

GEOLOGÍA DEL DISTRITO MINERO CERRO NEGRO-CATEMU

Ricardo Muhr¹, Andrés Amigo², Carlos Pereira², Jaime Díaz²,
Raúl Grego², Jorge Injoque³, Edmundo Martínez¹, Rodrigo Mora¹,
Jorge Poblete², Fenando Rojas², Regina Toloza²

- 1 Minera Anaconda S.A. Ahumada 11, 5° Piso, Santiago, Chile.
- 2 Cía. Minera Cerro Negro S.A. Humeres 740, Cabildo, V Región, Chile.
- 3 RTZ Mining and Exploration Ltd. Sucursal Perú, Dirección Personal:
Casilla 140031, Lima 14, Perú.

ABSTRACT

The Cerro Negro Mining District is located 100 km north of Santiago, Chile, in rocks of the Chilca Formation of Aptian-Cenomanian age. The host sequence consists of continental sandstones and conglomerates with interbedded tuffs, breccias and andesite lavas, and four units of fresh-water bituminous and pyrite-rich limestones and shales. The latter units occur in the central part of the basin. The Cerro Negro Deposit is hosted in the second unit while the Mantos de Catemu deposit is hosted in the fourth. Both deposits are hosted by lahar breccias. Detrital continental material was derived from the north, while the predominance of volcanic rocks to the west is compatible with the existence of a volcanic arc limiting the basin in that direction.

Cenomanian andesite lavas and andesite-diorite intrusives crosscut the sequence. Andesite lavas occur as sills, dikes, domes and irregular bodies that have peperitic contacts, indicative of emplacement into unconsolidated and fluid-saturated sediments. The Cerro Blanco stock has a monzonite core and andesite-diorite border which produced a metamorphic aureole 2.5 Km in width, grading from a hornblende inner zone into successive zones of plagioclase, actinolite-tremolite, magnetite, and outermost chlorite-epidote-albite.

Mineralization in the district is Cu-(Ag) and forms two main mineralogic associations. The older Cerro Negro Type is the most common in the district and comprises bornite, chalcocite, chalcopyrite, pyrite, specularite, magnetite, galena and sphalerite. Metal grades are typically 1.5-2% CuT and 40 g/T Ag. Silica, clays, chlorite and hematite are the most common alteration minerals while

textures, alteration assemblages and isotopes suggest temperatures of formation ranging between 250°C and 150°C. Ore bodies consists of a variety of mineralization styles and geometries, the most important being infill of lahar-breccias in stratabound ore-bodies at the contact with andesite sills. Disseminated Cu within the breccia matrix is accompanied by calcite and barite. Potential tonnage at Cerro Negro and Los Mantos de Catemu is between 9 and 2.5 million tons respectively. The hydrothermal solutions that formed these deposits may have originated in the volcanic arc to the west, and laterally migrated eastwards through the stratigraphic sequence forming the ores in favorable lithologies. Mineralization may be of Cenomanian age because of its association to andesite sills and regional metamorphism.

The second mineralogic association, called Vulcano, is younger and probably of Santonian age. Mineralization consists of chalcopyrite, bornite, pyrite, specularite, with red jasperoid, epidote, garnet and tremolite alteration. It forms mantos and veins, and is interpreted as a product of contact metamorphism related to the Cerro Blanco stock. Mineralization identified to date has been subeconomic.

RESUMEN

El Distrito Minero Cerro Negro-Catemu se ubica 100 km. al norte de Santiago, Chile, en rocas de la Formación Las Chilcas del Aptiano-Cenomaniano. En el área del distrito estas rocas son areniscas y conglomerados rojos continentales, con intercalaciones de tobas, brechas y lavas andesíticas y de cuatro niveles de calizas y lutitas lagunares bituminosas y piritosas. Estos últimos ocurren en la zona central del distrito. El yacimiento cuprífero Cerro Negro se ubica en el segundo nivel en tanto que los Mantos de Catemu se emplazan en el cuarto, en ambos casos siendo las rocas receptoras del mineral principalmente las brechas laháricas lagunares. Esta cuenca continental habría tenido un aporte sedimentario desde el norte y hacia el sur, con facies de abanico en la parte norte. El predominio de las rocas volcánicas hacia el oeste son compatibles con la existencia de un arco volcánico que habría limitado la cuenca por ese lado.

Cortando a la secuencia hay lavas andesíticas de edad cenomaniana e intrusivos de diorita más tardíos. Las primeras forman sills, diques, domos y cuerpos irregulares, con contactos peperíticos, indicativos de que las intrusiones ocurrieron en una secuencia de sedimentos semiconsolidados y saturados en fluidos. El stock Cerro Blanco de edad santoniana, consta de un núcleo de monzonita y un borde de pórfido andesítico-diorítico, el cual originó una aureola de metamorfismo de contacto de 2.5 Km. de ancho, la cual grada de una zona interna de hornblenda en el contacto, pasando por zonas sucesivas de plagioclasa, actinolita-tremolita, magnetita, hasta una zona externa de clorita-epidota-albita.

Las mineralizaciones en el distrito son de Cu-(Ag) y conforman dos asociaciones mineralógicas. La más antigua, denominada de Tipo Cerro Negro, es la más frecuente en el distrito. Consiste de bornita, calcocina, calcopirita, piritita, especularita, magnetita, galena y esfalerita, en asociación a alteración de sili-

ce, arcilla, clorita y hematita, y dio origen a mineralizaciones con leyes de 1.5-2% de CuT y 40 gr./T de Ag. Sus texturas, ensambles de alteración y valores de isótopos sugieren temperaturas de formación de entre 250°C y 150°C. Ocurre bajo diferentes geometrías, siendo la más importante los cuerpos estratoligados de relleno de brechas al contacto con sills andesíticos. En este caso el mineral de cobre rellena junto con calcita, baritina los intersticios de la brecha como diseminación fina, alcanzando potenciales de entre 9 y 2.5 millones de tons. en Cerro Negro y los Mantos de Catemu respectivamente. Las soluciones hidrotermales formadoras de estos depósitos se habrían originado en el arco volcánico del oeste y habrían migrado a través de la secuencia estratigráfica hacia el este, formando los yacimientos que conocemos en la actualidad. Este evento, por su asociación a los intrusivos lávicos y metamorfismo extensional sería de edad cenomaniana.

La asociación de Tipo Vulcano, más tardía y probablemente santoniana, consiste de calcopirita, bornita, pirita, especularita con alteración de jaspe rojo, epidota, granate y tremolita. Forma mantos y vetas producto del metamorfismo de contacto del intrusivo Cerro Blanco, siendo estas mineralizaciones a la fecha subeconómicas.

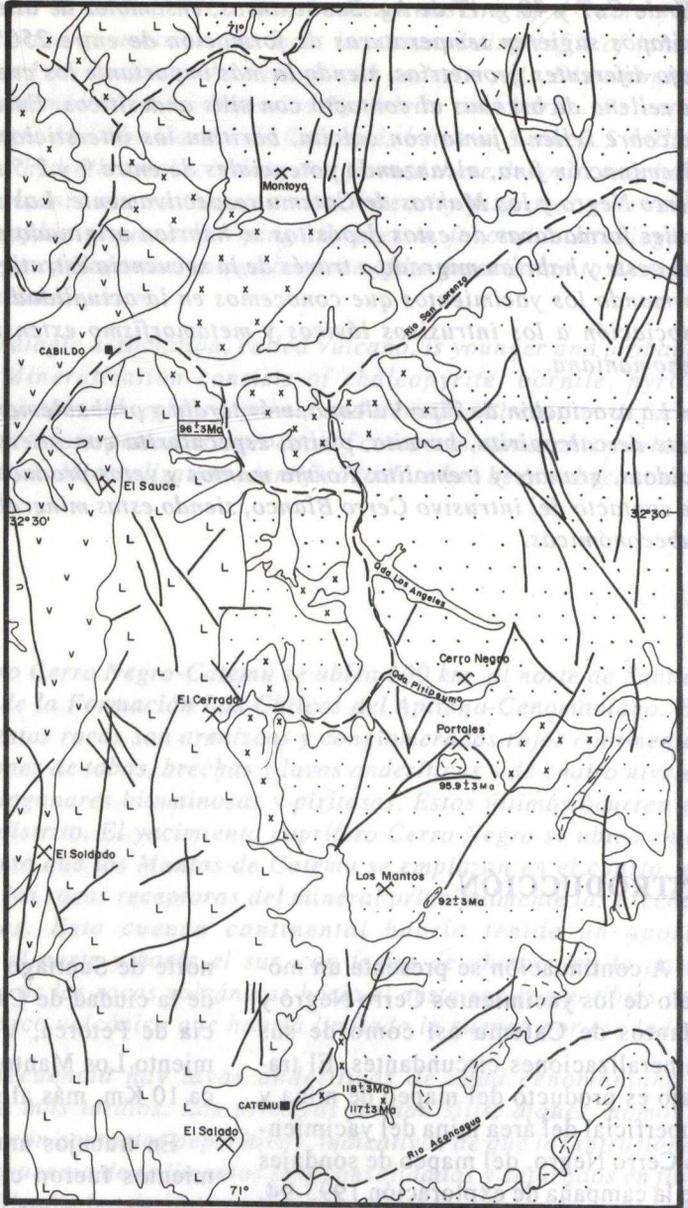
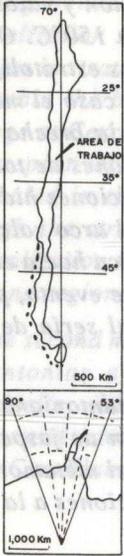
INTRODUCCIÓN

A continuación se presenta un modelo de los yacimientos Cerro Negro y Mantos de Catemu así como de sus mineralizaciones circundantes. El trabajo es producto del mapeo de mina y superficial del área mina del yacimiento Cerro Negro, del mapeo de sondajes de la campaña de exploración 1993-94, de la revisión de algunos sondajes antiguos de exploración y de la revisión de prospectos y minas en la región, y es fundamentalmente un resumen de la observación de campo (fig. 1).

El yacimiento Cerro Negro se ubica en la Qda. Pitipeumo, 100 km. al

norte de Santiago y 37 km. al sureste de la ciudad de Cabildo, en la provincia de Petorca, V Región, y el yacimiento Los Mantos de Catemu se ubica 10 Km. más al sur.

En trabajos anteriores, estos yacimientos fueron clasificados como de tipo exhalativo-volcánico (Ruiz & Pebbles, 1988), singenéticos-epigenéticos de ambiente lagunar (Camus, 1990) y finalmente hidrotermales producto de la actividad de plutones subyacentes (Elgueta et al., 1990). En el presente trabajo se relaciona la génesis de los yacimientos con la actividad hidrotermal subvolcánica de la zona.



- | | | | |
|-------|------------|----------------------|----------------------------|
| — | FALLAS | ESTRATIGRAFIA | |
| × | YACIMIENTO | v v v | Fm. Lo Prado |
| ■ | POBLADO | l l l | Fm. Veta Negra |
| - - - | CAMINO | (stippled) | Fm. Las Chilicas |
| | | (x x x) | BATOLITO DE CABILDO |
| | | (wavy) | Granodiorita y Diorita |
| | | (dotted) | Porfido diorítico |

Fig. 1. Geología regional, Distrito Minero Cerro Negro-Catemu.
Regional geology, Cerro Negro-Catemu mining district.

GEOLOGÍA REGIONAL Y DEL AREA (Piracés & Maksaev, 1977)

Las rocas volcánicas y sedimentarias de la zona estudiada y sus alrededores (fig. 1), han sido agrupadas en 3 formaciones pertenecientes al Cretáceo Inferior, denominadas en orden cronológico, de la más antigua a la más joven, Lo Prado, Veta Negra y Las Chilcas. Estas rocas se encuentran intruidas en parte por plutones dioríticos a granodioríticos y están dispuestas en franjas de alcance regional y orientación aproximada N-S. En la zona misma de estudio afloran solamente rocas de la Formación Las Chilcas y de algunos intrusivos (Araya 1988, Hodgkin Elgueta 1986, 1987).

ESTRATIGRAFÍA

La **Formación Lo Prado** de edad Berriaciano a Hauteriviano, consiste de 2000 a 3000 m de calizas, areniscas, lutitas, conglomerados, brechas, tobas y lavas, estas tres últimas de composición andesítica. Descansa en discordancia sobre rocas del Jurásico Superior y es concordante al techo con la **Formación Veta Negra**, del Barremiano-Aptiano. Esta última, consiste de 4000 a 8000 m de lavas brechosas y vesiculares andesíticas y andesíticas ocoíticas, areniscas, conglomerados y brechas. El ambiente deposicional de estas dos formaciones fue de plataforma marina sub- a infralitoral en la base, gradando a continental con volcanismo fisural hacia el techo. Ambas fueron afectadas por metamorfismo de tipo carga o extensional, variando las facies del techo al piso entre zeolita y es-

quistos verdes, lo cual implica una gradiente geotermal de 20° a 30°C/Km. (Aguirre et al., 1989). La **Formación Las Chilcas**, yace concordantemente sobre la Formación Veta Negra y consiste de una secuencia gruesa de areniscas y conglomerados continentales, con intercalación de lavas y materiales volcánico-sedimentarios. Estas rocas alcanzan una potencia variable de 3200 m a 6500 m y su edad mínima sería Aptiano a Cenomaniano (Rivano et al. 1986). Esta secuencia fue también afectada por metamorfismo de tipo carga o extensional, variando las facies de techo a piso entre zeolita y esquistos verdes y marcando una aparente discordancia con la Formación Veta Negra (Levi, 1969). Sobre esta formación, en discordancia angular y fuera del área de trabajo (esquema estratigráfico de Thomas, 1958), se presentan rocas terciarias de la Formación Lo Valle. La gran potencia de estas secuencias junto al bajo gradiente geotermal sugieren que su deposición ocurrió durante la apertura de una cuenca de subsidencia rápida en la que no se alcanzó a formar corteza oceánica (Aguirre et al., 1989).

A nivel más local (figs. 2, a 6), la **Formación Las Chilcas**, consiste de areniscas y conglomerados rojos, tobas y brechas volcánicas mayormente andesíticas, materiales que hacia el norte del Yacimiento Cerro Negro, intercalan con canales lávicos andesíticos y forman asociaciones de facies de abanico proximales, indicando cercanía de la fuente de aportes. Las asociaciones de facies se vuelven distales hacia el sur (Arévalo, 1991; zona central del área de estudio), delineando una cuenca continental en la zona central del área de estudio, en tanto que las facies volcánicas e intrusivos subvolcánicos se incrementan hacia el oeste,

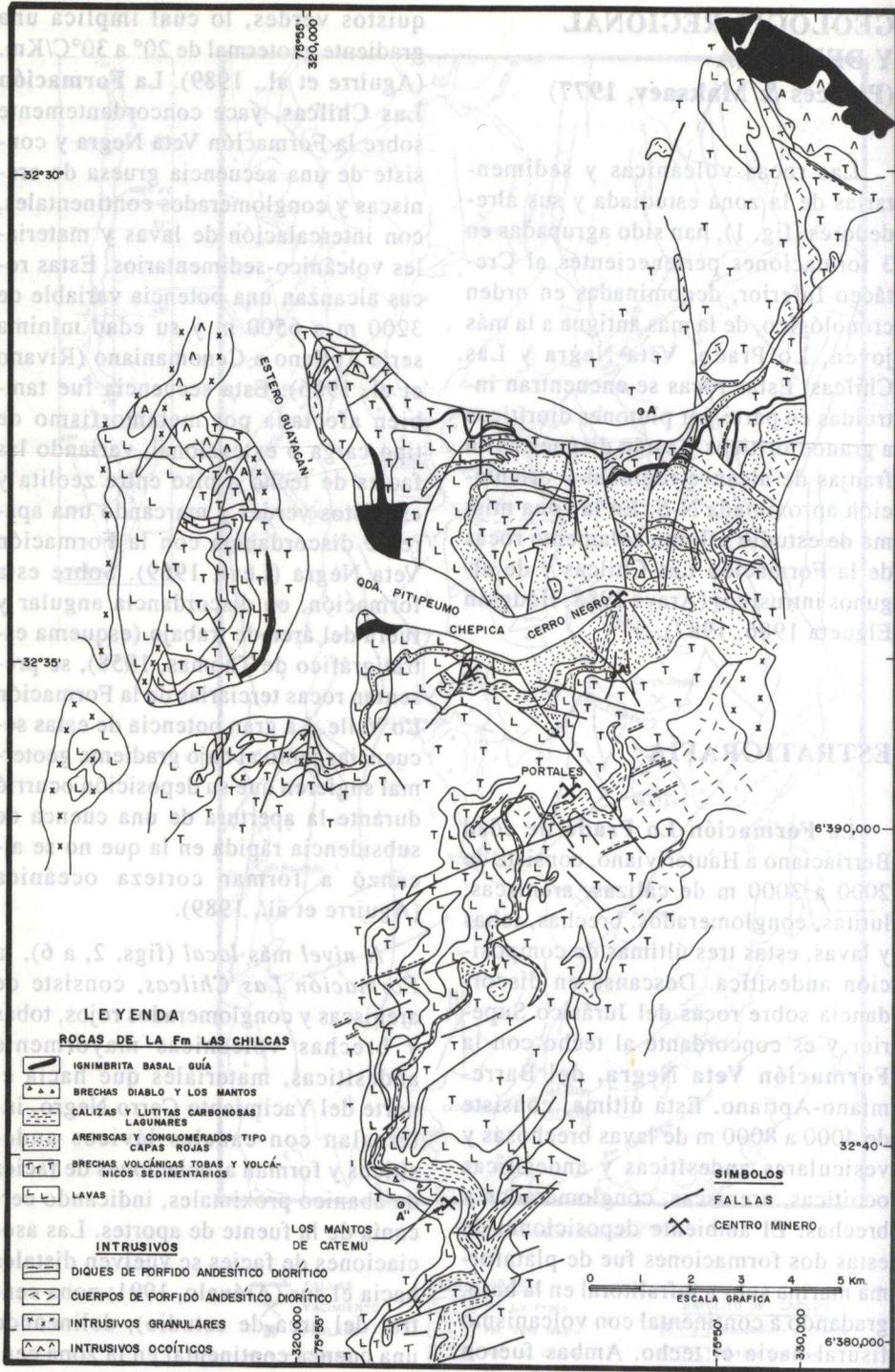


Fig. 2 Geología del Distrito Minero Cerro Negro-Catemu.

District geology, Cerro Negro-Catemu mining district.

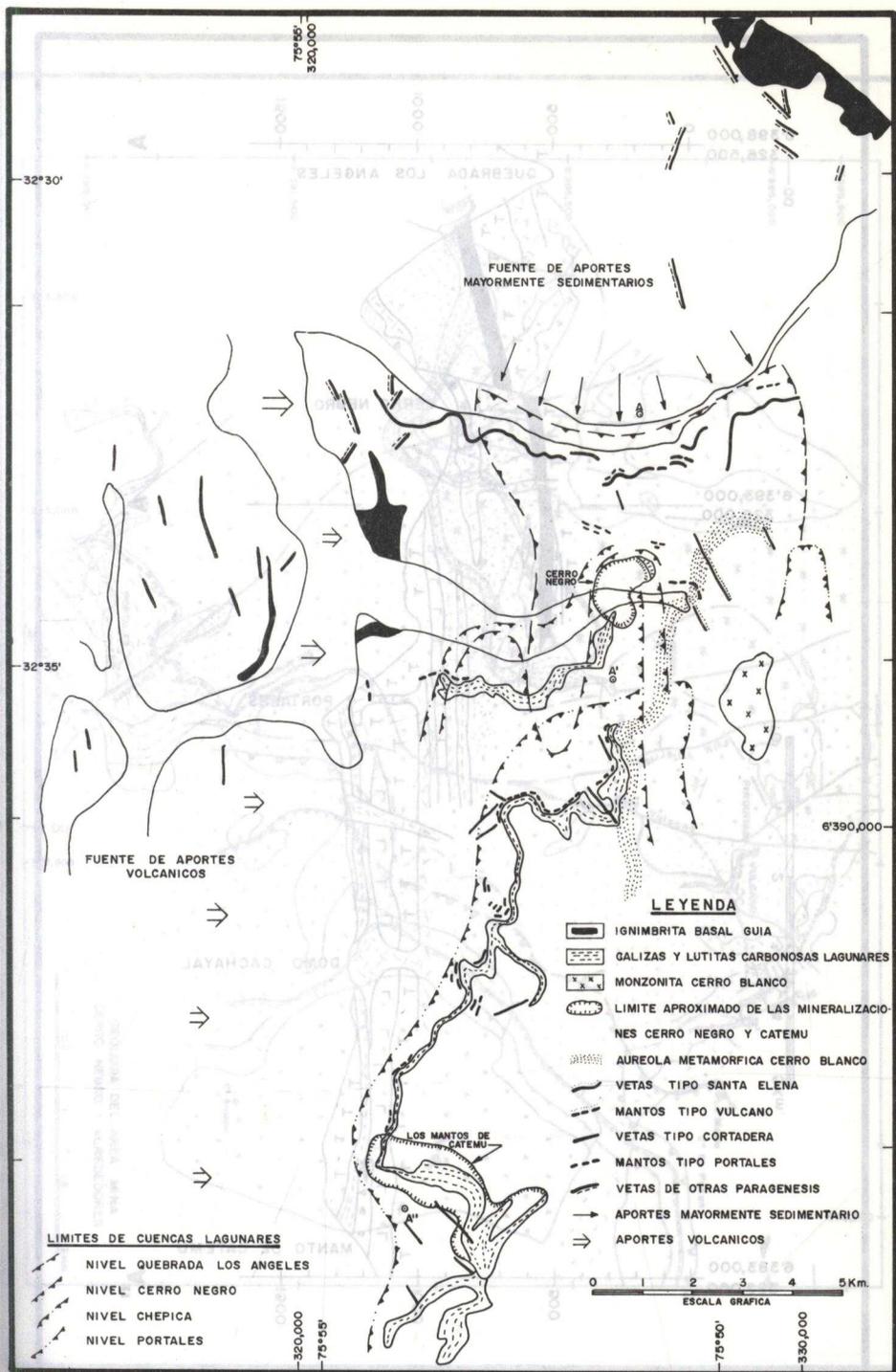


Fig. 3. Ambiente sedimentario, aureola metamórfica de contacto y mineralizaciones, Distrito Minero Cerro Negro-Catemu.

Sedimentary environment, metamorphic halo and mineralizations, Cerro Negro-Catemu mining district.

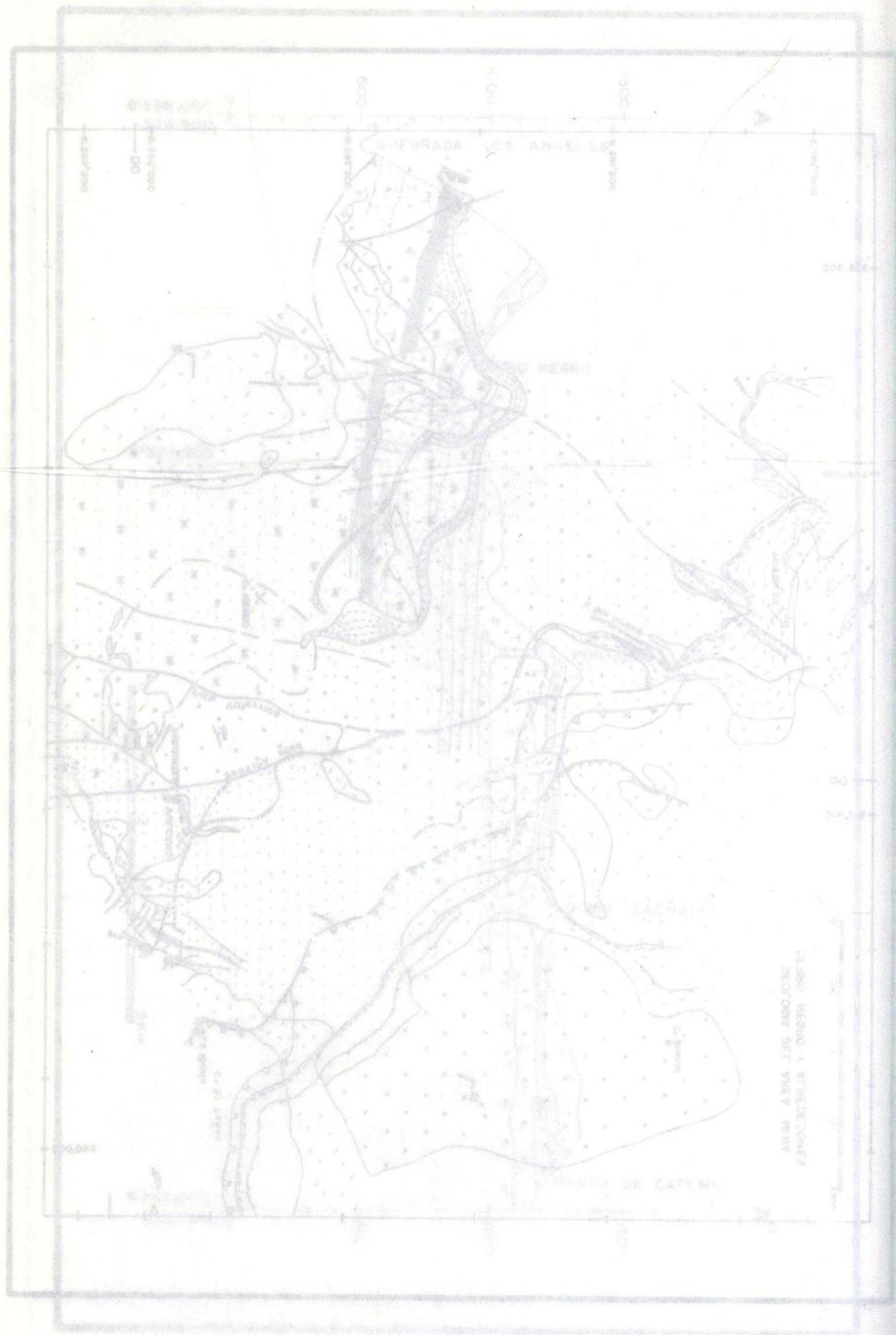


FIG. 2. Geología del área con Cerro Negro y alrededores.
 Geology of the Cerro Negro area and surroundings.

LEYENDA

FACIES VOLCANICAS DEL OESTE	FACIES DE AMBIENTE LAGUNAR CENTRAL	FACIES INDIFERENCIADAS DEL ESTE
<p>T TOBAS</p> <p>V LAVAS</p> <p>A LAVAS</p>	<p>B BRECHAS SUPERIORES</p> <p>N NIVEL LAGUNAR PORTALES-CATEMU</p> <p>B BRECHAS BASALES</p> <p>C NIVEL LAGUNAR CHEPICA</p> <p>S ARENISCAS SUPERIORES</p> <p>L LAHAR</p> <p>N NIVEL LAGUNAR CERRO NEGRO</p> <p>D BRECHA DIABLO</p> <p>I ARENISCAS INFERIORES</p>	<p>R BRECHAS Y ARENISCAS ROJAS</p> <p>L LAHAR</p>
<p>I INTRUSIVOS</p> <p>M MONZONITA</p> <p>P PORFIDO ANDESITICO - DIORITICO</p> <p>D DIQUES DE PORFIDO ANDESITICO DIORITICO</p>	<p>Z ZONAS METAMORFICAS</p> <p>B BORDE EXTERNO</p> <p>M MAGNETITA</p> <p>A ACTINOLITA TREMOLITA</p> <p>P PLAGIOCLASA</p> <p>H HORNBLENDA</p> <p>M MINIAREOLA - VETA STA. ELENA</p>	<p>S SIMBOLOS</p> <p>F FALLA</p> <p>F FALLA INFERIDA</p> <p>O ORIENTACION DE CAPAS</p> <p>M MANTOS</p> <p>V VETAS</p> <p>C CUENCA CERRO NEGRO OESTE</p> <p>C CUENCA CERRO NEGRO ESTE</p> <p>C COORDENADAS LOCALES</p> <p>C 327,500 COORDENADAS U. T. M</p> <p>C CENTRO MINERO</p>

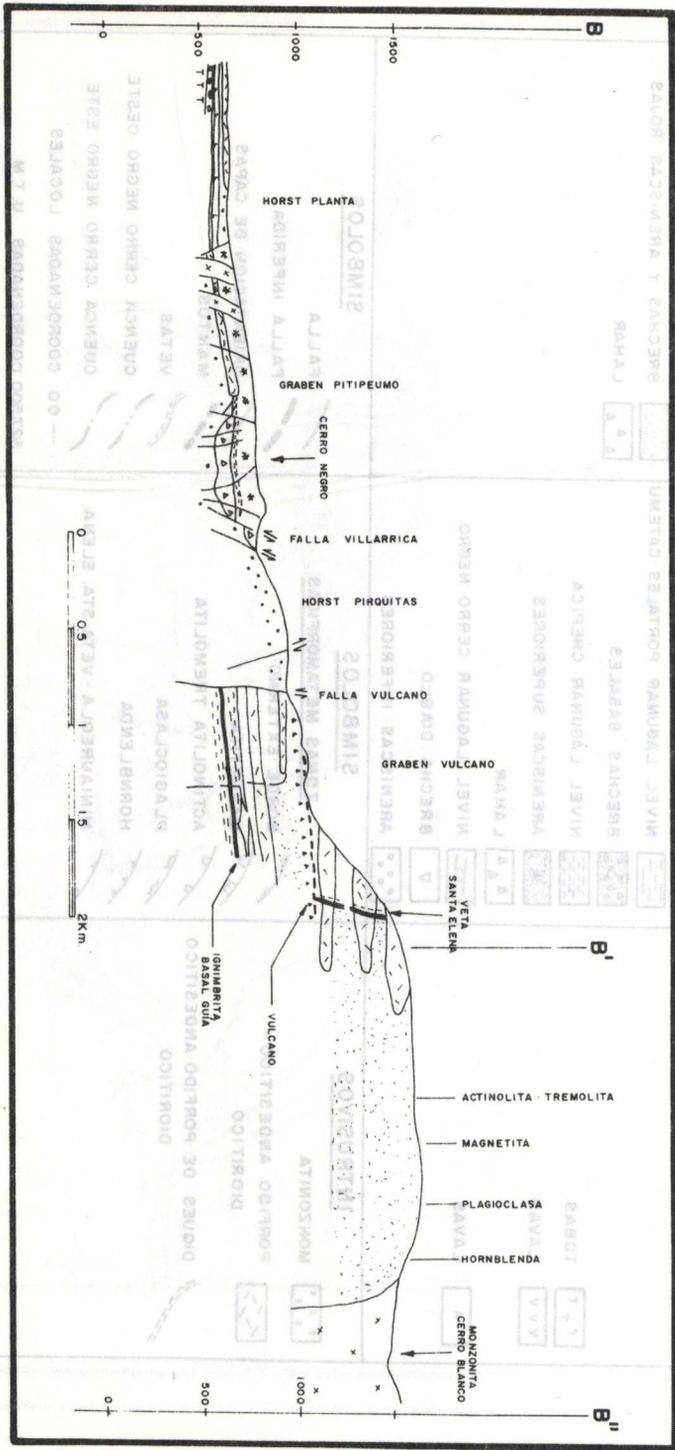


Fig. 6. Perfil B-B'' del área mina Cerro Negro y alrededores.
 B-B'' Geologic Section of the Cerro Negro mine area and surrounding.

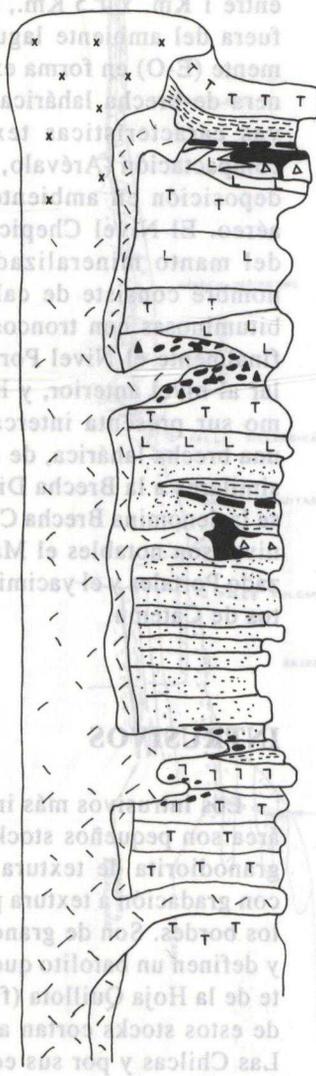
hacia donde aparentemente existió un arco volcánico. En la zona central, intercaladas entre los materiales de facies abanico, se observan 4 niveles de calizas y lutitas bituminosas, piritosas, con troncos y hojas fósiles, con potencias variables entre métricas y decamétricas, los cuales indican la existencia de lagunamientos esporádicos en la secuencia continental. Estos niveles lagunares, crecen en extensión y amplitud de norte hacia el sur y desde aproximadamente Pitipeumo, en donde afloran transversalmente (B-O), habiendo sido reconocidas más al sur por sondajes, salvo el nivel más alto, el que aflora hasta las vecindades de Santiago. Ellos marcan el inicio de una cuenca continental que se extiende hacia el sur del yacimiento. Ocurre que, a medida que los niveles son más jóvenes, su borde meridional aflora paulatinamente más al sur, incrementando gradualmente su potencia en dicha dirección. En general las rocas de estos niveles lagunares presentan pliegues sinsedimentarios y corrugamiento, lo cual es índice de resbalamiento en una cuenca tectónicamente móvil. A estos 4 niveles se los denomina de abajo hacia arriba Niveles Cecilia, Cerro Negro, Chepica y Portales respectivamente (fig.7). El primero consiste de un horizonte de ignimbrita riódacítica, blanca a verde pálido, en ocasiones propilitizada y devitrificada, de 1 a 10 m de potencia y textura eutaxítica, denominado Ignimbrita Basal Guía, el cual intercala con calizas, margas y lutitas, nivel cuya amplitud lateral de afloramiento es de por lo menos 5 Km. El Nivel Cerro Negro, denominado así por el yacimiento al que alberga, está caracterizado por la Brecha Diablo, que es una brecha lahárica depositada en ambiente lagunar y por horizontes de calizas y lutitas bituminosos superior-

res. Esta brecha es de forma arrañada (fig. 2, 3, 8a) y sus dimensiones varían entre 1 Km. Y 1.5 Km., extendiéndose fuera del ambiente lagunar y lateralmente (E-O) en forma extensa y a manera de brecha lahárica apretada, cuyas características texturales y de compactación (Arévalo, 1991) indican deposición en ambiente fluvial subaéreo. El Nivel Chepica, contenedor del manto mineralizado del mismo nombre consiste de calizas y lutitas bituminosas con troncos de árboles y finalmente el Nivel Portales, es similar al nivel anterior, y hacia su extremo sur presenta intercalada también una brecha lahárica, de características similares a la Brecha Diablo, a la cual se la denomina Brecha Catemu. En este nivel son notables el Manto Mineralizado Portales y el yacimiento Los Mantos de Catemu.

INTRUSIVOS

Los intrusivos más importantes del área son pequeños stocks de diorita y granodiorita de textura equigranular, con gradación a textura porfírica hacia los bordes. Son de grano medio a fino y definen un batolito que ocupa la parte de la Hoja Quillota (fig. 1). Algunos de estos stocks cortan a la Formación Las Chilcas y por sus edades aptianas a cenomanianas (118-92 Ma. K-Ar, Rivano et al. 1986, fig. 1), es muy posible que estén relacionados a las etapas tardías del vulcanismo de esta misma formación. Más localmente (fig. 2) se han visto intrusivos principalmente de andesita, monzonita, diorita y ocoíta, presentes a manera de diques, sills, stocks y cuerpos irregulares.

En primer lugar se tienen los **pórfidos andesítico dioríticos tipo Cerro**



NIVEL PORTALES

NIVEL VULCANO

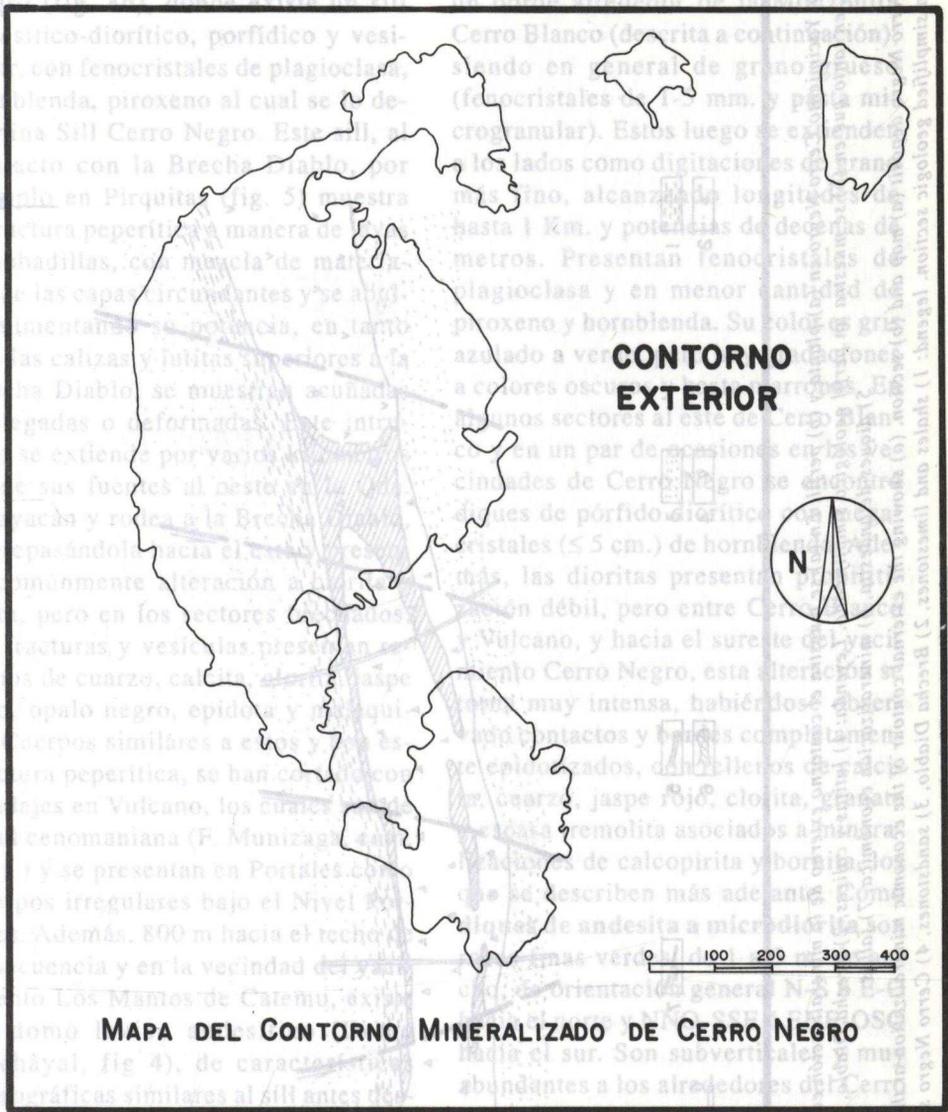
NIVEL CHEPICA

NIVEL CERRO NEGRO

NIVEL CECILIA (IGNIMBRITA BASAL GUÍA)

-  MINERALIZACION TIPO VULCANO
-  MINERALIZACION TIPO CERRO NEGRO
-  MINERALIZACION TIPO PORTALES

Fig. 7. Columna estratigráfica ideal (sin escala) mostrando la secuencia estratigráfica, intrusiones y niveles mineralizados del Distrito Minero Cerro Negro-Catemu.
 Ideal stratigraphic column (no scale) showing the stratigraphic sequence, intrusions and mineralized horizons in the Cerro Negro-Catemu mining district.



MAPA DEL CONTORNO MINERALIZADO DE CERRO NEGRO

Fig. 8a. Yacimiento Cerro Negro en (a) planta y (b) perfil. En (a) se muestra el contorno externo de la mineralización económica del Yacimiento de Cerro negro, en tanto que en (b) se muestra un perfil geológico simplificado. Leyenda: 1) lutitas y calizas, 2) Brecha Diablo, 3) areniscas; 4) sill Cerro Negro, 5) diques de andesita, 6) mineralización económica, 7) fallas.

The Cerro Negro deposit (a) map and (b) section. (a) showing the external contour of the economic mineralization at the Cerro Negro deposit, while (b) shows a simplified geologic section. legend: 1) shales and limestones, 2) Brecha Diablo, 3) sandstones, 4) Cerro Negro sill, 5) andesite dikes, 6) economic mineralization, 7) faults.

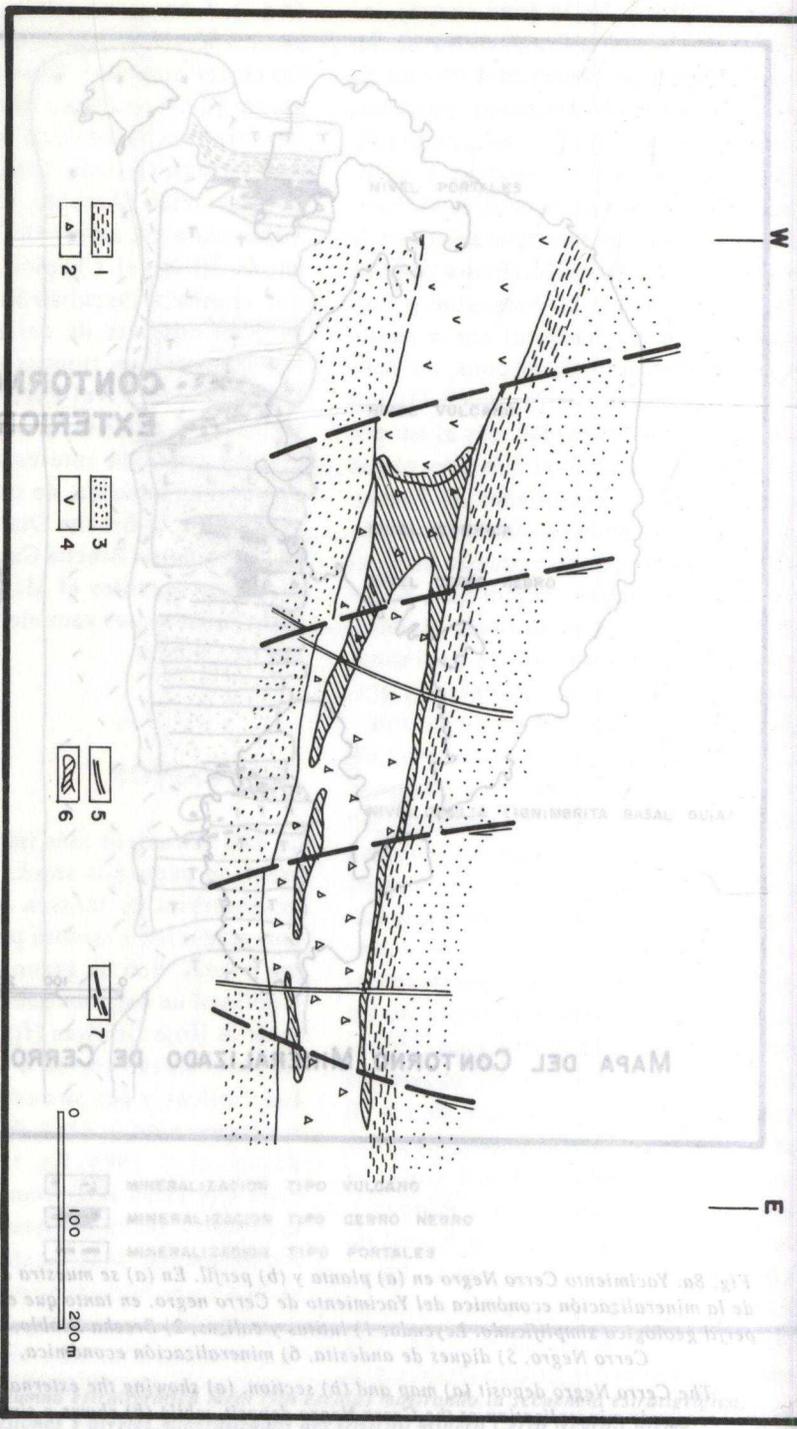


Fig. 8b. Yacimiento Cerro Negro en (a) planta y (b) perfil. En (a) se muestra el contorno externo de la mineralización económica del Yacimiento de Cerro Negro, en tanto que en (b) se muestra un perfil geológico simplificado. Legenda: 1) lutitas y calizas, 2) Brecha Diablo, 3) areniscas, 4) sill Cerro Negro 5) diques de andesita, 6) mineralización económica, 7) fallas.

The Cerro Negro deposit (a) map and (b) section. (a) showing the external contour of the economic mineralization at the Cerro Negro deposit, while (b) shows a simplified geological section. Legend: 1) shales and limestones, 2) Brecha Diablo, 3) sandstones, 4) Cerro Negro sill, 5) andesite dikes, 6) economic mineralization, 7) faults.

Negro. El caso más conocido ocurre en profundidad en el yacimiento Cerro Negro (fig. 8b), donde existe un sill andesítico-diorítico, porfídico y vesicular, con fenocristales de plagioclasa, hornblenda, piroxeno al cual se lo denomina Sill Cerro Negro. Este sill, al contacto con la Brecha Diablo, por ejemplo en Pirquitas (fig. 5) muestra estructura peperítica a manera de layas almohadillas, con mezcla de materiales de las capas circundantes y se abulta aumentando su potencia, en tanto que las calizas y lutitas superiores a la Brecha Diablo, se muestran acuñadas y plegadas o deformadas. Este intrusivo se extiende por varios kilómetros desde sus fuentes al oeste en la Qda. Guayacán y rodea a la Brecha Diablo, sobrepasándola hacia el este y presenta comúnmente alteración a clorita e illita, pero en los sectores brechados, las fracturas y vesículas presentan rellenos de cuarzo, calcita, clorita, jaspe rojo, ópalo negro, epidota y malaquita. Cuerpos similares a estos y con estructura peperítica, se han cortado con sondajes en Vulcano, los cuales son de edad cenomaniana (F. Munizaga, com. pers.) y se presentan en Portales como cuerpos irregulares bajo el Nivel Portales. Además, 800 m hacia el techo de la secuencia y en la vecindad del yacimiento Los Mantos de Catemu, existe un domo lavico andesítico (Domo Cachayal, fig 4), de características petrográficas similares al sill antes descrito, el cual deforma a las calizas circundantes, y presenta piritita y calcopiritita en vesículas y fracturas rellenas de epidota, clorita, prehenita, pumpeilita, cuarzo, calcita y baritina. Por su aspecto es probable que este domo se formara cerca a superficie.

Los intrusivos de **porfido diorítico-andesítico tipo Cerro Blanco** son mas abundantes que los intrusivos anterior-

res. Se presentan como sills, diques y cuerpos irregulares grises, que forman un borde alrededor de la Monzonita Cerro Blanco (descrita a continuación), siendo en general de grano grueso (fenocristales de 1-5 mm. y pasta microgranular). Estos luego se extienden a los lados como digitaciones de grano más fino, alcanzando longitudes de hasta 1 Km. y potencias de decenas de metros. Presentan fenocristales de plagioclasa y en menor cantidad de piroxeno y hornblenda. Su color es gris azulado a verde, pero hay gradaciones a colores oscuros y hasta marrones. En algunos sectores al este de Cerro Blanco y en un par de ocasiones en las vecindades de Cerro Negro se encontró diques de porfido diorítico con megacristales (≤ 5 cm.) de hornblenda. Además, las dioritas presentan propilitización débil, pero entre Cerro Blanco y Vulcano, y hacia el sureste del yacimiento Cerro Negro, esta alteración se torna muy intensa, habiéndose observado contactos y bordes completamente epidotizados, con rellenos de calcita, cuarzo, jaspe rojo, clorita, granate y escasa tremolita asociados a mineralizaciones de calcopiritita y bornita, los que se describen más adelante. Como **diques de andesita a microdiorita** son rocas finas verdes, de 1 a 5 m. de ancho, de orientación general N-S 6 E-O hacia el norte y NNO-SSE ó ENE-OSO hacia el sur. Son subverticales y muy abundantes a los alrededores del Cerro Blanco. Estos diques, cortan al sill andesítico de Cerro Negro y a la mineralización de Cerro Negro y Portales, produciendo removilización del cobre a su alrededor. Cuando ocurren aislados o son gruesos, producen dispersión del mineral de cobre, pero cuando ocurren en enjambres o son delgados, concentran este mineral a su alrededor. Además en algunos casos recrystalizaron las rocas a su alrededor,

formando halos con epidota, clorita, feldespato-k y hasta granate, por lo cual se consideran extensiones de los pórfidos dioríticos del Cerro Blanco. Una característica de estos intrusivos en los alrededores del Cerro Blanco es que son portadores de abundantes xenolitos de pórfido diorítico, microdiorita a microgabro, gabro orbicular (raro) y en un caso una granodiorita muy gruesa (cristales de 1 cm.). Por lo general los diques están fuertemente hornblendizados y en algunos casos son vesiculares y muestran orientación de flujo horizontal.

El núcleo de Cerro Blanco es un stock de monzonita a monzodiorita leucócrata, granular, a la cual se la ha denominado **Monzonita Cerro Blanco**. Este stock, aparentemente intruyó forzosamente, ya que ha deformado levemente la secuencia a su alrededor. Es elongado en orientación NNE-SSO, con una longitud de 3 Km. y un ancho de 2 Km., siendo de grano por lo general fino (feldespatos y hornblenda de 1-2 mm.), equigranular a microgranular, gris blanco y estando en algunos bordes propilitizado. Muestra gradaciones a rocas rosadas microgranulares, aplíticas, formación de xenolitos de las facies menos diferenciadas y algunos vetillos pegmatíticos finos. Su edad es santoniana (F. Munizaga, com. pers.).

Por último existen en los alrededores **intrusivos ocoíticos**, los que se presentan intruidos sinplutónicamente por diques de pórfido diorítico-andesítico a microdiorita y en el campamento de Cerro Negro hay también un pequeño grupo de diques de leucotraquita blanca con fenocristales de biotita alterada(?) a muscovita, de orientación NO-SE, probablemente tardíos a todos los anteriores eventos.

METAMORFISMO DE CONTACTO

La Monzonita Cerro Blanco ha metamorfozido a las rocas a su alrededor formando una *aureola de metamorfismo de contacto*, consistente de 5 zonas sucesivas (fig. 5).

La *zona de hornblenda*, es la zona más interna. Esta alcanza un ancho de 100 m. a 300 m., pero aparentemente no es continua alrededor de todo el intrusivo. En los pórfidos dioríticos del tipo Cerro Blanco, la hornblendización ocurre mayormente en fracturas de relleno y en escasas diseminaciones (Cerro Blanco), en cambio en las brechas, la hornblendización es muy fuerte y reemplaza la matriz y algunos clastos de la roca, siendo la hornblenda al 30% a 50% de la roca, dándole un color oscuro característico. El ensamble mineralógico es hornblenda-plagioclasa-magnetita.

La *zona de plagioclasa* es un halo de alrededor de 100 m. de ancho que rodea a la anterior zona y consiste de corneanas gris oscuras, en que la plagioclasa ha recristalizado y es transparente, observándose además venillas de actinolita-tremolita. Estas rocas se forman por igual en pórfidos y en brechas de la secuencia estratigráfica. El ensamble mineralógico es plagioclasa-actinolita-tremolita-magnetita.

La *zona de actinolita-tremolita* es más irregular y ancha. Rodea a la zona anterior, alcanzando un ancho de 500 m. hasta 1 Km y se caracteriza porque las rocas toman un color verde gris pálido, debido a la presencia de estos anfíboles y de plagioclasa albitizada blanca, ocurriendo estos en venillas

hasta la vecindad de la zona de la hornblenda. El ensamble mineralógico es albita-actinolita-tremolita-magnetita.

La *zona de la magnetita*, se traslapa con la zona anterior, siendo de un ancho similar, pero se caracteriza por un ensamble de clorita-epidota-albita-magnetita.

La zona más externa es la *zona de clorita-epidota-albita-hematita*. Esta es la zona borde y rodea a las demás con un ancho de 0.5 Km. a 1 Km. Afecta principalmente a las rocas de la secuencia estratigráfica, dándoles un color verde epidota característico, el que se hace menos intenso y más intermitente hacia el borde. Estas rocas no son magnéticas, presentando hematita y en ocasiones especularita, y la plagioclasa en general es blanca.

Los granates observados en la aureola de metamorfismo son escasos y varían de color según su proximidad al intrusivo. Los más próximos son rojo marrón oscuros en la zona de actinolita-tremolita, a 500 m del intrusivo, pasando a color ámbar y finalmente ámbar claro a verde en la zona más externa, esto a 2.5 Km del intrusivo.

El *metasomatismo* ocurre mayormente dentro del halo más externo o en los bordes de la aureola, como manifestaciones económicas de cobre (Vulcano, Sta. Elena), en donde se encuentran estas manifestaciones como parches irregulares, rellenos y venillas de epidota, cuarzo, granates, tremolita, jaspe rojo, cuarzo, calcopirita y bornita, generalmente en asociación a sills y diques porfídicos. La mineralización económica asociada se describe más adelante.

ESTRUCTURAS

En la región existen algunos pliegues menores, pero localmente las rocas forman un monoclinal buzante 15° - 20° al sur y sur-este, salvo en el Cerro El Peñón (fig. 5), donde las rocas buzán al suroeste. Además, en el sector Pirquitas (fig. 5), este hundimiento monótono se ve alterado por la presencia de un homoclinal, denominado Homoclinal Pirquitas, en donde las rocas buzán hasta 45° al sur y suroeste, pasando gradualmente hacia el norte y sur a tener su buzamiento normal.

A nivel distrital (fig. 2) existen dos dominios estructurales a los que se les denomina Cerro Negro y Portales-Catemu los cuales se ubican respectivamente al norte y sur. En el dominio Cerro Negro, las fallas, lineamientos y diques son de tendencia general N-S, y de manera subordinada E-O. El dominio Portales-Catemu, las estructuras son de tendencia OSO-ENE y en menor grado de tendencia NNO-SSE. Este cambio estructural probablemente se explique por la presencia un poco más al sur del *Lineamiento Quillota-San Felipe* (fig. 3), notable en imágenes Landsat (Tidy, 1985), al norte del cual hay varias estructuras paralelas, a las que asocian importantes mineralizaciones de la región y el centro volcánico de la Formación Lo Prado (L. Chávez, com. pers.) en donde se emplaza el yacimiento El Soldado.

Las fallas principales en el dominio estructural Cerro Negro, son fallas normales que forman los horsts y grabens locales (fig. 6). Estas fallas en la horizontal parecen tener desplazamientos pequeños tipo dextrales. De estas fallas en el Subdistrito Cerro Negro, las de mayor desplazamiento muestran saltos en el orden de los 200 m a 400 m

teniendo las fallas menores desplazamientos del orden de las decenas de metros a metros. Estas fallas en general no muestran expresión importante hacia el sur, por lo que se supone que sean fallas de tipo tijera. En el subdistrito estructural Portales-Catemu, las fallas principales, aparentemente no produjeron saltos notables.

La edad de estas fallas no es conocida, pero las principales del distrito estuvieron activas desde la deposición de la secuencia sedimentaria, puesto que los estratos varían de potencia, dependiendo de su ubicación de oeste a este, dentro de los horst y graben locales, así como también controlaron la formación de las cuencas lagunares locales. Todo esto ha sido evidenciado en el trabajo de detalle de la mina y de perforación, así como en los perfiles estratigráficos del área (Arévalo, 1991).

GEOLOGÍA ECONOMICA

Tipos de mineralización

Existen dos tipos de mineralización en el distrito, las que se definen por sus ensambles mineralógicos: 1) la asociación bornita, calcosina, calcopirita, calcita o mineralización tipo Cerro Negro y 2) la asociación calcopirita, bornita, pirita, especularita, cuarzo, jaspe rojo, epidota, granate y tremolita o mineralización tipo Vulcano.

La **mineralización tipo Cerro Negro** es la más importante del distrito, aportando la totalidad del mineral de cobre económico del distrito, siendo Ag el subproducto, con una ley promedio de 40 gr/Ton. Esta mineralización se presenta bajo geometrías diversas, las que se describen a continuación.

a) **Cuerpos de relleno de brecha lahárica andesítica lagunar:** Estos cuerpos forman los yacimientos principales del distrito, conocidos como Cerro Negro y Los Mantos de Catemu. En **Cerro Negro** (fig. 3 a 9), el mineral de cobre rellena junto con **calcita**, los intersticios de la Brecha Diablo como diseminación fina (0.07-1 mm.), y en algunos casos infiltra también a los fragmentos, formando un cuerpo anular de 1.5 Km de largo por 0.5 Km de ancho (fig. 9). En la zona más potente, este cuerpo alcanza hasta 100 m. de grosor adosado al contacto con el sill andesítico Cerro Negro, extendiéndose en su parte superior como manto regular (Manto Superior) y por el piso en forma de mantos y cuerpos irregulares, a veces aislados hacia el centro de la brecha (Manto Inferior). El techo de lutita y caliza aparentemente actuó de tapón de la mineralización y en parte fue mineralizado, en tanto que hacia el piso existen areniscas. El tonelaje⁴ del yacimiento bordea los 9 millones con 1.5% a 2% CuT (estimaciones de CMCN). Sus menas son **bornita, calcosina, calcopirita**, las que asocian a pirita, especularita, magnetita, con contenidos menores de galena y esfalerita. La zona mineralizada más rica se presenta al contacto con el sill andesítico, esto es en el borde externo de la Brecha Diablo, y consiste de bornita-calcosina, con galena y esfalerita mineralógicamente significativas con elevados valores de Ag. Rodeando se presentan sucesivamente, una zona de bornita-calcopirita y una zona de calcopirita-pi-

4 *Tonelaje = producción histórica + reservas.*

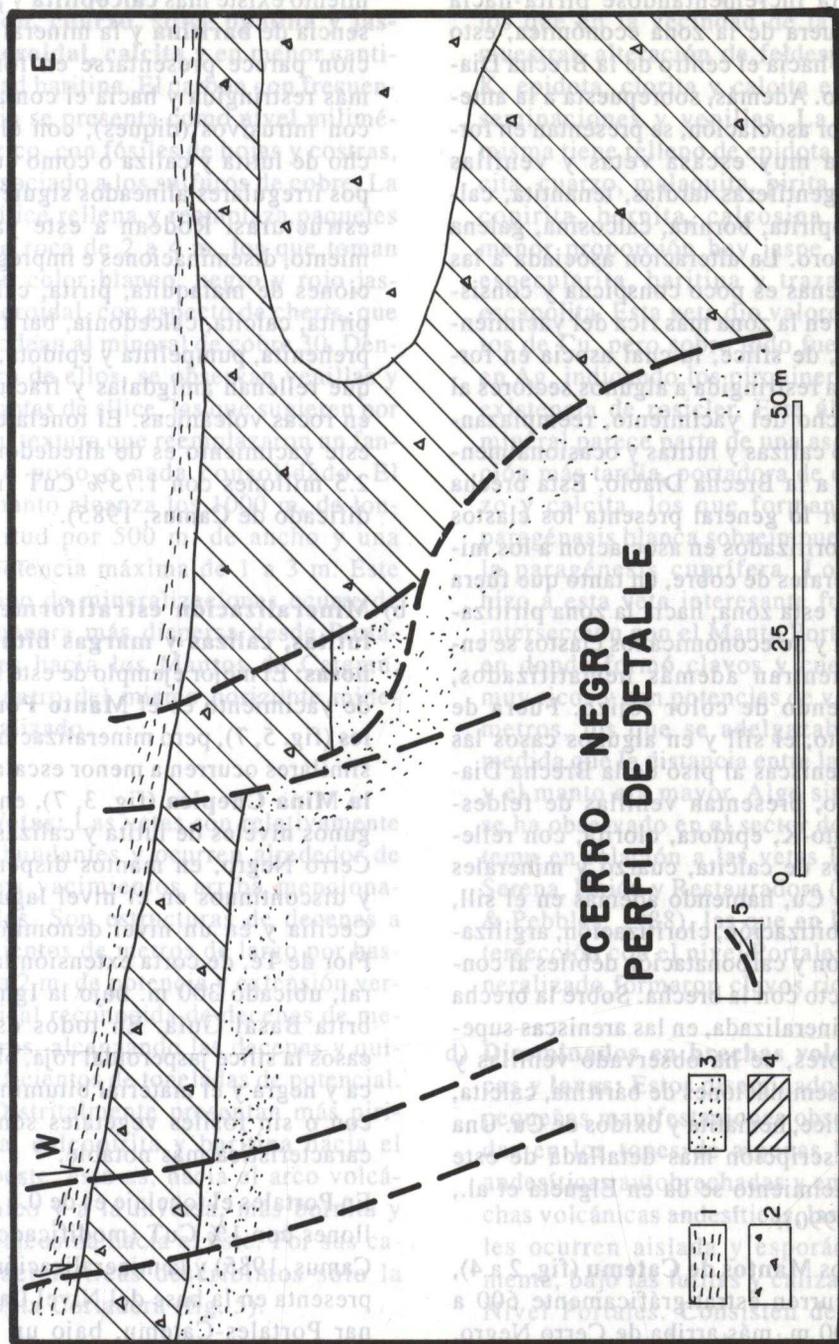


Fig. 9. Perfil geológico simplificado y de detalle del Yacimiento Cerro Negro, mostrando el control de fallas sobre la deposición de la Brecha Diablo. La leyenda es similar a 8b. Simplified geologic section of the Cerro Negro deposit, showing fault control over the Brecha Diablo deposition. legend is similar to fig. 8b.

rita incrementándose piritita hacia afuera de la zona económica, esto es hacia el centro de la Brecha Diablo. Además, sobrepuesta a la anterior asociación, se presentan en forma muy escasa vetas y venillas argentíferas tardías, tenantita, calcopirita, bornita, calcosina, galena y oro. La alteración asociada a las menas es poco conspicua y consiste en la zona más rica del yacimiento, de sílice, la cual asocia en forma restringida a algunos sectores al techo del yacimiento, reemplazando calizas y lutitas y ocasionalmente a la Brecha Diablo. Esta brecha por lo general presenta los clastos cloritizados en asociación a los minerales de cobre, en tanto que fuera de esta zona, hacia la zona piritizada y no económica los clastos se encuentran además hematitizados, siendo de color rojizo. Fuera de esto, el sill y en algunos casos las areniscas al piso de la Brecha Diablo, presentan venillas de feldspato-K, epidota, clorita, con rellenos de calcita, cuarzo y minerales de Cu, habiendo además en el sill, albitización, cloritización, argilización y carbonatación débiles al contacto con la brecha. Sobre la brecha mineralizada, en las areniscas superiores, se ha observado venillas y disseminaciones de baritina, calcita, sílice, hematita y óxidos de Cu. Una descripción más detallada de este yacimiento se da en Elgueta et al., (1990).

Los **Mantos de Catemu** (fig. 2 a 4), ocurren estratigráficamente 600 a 700 m. más arriba de Cerro Negro, y su mineralogía, litología, forma y modo de emplazamiento son similares a los de Cerro Negro salvo por la ausencia del sill que haga las veces de borde. Además en este yaci-

miento existe más **calcopilita** y presencia de **baritina** y la mineralización parece presentarse en forma más restringida y hacia el contacto con intrusivos (diques), con el techo de lutita y caliza o como cuerpos irregulares alineados siguiendo estructuras. Rodean a este yacimiento, disseminaciones e impregnaciones de malaquita, piritita, calcopirita, calcita, calcedonia, baritina, prehenita, pumpellita y epidota, las que rellenan amígdalas y fracturas en rocas volcánicas. El tonelaje de este yacimiento es de alrededor de 2.5 millones con 1.75% CuT (modificado de Camus, 1985).

- b) **Mineralización estratiforme en lutitas, calizas y margas bituminosas:** El mejor ejemplo de este tipo de yacimiento es el **Manto Portales** (fig. 5, 7), pero mineralizaciones similares ocurren a menor escala en la **Mina Chépica** (fig. 3, 7), en algunos niveles de lutita y calizas de Cerro Negro, en mantos dispersos y discontinuos en el nivel lagunar Cecilia y en un nivel denominado Flor de Té, de corta extensión lateral, ubicado 300 m. bajo la Ignimbrita Basal Guía. En todos estos casos la sílice jasperoidal roja, blanca y negra y el material bituminoso con o sin fósiles vegetales son su característica más notable.

En Portales el tonelaje es de 0.5 millones con 1% CuT (modificado de Camus, 1985) y la mineralización se presenta en la base del Nivel Lagunar Portales-Catemu, bajo un paquete relativamente grueso (decenas de metros) de lutitas y calizas, y consiste de **bornita**, **calcosina** con calcopirita subordinada y con contenidos menores de galena y pi-

rita. Las gangas asociadas son **carbón, cuarzo, sílice opalina y jasperioidal, calcita** y en menor cantidad baritina. El carbón con frecuencia se presenta como nivel milimétrico, con fósiles de hojas y costras, asociado a los sulfuros de cobre. La sílice rellena y reemplaza paquetes de roca de 2 a 4 m, los que toman un color blanco, negro y rojo jasperioidal, con aspecto de cherts, que rodean al mineral de cobre 30. Dentro de ellos, se observan venillas y motas de sílice, las que sugieren por su textura que reemplazaron un fango poco o nada consolidado. El manto alcanza los 1000 m. de longitud por 500 m. de ancho y una potencia máxima de 1 a 3 m. Este tipo de mineralizaciones ocurre de manera más dispersa desde Portales hacia los Mantos de Catemu, dentro del mismo horizonte mineralizado.

- c) **Vetas:** Las vetas son relativamente abundantes y ocurren alrededor de los yacimientos arriba mencionados. Son estructuras de decenas a cientos de metros de largo por hasta 2 m. de potencia y extensión vertical reconocida de decenas de metros, alcanzando las decenas y quizá cientos de toneladas de potencial. Distritalmente presentan más piritita, calcopirita y baritina hacia el oeste, esto es, hacia el arco volcánico y a la inversa, más bornita y calcosina hacia el este. Por sus características describimos solo la Veta Cortadera (fig. 5).

La veta Cortadera tiene orientación N30°O-66°NE, con 600 m. de longitud, entre 50 a 100 m. de profundidad y 1 a 2 m. de potencia. Sus cajas son brechas andesíticas y dique

de pórfido diorítico propilitizados, los que en la vecindad de la veta muestran alteración de feldespato-K, epidota, clorita y calcita en diseminaciones y venillas. La veta misma tiene relleno de epidota, calcita, cuarzo, malaquita, piritita, calcopirita, bornita, calcosina y en menor proporción hay jaspe rojo, especularita, baritina y trazas de escapolita. Esta veta dio valores altos de Cu, pero sobre todo fue rica en Ag, indicando los pirquineros la existencia de rosicler. Este último mineral parece parte de una asociación más tardía, portadora de cuarzo y calcita, los que forman una paragénesis blanca sobrepuesta a la paragénesis cuprífera. Lo que hizo a esta veta interesante fue su intersección con el Manto Portales, en donde formó clavos y cuerpos muy ricos y con potencias de varios metros, los que se adelgazaban a medida que la distancia entre la veta y el manto era mayor. Algo similar se ha observado en el sector de Catemu en relación a las vetas Poza, Serena, Unión y Restauradora (Ruiz & Pebbles, 1988), las que en la intersección con el nivel Portales mineralizado formaron clavos ricos.

- d) **Diseminados en brechas volcánicas y lavas:** Estos diseminados son pequeñas manifestaciones observadas en los topos de algunas lavas andesíticas autobrechadas y en brechas volcánicas andesíticas, las cuales ocurren aislada y esporádicamente, bajo las lutitas y calizas del Nivel Portales. Consisten de calcopirita, calcosina, bornita, piritita, epidota, clorita, prehenita, pumpeilita, cuarzo, calcita y baritina y carecen de importancia económica, salvo para el trabajo de pirquineros.

Sus dimensiones son de decenas a cientos de metros de diámetro y 1 a 2 m. de espesor.

La mineralización de tipo Vulcano, por su ensamble puede ser denominada también de tipo skarn. Esta se presenta en forma restringida directamente al este y sur este del yacimiento Cerro Negro, en el halo exterior de la aureola de contacto del intrusivo Cerro Blanco y hacia afuera, y no es de importancia económica, salvo por pequeños aportes de pirquineros. Existen dos tipos de geometrías las que se describen a continuación.

a) **Cuerpos irregulares mantiformes:**

El yacimiento Vulcano representa a estos cuerpos. Es subeconómico y presenta leyes bajas de Cu y trazas de Au y Ag. Consiste de rellenos de brecha, venas irregulares y disseminaciones de tipo stockwork de calcopirita, bornita, pirita, especularita, cuarzo, jaspe rojo, epidota, granate y tremolita, las que cortan y reemplazan brechas andesíticas y areniscas y conglomerados epiclásicos, mineralizaciones que en conjunto tienen tendencia mantiforme. Estos cuerpos alcanzan algunos cientos de metros de diámetro y metros a decenas de metros de potencia. Rodea a la mineralización alteración propilitica y más externamente un halo argílico que blanquea a las rocas. También asocian a la mineralización intrusivos de pórfido diorítico a andesítico propilitizados. Manifestaciones de esta mineralización se presentan en todo el afloramiento de este nivel estratigráfico entre Vulcano y las vecindades del intrusivo Cerro Blanco, pero sin valores económicos de cobre.

b) **Vetas:** Son escasas y de rumbo NNO-SSE a NO-SE y la principal es Santa Elena, la cual es vecina a Vulcano y presenta como ganga dominante tremolita, en donde se observan relictos de clinopiroxeno. Esta veta tiene algunos cientos de metros de corrida por 300 m. de extensión vertical y 1 a 5 m. de ancho, presentándose a manera de clavos métricos a decamétricos aislados e irregulares. Mineralógicamente y en leyes es similar a Vulcano.

MODELO DE MINERALIZACION PARA EL DISTRITO CERRO NEGRO-CATEMU

La mineralización de tipo Cerro Negro se habría formado según la siguiente secuencia y con las características a continuación descritas.

En primer lugar se depositó la Formación Las Chilcas, de origen volcánico y continental fluvial, con por lo menos 4 niveles lagunares intercalados. Los niveles lagunares se habrían formado luego de un relleno súbito de la cuenca, en la interfase entre los ambientes fluvial de canal (proximal) y fluvial a lagunar de llanura (distal). Estos horizontes formaron rocas permeables y en algunos casos permitieron la deposición de brechas laháricas en ambiente lagunar, las que resultaron posteriormente magníficas receptoras de mineral. El enterramiento de la secuencia estratigráfica fue adecuado como para permitir la formación de bitumen en los horizontes lagunares, actualmente observables en las calizas bituminosas y en los fósiles con carbón en lutitas. En segundo lugar,

intrusiones lávicas andesíticas, muy probablemente extensiones del arco volcánico Las Chilcas del oeste, intruyeron la secuencia estratigráfica. Esto se hace evidente puesto que los sills incrementan su potencia y número en dicha dirección. Las intrusiones de este tipo comúnmente presentan estructura peperítica al contacto con determinados horizontes de roca sedimentarios, además de abultamientos en los contactos y también deforman a las rocas circundantes. Esto sugiere fuertemente que la secuencia estratigráfica fue intruida cuando se encontraba en estado semiconsolidado y rellena de fluidos. Este tipo de ocurrencias es conocido y ha sido descrito en la literatura. Cas & Write (1992) indican que las peperitas comúnmente ocurren debido a la intrusión de magmas en sedimentos saturados en agua. Boulter (1993) describe el mismo fenómeno para el yacimiento Río Tinto y para el Golfo de California y observaciones similares se han hecho en cuencas mesozoicas de Chile (Mina Consuelo; Dávila et al. 1994) y Perú (Ica; J. Injoque observación personal), lo cual sugiere que este fenómeno es bastante común para este tipo de ambientes volcánicos. Las características de la secuencia estratigráfica (niveles lagunares formados por relleno súbito de cuenca, rocas rellenas de fluidos y con deformación plástica) tanto como de los intrusivos lávicos, sugieren una cuenca de subsidencia rápida.

Posteriormente, quizá desde los centros volcánicos que generaron a estos intrusivos, se generaron soluciones hidrotermales ricas en cobre, las que también migraron lateralmente y hacia arriba a través de horizontes permeables, fallas y contactos litológicos,

depositando luego sus metales en zonas favorables. Los horizontes permeables más favorables dentro de la estratigrafía habrían sido los niveles lagunares y las brechas laháricas, en los que siempre se encuentra indicios de mineral de Cu, en tanto que los contactos intrusivos pudieran haber sido los contactos litológicos más favorables, ya que es al contacto del Sill Cerro Negro con la Brecha Diablo en el caso de Cerro Negro, así como de intrusivos diversos con la Brecha Catemu en el caso de los Mantos de Catemu es donde mejor se da la mineralización económica. Las fallas en cambio podrían haber sido los canales de circulación verticales más eficientes, tal como lo atestiguan las vetas y su relación con los mantos a los que cortan. Ahí donde una veta corta a un manto, se produce un cuerpo potente, el cual se adelgaza a medida que la distancia entre la veta y el manto se hace mayor, sugiriendo esto una fuerte relación de las vetas como canales alimentadores de los mantos.

El origen magmático de estas soluciones no es claro a partir de las evidencias de campo, pero las razones isotópicas de S obtenidas en torno a +10‰ en baritinas del distrito sugieren un origen magmático para las soluciones hidrotermales (Munizaga et al. 1994). En cambio los valores de 15.6‰ y -21.2‰ de los sulfuros de Portales y Cerro Negro respectivamente, sugieren interacción de las soluciones hidrotermales con las capas rojas oxidantes a través de las cuales circulaban, reforzando lo antes sugerido en relación a la migración de estas soluciones.

La deposición del mineral de Cu probablemente ocurrió debido a la re-

acción de las soluciones hidrotermales con la materia orgánica. Munizaga et al. (1994) así lo sugieren en el mismo trabajo reforzando lo observado en las asociaciones de materia orgánica con la presencia o proximidad de menas de Cu. En tal sentido, es posible que el fluido presente originalmente en la Brecha Diablo hayan sido hidrocarburos en vez de agua, los que al reaccionar con las soluciones hidrotermales calientes habrían precipitado calcita, sulfuros y carbón actualmente observables, sellando definitivamente la brecha (M. Zentilli, comunic. personal). De ser esto así, la intrusión del Sill Cerro negro habría ocurrido muy cercana en el tiempo a la mineralización. En tal sentido, estas mineralizaciones definirían un evento tardivolcánico, probablemente cenomaniano, considerando la edad de las rocas volcánicas implicadas. Por otra parte la asociación de minerales de metamorfismo regional tales como prehnita y pumpellita a menas de cobre en los alrededores de Los Mantos de Catemu sugieren además simultaneidad de estas mineralizaciones con el metamorfismo regional.

Las asociaciones minerales y las texturas de relleno comunes a estos minerales, sugieren bajas temperaturas de formación. Esto se refuerza y es compatible con los valores isotópicos de S que sugieren bajas temperaturas de formación para estos sulfuros, en el rango de 250° C a 150° C (Munizaga et al. 1994). El carácter infiltracional de estos minerales es la clave del por qué es difícil encontrar grandes mineralizaciones de este tipo, pues las soluciones hidrotermales solo habrían rellenado trampas existentes en la secuencia estratigráfica, no generando sus propios espacios abiertos, como si

ocurrió con mineralizaciones de mayor temperatura como El Soldado.

Finalmente en una etapa posterior intruyó la Monzonita Cerro Blanco, la cual produjo una aureola de metamorfismo de contacto a su alrededor y mineralizaciones de tipo skarn de cobre o del tipo Vulcano, hacia las afueras de esta aureola definiendo un evento mineralizador santoniano. Los lugares favorables a este tipo de mineralizaciones fueron horizontes de brecha permeables, fracturas, fallas y contactos de intrusivos de pórfido diorítico-andesítico. La mineralización de tipo Vulcano sería un evento metamórfico de contacto o skarn, asociado a stocks más tardíos del santoniano y de mayor profundidad y temperatura. Un yacimiento similar es el Sauce en Cabildo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las Cía. Minera Cerro Negro S.A. y la Minera Anaconda S.A. por las facilidades de trabajo brindadas para la realización del presente trabajo. Se agradece también a los Sres. Francisco Munizaga, de la U. de Chile y Marco Zentilli de la U. de Dalhousie, Halifax, Canadá por sus sugerencias e interés en el tema, el cual se investiga como parte del Proyecto IGCP 342 y al colega Eugenio Rodríguez por sus sugerencias. Así mismo se agradece al Dr. Graham Carman por la su ayuda con el abstract, a Leonidas Chávez por sus sugerencias con el metamorfismo de Cerro Blanco y a Waldo Vivallo por la revisión del texto y sus valiosas sugerencias para mejorarlo.

BIBLIOGRAFIA

- Aguirre, L., Levi, B. & Nystrom J. O. (1989): The link between metamorphism, volcanism and geotectonic setting during the evolution of the Andes. In: Daly, J. S., Cliff, R.R. & Yardley, B. W.D. (eds.), Evolution of Metamorphic Belts, Geological Society Special Publication N. 43, pp. 223-232.
- Araya, M. (1988): Estudio geológico-minero, Area 3, C. M. Cerro Negro, V Región, Cabildo, 2 Tomos.
- Arévalo, C. (1991): Facies, Asociaciones de facies y paleogeografía del Miembro Pitipeumo de la Formación Las Chilcas, Distrito Cerro Negro, V Región. Universidad de Chile, Dpto. de Geología y Geofísica, Taller de Título II.
- Boulter, C. (1993): Comparison of Río Tinto, Spain, and Guymas Basin, Gulf of California. An explanation of a supergiant massive sulfide deposit in an ancient sill-sediment complex. *Geology*, v. 21, 801-804.
- Camus, F. (1985): Los yacimientos estratoligados de Cu, Pb-Zn y Ag de Chile, en: Geología y recursos minerales de Chile, Univ. de Concepción, Frutos, J., Oyarzún, J. & Pincheira, M. eds. p. 547-635.
- Camus, F. (1990): Geological characteristics of stratabound deposits associated with lacustrine sediments, Central Chile, in: Stratabound Ore Deposits in the Andes, L. Fonboté, Amstutz, G.C., Cardozo, M., Cedillo, E. & Frutos, J. Springer-Verlag, Berlín, Heidelberg. P. 449-462.
- Cas, R. & Wright, J. (1992): Volcanic successions modern and ancient. A geological approach to processes, products and successions. Chapman & Hall, London.
- Dávila, A.; Dobbs, F. & Sumita, M. (1994): Geología y mineralización en Mina Consuelo, VII Congreso Geológico Chileno, Actas Vol II, pp. 791-793.
- Elgueta, S., Hodgkin, A., Rodriguez, E. & Schneider, A. (1990): The Cerro Negro Mine, Chile: Manto-type Copper Mineralization in a volcanoclastic environment, in: Stratabound Ore Deposits in the Andes, L. Fonboté, Amstutz, G. C., Cardozo, M., Cedillo, E. & Frutos, J. Springer-Verlag, Berlín, Heidelberg. p. 463-471.
- Hodgkin, A. & Elgueta, S. (1986): Estudio geológico-minero del Distrito Cerro Negro Sur y Oeste, V Región. Geostudios Ltda. Stgo.
- Hodgkin, A. & Elgueta, S. (1987): Estudio geológico-minero del área Norte de Qda. Pitipeumo. Distrito Minero Cerro Negro, V Región, Geostudios Ltda. Stgo.
- Levi, B. (1969): Burial metamorphism of a Cretaceous volcanic sequence west of Santiago, Chile. *Contrib. to Min. and Petrol.*, Vol 24, pp. 30-49.
- Munizaga, F.; Reyes, J. & Nystrom, J. (1994): Razones isotópicas de S de los sulfuros del distrito minero de Cerro Negro: un posible indicador de los depósitos estratoligados de Cu hospedados en rocas sedimentarias lacustres. *Revista Geológica de Chile*, Vol. 21, N° 2, pp. 189-195.

