

GEOLOGIA, ALTERACION HIDROTHERMAL Y MINERALIZACION CUPRIFERA DEL YACIMIENTO ESTRATIFORME DE DIABLO SUR DISTRITO MINERO CERRO NEGRO.

por

Luis Olcay V.

RESUMEN

El yacimiento Diablo sur está ubicado a 95 Km en línea recta al norte de la ciudad de Santiago, dentro del distrito minero de Cerro Negro.

Está encajado en una brecha sedimentaria de clastos andesíticos, en sedimentos lagunares del Cretácico superior (formación Las Chilcas) intruida por diques, filones, manto y lopolitos de composición andesítica. Es un yacimiento estratiforme, cuya mineralización de cobre se presenta principalmente diseminada fina en matriz y clastos y también en vetillas. La paragénesis es magnetita-hematita, pirita, calcopirita, bornita, calcosina azul, calcosina blanca, esfalerita galena. Se considera una temperatura de formación de 200°C. Esta mineralización presenta una zonación vertical con zona superior de bornita-calcosina y una zona inferior de calcopirita. La pirita tiene una posición marginal a ambas zonas.

Los minerales de alteración hidrotermal son clorita, calcita, cuarzo, arcillas sericita y epidota. Estos ocurren en varias combinaciones reemplazando parcial o totalmente rocas volcánicas-sedimentarias y sedimentarias. Esta asociación de minerales se considera formada a bajas temperaturas entre 150° y 300°C.

Se concluye que la alteración hidrotermal de baja temperatura y la mineralización cuprífera asociada se formaron por fluidos hidrotermales relacionados con los intrusivos andesíticos subvolcánicos y el cobre haya derivado del intrusivo andesítico y/o de rocas sedimentarias que intruye.

ABSTRACT

The Diablo Sur ore deposit is 95 Km north of Santiago within the Cerro Negro district.

The ore is in an Upper Cretaceous sedimentary breccia (Las Chilcas fm.) containing andesitic clasts and intruded by veins, sills, dikes

and lopoliths of andesitic composition.. The deposit is stratiform and copper mineralization is finely disseminated in the clasts, matrix and also in veinlets. Their paragenesis is magnetite-hematite, pyrite, chalcopyrite, bornite, blue chalcocite, white chalcocite, sphalerite and galena. The temperature of formation of this paragenesis is estimated in about 200°C. The ore body shows a vertical zoning with an upper zone of bornite-chalcocite and a lower zone of chalcopyrite. Pyrite is marginal in both zones.

The hydrothermal alteration minerals are chlorite, calcite, quartz, sericite, epidote and clay minerals. They occur in several combinations replacing totally or partially sedimentary and volcanic sedimentary rocks, and are considered as a low temperature (150° to 300° C) mineral assemblage.

It is concluded that the low temperature hydrothermal alteration and its associated copper mineralization were formed by the action of hydrothermal fluids coming from the subvolcanic intrusives. The copper was probably supplied by the intrusive and/or the intruded sedimentary rocks.

## INTRODUCCION

Generalmente los yacimientos cupríferos en rocas sedimentarias han sido tentativamente clasificados como de origen singenético, basándose en la escasez de minerales de alteración hidrotermal asociados a minerales metálicos de baja temperatura, El yacimiento Diablo sur es uno de ellos y se estudiará su litología, mineralización y alteración.

Se ubica en la V Región a 95 Km en línea recta al norte de la ciudad de Santiago, en el distrito minero de Cerro Negro (Fig. 1). Este yacimiento está constituido por un estrato mineralizado, reconocido mediante 1.165 m de sondajes de diamantina y 2.500 m de labores subterráneas.. Corresponde a la prolongación al sur de mina Diablo norte, estudiada por otros geólogos.

## MARCO GEOLOGICO

En el sector de mina Diablo sur aflora una secuencia de rocas sedimentarias asignadas al miembro Pitipeumo de la formación Las Chilcas (ESPINOZA, 1969) de edad maestrichtiana.

Estos estratos forman regionalmente un homoclinal de rumbo general norte sur y manteos al este.

Rocas intrusivas de carácter andesítico se presentan en la zo-



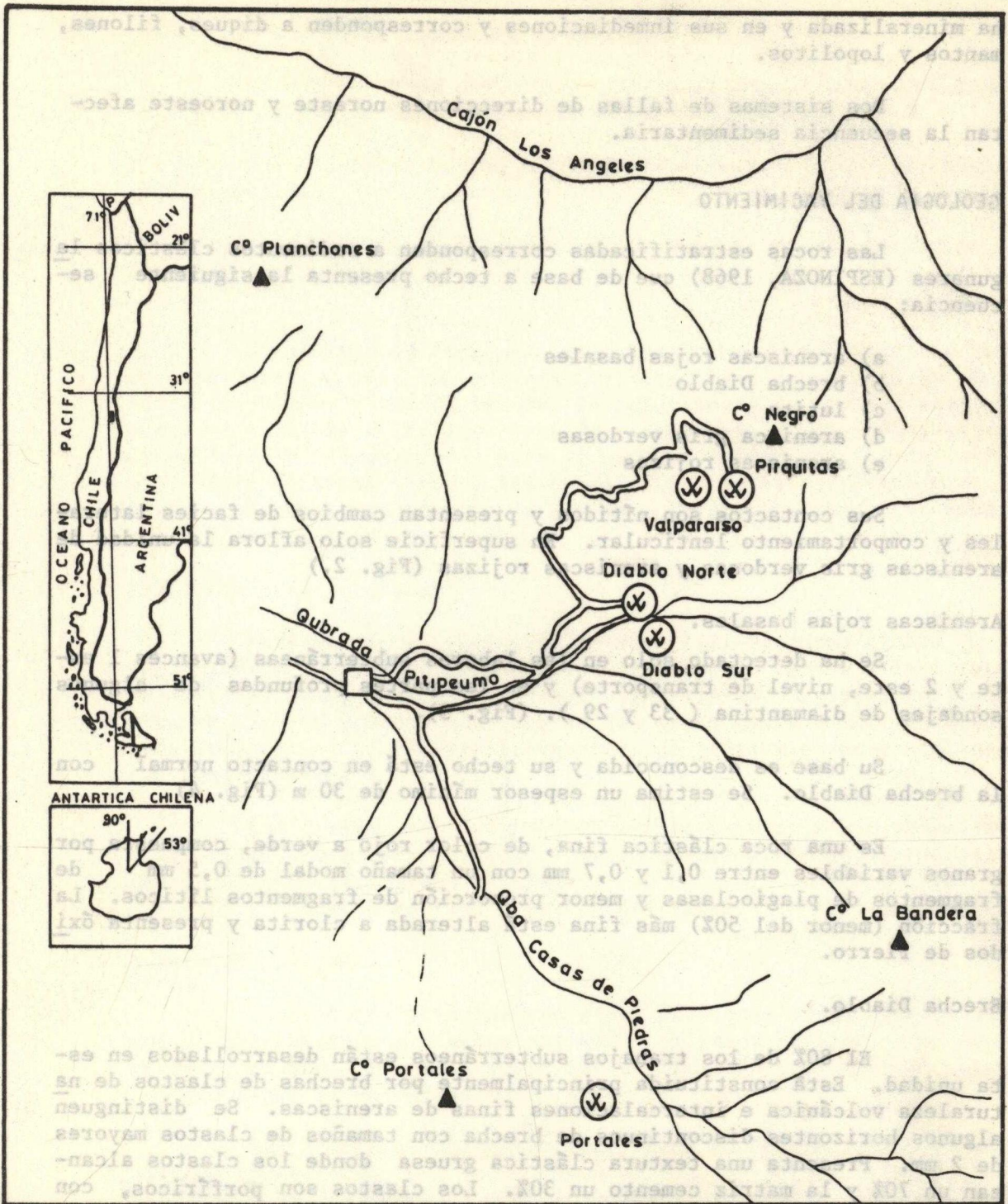


Fig.1 Mapa de Ubicación

na mineralizada y en sus inmediaciones y corresponden a diques, filones, mantos y lopolitos.

Dos sistemas de fallas de direcciones noreste y noroeste afectan la secuencia sedimentaria.

## GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO

Las rocas estratificadas corresponden a sedimentos clásticos lagunares (ESPINOZA, 1968) que de base a techo presenta la siguiente secuencia:

- a) areniscas rojas basales
- b) brecha Diablo
- c) lutita
- d) arenisca gris verdosas
- e) areniscas rojizas

Sus contactos son nítidos y presentan cambios de facies laterales y comportamiento lenticular. En superficie solo aflora la unidad de areniscas gris verdosas y areniscas rojizas (Fig. 2.)

### Areniscas rojas basales.

Se ha detectado solo en las labores subterráneas (avances 1 este y 2 este, nivel de transporte) y en las partes profundas de algunos sondeos de diamantina ( 33 y 29 ). (Fig. 3).

Su base es desconocida y su techo está en contacto normal con la brecha Diablo. Se estima un espesor mínimo de 30 m (Fig. 4).

Es una roca clástica fina, de color rojo a verde, compuesta por granos variables entre 0,1 y 0,7 mm con un tamaño modal de 0,5 mm de fragmentos de plagioclasas y menor proporción de fragmentos líticos. La fracción (menor del 50%) más fina está alterada a clorita y presenta óxidos de fierro.

### Brecha Diablo.

El 80% de los trabajos subterráneos están desarrollados en esta unidad. Está constituida principalmente por brechas de clastos de naturaleza volcánica e intercalaciones finas de areniscas. Se distinguen algunos horizontes discontinuos de brecha con tamaños de clastos mayores de 2 mm. Presenta una textura clástica gruesa donde los clastos alcanzan un 70% y la matriz cemento un 30%. Los clastos son porfíricos, con masas fundamentales pilotaxíticos y hialopilíticas, y tamaños variables



entre 1,40 mm y 2 mm, siendo el tamaño modal de 4 a 6 mm.

La matriz es de grano fino y formada por fragmentos líticos, de cristales de plagioclasas, cementados por clorita y calcita.

Los clastos y matriz están parcialmente alterados a clorita, calcita y arcillas.

Esta unidad subyace concordantemente al nivel de lutitas.

Lutita.

Se dispone en concordancia sobre la brecha Diablo. Es una roca de color gris oscuro, con buena estratificación, acompañada de escaso material carbonoso y restos fósiles de pelecípodos mal conservados. Su espesor es variable entre dos y cuatro metros y se acuña rápidamente hacia el suroeste y desaparece un poco al sur del yacimiento (sondajes 39,40 y 41). Está atravesado por guías de calcita, rectas e irregulares, discontinuas con espesores menores de 1,5 mm. Es posible encontrar guías de calcita de 3 a 5 cm.

Areniscas gris verdosas.

Esta unidad se encuentra en superficie y forma el 80% de los afloramientos (Fig. 2). Presenta estratificación debido a la secuencia de estratos con granulometría desde 0,2 y 1,9 mm. Es posible observar algunos niveles gruesos con tamaños del grano hasta 3 mm. Es característico de esta unidad observar fragmentos de troncos o ramas carbonizadas con tamaños hasta de 3,5 cm.

Los clastos (40-50%) son de origen volcánico y fragmentos de plagioclasa, alterados parcial o completamente a clorita y calcita, de forma subesférica, bordes angulosos.

El cemento es fino y está cloritizado.

Areniscas rojizas.

Constituida principalmente por areniscas rojas con intercalaciones de conglomerados, brechas rojizas y delgados niveles de areniscas verdes y grises. Presenta buena estratificación y se dispone concordantemente sobre la unidad anterior (Fig. 2).

Las areniscas presentan fragmentos de feldespatos y fragmentos líticos andesíticos, que constituyen el 80% de la roca, con tamaños menores de 0,5 mm. El cemento está formado por limonita, clorita y calcita.



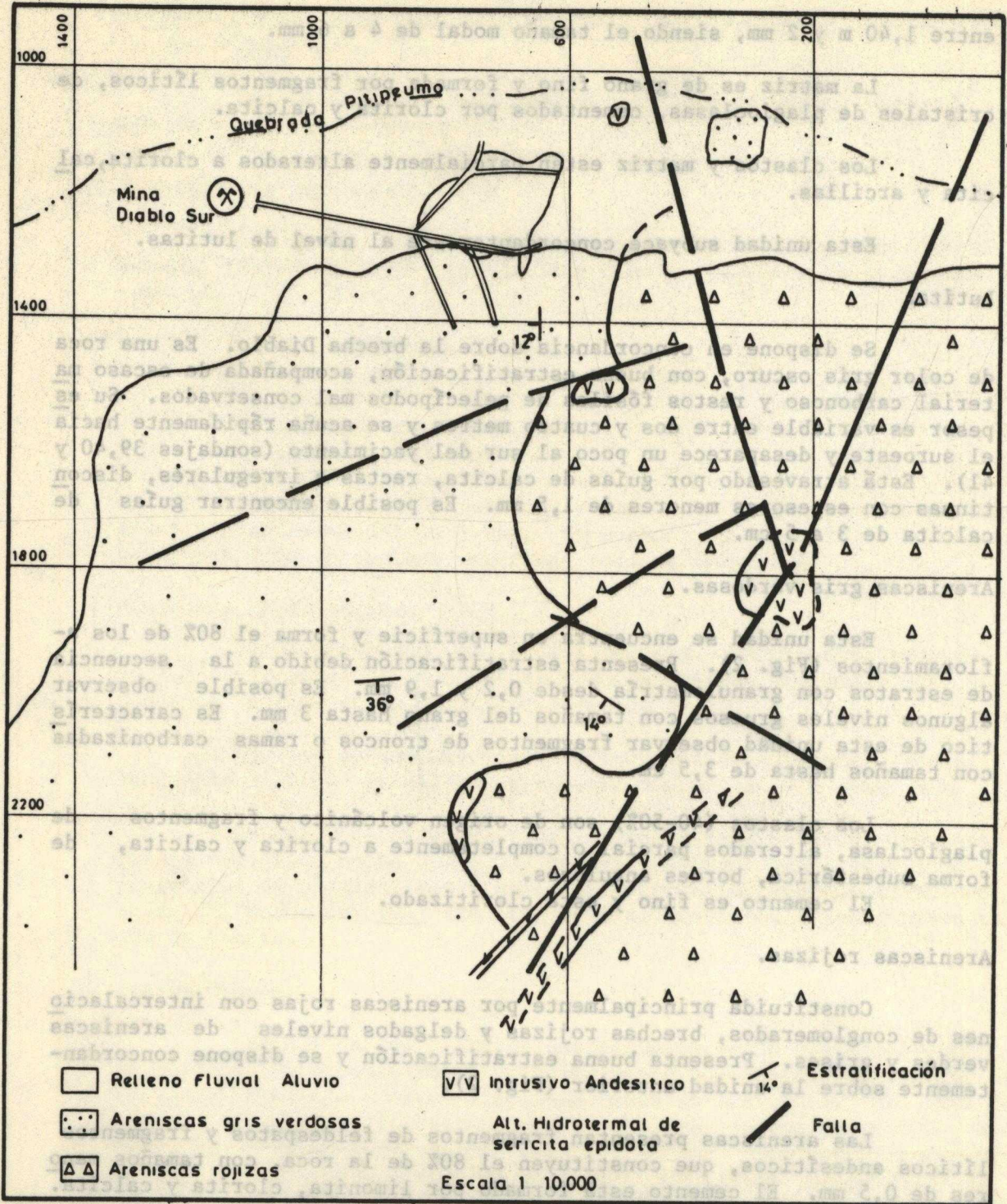


Fig. 2 Mapa Geológico de Superficie



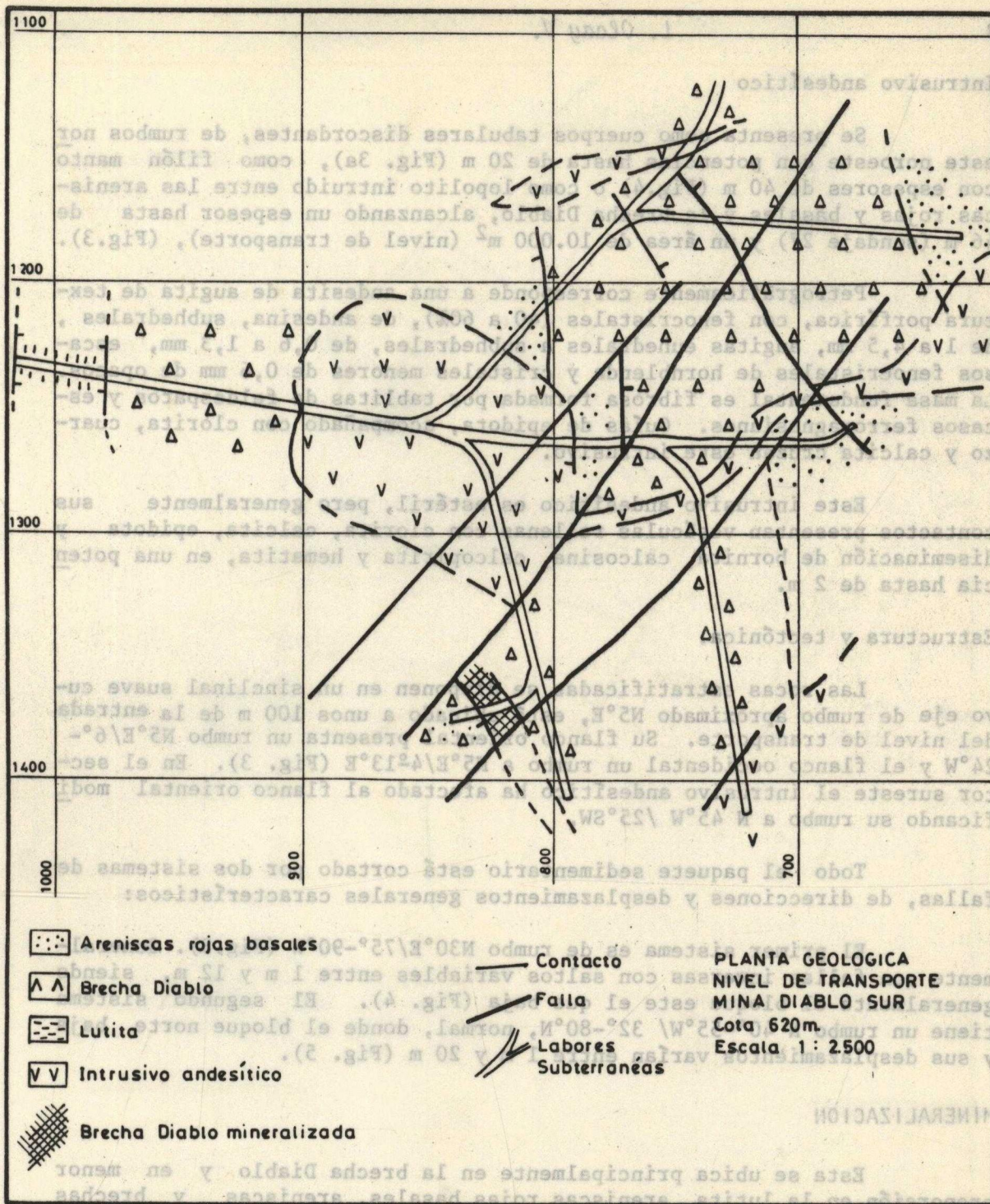


Fig. 3 Geología del Nivel de Transporte

Los minerales metálicos más importantes en orden de abundancia



### Intrusivo andesítico

Se presenta como cuerpos tabulares discordantes, de rumbos nor este noroeste con potencias hasta de 20 m (Fig. 3a), como filón manto con espesores de 40 m (Fig. 4) o como lopolito intruido entre las areniscas rojas y basales y la brecha Diablo, alcanzando un espesor hasta de 46 m (sondaje 27) y un área de 10.000 m<sup>2</sup> (nivel de transporte), (Fig. 3).

Petrográficamente corresponde a una andesita de augita de textura porfírica, con fenocristales (40 a 60%), de andesina, subhedrales, de 1 a 4,5 mm, augitas euhedrales a subhedrales, de 0,6 a 1,3 mm, escasos fenocristales de hornblenda y cristales menores de 0,6 mm de opacos. La masa fundamental es fibrosa formada por tablitas de feldespatos y escasos ferromagnesianos. Guías de epidota, acompañado con clorita, cuarzo y calcita cruzan este intrusivo.

Este intrusivo andesítico es estéril, pero generalmente sus contactos presentan vesículas rellenas con clorita, calcita, epidota y diseminación de bornita, calcosina, calcopirita y hematita, en una potencia hasta de 2 m.

### Estructura y tectónica.

Las rocas estratificadas se disponen en un sinclinal suave cuyo eje de rumbo aproximado N5°E, está ubicado a unos 100 m de la entrada del nivel de transporte. Su flanco oriental presenta un rumbo N5°E/6°-24°W y el flanco occidental un rumbo a N5°E/4°-13°E (Fig. 3). En el sector sureste el intrusivo andesítico ha afectado al flanco oriental modificando su rumbo a N 45°W /25°SW.

Todo el paquete sedimentario está cortado por dos sistemas de fallas, de direcciones y desplazamientos generales característicos:

El primer sistema es de rumbo N30°E/75°-90°W (Fig. 3). Generalmente son fallas inversas con saltos variables entre 1 m y 12 m, siendo generalmente el bloque este el que baja (Fig. 4). El segundo sistema tiene un rumbo N 40°-55°W/ 32°-80°N, normal, donde el bloque norte baja y sus desplazamientos varían entre 1 m y 20 m (Fig. 5).

### MINERALIZACION

Esta se ubica principalmente en la brecha Diablo y en menor proporción en la lutita, areniscas rojas basales, areniscas y brechas gris verdosas y andesitas intrusivas.

Los minerales metálicos más importantes en orden de abundancia

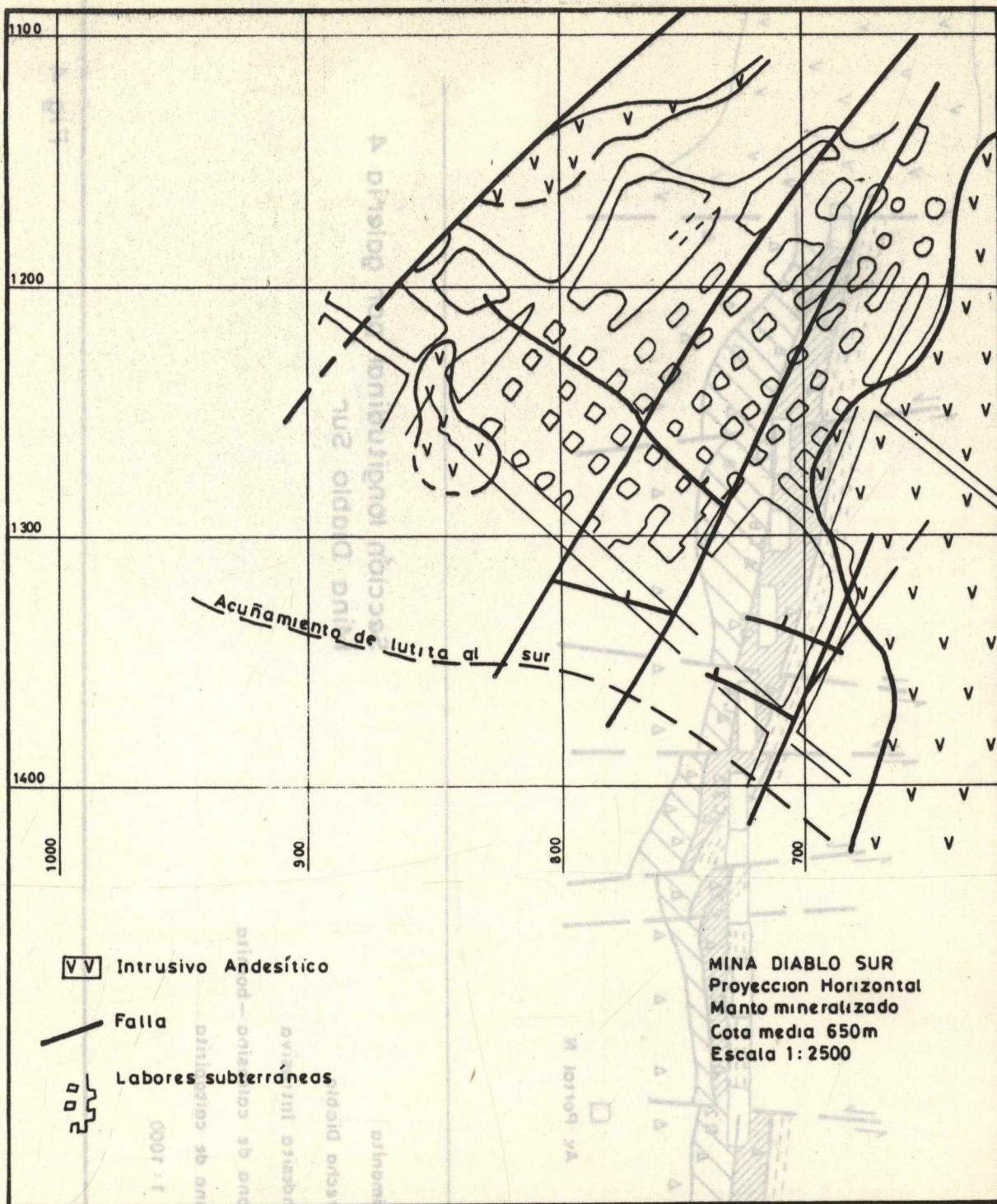
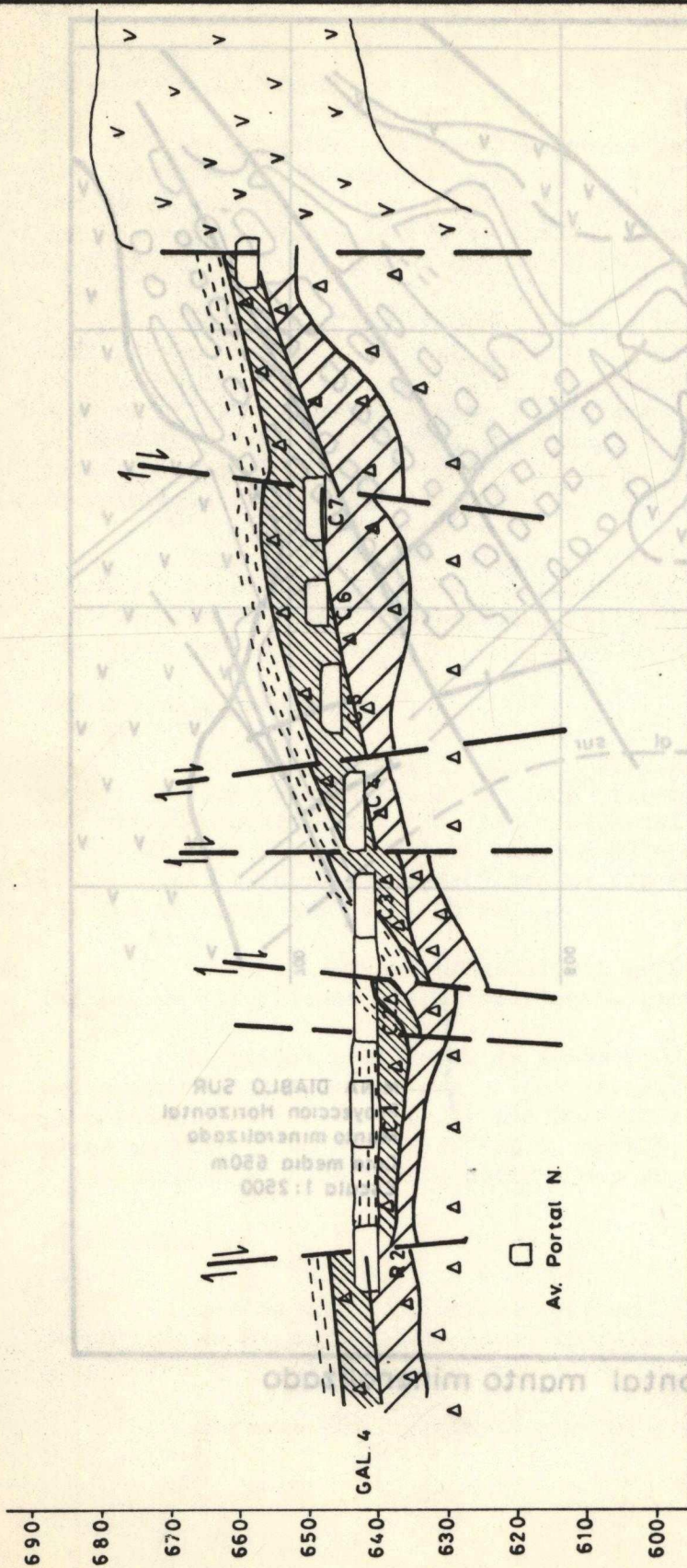







Fig. 3a. Proyección horizontal manto mineralizado





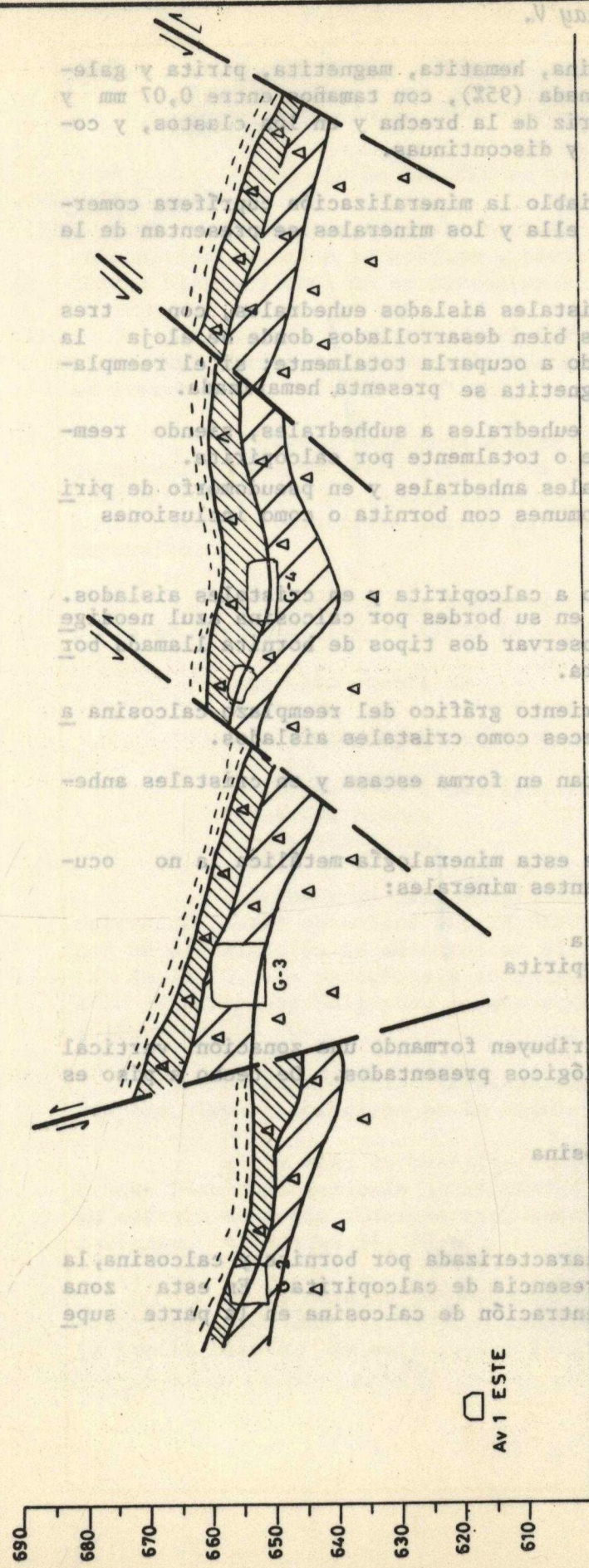
Sección longitudinal por galería 4  
Mina Diablo Sur

-  Limonita
-  Brecha Diablo
-  Andesita Intrusiva
-  Zona de calcosina — bornita
-  Zona de calcopirita






ESCALA 1: 1000

Fig. 4





Sección Transversal - Corte G-G

-  Limonita
  -  Brecha Diablo
  -  Andesita Intrusiva
  -  Zona de calcosina - bornita
  -  Zona de calcopirita
- ESCALA 1 : 1000

son calcopirita, bornita, calcosina, hematita, magnetita, pirita y galena. Se presenta en forma diseminada (2%), con tamaños de 0,07 mm y 1 mm, principalmente en la matriz de la brecha y de las brechas y discontinuas y discontinuas.

Dentro de la brecha Diablo la mineralización es de tipo sulfuroso y los minerales que se encuentran en el tipo de esta y los minerales de la siguiente manera:

Magnetita - se presenta como cristales aislados euhedrales, los sistemas de cristales bien desarrollados de los tipos calcopirita, bornita y galena a ocupar el total de la brecha. No es parcial a magnetita se presenta hematita.

Pirita - ocurre en cristales euhedrales a subhedrales y cuando remplazado parcialmente o totalmente por calcopirita.

Calcopirita - se observa en cristales anhedral y en forma de pirita. En contactos comunes con bornita o magnetita dentro de ella.

Bornita - aparece remplazando a calcopirita y a veces como cristales aislados. También remplazada en su borde por calcopirita y galena por nita. Es posible observar dos tipos de bornita: nita rosada y púrpura.

Calcosina azul - como entrecrecimiento gráfico del remplazo a nita o bornita y a veces como cristales aislados.

Galena y esferulita - se presentan en formas escasas y cristales anhedral.

Es característico de esta mineralización el no presentar en conjunto de los siguientes minerales:

- a) calcosina con pirita
- b) calcosina con calcopirita
- c) bornita con pirita

Estos minerales se distribuyen formando presentados de acuerdo a los niveles mineralógicos presentados (Fig. 4a)

Estas zonas se caracterizan por bornita, calcosina y ausencia de pirita y galena. La presencia de calcopirita y galena en esta zona es el resultado de la concentración de calcosina y pirita.



son calcopirita, bornita, calcosina, hematita, magnetita, pirita y galena. Se presenta en forma diseminada (95%), con tamaños entre 0,07 mm y 1,1 mm, principalmente en la matriz de la brecha y en los clastos, y como guías finas (5%), irregulares y discontinuas.

Dentro de la brecha Diablo la mineralización cuprífera comercial se encuentra en el techo de ella y los minerales se presentan de la siguiente manera:

- Magnetita.-** se presenta como cristales aislados euhedrales, con tres sistemas de clivajes bien desarrollados donde se aloja la calcopirita, llegando a ocuparla totalmente; si el reemplazo es parcial la magnetita se presenta hematizada.
- Pirita.-** ocurre en cristales euhedrales a subhedrales, siendo reemplazado parcialmente o totalmente por calcopirita.
- Calcopirita.-** se observa en cristales anhedrales y en pseudomorfo de pirita. En contactos comunes con bornita o como inclusiones dentro de ella.
- Bornita.-** aparece reemplazando a calcopirita y en cristales aislados. También reemplazada en su bordes por calcosina azul neodigenita. Es posible observar dos tipos de bornita llamada bornita rosada y púrpura.
- Calcosina azul.-** como entrecrecimiento gráfico del reemplazo calcosina azul o bornita y a veces como cristales aislados.
- Galena y esfalerita.-** se presentan en forma escasa y en cristales anhedrales aislados.

Es característico de esta mineralogía metálica la no ocurrencia en conjunto de los siguientes minerales:

- a) calcosina con pirita
- b) calcosina con calcopirita
- c) bornita con pirita

Estos sulfuros se distribuyen formando una zonación vertical de acuerdo a los arreglos mineralógicos presentados. De techo a piso es (Fig. 4a)

- zona bornita - calcosina
- zona calcopirita
- zona pirita

La primera zona está caracterizada por bornita y calcosina, la ausencia de pirita y la escasa presencia de calcopirita. En esta zona generalmente se observa una concentración de calcosina en la parte supe

rrior y una ocurrencia de bornita en la parte basal.

La zona de calcopirita está constituida exclusivamente por calcopirita, estando la bornita y piritita en pequeñas proporciones. Calcosina blanca y azul no se presentan en esta zona.

La zona de piritita, está formada por este mineral en proporciones muy variables, a veces acompañada por calcopirita y bornita solo en trazas.

El paso de una zona a otra es gradual en reducido espacio y se aprecia traslape entre ellas. La completa transición de esta zona ocurre dentro de la distancia vertical de algunos metros, variando entre cuatro y veintitres metros estando, en este último caso cerca del intrusivo.

De acuerdo a las texturas y al orden de depositación y reemplazo de los minerales se tiene la siguiente paragénesis.

magnetita hematita  
 piritita  
 calcopirita  
 bornita  
 calcosina azul o neodigenita  
 calcosina blanca  
 esfalerita galena

Diagramas de paragénesis de piritita, calcopirita, bornita y calcosina fueron obtenidos por HELGESON (1970) en modelos termodinámicos de depositación de sulfuros en sistemas hidrotermales, a temperaturas de 200°C. La paragénesis encontrada en mina Diablo sur, es similar a la deducida por Helgeson, lo que sugeriría una depositación de los sulfuros a 200 °C.

La distribución vertical esquemática de los sulfuros en todos los tipos litológicos es la siguiente:

a) la zona de bornita-calcosina se ubica en el techo de la brecha Diablo subyaciendo inmediatamente a la lutita. Cuando este último estrato se acuña y desaparece, estas zonas presentan el mismo comportamiento. (sondajes 34, 38).

b) la zona de calcopirita subyace a la zona de bornita y se distribuye poco más allá de los límites del acuñamiento de la lutita en la brecha Diablo. En este sector la mineralización es débil.



Esta zona también se encuentra en la lutita, por la presencia de guías finas de calcopirita con escasa bornita, junto a calcita y cuarzo. Por lo tanto rodea espacialmente la zona de bornita-calcosina.

c) la zona de pirita tiene una posición marginal, envolviendo la zona de calcopirita y se localiza en la brecha Diablo, areniscas rojas basales y areniscas y brechas gris verdosas.

El intrusivo andesítico presenta en sus contactos con los niveles sedimentarios una textura porfirica fina vesicular y alteración de clorita, epidota y calcita acompañada por hematita, bornita, calcosina y calcopirita.

Arealmente la mineralización cuprífera comercial tiene una forma tabular lenticular en el techo de la brecha Diablo y aparentemente solo bajo la lutita; más allá de sus límites éste desaparece (Fig. 3a).

#### ALTERACION HIDROTHERMAL

Los estudios de terreno y petrográficos de las muestras recolectadas, revelan efectos de una alteración hidrotermal de baja temperatura.

Esta alteración acompaña a la mineralización cuprífera estratiforme depositada en la brecha Diablo y lutita. Aunque en algunos aspectos mineralógicos se parecería a un metamorfismo de carga de bajo grado, en mina Diablo sur no parece mostrar un grado metamórfico regular en la vertical dentro de un mismo estrato.

Los minerales característicos son clorita, calcita, cuarzo, arcilla, sericita y epidota. Todos estos minerales secundarios pueden ocurrir asociados en varias combinaciones, reemplazando totalmente o parcialmente los minerales primarios de rocas volcánica-sedimentarias y sedimentarias. También reemplazan totalmente el cemento de rocas clásticas volcánica-sedimentarias y rellenan amígdalas en los márgenes de los intrusivos andesíticos. Calcita y ocasionalmente cuarzo constituyen venillas hasta de 2 cm.

Los minerales de alteración presente en los distintos tipos litológicos nos permiten concluir que la intensidad de alteración es variable dependiendo de su composición y textura original. La característica de esta alteración es el cambio brusco de ella, relacionado directamente con la litología, por lo tanto, un modelo de zonación tridimensional estará supereditado a la estratigrafía del área y a su posición estructural.

La mineralogía de alteración está distribuida en las siguientes

asociaciones relacionadas con tipos litológicos e intensidad de alteración.

#### Asociación silícea

Ocurre exclusivamente en el horizonte de lutitas y se caracteriza por un agregado criptocristalino de arcilla y cuarzo, con cristales de 0,05 mm, anhedrales, formando un mosaico recrystalizado. Guía de calcita y cuarzo, con espesores menores de 0,01 mm, cruzan la muestra. Microfallas desplazan guía de calcita y cuarzo.

#### Asociación clorita - calcita.

Es la asociación más visible y aunque no afloran los estratos más alterados, han sido reconocidos ampliamente en las labores subterráneas y sondajes.

Representa un cambio mineralógico, variando desde una alteración incipiente en las areniscas rojas basales y areniscas gris verdosas, hasta una alteración media en la brecha Diablo.

La alteración incipiente está representada por clorita y calcita en una proporción menor de un 10%, en la fracción más fina de las areniscas.

La alteración media se presenta en la brecha Diablo y la mineralogía consiste principalmente en clorita verde, calcita y en menor proporción arcilla, cuarzo, albita y epidota, y su ocurrencia depende de la composición y textura de los clastos.

Los clastos están alterados en promedio en un 40% a clorita, arcillas, calcita, pero su intensidad depende de la composición de ellos.

Clorita se presenta alterando la masa fundamental entre un 20% y 35%, y también rellenando vesículas menores de 1 mm.

Arcilla aparece principalmente como alteración de la masa fundamental en proporciones de 13% a 30%.

Calcita concurre como parches en la masa fundamental y junto a cuarzo y albita, alterando los fenocristales de feldespatos. Sus proporciones son escasas entre un 2% y 4%.

El cemento está constituido por clorita, calcita, opacos y en menor proporción cuarzo y albita. Se presentan en cristales grandes hasta de 3,5 mm y correspondería a una alteración completa del cemento original. Las proporciones de ellos es variable: clorita (20% y 55%), calcita (34% y 56%) y cuarzo-albita (2% y 22%).

Se puede observar una secuencia de depositación de los minerales de alteración en el cemento, siendo clorita con cuarzo y opacos los primeros en depositarse y posteriormente calcita, acompañado con clorita y escasos opacos, rellenando cavidades o en venillas delgadas.

La asociación de minerales de alteración de clorita, calcita, arcillas, cuarzo, albita y epidota, es considerada perteneciente a la alteración propilítica y formada a una temperatura estimada de 400°-600°C por BURHAM (1962). Estudios posteriores de temperaturas de inclusiones fluidas en vetillas de cuarzo y esfaleritas relacionadas con alteración propilítica, dieron rangos entre 180° y 300°C (TAKENOUCHI, 1962; 1970). Posteriormente SEKI (1973) sugiere un rango de temperatura entre 150° y 300°C.

#### MINERALIZACION DE COBRE ASOCIADO CON ALTERACION HIDROTHERMAL

La mineralización cuprífera asociada a la alteración hidrotermal se presenta en la parte superior de brecha Diablo en forma diseminada en la matriz y clastos, modelando un depósito estratiforme, considerado ingénético en origen (RUIZ, 1965) (RUIZ, 1970). Sin embargo, mineralización discordante como venillas junto a calcita y cuarzo, mineralización masiva el algunas fallas, mineralización diseminada en las márgenes de los cuerpos andesíticos fueron observados en el yacimiento y presentan los mismos minerales y aparentemente la misma secuencia de cristalización a la observada en la mineralización estratiforme.

La alteración hidrotermal de la secuencia produjo una recristalización de la lutita, dejándola como un horizonte "impermeable", que permite una alteración más intensa del techo de brecha Diablo y por lo tanto un trato más favorable a ser depositada la mineralización.

#### GENESIS DE LA ALTERACION Y MINERALIZACION DE COBRE ASOCIADO

Debido a la estrecha relación de la mineralización de cobre (calcopirita, bornita, calcosina y digenita) y los minerales de alteración hidrotermal (clorita, calcita, arcilla, cuarzo, albita y epidota) se puede postular que ambos se formaron a partir del mismo proceso.

El intrusivo andesítico, de tipo sub-volcánico, intruido en los estratos de miembro Pitipeumo, y la alteración hidrotermal que afecta a ambas unidades, tendrían un origen común en el mismo evento magmático.

Los fluidos hidrotermales responsables de esta alteración pueden haber sido generados de la andesita intrusiva y/o derivados de agua cognate de los sedimentos o de agua meteórica circulante, calentada por los cuerpos intrusivos. Los constituyentes metálicos de estos fluidos hidrotermales



pueden ser concentrados desde el intrusivo andesítico y/o removilizados desde los sedimentos de miembro Pitipeumo.

#### CONCLUSIONES

Un tipo de alteración hidrotermal epigenética de carácter local asociada a una importante mineralización de cobre fue encontrada en sedimentos lagunares del Cretácico superior (miembro Pitipeumo, formación Las Chilcas) en el distrito minero de Cerro Negro al sureste de Cabildo.

Esta alteración hidrotermal de baja temperatura produciría metasomatismo, principalmente cloritización y carbonitización, especialmente dentro de estratos particulares del miembro. La fase fluida activa durante la alteración proveería presión, temperatura y gradientes de actividad adecuada para movilizar y concentrar bajo condiciones favorables depósitos de cobre.

RUIZ (1965) es el primero en señalar a la ganga que acompaña la mineralización como minerales de metamorfismo de carga y concluye en un origen singenético. Sin embargo, anteriormente CARTER (1961) había reconocido una manifiesta alteración como silicificación y cloritización de las rocas y sugiere un origen epigenético. Posteriormente ESPINOZA (1968) se inclina por un origen epigenético y señala una escasa alteración.

En este trabajo se presume que los minerales ganga asociados a la mineralización cuprífera ambos de baja temperatura fueron formados por fluidos hidrotermales relacionados con los intrusivos andesíticos subvolcánicos, y el contenido de cobre puede haber derivado desde el intrusivo andesítico y/o rocas sedimentarias existentes.

#### REFERENCIAS

- BURHAM, C.W., (1962). Facies and types of hidrotermal alteration. *Econ. Geol.* vol. 57, p. 768-784.
- ESPINOZA, N. W., (1969). Geología del distrito cuprífero de Cerro Negro. Memoria para optar al título de Geólogo. Biblioteca Univ. de Chile. Santiago.
- HELGESON, H., (1970). A Chemical and Thermodynamic Model of Ore Deposition in Hydrothermal Systems. *Min. Soc. Amer. Spec. Pap.* 3, p. 155-186.

- OLCAY, L. y LLAUMET, P. C., (1976). Geología y Evaluación de mina Diablo sur. Informe confidencial. Cía. Minera Cerro Negro. Santiago.
- RUIZ, F., C. (1965). Geología y yacimientos Metalíferos de Chile. Instituto de Investigaciones Geológicas. Editorial Universitaria . Santiago, Chile.
- SEKI, Y., (1973). Metamorphic facies of propylitic alteration journal of the Geological Society of Japan. Vol. 79, pag. 771-780.
- TAKENOUCI, S., (1962). Study of temperatures of mineral formation in hydrothermal ore deposits by the liquid inclusion methods. Mining Geol., Vol. 12, p. 282-293.
- TAKENOUCI, S., (1970). Fluid inclusion study by means of heating stage and freezing-stage microscope. Mining Geol., vol. 20, p.345 - 354.
- 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 2.