineralogy and related geochemistry. American Journal of Science, 269, 97-131.
- Brown, K. L. 1986. Gold deposition and geothermal discharges in New Zealand. Economic Geology, 81, 979-983.
- De Ronde, C. E. J. 1986. The Golden Cross gold-silver deposit. 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, 165-183.
- 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.
- Gammons, C. H. y Barnes, H. L. 1989. The Solubility of Ag_2S in near-neutral aqueous sulfide solutions at 25 to 300°C. Geochimica et Cosmochimica Acta, 53, 279-290.
- Haas, J. L. 1971. The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure. Economic Geology, 66, 940-946.
- Keith, T. E. C. y Muffler, L. J. 1978. Minerals produced during cooling and hydrothermal alteration of ash flow tuff from Yellowstone drillhole Y-5. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 3, 373-402.
- Keith, T. E. C., Thompson, J. M. y Mays, R. E. 1978. Hydrothermal alteration and self-sealing in Y-7 and Y-8 drillholes in the northern part of Upper Geyser Basin, Yellowstone National Park Wyoming. U. S. Geological Survey. Prof. Paper 1054-A, 26p.
- Kristmannsdottir, H. 1977. Types of clay minerals in hydrothermally altered basaltic rocks, Reykjanes, Iceland. Jokull, 26, 30-39.
- Mercado, M. 1978. Hojas Chañaral y Potrerillos. Mapas Geológicos preliminares de Chile. I. I. G., 2, 24 p.
- Palacios, C. M., Sylvester, H. y Lahsen, A. 1991. The Inca de Oro district, Chile: a fossil epithermal system. Zentralblatt für Geologie und Paläont., 6, 1861-1870.
- Palacios, C. M., Lahsen, A. y Sylvester, H. 1992. Geology of the Inca de Oro district, northern Chile: low sulfur epithermal gold mineralization. Sometido a Journal of South American Earth Science.
- Potter, R. W., Clynne, M. A. y Brown, D. L. 1978. Freezing point depression of aqueous sodium chloride solutions. Economic Geology, 73, 284-285.
- Rivera, S. 1985. Los depósitos epitermales argentíferos Tres Puntas, Ladrillos y Chañarillo: relaciones metalogénicas. IV Congreso Geológico Chileno, 3, 288-303.
- Seward, T. M. 1976. The stability of chloride complexes of silver in hydrothermal solutions up to 350°C. Geochimica Cosmochimica Acta, 40, 1329-1341.
- Sylvester, H. y Palacios, C. M. 1991. Transpressional structures in the Andes between the Atacama fault zone and the West fissure system at 27° S. Zentralblatt für Geologie und Paläont., 6, 1645-1658.
- Tulloch, A. J. 1982. Mineralogical observations on carbonate scaling in geothermal wells at Kawerau and Broadlands. Pacific Geothermal Conference, Auckland. 1, 131-134.