

"Relación entre alteración hidrotermal y mineralización cuprífera asociadas a rocas volcánicas andesíticas chilenas"

Luis Olcay V.

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

Resumen

A lo largo del territorio chileno se encuentran yacimientos cupríferos estratiformes en rocas volcánicas de composición andesítica, cuya edad varía entre Jurásico y Cretácico Inferior y se disponen espacialmente alejados de cuerpos intrusivos.

Asociado a ellos se presenta una alteración hidrotermal de baja temperatura que incluye cuarzo, clorita, calcita, albita y epidota, la cual ha afectado la composición química de las andesitas, incrementando la sílice, el sodio y potasio. La alteración se encuentra zonada.

La mineralización de cobre consiste de calcosina, digenita, bornita y hematita con cantidades menores de calcopirita y pirita. Se presenta preferentemente diseminada y en menor proporción vetillas. Esta asociación es de baja temperatura y se encuentra zonada horizontalmente en forma concéntrica.

Existe relación directa entre la intensidad de alteración y el grado de mineralización cuprífera, de tal forma que a mayor alteración corresponde mayor mineralización. Se concluye que ambos fenómenos son epigenéticos e hidrotermales.

Introducción

Los yacimientos de cobre tipo manto o estratiformes representan una fuente importante en reservas y producción de este metal en nuestro país.

En Chile es común encontrar mineralización cuprífera asociada a rocas volcánicas y sedimentarias marinas y continentales. La forma de los depósitos es tabular, limitados por planos de estratificación, variando sus espesores de uno a veinte metros o más y de extensiones areales de hasta varios miles de metros cuadrados. En este trabajo sólo se consideran los yacimientos estratiformes asociados a rocas volcánicas andesíticas.

Algunos autores como Ruíz et al. (1971), han clasificado estos yacimientos como singenéticos y relacionados a efusiones de lavas, al no presentar alteración hidrotermal y a su forma tabular.

La revisión de la literatura existente, en especial la que se refiere a los yacimientos Buena Esperanza (Losert, 1974) y El Soldado (Cicay y Alarcón, 1975), unido a la experiencia del autor en este tipo de yacimientos, permiten comprobar la existencia de una relación entre alteración y mineralización.

Además, yacimientos asociados a volcanismo, con mineralización y alteración hidrotermal semejante, dentro de un ambiente geotectónico similar han sido descritos por Hutchinson y Hodder (1972).

Distribución y marco geológico de los yacimientos.

Estos yacimientos estratiformes se distribuyen a lo largo de Chile y los ejemplos tomados se ubican desde Tocopi^llla por el norte, hasta el interior de Rancagua, en la cordillera de los Andes, por el sur. La distribución de estos yacimientos podría extenderse más allá de los límites señalados (Fig. 1). Geográficamente se ubican tanto en la Cordillera de la Costa como en la Cordillera de los Andes.

Estos depósitos están encajados en rocas volcánicas andesíticas cuyas edades varían desde el Jurásico (formación La Negra) en minas Buena Esperanza y Mantos de la Luna; Cretácico Inferior (formación Lo Prado, Neocomiano) en mina El Soldado; Cretácico Medio (formación Veta Negra, Aptiano-Albiano) en mina El Salado; Cretácico Superior (formación Abanico) en mina Peladeros, hasta Terciario Inferior (formación Farellones) en mina Juanita (Fig. 1), teniendo una posición marginal alejada a cuerpos intrusivos intermedios (minas Buena Esperanza, Mantos de la Luna y Peladeros) o aparentemente sin una relación con alguno de ellos (El Soldado y El Salado).

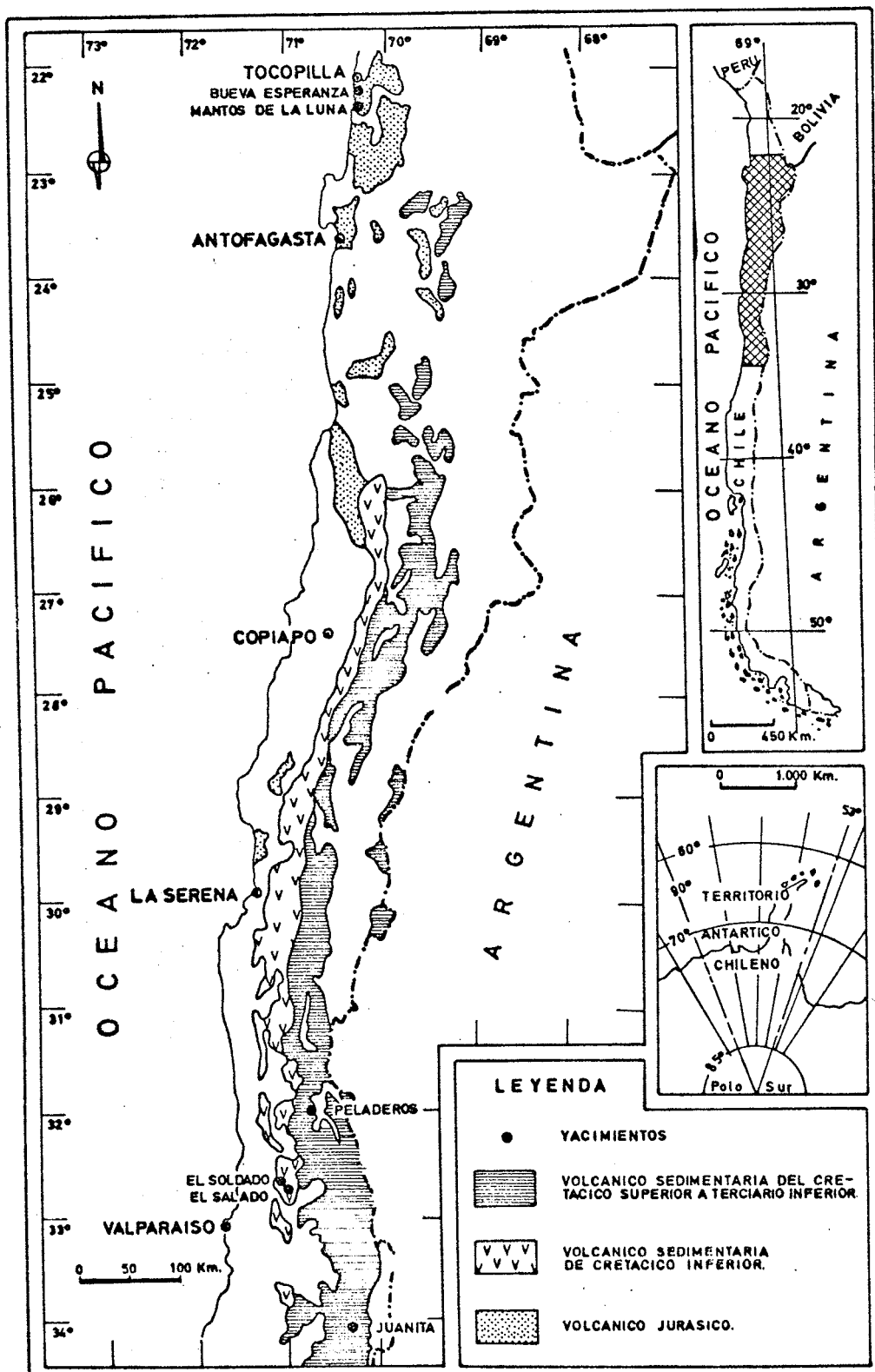


FIG. 1.- MAPA DE UBICACION DE YACIMIENTOS.

Los intrusivos cercanos a estos yacimientos estratiformes son variables en composición y en edades. El intrusivo que aflora en Tocopilla es una granodiorita de edad Cretácico Inferior (Palacios, 1974); en mina Peladeros es una granodiorita del Cretácico Superior-Terciario Inferior (Araya, 1971); en minas El Soldado y El Salado se tienen, como intrusivos más cercanos, dioritas del Campaniano (Cretácico Superior, Thomas, 1958) y en mina Juanita se presentan granodioritas terciarias (Klohn, C. 1960). Se debe destacar la presencia de diques andesíticos en las cercanías de todos estos yacimientos cuya relación con la alteración y mineralización no es clara.

Aparentemente, no existe una relación entre este tipo de depósitos y estructuras mayores o lineamientos.

Alteración y mineralización.

De un número considerable de yacimientos estratiformes en rocas volcánicas, sólo en Buena Esperanza y El Soldado se ha estudiado con cierto detalle la alteración hidrotermal y su relación con la mineralización. Los otros se estudian desde el punto de vista minero, pero sus descripciones permiten asociarlos a los anteriores.

Otros yacimientos como Mantos del Pacífico y Santo Domingo en Antofagasta, Poderosa en Coquimbo, Peumo y Guayaacán en Aconcagua y Curacarel en Bío-Bío, no han sido estudiados en detalle, pero tienen características similares en cuanto a mineralización y roca encajadora.

Muchos autores han encontrado en la roca huésped mineralizada de otros yacimientos, minerales como albíta, clorita, calcita, epidota y cuarzo, pero no los asociaron a una alteración hidrotermal (Ruíz et al., 1971). En mina El Soldado esta alteración fue interpretada como un "pórfido traquítico" (Bassi, 1958). Sin embargo, otros autores tentativamente incluyeron estos minerales como de alteración hidrotermal (Huete, 1969; Olcay, 1969; Narváez, 1971 y Araya, 1971).

Losert (1974) en mina Buena Esperanza determina una alteración epigenética hidrotermal de baja temperatura, asociada a mineralización importante de cobre estratiforme y vetiforme.

En mina El Soldado, Olcay y Alarcón (1975) señalan una alteración hidrotermal sódica, relacionada directamente con la mineralización cuprífera. La alteración aparece formando cuerpos aislados, que poseen un control litológico estructural, presentando las siguientes variaciones químicas con respecto a la roca fresca (Olcay y Alarcón, op. cit.):

- a) La sílice, el sodio y potasio aumentan con el grado de alteración.

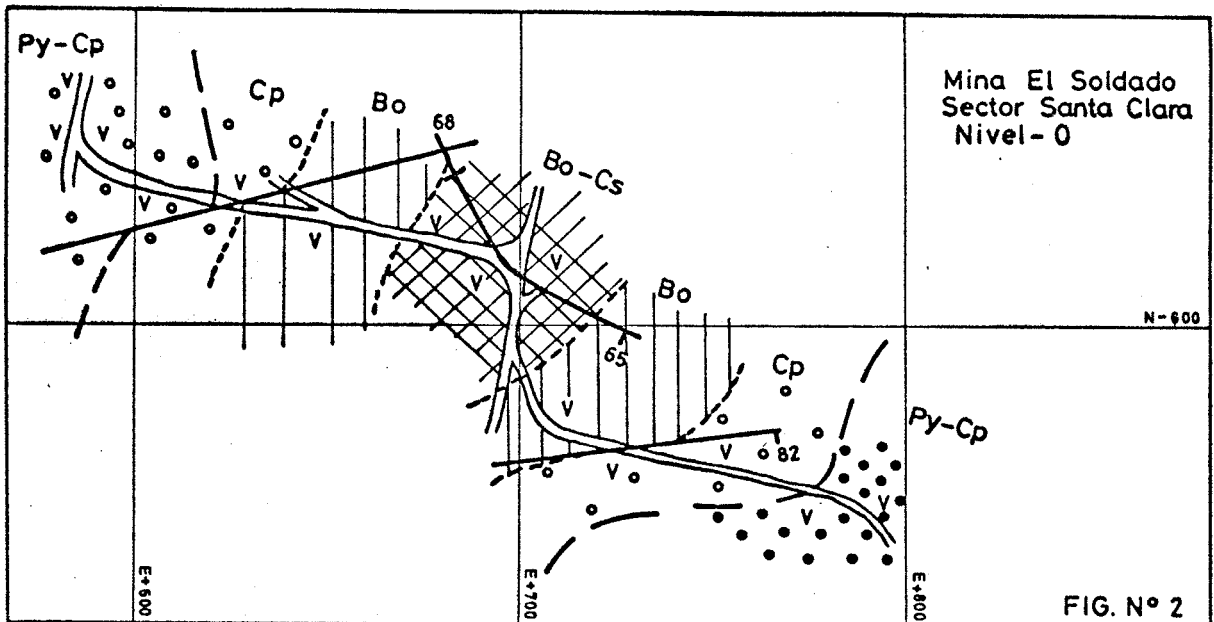


FIG. N° 2

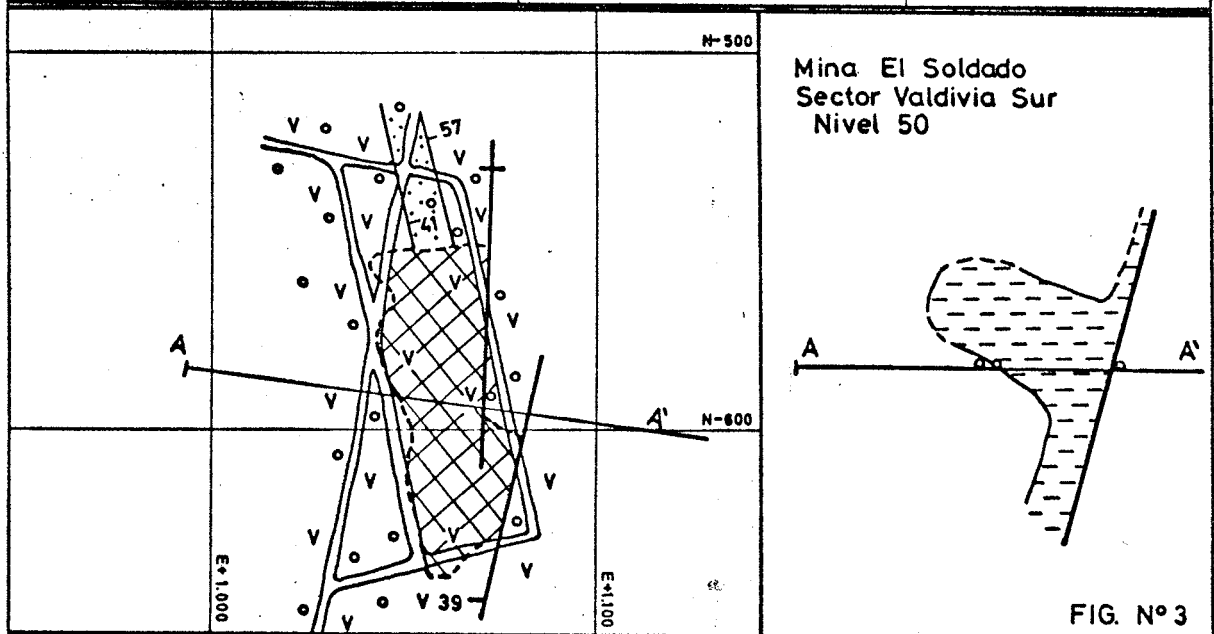


FIG. N° 3

LEYENDA

LITOLOGIA

ANDESITA

TOBA

CONTACTO OBSERVADO

CONTACTO INFERIDO

ALTERACION (ASOCIACION)

ALBITA-CUARZO

ALBITA-CUARZO CLORITA

ALBITA - CLORITA

CLORITA-CALCITA

LIMITE MINERAL COMERCIAL

FALLA

MINERAL COMERCIAL

ESCALA 1: 2.000

- b) el aluminio, hierro, calcio y magnesio decrecen bruscamente con el grado de alteración.
- c) el contenido de Sr decrece debido a la expulsión del Ca.
- d) el Rb aumenta coincidiendo con el aumento de Na y K

Losert (1974) determina parámetros similares en rocas alteradas de mina Buena Esperanza, sin diferenciar evidencias muy marcadas en ambos yacimientos.

El hecho que la alteración forme cuerpos aislados regionalmente pequeños (0.03 Km³), relacionados con mineralización cuprífera, variaciones químicas notables y con un control litológico estructural bien definido en los depósitos El Soldado (Fig. 3) y Buena Esperanza, lleva a pensar que corresponden a una alteración hidrotermal y no a una facie metamórfica de baja temperatura como la descrita por Levi (1969) para rocas similares en la zona central, ya que además, existe una diferencia grande en intensidad asociada a andesitas.

Esta asociación cuarzo-clorita-calcita-albita y epidota se encuentra también en la facie de esquistos verdes del metamorfismo regional y dados como típicos de la epizona por Niggli (1963). Por otra parte, Deer, Howie and Zussman (1962) consideran estos minerales también como productos de alteración hidrotermal de relativa baja temperatura.

Las características relevantes de los depósitos son las siguientes:

A.- Relación con rocas intrusivas.

Este tipo de yacimientos estratiformes emplazados en rocas estratificadas volcánicas no presentan cuerpos intrusivos mayores en sus cercanías. Cuerpos menores como cuellos volcánicos, diques y filones mantos de composición andesítica a basáltica se ubican dentro o en las márgenes del yacimiento. No existe una relación entre la mineralización y alteración con intrusivos menores de composición básica.

Estos depósitos tienen un control estructural y litológico y están relacionados en superficie con los intrusivos mayores con distancias variables entre 200 m (mina Juanita) y varios kilómetros (mina El Soldado). Estos intrusivos muestran composiciones desde granodioritas a dioritas y edades variables entre el Cretácico Inferior y Terciario Inferior.

B.- Alteración hidrotermal.

Afecta a rocas volcánicas andesíticas de textura porfírica en su parte superior amigdaloidal y/o en su parte basal maciza. Los minerales de alteración son cuarzo, clorita, calcita, albita y epidota. Estos se presentan alterando fenocristales de plagioclasas y la masa fundamental. En venillas

se observan clorita, calcita, cuarzo y epidota.

La intensidad de la alteración está relacionada al tipo litológico, presentando las coladas andesíticas un grado mayor que tobas y brechas.

Esta alteración hidrotermal se presenta en terreno con un color verdoso. Cuando la alteración albitica predomina, la roca tiene un color rosado que permite distinguirla a distancia.

En mina El Soldado existe una zonación horizontal de los minerales de alteración a partir de fallas por el estrato de andesita porfírica alterada (Olcay y Alarcón, 1975). La zona interior corresponde a un arreglo de minerales de alteración de albita-cuarzo; marginal a ella una asociación albita-cuarzo-clorita y rodeando a este, un arreglo de albita-clorita. Alrededor de los minerales anteriores se ubica una asociación de clorita-calcita, que pasa transicionalmente a andesita fresca (Fig. 2). Algunas de estas asociaciones pueden tener un pequeño desarrollo o estar ausentes (Olcay y Alarcón op. cit.). Algunas características texturales como aglomerocúmulos de fenocristales, bordes corroídos de ellos y masa fundamental desvitrificada están relacionadas directamente con el grado de alteración, correspondiendo una mayor intensidad a un mayor cambio textural.

En minas El Salado y Juanita la silicificación se destaca dentro de la alteración hidrotermal. En minas, Buena Esperanza, Mantos de la Luna y El Soldado es importante la albitización.

En síntesis, estamos ante la presencia de una alteración hidrotermal de relativa baja temperatura caracterizada por la asociación cuarzo, albita, clorita, calcita y epidota.

C.- Mineralización.

La mineralización primaria consiste principalmente de calcosina, digenita, bornita y hematita, con cantidades menores de calcopirita y pirita. Se presenta rellenando amígdalas de las lavas (Buena Esperanza, Mantos de la Luna, Peladeros y El Salado), diseminada en la roca (Peladeros, El Soldado y Juanita) y en venillas finas (no superior a un 5%) en todos los depósitos.

En El Soldado se ha definido una zonación horizontal de los minerales cupríferos. La parte central posee los valores más altos de cobre y se distingue por la asociación bornita-calcosina y coincide con la asociación albita-cuarzo; rodeando a esta se ubican sucesivamente las asociaciones bornita-calcopirita, calcopirita y pirita, relacionadas directamente con albita-cuarzo-clorita, albita-clorita y clorita-calcita respectivamente (Fig. 2).

La mineralización presenta generalmente una débil lixiviación y oxidación, reflejo de una baja proporción de piri-

ta, y por lo tanto un enriquecimiento secundario incipiente con espesores, formas y posiciones irregulares.

En otros yacimientos no se ha estudiado la distribución de los minerales de cobre ni su relación de zonación con la alteración.

No existen estudios calcográficos para determinar minerales como idaita, cubanita, tipos de calcosina, djurleita y otros que permitan con más propiedad dar un rango de temperatura de depositación de esta asociación cuprífera. Si hacemos una revisión de los sistemas ternarios Cu-Fe-S, podemos concluir que los rangos de temperatura donde se presentan dos o más de estos minerales metálicos varía entre 75°C y 480°C. La digenita aparece desde los 120°C hasta aproximadamente los 290°C (Barnes y Skinner, 1967, pág. 272-273). Toda esta asociación (calcosina, bornita, digenita, calcopirita, pirita) se presenta a 200°C en sistema Cu-Fe-S (Barnes y Skinner, pág. 301), desapareciendo la digenita a los 400°C.

Carlos Ruíz (1965) clasifica estos yacimientos como tipo paragenético N°12 y los considera de baja temperatura, siendo la secuencia paragenética pirita-calcopirita-bornita, calcosina-, semejante a lo descrito anteriormente en El Soldado.

Tentativamente podemos decir que esta asociación se depositó entre 120°C y 290°C, basado en los estudios del sistema Cu-Fe-S ya mencionados.

Conclusiones.

- 1.- Los yacimientos estratiformes asociados a rocas volcánicas andesíticas, presentan una alteración hidrotermal sódica de baja temperatura. La mineralogía de ella es cuarzo, clorita, calcita, albita y epidota. En algunos casos se ha determinado zonación de ellos.
- 2.- La mineralización cuprífera consiste en calcosina, digenita, bornita y hematita, acompañados de cantidades menores de calcopirita y pirita. También se ha observado en algunos yacimientos una zonación de la mineralización, donde el núcleo lo forma bornita-calcosina, rodeado sucesivamente por bornita-calcopirita, calcopirita y pirita. Esta paragénesis corresponde a una asociación de baja temperatura (120°C-290°C).
- 3.- La relación directa entre la intensidad de mineralización y el grado de alteración, ambas de baja temperatura, nos permiten clasificarlo como desarrollos epigenéticos e hidrotermales, por la relación existente entre mineralización y alteración con fallas antes descritas.
- 4.- Estos yacimientos estarían relacionados espacialmente en

profundidad con intrusivos, teniendo una posición alejada de ellos en superficie. Aparentemente, no estarían relacionados con estructuras mayores o lineamientos.

5.- Dos de los yacimientos hasta ahora conocidos son importantes especialmente por su tonelaje y sus leyes (sobre 2% Cu): Buena Esperanza y El Soldado.

El hecho que la alteración hidrotermal esté ligada a mineralización cuprífera y a un control litológico estructural permitirá dar una orientación diferente a las prospecciones y exploraciones en terrenos volcánicos donde estén ausentes o alejados los intrusivos.

BIBLIOGRAFIA

- Araya M.M. 1971.
"Geología del Distrito Minero Bellavista, y Estudio Geológico Minero del Yacimiento Peladeros". Memoria Biblioteca del Depto. de Geología, U. de Chile, Santiago de Chile.
- Barton B. Paul and Skinner J. Brian 1967.
"Sulphide mineral stabilities" in Geochemistry of hydrothermal ore deposits" Edited by Hubert L. Barnes. The Pennsylvania State University, U.S.A.
- Deer W., Howie and Zussman J. 1967.
"Rock-forming minerals". Longmans, Green and Co. Ltda. London Sexta edición. Vol. I, II, III, IV.
- Huete L.C. 1969.
"Geología del distrito minero de Catemu y de la mina El Salado". Memoria. Biblioteca del Depto. de Geología de la U. de Chile. Santiago de Chile.
- Hutchinson R. and Hodder R. 1972.
Possible tectonic and metallogenic relationships between porphyry copper and massive sulphide deposits". CIM Transactions, Vol. LXXV. February, 1972.
- Klohn, C. 1960.
"Geología de la Cordillera de los Andes de Chile Central". Instituto de Investigaciones Geológicas. Boletín 8, Santiago-Chile.
- Losert J. 1973.
"Genesis of copper mineralization and associated alterations in the Jurassic volcanic rocks of the Buena Esperanza mining area (Antofagasta province, Northern Chile)" Publicación 41 Depto. de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Univ. de Chile, Santiago, Chile.
- Narváez D. P. 1971.
"Informe geológico mina Juanita". Informe inédito. Empresa Nacional de Minería, Sociedades Mixtas, Stgo. Chile.
- Niggli P. 1963.
En "Petrología Ignea y Metamórfica" de Turner F. y Verhoo gen J. Ediciones Omega S.A. Barcelona, España.
- Olcay V. L. 1969.
"Informe geológico preliminar mina Mantos de la Luna, provincia de Antofagasta". Informe inédito. Sociedades Mixtas. Empresa Nacional de Minería, Santiago de Chile.
- Olcay L. y Alarcón J.B. 1975.
"Alteración hidrotermal sódica de mina El Soldado" Provincia de Valparaíso, Chile. II Congreso Ibero-Americano de Geología Económica. II tomo, Diciembre 1975, Buenos Aires, Rep. Argentina.
- Palacios M. C. 1974.
"Geología y Metalogénesis de la formación La Negra y las

rocas graníticas en el área de Tocopilla, provincia de Antofagasta" Publicación 43. Depto. de Geología. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago Chile.

Ruiz F. Carlos, 1965.

"Geología y yacimientos metalíferos de Chile". Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago de Chile.

Ruiz F. Carlos y otros, 1971.

"Yacimientos chilenos estratiformes de sulfuros de cobre". Revista minerales. Instituto de Ingenieros de Minas. VXXVI N° 115, Santiago, Chile.

Thomas H. 1958.

"Geología de la Cordillera de la Costa entre el Valle de la Ligua y la Cuesta de Barriga". Instituto de Investigaciones Geológicas. Boletín N° 2, Santiago de Chile.