

## GEOLOGIA Y GENESIS DE LA MINERALIZACION CUPRIFERA DEL SECTOR DE CALETA COLOSO, AL SUR DE ANTOFAGASTA

SERGIO ESPINOZA R.

Univ. Norte, Depto. Geociencias, Casilla 1280, Antofagasta.

### RESUMEN

La Formación Caleta Coloso (Jurásico Superior-Cretácico Inferior) aflorante en la Cordillera de la Costa, en las cercanías de Antofagasta, comprende dos unidades principales: un miembro inferior constituido por brechas y conglomerados aluviales y un miembro superior formado por areniscas rojas, finas. Estas sedimentitas fueron depositadas en una cuenca elongada N-S, que se extendió paralelamente a la costa actual entre Mejillones y Caleta Coloso, donde se desvía hacia el este, penetrando en el continente. La Formación Caleta Coloso sobreyace, discordantemente, al Complejo Volcánico La Negra y está cubierta, concordantemente, por sedimentitas marinas de la Formación El Way (Neocomiano).

En los conglomerados basales de la Formación Caleta Coloso se encuentran algunos pequeños yacimientos de cobre, estratiformes, filonianos o complejos. En ellos se presentan, como minerales oxidados, atacamita, chalcantita, cuprita y menor cantidad de crisocola. Calcosina es el único sulfuro encontrado y el principal mineral de ganga es yeso. Esta mineralización está cementando la matriz de brechas conglomerádicas, cuyos clastos no están mineralizados.

Sobre la base de evidencias de terreno y estudio de la paragénesis mineralógica, se concluye que esta mineralización es de origen exótico.

La mena y la ganga fueron precipitadas de aguas freáticas, que contenían iones de sulfato, cloruro y cobre. La fuente principal de estas soluciones fueron yacimientos de probable origen volcánogénico, asociados al Complejo Volcánico La Negra.

La calcosina habría sido formada, posteriormente, como respuesta a un ambiente reductor, durante la diagénesis de los sedimentos.

### ABSTRACT

The Caleta Coloso Formation (Upper Jurassic-Lower Cretaceous) comprises two main units: a lower member composed by alluvial conglomerates and an upper member formed by fine red sandstones. These sediments were deposited within a N-S elongated basin which extends, parallel to the coast, from Mejillones to Caleta Coloso where it deviates to the east and penetrates into the continent. This formation unconformably overlies the La Negra Jurassic Volcanic Complex and is covered, conformably, by the marine sediments of El Way Formation (Neocomian).

In the basal conglomerates of the Caleta Coloso Formation there are several small copper deposits. The shape of these small orebodies vary from stratiform to vein and complex arrangements. The main oxide minerals present are: atacamite, chalcantite, cuprite and lesser amounts of chrysocolla. Chalcocite is the only sulphide identified and gypsum is the principal mineral of the gangue. This mineralization cements the matrix of the brecciated conglomerates, while the clasts are unmineralized.

On the basis of field evidences and studies of mineral paragenesis it is concluded that these mineralizations are of exotic origin.

The ore minerals and the gangue were precipitated from freatic waters containing sulphate, chloride and copper ions. Main sources for these solutions were copper deposits, probably of volcanogenic origin, associated to the La Negra Volcanic Complex.

Chalcocite was formed later, in response to a reducing environment, during the diagenesis.



## INTRODUCCION

Unos 10 km al sur de Antofagasta, en las cercanías de la desembocadura de la quebrada El Way, se encuentra una decena de pequeñas minas de cobre (Fig. 1).

De estas minas, hoy abandonadas, se han extraído sulfuros y minerales oxidados de cobre, que se encuentran cementando conglomerados de la Formación Caleta Coloso.

Debido a que la mineralización presenta una

tendencia estratiforme y carece de los minerales de ganga característicos de yacimientos hidrotermales, estos depósitos han sido llamados en trabajos anteriores: "Yacimientos singenéticos" de cobre de Caleta Coloso (Quezada 1970b). En el presente trabajo se ha pretendido llegar a conclusiones más exactas acerca del tipo y origen de la mineralización.

## MARCO GEOLOGICO

### GENERALIDADES

En las cercanías inmediata de la ciudad de Antofagasta, afloran rocas volcánicas de la Formación La Negra. En la zona de Quebrada El Way, estas rocas están cubiertas por sedimentitas continentales de la Formación Caleta Coloso, constituida por conglomerados, brechas y areniscas rojas. Esta serie ha sido erosionada y sobre ella descansan sedimentos marinos terciarios (Formación La Portada; Fig. 2). La erosión de las rocas continentales, poco cementadas, da al paisaje un aspecto espectacular, especialmente en el acantilado costero, en donde el drenaje dendrítico, que converge a la quebrada El Way, forma quebradas y cañones profundos, donde se exponen las brechas conglomerádicas de la Formación Caleta Coloso.

Hacia el suroeste de la quebrada El Way se encuentran rocas paleozoicas (Ferraris y Di Biase, 1978), que constituyen un pilar tectónico que vuelve a emerger en la península de Mejillones. El alzamiento de este pilar es posterior a la deposición de la Formación Caleta Coloso, ya que en ella no se encuentran clastos de las rocas paleozoicas.

### ESTRATIGRAFIA

#### Complejo Volcánico La Negra

Está constituido, principalmente, por una serie de volcanitas (10.000 m de espesor en su localidad tipo) de composición predominantemente andesítica y basáltica; (Formación La Negra; García, 1967). Es la unidad de mayor exposición en la

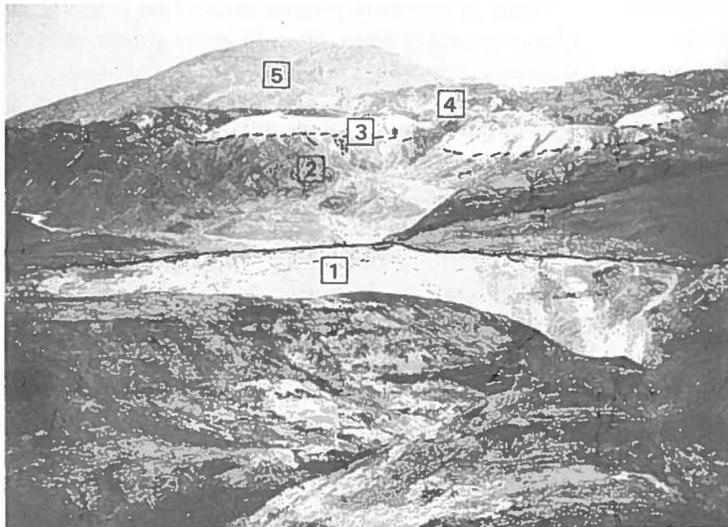


FIG. 2. Vista a lo largo del perfil P de NE a SW, desde un punto situado cerca de mina Esmeralda: (1) Miembro inferior (Formación Caleta Coloso); (2) Miembro superior (Formación Caleta Coloso); (3) Formación La Portada; (4) Rocas hipabisales del Complejo La Negra; (5) Intrusivos máficos, paleozoicos.

Cordillera de la Costa, en el Norte del país.

La base del Complejo Volcánico La Negra se interdigita con sedimentos liásicos (Tobar, 1966) y su techo, en la zona de Antofagasta, lo constituye la Formación Caleta Coloso (Jurásico Superior-Cretácico Inferior).

Algunos intrusivos subvolcánicos (gabros y dioritas de grano fino) están asociados a las volcanitas. Uno de estos cuerpos, que podría corresponder a las raíces de un aparato volcánico, aflora en la parte central-sur del área estudiada, intruyendo las volcanitas de la Formación La Negra. Al microscopio, estas rocas muestran una composición prácticamente idéntica a la de las lavas intruidas, pero una textura microcristalina hipidiomórfica. Aun cuando en la figura 1 estas rocas aparecen con una simbología diferente, consideraremos esta subunidad como constituyente del Complejo Volcánico La Negra.

#### Formación Caleta Coloso

Sobre el Complejo Volcánico La Negra se apoya, en discordancia de erosión, la Formación Caleta Coloso (Brügger, 1950). Se distinguen en ella dos miembros:

- a. **Un Miembro Inferior**, constituido por brechas conglomerádicas, mal clasificadas, con clastos de tamaño variable de hasta 30 cm de diámetro, que alternan con lentes de areniscas en la zona de la desembocadura de la quebrada El Way.
- b. **Un Miembro Superior**, constituido por limonitas y areniscas rojizas, finamente estratificadas que, cerca del techo de la formación, contienen intercalaciones conglomerádicas y calcáreas.

El espesor de la Formación Caleta Coloso es variable. En la zona de Cerro Moreno, al NNW del área de estudio, el miembro inferior posee intercalaciones de areniscas alcanzando, aproximadamente, 150 m de espesor. Mientras que el miembro superior se presenta con un espesor similar (200 m). En general, la deformación hace muy difícil apreciar los espesores reales. El espesor máximo del miembro inferior, medido en un perfil realizado por Carrasco *et al.* (1979) en la desembocadura de Quebrada El Way, alcanza 100 m para el miembro inferior y un espesor similar para el miembro superior. Harrington (*in* Muñoz Cristi, 1973) señaló un espesor de 200 m para rocas que podrían corresponder al miembro superior. En forma aproximada podemos indicar que el espesor total de la Formación Caleta Coloso no sobrepasa los 400 m.

La Formación Caleta Coloso aflora, además de su localidad tipo, en el lugar denominado Ensenada de las Lozas y al norte del aeropuerto Cerro Moreno.

Respecto a la edad de la Formación Caleta Coloso, sólo se puede decir que sobreyace a las rocas volcánicas, jurásicas, de la Formación La Negra e infrayace a estratos calcáreos de la Formación El Way, con fósiles del Hauteriviano-Aptiano (Alarcón y Vergara, 1964), lo que indica una edad comprendida entre el Jurásico Superior-Cretácico Inferior.

#### Formación La Portada

Cerca de la costa afloran, sobre los cerros más altos, estratos horizontales de coquinas, areniscas y conglomerados poco consolidados, que contienen bolones redondeados de hasta 2 m de diámetro, derivados de los granitoides paleozoico que afloran al sur de Quebrada El Way. En estos sedimentos no se ha identificado fauna fósil de valor cronológico, pero, por su litología y aspecto, es comparable a los de la Formación La Portada (Ferraris y Di Biase, 1978), expuesta en la costa al norte de Antofagasta y que, según dichos autores, tendría una edad comprendida en el lapso entre el Mioceno-Plioceno.

En parte, la erosión ha extraído el material calcáreo y sólo se conservan grandes bolones de rocas máficas, semienterrados en las cimas de los cerros, simulando afloramientos *in situ*.

#### ROCAS INTRUSIVAS

Desde la quebrada Jorgillo hacia el sur (Fig. 1), afloran gabros y piroxenitas de grano grueso que, al microscopio, muestran una textura hipidiomórfica granular, con plagioclasa del tipo labradorita ( $An_{54}$ ), parcialmente sericitizada y hornblenda basáltica.

Estas rocas, que aparecen también en la península de Mejillones, intruyen, fuera del área de estudio, a esquistos y filitas de las formaciones Bolfin (parte suroeste de la península de Mejillones y al sur de Caleta Coloso) y Jorgino (parte central y noroeste de la península de Mejillones) que, según Ferraris y Di Biase (1978), corresponderían al Paleozoico inferior.

Intrusivos más jóvenes aparecen en la costa, al sur de la quebrada Colosito, hasta la quebrada Jorgillo. Allí aflora un cuerpo plutónico de composición granodiorítica, que intruye a los gabros paleozoicos y está en contacto por falla con rocas

microdioríticas del Complejo Volcánico La Negra. Este intrusivo presenta un color rosado y, al microscopio, muestra textura hipidiomorfa granular de grano medio, con plagioclasa del tipo oligoclasa ( $An_{10-30}$ ), alterada a sericita, y biotita alterada a clorita (penina), encontrándose, en menor cantidad, hornblenda y cuarzo intersticial. Estas rocas podrían correlacionarse con los intrusivos jurásicos aflorantes en la zona de Caleta Bolfin-Cerro Bolfin, datados por el método Pb/ $\alpha$  en  $134 \pm 15$  y  $158 \pm 20$  Ma (Ferraris y Di Biase, 1978).

Hemos reconocido clastos correspondientes a esta unidad, en las brechas conglomerádicas de la Formación Caleta Coloso, al norte de quebrada Colosito.

#### ESTRUCTURA

La Formación Caleta Coloso constituye un monoclinial de rumbo general NW y manteo al SW en-

tre  $30^\circ$  y  $45^\circ$ . Las lavas de la Formación La Negra muestran un rumbo similar, pero se inclinan al NE.

Un intenso fallamiento y diaclasamiento afecta la zona de Caleta Coloso. Las estructuras de mayor importancia, como la falla que pone en contacto las granodioritas jurásicas con la Formación Caleta Coloso, entre las quebradas Colosito y Jorgillo (ver Fig. 1), tienen una orientación WNN. Es probable que la quebrada El Way y algunas quebradas menores estén controladas por fallas. Fallas más jóvenes y de poca corrida tienen orientación preferencial NS.

En la figura 1 se presenta un diagrama estadístico de orientación de fallas realizado por Aguilera *et al.* (1978).

En las fallas mayores, se advierte una salvanda importante, con una intensa alteración, por la que han circulado, en algunos lugares, soluciones que han depositado minerales oxidados de cobre.

### GEOLOGIA ECONOMICA

#### GENERALIDADES

El distrito minero de Caleta Coloso comprende un grupo de no más de diez pequeñas minas, que se distribuyen en los alrededores de la desembocadura de la quebrada El Way.

La cercanía a la ciudad de Antofagasta ha permitido, en forma esporádica, la explotación económica de estos yacimientos por pequeños mineros y pirquineros. En la actualidad, estas minas se encuentran abandonadas.

La mena consiste, invariablemente, en atacamita, crisocola, chalcantita y, en algunos casos, calcosina. En forma muy subordinada aparecen también malaquita, azurita y almagrado.

Las reservas del distrito no son bien conocidas. Según una estimación de Quezada (1970a) el mineral a la vista suma unas 35.000 toneladas. Una estimación grosera, basada en el modelo genético que se propondrá en este trabajo, arroja un potencial para todo el distrito de no más de 150.000 toneladas, con una ley media aproximada de 3% de Cu.

#### TIPOLOGIA

Una caracterización tipológica basada en la roca albergante, forma de mineralización y asociaciones mineralógicas, permite la siguiente subdivisión de las zonas mineralizadas:

**Grupo A.** En rocas del Complejo Volcánico La Negra.

**Tipo A-1.** Fallas mineralizadas (minas Damonet, Cachito, Colosito).

**Tipo A-2.** Chimeneas de brecha con piritita.

**Grupo B.** En conglomerados brechosos del miembro inferior de la Formación Caleta Coloso.

**Tipo B-1.** Estratiforme (minas Manuel Rodríguez, Don Ruca, Japonesita I).

**Tipo B-2.** Vetiformes (minas Culebra, Japonesita II).

**Tipo B-3.** Mixtos (mina Esmeralda).

**Grupo C.** En sedimentos evaporíticos, base del miembro inferior.

**Tipo C-1.** Evaporíticos.

Esta clasificación contiene todos los tipos de mineralización observados, independientemente de su significado económico.

#### DESCRIPCION DE ALGUNOS YACIMIENTOS

**Tipo A-1. (Mineralización vetiforme en el Complejo Volcánico La Negra). Mina Damonet.**

Junto a la falla de Quebrada Colosito, que pone en contacto la Formación Caleta Coloso con las

volcanitas jurásicas, se ubican, en las rocas jurásicas, tres minas que explotaron cuerpos vetiformes con minerales oxidados de cobre. Estas son Cachito, Damonet y Colosito.

Damonet, la mayor de las tres, presenta un laboreo N30°W de unos 65 m de largo y un chiflón aterrado, que comunica con labores inferiores. La estructura mineralizada principal es una falla N 40°W-vertical. Las intersecciones de otras fracturas secundarias constituyen también puntos de mineralización. La mineralización de cobre encontrado consiste en minerales de la zona oxidada, principalmente atacamita, crisocola, algo de malaquita y almagrado. La roca encajadora, que corresponde a un intrusivo diorítico subvolcánico, no está alterada hidrotermalmente, pero contiene abundante magnetita magmática diseminada y pequeñas inclusiones de calcopirita de cinco a diez micrones de diámetro. Algunas de estas inclusiones están dentro de los cristales de magnetita.

#### Tipo A-2 (Chimeneas de brecha con pirita). Mina Colosito.

A 50 m al oeste de mina Colosito, en rocas de composición diorítica, aflora una pequeña chimenea de brecha de sección elíptica, de 25 por 13 m y de aparente desarrollo vertical, donde se encuentra abundante pirita y una intensa silicificación y alteración argílica y limonítica. No se ha reconocido en ella minerales de cobre. Carrasco *et al.* (1979) observaron allí una cierta zonación de alteración, con un núcleo argílico circunscrito por

un anillo sílfceo, el que, a su vez, es bordeado por un halo de limonita roja en su parte externa.

#### Tipo B-1 (Mineralización estratiforme en la Formación Caleta Coloso). Minas Don Ruca, Esmeralda, Manuel Rodríguez.

Estas minas se han explotado mediante el método de caserones y pilares, los mantos mineralizados tienen aproximadamente 3 m de potencia y contienen atacamita, crisocola y cantidades menores de chancantita, azurita y calcosina.

La roca huésped es una brecha conglomerádica, de rumbo N40°W y manteo 25° al oeste, perteneciente al miembro basal de la Formación Caleta Coloso.

Los clastos, mal clasificados y angulosos, son de microdioritas y andesitas, la matriz es arenosa y el cemento está constituido principalmente por yeso, hematita y halita.

La mineralización se distribuye como cemento entre los clastos del conglomerado y de la matriz, introduciéndose, a veces, en microfracturas que afectan algunos clastos (Fig. 3). Pequeñas fallas y fracturas locales han servido asimismo para la depositación o removilización del mineral. Algunos lentes de arenisca están también mineralizados, observándose en ellos una disposición estratiforme de la mineralización (Figs. 4 y 5). Aguilera *et al.* (1978) encontraron en la mina Don Ruca, cierta elongación de zonas mineralizadas en el sentido noreste.



FIG. 3. Brecha conglomerádica del miembro basal, con cemento de yeso, atacamita y calcosina. La calcosina (en negro) se distribuye entre los clastos.

FIG. 4. Lentes de areniscas del miembro basal, con mineralización de atacamita y yeso: (1) mineralización estratificada; (2) mineralización en planos de fracturas (mina M. Rodríguez).



— En la mina Esmeralda, al parecer el mismo nivel mineralizado que el de la mina Don Ruca (Fig. 1), el fallamiento más intenso ha hecho que el mineral se distribuya en forma mixta siguiendo, en parte, niveles estratigráficos y, en otros casos, rellenando fallas y fracturas en forma desordenada. En esta mina no se encuentran lentes de arenisca y los clastos corresponden, en un 80%, a rocas microgranudas dioríticas. En dos de estos clastos se ha encontrado pirita y en varios otros ejemplares, abundante hematita diseminada. Estos minerales no están en la matriz. En la mina Esmeralda, sobre un accidentado nivel de erosión, se han depositado, en forma horizontal, coquinas de la Formación La Portada. Un paleocanal relleno con este material está cortando a un nivel mineralizado.

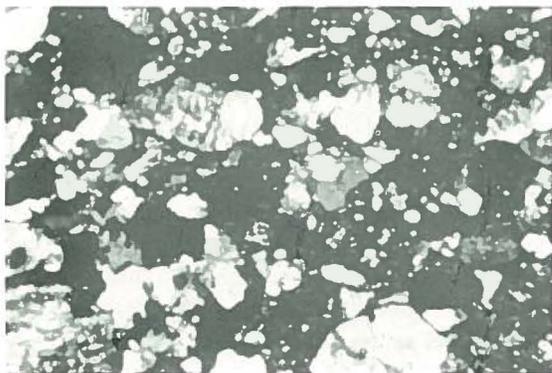


FIG. 5. Transparencia 10 x 4, nícoles paralelos, mostrando la distribución de la calcosina, como cemento de las areniscas, en los niveles clásticos más finos.

— La mina Manuel Rodríguez es la más conocida, por ubicarse al borde del camino que corre a lo largo de la quebrada El Way, a unos 600 m de la desembocadura de ésta. La roca huésped de conglomerado brechoso se presenta aquí alternando con lentes arenosos de potencias variables, normalmente inferiores a un metro. Estos lentes han actuado como zonas impermeables frente a las soluciones mineralizadoras. La mineralización en la mina Manuel Rodríguez está constituida por atacamita, crisocola y, en algunos sectores, calcosina.

Al microscopio, puede observarse que la mineralización de calcosina se encuentra cementando lentes arenosos y se distribuye en niveles ordenados de partículas finas, en tanto que la atacamita y el yeso aparecen en niveles porosos y microfracturas recientes (Fig. 5). Una muestra de arenisca de esta mina está constituida por clastos redondeados de lavas pilotaxíticas en un 10%, feldespatos (20%), cuarzo (5%) y un 10% de granos subredondeados de minerales máficos. La matriz constituye un 40% de la roca y está formada, principalmente, por minerales arcillosos.

#### Tipo B-2 (Mineralización vetiforme en la Formación Caleta Coloso). Mina Culebra.

A unos 500 m aguas arriba de la desembocadura de la quebrada El Way, en el flanco norte de una pequeña quebrada tributaria, se ubica una falla mineralizada (N43°W/80°SW), conocida como "veta Culebra".

La mineralización consiste en atacamita y crisocola que se encuentra relleno de la salvanda de la falla y la matriz de los conglomerados de las ro-

cas adyacentes. En algunas zonas se encuentra calcosina como cemento, especialmente abundante en algunos lentes de arenisca.

## GENESIS

La clasificación tipológica hecha en el capítulo anterior nos muestra que hay tres tipos fundamentales (A, B y C) que, aun cuando podrían estar estrechamente relacionados genéticamente, requieren de un análisis por separado.

### Grupo A

La mineralización albergada en rocas del complejo volcánico, es la única que, a juicio del autor, podría estar relacionada con fenómenos hidrotermales, probablemente derivados de los mismos procesos que originaron dichas rocas. No obstante, en el tipo A-1, esta proposición no ha podido ser verificada, ya que la explotación no ha alcanzado la zona primaria. El tipo A-2, en cambio, aunque no presenta una mineralización cuprífera, obedece a un fenómeno mineralizador de índole magmática y, en especial, ligado a fenómenos volcánicos.

La observación de evidencias de hidrotermalismo, ligado a fenómenos volcánicos en estas rocas, es importante para el modelo de génesis que se propondrá, más adelante, para los otros depósitos.

### Grupo B

**Tipo B-1.** La mineralización en los estratos de brechas conglomerádicas es la más difícil de explicar. La presencia de calcosina como mineral cementante, no se ajusta al ambiente oxidante y condiciones de presión y temperatura de formación de los conglomerados. Esto último y la existencia de mineralización vetiforme induciría a pensar en mineralización hipógena hidrotérmal, sin embargo, en primer lugar, no hay indicios de minerales primarios auténticamente hipogénicos, ni de alteración hidrotérmal. Se ha observado, además, que la mineralización en fracturas desaparece en profundidad (ejemplo: mina Japonesita II) y, finalmente, no se reconoce en la zona ninguna manifestación magmática posterior a la depositación de la Formación Caleta Coloso en 20 km a la redonda.

Lo anterior y un somero estudio sedimentológico de la roca huésped, nos ha hecho concluir que la mineralización es epigenética, pero no hipogénica, es decir, que habría habido una migración lateral de soluciones cupríferas que, en algún mo-

mento, con posterioridad a la depositación del sedimento, circularon por entre los clastos, depositando minerales de cobre como cemento de la roca.

Estructuras de paleocanales, ubicados dentro de los estratos de conglomerados, que cortan niveles ya mineralizados con crisocola y atacamita, indican que la mineralización ha tenido lugar muy poco después de la depositación de la roca huésped, probablemente por la acción de aguas freáticas, en las que el cobre pudo haber sido transportado en solución.

La asociación de atacamita, chalcantita, cuprita y crisocola, es compatible con ese ambiente, pero el caso de la calcosina requiere un estudio más profundo, ya que forma poliformos en condiciones diferentes de presión y temperatura.

El análisis de difracción de Rayos X de calcosina de la mina Manuel Rodríguez, realizado en los laboratorios de El Salvador, Codelco Chile, indicó que ella es de la especie djurleita, la cual puede formarse a presiones y temperaturas muy bajas, compatibles con un ambiente sedimentario (Roseboom, 1966; Grace y Cohen, 1979). Sin embargo, la formación de sulfuros requiere, en el caso de aguas freáticas, un ambiente reductor, que sólo podría darse en un ambiente rico en materia orgánica de lo cual no hay indicios en estos sedimentos. Los campos de estabilidad de la atacamita y de la djurleita son incompatibles entre sí, en términos de Eh y Ph, según el sistema Cu, S, Cl, H<sub>2</sub>O estructurado por Rose (1976). Esto significa que la calcosina no pudo formarse en el momento de la depositación de las sales de cobre a partir de soluciones oxidantes, sino que se habría formado posteriormente, cuando los sedimentos sufrieron la sobrecarga de los estratos suprayacentes y el medio fue más reductor. La calcosina pudo formarse, así, a partir de la atacamita y de óxidos de cobre, obteniendo el azufre de la anhidrita presente en el sedimento.

Respecto al origen de las soluciones mineralizadoras pueden analizarse dos posibilidades: el mineral ha migrado lateralmente desde otras facies con cobre del mismo sedimento, como se supone

que ocurre en los llamados yacimientos diagenéticos, o tiene un punto de origen subaéreo fuera del sedimento, desde donde han venido aguas meteóricas que lixiviaron depósitos cupríferos. La primera posibilidad no ofrece ninguna evidencia en su favor, en tanto que la segunda puede apoyarse con algunos antecedentes: los sedimentos que constituyen la Formación Caleta Coloso son propios de un clima muy árido y, en el momento de la mineralización, que ya hemos establecido, sólo pudieron albergar un efímero nivel de agua freática que venía de las mismas cumbres que estaban siendo erodadas, es decir, las rocas del Complejo Volcánico La Negra.

La únicas evidencias de mineralización cuprífera anteriores a Caleta Coloso, ubicadas en la zona, están en esas rocas (Grupo A) y no es aventurado suponer que hubo expuestos yacimientos volcanogénicos de cobre en las proximidades de la cuenca, tal como los que hoy se conocen a lo largo de la costa entre Tocopilla y Taltal.

Trabajos recientes (Definis, 1980; Palacios y Definis, 1981; Espinoza, 1981, 1982) han demostrado una relación estrecha entre los yacimientos denominados "tipo manto" (Ruiz *et al.*, 1965) y cuerpos subvolcánicos, de composición gábrica o diorítica, con texturas microfaneríticas.

Es interesante relacionar este hecho con la presencia de este tipo de rocas en el Complejo Volcánico La Negra, justamente en la zona de los yacimientos y, especialmente, el alto contenido de clastos microfaneríticos en los estratos mineralizadores, en contraste con el predominio de clastos porfiríticos y afaníticos fuera de la zona mineralizada.

En suma, se propone que soluciones de agua meteórica habrían lixiviado cobre de yacimientos expuestos en rocas de la Formación La Negra y lo habrían depositado en los sedimentos conglomerádicos, que ahora constituye el miembro basal de la Formación Caleta Coloso.

Los yacimientos formados mediante este simple proceso son llamados en Chile yacimientos exóticos (Fam, 1979).

Hay que señalar, sin embargo, que el contenido mineralógico es, en estos casos, algo diferente. La paragénesis de crisocola, atacamita, wad, yeso y copper-pitch, descrita para la mina Exótica (Mortimer *et al.*, 1978), se repite en Sagasca (Mayne Nicholls, 1977) y es prácticamente característica de todos los depósitos exóticos del Norte

de Chile (Fam, 1979). A diferencia de ellos, en Caleta Coloso, la crisocola está muy subordinada y no aparece la variedad manganesífera (copper-pitch o crisocola negra).

Si los yacimientos madres están de algún modo condicionando la paragénesis de los yacimientos exóticos, hay que señalar que, en el caso de los de Caleta Coloso, no se trataría de pórfidos sino de yacimientos volcanogénicos de cobre emplazados en lavas.

**Tipos B-2 y B-3.** Una vez aclarada la génesis de la mineralización estratiforme, los tipos B-2 (vetiformes) y B-3 (mixtos), quedan explicados como simple depositación de minerales transportados por el agua freática en fracturas precoces, o removilización posterior. El hecho que la mineralización vetiforme en las brechas conglomerádicas desaparezca en profundidad reafirma lo anterior.

### Grupo C

Intercalado entre el miembro inferior y el miembro superior de la Formación Caleta Coloso, se observa un estrato evaporítico de unos 10 m de espesor en el que predomina la anhidrita. Este manto ha experimentado un diapirismo incipiente, introduciéndose la anhidrita por zonas débiles de los estratos del miembro superior. En muchos lugares esta roca tiene color verde ciénaga y, a veces, verde más intenso.

En la lupa binocular puede verse, cuando la cristalización está mejor desarrollada, que este color se debe a la presencia de sales de cobre, principalmente atacamita. Es posible ver, también, en algunos afloramientos, micropliegues de arrastre en los finos estratos de sales cupríferas, que siguen con exactitud el plegamiento, mostrando así que la mineralización ha sido anterior al microplegamiento y, probablemente, contemporánea y co-genética, con las sales evaporíticas (Fig. 6).

Es claro que la presencia de este cobre, probablemente evaporítico, refuerza la idea de la mineralización de tipo exótico en los niveles inferiores, ya que demostraría la afluencia de cobre, durante algún tiempo, desde las rocas que estaban siendo erodadas (volcanitas de La Negra), a la cuenca de sedimentación.

Resumiendo lo anteriormente expuesto, se establece para la mineralización de cobre en Caleta Coloso el siguiente modelo:

Durante el Jurásico se formaron yacimientos de cobre relacionados con la actividad volcánica,

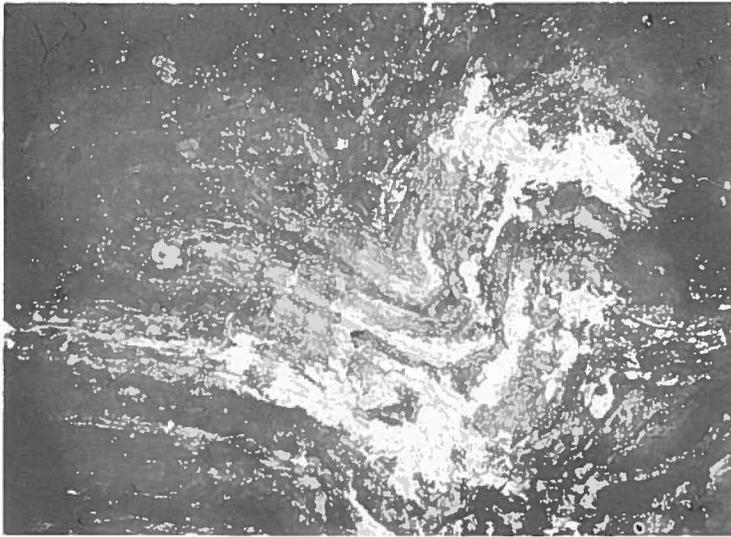


FIG. 6. Nivel de evaporitas con yeso, halita y sales de cobre (atacamita), que se intercala entre el miembro inferior y el miembro superior de la Formación Caleta Coloso, los niveles con Cu siguen el plegamiento.

que dio origen a la Formación La Negra (Espinoza y Palacios, 1982). A esta mineralización pertenecen, probablemente, las vetas de Damonet, Cachito y Colosito, y la chimenea de brecha de Colosito. Uno o más de estos yacimientos habrían sido erodados durante el Jurásico Superior, acumulándose los detritos, en la cuenca continental de Caleta Coloso. Habría sido entonces que se mineralizaron algunos niveles de las brechas conglomerádicas continentales, gracias a la acción del agua freática, que transportaba el cobre lixiviado de los yacimientos que estaban siendo erodados.

El cobre se habría depositado como atacamita y crisocola, principalmente cementando los con-

glomerados, y como sales evaporíticas junto a yeso. También se introdujo en fracturas y fallas precoces, formando algunas vetas.

Una ingresión marina se desarrolló a continuación depositándose, en aguas muy someras, los niveles más altos de la Formación Caleta Coloso. Luego, este mar se hizo profundo depositándose, en el Neocomiano, las calizas de la Formación El Way. Al ser sobrecargados los sedimentos mineralizados por el miembro superior de la Formación Caleta Coloso y, posteriormente, por la Formación El Way, parte de la mineralización cuprífera habría pasado a constituir un mineral más estable a esas condiciones, formándose djurleita.

#### CONCLUSIONES

Los yacimientos de cobre que se conocen en el área de Caleta Coloso no son importantes desde el punto de vista económico, pero sí desde el punto de vista de la génesis, dada su especial naturaleza.

La mineralización cuprífera, que se aloja en el miembro basal, se habría depositado como mineralización exótica, poco después de la formación del sedimento, y habría provenido de la erosión de yacimientos ubicados en el Complejo Volcánico La Negra, fuente de los clastos que constituyen el miembro basal.

La mena se depositó como atacamita, chalcantita, crisocola y cuprita, precipitando desde aguas

freáticas en las que se movilizó en solución, probablemente como sulfatos. Con posterioridad, debido al rápido entierro, o contemporáneamente, en ambiente más reductores, se habría formado calcosina del tipo djurleita.

La mineralización, que se distribuye ocupando fracturas, pudo ubicarse allí tempranamente o haber sido removilizada en virtud de la alta solubilidad de los minerales que contiene.

Dado que en todos los depósitos de tipo exótico la mineralización se encuentra, de preferencia, en la base de las brechas (Fam, 1979), se podría esperar más cobre en los niveles inferiores del miembro basal, aún no bien reconocidos.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó dentro del marco de actividades de investigación del Programa de Geología Económica del Departamento de Geociencias, Universidad del Norte, y se coordinó con dos seminarios dictados por el autor sobre el tema, en 1978

y 1979.

Los alumnos participantes en dichos seminarios fueron activos colaboradores en esta investigación y en su trabajo se basa parte de este artículo.

## REFERENCIAS

- AGUILERA, M.; CALVO, M.; CRESPO, H.; et al. 1978.** Geología y metalogénesis del sector Caleta Coloso. Informe de Seminario. Univ. del Norte, Depto. Geociencias (Inédito), 49 p. Antofagasta.
- ALARCON, B.; VERGARA M. 1964.** Nuevos antecedentes sobre la geología de la quebrada El Way. Univ. Chile, Inst. Geol., Apartado No. 26.
- BRUGGEN, J. 1950.** Fundamentos de la Geología de Chile. Inst. Geogr. Militar (Chile), 374 p. Santiago.
- CARRASCO, M.; CECIONI, A.; LAZCANO, A. 1979.** Geología y metalogénesis del sector Caleta Coloso. Informe de Seminario. Univ. del Norte, Depto. Geociencias (Inédito), 54 p. Antofagasta.
- DEFINIS, A. 1980.** Petrología, alteración y metalogénesis del intrusivo básico Buena Esperanza, Tocopilla, II Región, Chile. Memoria de Título, Univ. del Norte, Depto. Geociencias, 67 p. Antofagasta.
- ESPINOZA, S. 1981.** Esbozo metalogénico del distrito de Michilla, II Región, Chile. *In* Coloquio sobre volcanismo y metalogénesis, No. 1, Actas, p. 71-81, Univ. del Norte, Antofagasta.
- ESPINOZA, S. 1982.** Definición del tipo "diseminado infravolcánico de sulfuros de cobre". *In* Congr. Geol. Chileno, No. 3, Actas, Vol. 2, p. E201-E219. Concepción.
- ESPINOZA, S.; PALACIOS, C. 1982.** Metalogénesis de yacimientos de cobre en la Cordillera de la Costa entre Taltal y Tocopilla (22-26° S), Chile. *In* Congr. Latinoam. Geol., No. 5, Vol. 3, p. 51-63. Buenos Aires.
- FAM, R. 1979.** Mineralización de cobre del tipo "exótico" en el norte de Chile. *In* Congr. Geol. Chileno, No. 2, Actas, Vol. 2, p. C235-C263. Arica.
- FERRARIS, F.; DI BIASE, F. 1978.** Hoja Antofagasta, Región de Antofagasta. Inst. Invest. Geol., Carta Geocienc., 142 p. Antofagasta.
- GARCIA, F. 1967.** Geología del Norte Grande de Chile. *In* Simposium sobre el Geosinclinal Andino. Soc. Geol. Chile, No. 3, 138 p. Santiago, Chile, 1962.
- GRACE, J.D.; COHEN, L.H. 1979.** Effect of pressure on chalcocite phase transitions. *Econ. Geol.*, Vol. 74, No. 3, p. 689.
- MAYNE NICHOLLS, A. 1977.** Geología y mineralogía aplicada del yacimiento cuprífero de Sagasca. Memoria de Título, Univ. del Norte, Depto. Geocienc., 142 p. Antofagasta.
- MORTIMER, C.; MUNCHMEYER, C.; URQUETA, I. 1978.** Emplazamiento del yacimiento Exótica, Chile. *Rev. Geol. Chile*, No. 6, p. 41-51.
- MUÑOZ-CRISTI, J. 1973.** Geología de Chile. Pre-Paleozoico, Paleozoico y Mesozoico. Edit. Andrés Bello, 209 p. Santiago.
- PALACIOS, C.; DEFINIS, A. 1981.** Geología del yacimiento estratiforme Susana, distrito de Michilla, Antofagasta. *In* Coloquio sobre volcanismo y metalogénesis, No. 1, Actas, 82-91 p. Antofagasta.
- QUEZADA, R. 1970a.** Yacimientos de cobre tipo manto en la costa de la provincia de Antofagasta, Chile. *Inst. Invest. Geol.* (Inédito), 6 p. Santiago.
- QUEZADA, R. 1970b.** Yacimientos sedimentarios singenéticos de cobre en la Formación Caleta Coloso, Antofagasta. *Inst. Invest. Geol.* (Inédito), 8 p. Santiago.
- ROSE, A. 1976.** The effect of cuprous chloride complexes in the origin of Red Bed Copper Deposits. *Econ. Geol.*, Vol. 71, No. 6, p. 1036-1048.
- ROSEBOOM, E. 1966.** An investigation of the system Cu-S and some natural copper sulfides between 25° and 700° C. *Econ. Geol.*, Vol. 61, No. 4, p. 641-672.
- RUIZ, C.; AGUIRRE, L.; CORVALAN, J.; et al. 1965.** Geología y yacimientos metalíferos de Chile. *Inst. Invest. Geol.* 385 p. Santiago, Chile.
- TOBAR, A. 1966.** Estratigrafía del área Baquedano-Rencoret, provincia de Antofagasta. Memoria de Título, Univ. Chile, Depto. Geol., 69 p. Santiago.