

MINERALIZACION DE Cu-Mo-Au EN CHIMENEAS DE BRECHAS EN LA FRANJA INCA DE ORO, ATACAMA, CHILE

Cu-Mo-Au BEARING BRECCIA PIPE MINERALIZATION IN THE INCA DE ORO BELT, ATACAMA, CHILE

Carlos Palacios M.

Alfredo Lahsen A.

Departamento de Geología, Universidad de Chile

Casilla 13518, Correo 21, Santiago.

RESUMEN

La mineralización en los distritos San Pedro, Chivato Nuevo y San Samuel corresponde fundamentalmente a chimeneas de brecha (Cu-Mo-Au) formadas durante el Eoceno Superior. Se reconocen tres etapas de mineralización hidrotermal: una etapa temprana potásica (biotita, clorita, cuarzo, feldespato alcalino, bornita, molibdenita, pirita, calcopirita y oro), una etapa intermedia cuarzo-sericítica asociada a la formación de las brechas (cuarzo, sericita, pirita y calcopirita), y una etapa tardía cuarzo-turmalina (con cantidades menores de pirita, calcopirita y bornita).

Las brechas hidrotermales corresponden a brechas de explosión formadas a 300° C y una profundidad entre 1200 y 1700 m bajo la paleosuperficie. Finalmente, los antecedentes presentados permiten suponer que estos yacimientos corresponden a la parte alta de pórfidos cupríferos.

ABSTRACT

The mineralization at the San Pedro, Chivato Nuevo, and San Samuel districts corresponds to Cu-Mo-Au bearing breccia pipes formed during the Upper Eocene. Three different stages of hydrothermal mineralization were distinguished: an early potassic stage (biotite, chlorite, quartz, K feldspar, bornite, molybdenite, pyrite, chalcopyrite, and gold), a middle quartz-sericitic stage related to the formation of the breccia pipes (quartz, sericite, pyrite, chalcopyrite), and a late stage that consists of quartz, tourmaline, pyrite, chalcopyrite, and bornite.

The pipes correspond to explosive breccias formed at temperatures of about 300° C, and between 1,200 and 1,700 m below the paleosurface. Finally, available data allows us to assume that these deposits represent the top level of porphyry copper systems.

INTRODUCCION

Numerosos trabajos han definido en la franja Inca de Oro, ubicada en la III Región de Atacama, una provincia metalogénica que hospeda mineralización epitermal de metales preciosos (Palacios et al., 1991; Sylvester y Palacios, 1991; Palacios et al., 1992; Palacios y Lahsen, 1992). Sin embargo, diferentes autores han descrito en este sector numerosos yacimientos que consisten en chimeneas de brecha con mineralización de Cu-Mo-Au (Delgado, 1992; Ortiz, 1974; Sillitoe y Sawkins, 1971).

El objetivo del estudio es presentar nuevos antecedentes geológicos de este tipo de depósitos minerales, en un área ubicada entre los 26°40' - 27°10' S y 69°40' - 70°05' W (Fig. 1).

MARCO GEOLOGICO

La geología de la zona de estudio ha sido descrita por Segerstrom (1968), Mercado (1978), Colley et al. (1989), Sylvester y Palacios (1991) y Palacios et al. (1991). Las rocas más antiguas que afloran en la zona corresponden a una secuencia fundamentalmente volcánica de 4.000 m de potencia depositada durante el Jurásico Superior y Cretácico Inferior (Fig. 2; Mercado, 1978). La parte inferior de la secuencia está compuesta por aproximadamente 2.000 m de lavas andesíticas, aglomerados y tobas andesíticas. La parte media de la secuencia consiste en 200 a 400 m, de pillow lavas de composición andesítica, areniscas calcáreas, margas y calizas, datadas como Neocomiano por evidencias paleontológicas (Mercado,

1978). La parte superior de la secuencia estratificada está formada por al menos 1.500 m de lavas andesíticas, aglomerados, brechas volcánicas y tobas andesíticas.

Las rocas estratificadas están intruidas por rocas plutónicas que consisten en cuarzo monzodioritas y cuarzo dioritas, las que a su vez son intruidas por diques félsicos y pequeños stocks de composición tonalítica a granitoides ricos en cuarzo. Edades radiométricas indican que esta actividad magmática se desarrolló durante el

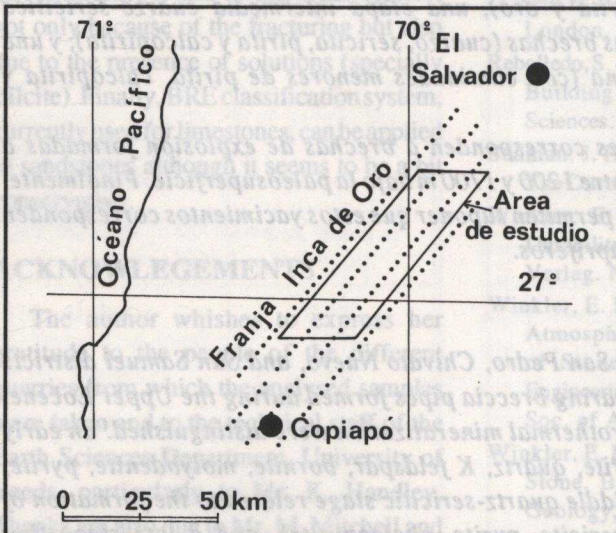


Fig. 1. Mapa de ubicación del área de estudio. Location map.

Cretácico Superior, entre 80 y 90 Ma (Zentilli, 1974; Brook et al., 1987; Palacios et al., 1992).

Rocas plutónicas de composición granodiorítica emplazadas en el Paleoceno

(alrededor de 60 Ma, Zentilli, 1974), y stocks dioríticos del Eoceno Superior (45 - 47 Ma, Delgado, 1992), representan la actividad magmática más reciente en la zona de estudio (Fig. 2).

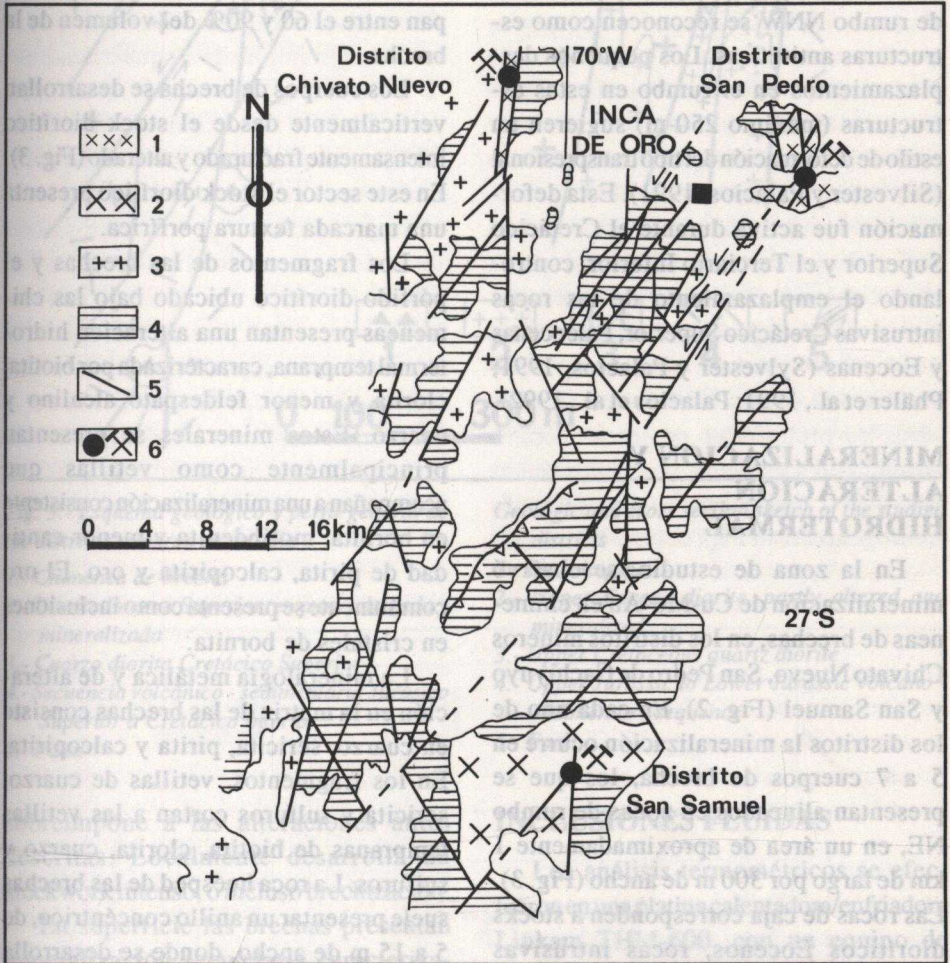


Fig. 2. Mapa geológico del sector central de la franja Inca de Oro

- 1.- Diorita Eoceno Superior
- 2.- Granodiorita Paleocena
- 3.- Cuarzo monzodiorita y cuarzo diorita Cretácico Superior
- 4.- Secuencia volcano - sedimentaria Jurásico Superior-Cretácico Inferior
- 5.- Falla
- 6.- Distrito minero

Geological map from the central part of the Inca de Oro belt

- 1.- Upper Eocene diorite
- 2.- Paleocene granodiorite
- 3.- Upper Cretaceous quartz monzodiorite and quartz diorite
- 4.- Upper Jurassic to Lower Cretaceous volcano-sedimentary sequence
- 5.- Fault
- 6.- Mining district

El rasgo estructural de mayor importancia en la zona lo constituye un sistema de fallas de rumbo de carácter sinistral, orientado hacia el NE. Fallas sinestrales orientadas NS se han interpretado como estructuras sintéticas, y fallas dextrales de rumbo NNW se reconocen como estructuras antitéticas. Los pequeños desplazamientos en el rumbo en estas estructuras (máximo 250 m) sugieren un estilo de deformación del tipo transpresional (Silvester y Palacios, 1991). Esta deformación fue activa durante el Cretácico Superior y el Terciario Inferior, controlando el emplazamiento de las rocas intrusivas Cretácico Superior, Paleocenas y Eocenas (Silvester y Palacios, 1991; Phäler et al., 1991; Palacios et al., 1992).

MINERALIZACION Y ALTERACION HIDROTHERMAL

En la zona de estudio, se observó mineralización de Cu-Mo-Au en chimeneas de brechas, en los distritos mineros Chivato Nuevo, San Pedro de Cachiuyuy y San Samuel (Fig. 2). En cada uno de los distritos la mineralización ocurre en 5 a 7 cuerpos de brecha, los que se presentan alineados en zonas de rumbo NE, en un área de aproximadamente 1 km de largo por 300 m de ancho (Fig. 3). Las rocas de caja corresponden a stocks dioríticos Eocenos, rocas intrusivas Cretácico Superior, o rocas volcánicas Jurásico Superior-Cretácico Inferior. Las chimeneas de brecha se emplazaron donde las fallas principales de rumbo NE se interceptan con las estructuras sintéticas y antitéticas de rumbos NS y NW respectivamente. Presentan secciones aproximadamente circulares de 50 a 70 m de diámetro, y su extensión vertical varía entre 120 y 150 m. Las brechas

están formadas por fragmentos alterados del stock diorítico Eoceno Superior, y la matriz consiste en polvo de roca, minerales metálicos y de alteración. Los fragmentos son redondeados, de tamaños fluctuantes entre 1 y 35 cm, y ocupan entre el 60 y 90% del volumen de la brecha.

Los cuerpos de brecha se desarrollan verticalmente desde el stock diorítico intensamente fracturado y alterado (Fig. 3). En este sector el stock diorítico presenta una marcada textura porfírica.

Los fragmentos de las brechas y el pórfido diorítico ubicado bajo las chimeneas presentan una alteración hidrotermal temprana, caracterizada por biotita, clorita y menor feldespato alcalino y cuarzo. Estos minerales se presentan principalmente como vetillas que acompañan a una mineralización consistente en bornita, molibdenita y menor cantidad de pirita, calcopirita y oro. El oro comúnmente se presenta como inclusiones en cristales de bornita.

La mineralogía metálica y de alteración en la matriz de las brechas consiste en cuarzo, sericita, pirita y calcopirita. En los fragmentos, vetillas de cuarzo, sericita y sulfuros cortan a las vetillas tempranas de biotita, clorita, cuarzo y sulfuros. La roca huésped de las brechas suele presentar un anillo concéntrico, de 5 a 15 m de ancho, donde se desarrolla un stockwork débil caracterizado por vetillas de cuarzo, sericita, pirita y calcopirita. La ley en zonas de mineralización hipógena en las brechas varía entre 1.5 y 4% Cu, 600 a 1.000 ppm Mo, y 0.1 a 2.5 ppm Au.

Una etapa tardía de alteración consiste en la formación de un enrejado de vetillas de cuarzo, turmalina y menor calcopirita, pirita y bornita, que se

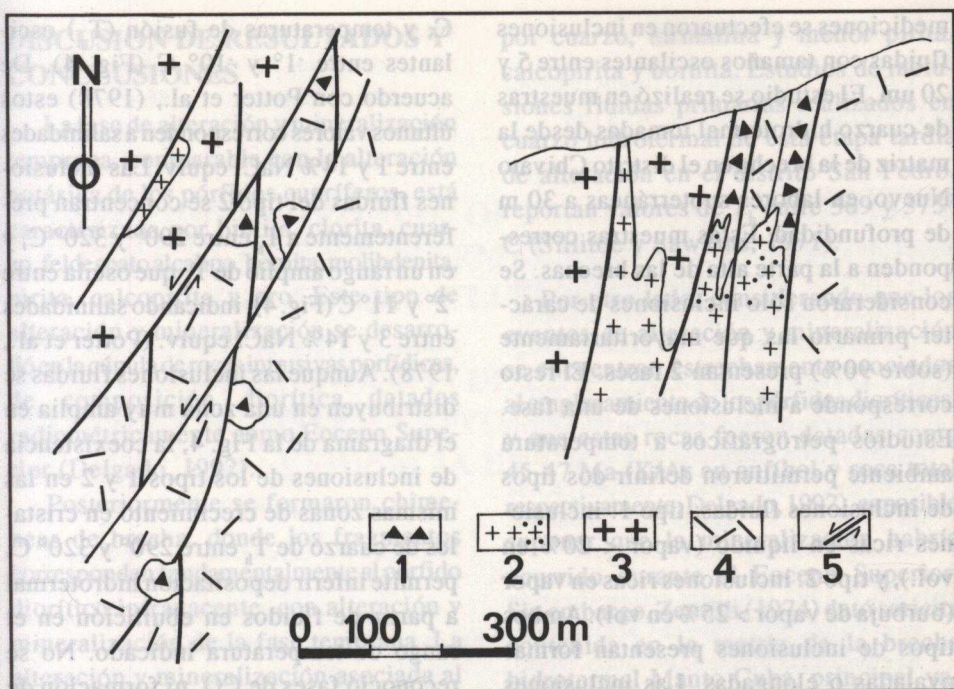


Fig. 3.- Esquema geológico y perfil general de los distritos mineros en estudio

- 1.- Chimenea de brecha
- 2.- Diorita Eoceno Superior, en parte alterada y mineralizada
- 3.- Cuarzo diorita Cretácico Superior
- 4.- Secuencia volcánico - sedimentaria Jurásico Superior a Cretácico inferior
- 5.- Falla

Geologic and cross section sketch of the studied districts

- 1.- Breccia pipe
- 2.- Upper Eocene diorite, partly altered and mineralized
- 3.- Upper Cretaceous quartz diorite
- 4.- Upper Jurassic to Lower Jurassic volcano - sedimentary sequence
- 5.- Fault

sobreimpone a las alteraciones antes descritas. Localmente desarrolla un stockwork intenso, o incluso brechización.

En superficie las brechas presentan mineralización secundaria caracterizada por atacamita, crisocola y menor malaquita y ferrimolibdenita. Entre 30 y 70 m de profundidad se desarrolla en los cuerpos de brecha una zona de enriquecimiento secundario formada por calcosina, cuprita, cobre nativo y trazas de covelina. Esta asociación mineralógica secundaria está acompañada por una argilización supérgena, caracterizada por limonita, jarosita, caolinita y cuarzo.

INCLUSIONES FLUIDAS

Los análisis termométricos se efectuaron en una platina calentadora/enfriadora Linkam THM-600, con un equipo de control de temperatura Linkam TMS-90. En la calibración de la platina se usó 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 20 μm . El estudio se realizó en muestras de cuarzo hidrotermal tomadas desde la matriz de la brecha en el distrito Chivato Nuevo, en labores subterráneas a 30 m de profundidad. Estas muestras corresponden a la parte alta de las brechas. Se consideraron sólo inclusiones de carácter primario las que mayoritariamente (sobre 90%) presentan 2 fases. El resto corresponde a inclusiones de una fase. Estudios petrográficos a temperatura ambiente permitieron definir dos tipos de inclusiones fluidas: tipo 1: inclusiones ricas en líquido (vapor < 20% en vol.), y tipo 2: inclusiones ricas en vapor (burbuja de vapor > 25% en vol). Ambos tipos de inclusiones presentan formas ovaladas o elongadas. Las inclusiones del tipo 1 presentan temperaturas de homogenización (T_h) entre 200° y 350°

C, y temperaturas de fusión (T_m) oscilantes entre -1° y -10° C (Fig. 4). De acuerdo con Potter et al., (1978) estos últimos valores corresponden a salinidades entre 1 y 14% NaCl equiv. Las inclusiones fluidas del tipo 2 se concentran preferentemente a T_h entre 290° y 320° C, y en un rango amplio de T_m que oscila entre -2° y -11° C (Fig. 4), indicando salinidades entre 3 y 14% NaCl equiv. (Potter et al., 1978). Aunque las inclusiones fluidas se distribuyen en una zona muy amplia en el diagrama de la Fig. 4, la coexistencia de inclusiones de los tipos 1 y 2 en las mismas zonas de crecimiento en cristales de cuarzo de T_h entre 290° y 320° C, permite inferir depositación hidrotermal a partir de fluidos en ebullición en el rango de temperatura indicado. No se reconoció fases de CO_2 ni formación de clathratos.

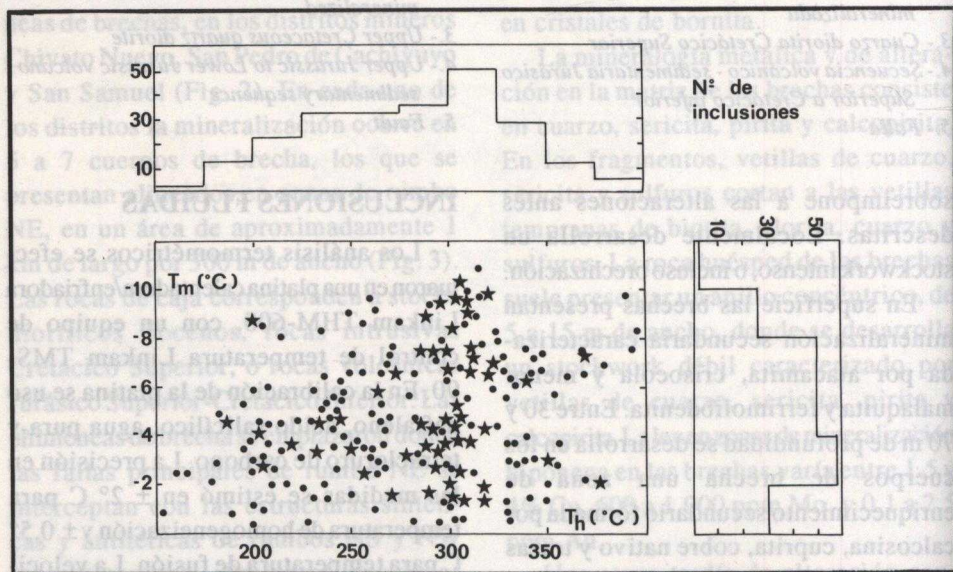


Fig. 4. Diagrama T_m versus T_h . Los círculos representan a las inclusiones fluidas tipo 1 y las estrellas a las inclusiones tipo 2.

T_m versus T_h diagram. The circles and stars represent the fluid inclusions of types 1 and 2 respectively.

DISCUSION DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

La fase de alteración y mineralización temprana, comparable con la alteración potásica de los pórfidos cupríferos, está caracterizada por biotita, clorita, cuarzo, feldespato alcalino, bornita, molibdenita, piritita, calcopirita y oro. Este tipo de alteración y mineralización se desarrolló en la cúpula de rocas intrusivas porfídicas, de composición diorítica datados radiométricamente como Eoceno Superior (Delgado, 1992).

Posteriormente se formaron chimeneas de brecha, donde los fragmentos corresponden fundamentalmente al pórfido diorítico infrayacente, con alteración y mineralización de la fase temprana. La alteración y mineralización asociada al desarrollo de las brechas, similar a la alteración fílica de los pórfidos cupríferos, consiste en cuarzo, sericita, piritita y calcopirita, probablemente formadas durante ebullición de fluidos a temperaturas cercanas a 300° C. Lo anterior indica que las brechas hidrotermales corresponden a brechas de explosión, y no a colapso como sugieren Sillitoe y Sawkins (1971). Los estudios de inclusiones fluidas atrapadas durante ebullición, permiten inferir, asumiendo presión hidrostática y usando los diagramas de Haas (1971), que las brechas hidrotermales se habrían formado a una profundidad entre 1200 y 1700 m.

Una etapa tardía de mineralización hidrotermal hipógena está representada

por cuarzo, turmalina y menor piritita, calcopirita y bornita. Estudios de inclusiones fluidas primarias realizados en cuarzo hidrotermal de esta etapa tardía de alteración en el distrito San Pedro, reportan valores de T_h entre 369 y 373° C (Sillitoe y Sawkins, 1971).

Por otro lado, considerando que los eventos de alteración y mineralización se encuentran estrechamente asociados al emplazamiento de los pórfidos dioríticos, y que estas rocas fueron datadas como 45-47 Ma (K/Ar en anfíbol y roca total respectivamente; Delgado, 1992), es posible suponer que la mineralización habría ocurrido durante el Eoceno Superior. Sin embargo, Zentilli (1974) dató sericita contenida en la matriz de la brecha hidrotermal Manto Cuba, principal yacimiento del distrito San Pedro de Cachiuyo, reportando una edad K/Ar de 64 ± 2 Ma. Los datos de terreno (fragmentos del pórfido diorítico Eoceno Superior en las brechas hidrotermales) no son compatibles con este resultado. Observaciones de los autores indican además que en el mencionado yacimiento la sericita hidrotermal está intensamente afectada por argilización supérgena.

Finalmente, los antecedentes discutidos permiten suponer que los yacimientos estudiados corresponden a la parte alta de sistemas de pórfidos cupríferos, confirmando lo propuesto previamente por Sillitoe y Sawkins (1971) y Delgado (1992).

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por el Proyecto FONDECYT 90-1199.

REFERENCIAS

- Brook, M., Pankhurst, R. J., Shepherd, T. J. y Spiro, B. 1987. ANDCHRON report: Andean Geochronology and Metallogensis. British Geological Survey, London. 190.p.
- Colley, H., Treloar, P. J. y Díaz, F. 1989. Gold-silver mineralization in the El Salvador region, northern Chile. En: The Geology of Gold Deposits. The perspective in 1988. B. J. Skinner Ed. Economic Geology, Monograph 6, 208-217.
- Delgado, P. 1992. Geología y mineralización en el distrito San Pedro de Cachiyuyo, III Región, Chile. Memoria de Título. Depto. de Geología, Universidad de Chile, 118 p.
- 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.
- Mercado, M. 1978. Hojas Chañaral y Potrerillos. Mapas geológicos preliminares de Chile. I. I. G., 2, 24 p.
- Ortiz, F. 1974. Geología del yacimiento cuprífero Manto Cuba y depósitos minerales adyacentes. Distrito San Pedro de Cachiyuyo, Inca de Oro. Provincia de Atacama. Memoria de Título. Depto. de Geología, Universidad de Chile, 137 p.
- Palacios, C. M., Sylvester, H. y Lahsen, A. 1991. The Inca de Oro district, Chile: A fossil epithermal system. Zentralblatt für Geologie und Palaontologie, 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.
- Palacios, C. M. y Lahsen, A. 1992. Geología y mineralización en el distrito argentífero Chimbero, Atacama, Chile. Comunicaciones, 43, en prensa.
- Pähler, I., Sylvester, H. y Thiedig, F. 1991. Transpressionstektonisch kontrollierte Mineralization: am Beispiel der epithermalen Au-Cu Lagerstätten von Carrera Pinto, 27° S, Chile. Abstr., 12. Geowiss, Lateinamerika-Kolloquium, München.
- Potter, R. W., Clynne, M. A. y Brown, D. L. 1978. Freezing point depression of aqueous sodium chloride solutions. Economic Geology, 73, 284-285.
- Sillitoe, R. H. y Sawkins, F. J. 1971. Geologic, mineralogic and fluid inclusion studies related to the origin of copper-bearing tourmaline breccia pipes, Chile. Economic Geology, 66, 1028-1041.
- Segerstrom, K. 1968. Geología de las Hojas Copiapó y Ojos del Salado, Provincia de Atacama. I. I. G., Bol. 24, 58 p.
- 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 Palaontologie, 6, 1645-1658.
- Zentilli, M. 1974. Geological evolution and metallogenic relationships in the Andes of northern Chile between 26° and 29° south. PhD Thesis, Dept. of Geological Sciences, Queen's University Kingston Ontario, 411 p.

Fig. 4. Diagrama T_2 versus T_1 . Los círculos representan a las inclusiones fluidas tipo 1 y las estrellas a las inclusiones tipo 2.

The T_2 versus T_1 diagram. The circles and stars represent the fluid inclusions of types 1 and 2 respectively.