



## SAN CRISTOBAL: DEPOSITO ESTRATIFORME DE MAGNETITA-Cu-Au-Ag DE LA FRANJA FERRIFERA DE ATACAMA-COQUIMBO, CHILE

L. Chávez B.\*

### INTRODUCCION

San Cristóbal está situado a 26 km al sur de La Serena en el segmento meridional de la franja ferrífera de Atacama-Coquimbo, entre los depósitos de hierro El Romeral y El Dorado. La presente caracterización geológica del depósito constituye un avance de resultados de un estudio en curso. Ha sido preparada sobre la base de mapeos de afloramientos, labores mineros y testigos de sondajes, realizados por el autor, así como del estudio de trabajos anteriores.

El depósito es un cuerpo estratiforme constituido en un 76% en volumen por magnetita. Presenta localmente concentraciones económicamente explotables de Cu, con Au y Ag recuperables como subproductos.

### MARCO GEOLOGICO REGIONAL

Tal como ocurre a lo largo de toda la Franja Ferrífera de Atacama-Coquimbo, en el segmento El Romeral-El Dorado se reconoce la presencia del sistema de dislocación tectónica de la Falla Atacama que afecta a secuencias volcano-sedimentarias del Cretácico Inferior, y a granitoides Cretácicos (Fig. 1). La secuencia de ro-

cas estratificadas alcanza espesores de 5 a 8 km. Es predominantemente volcánica bimodal (basalto, andesita-riolita, traquita), con intercalaciones sedimentarias marinas clásticas y carbonatadas impuras (1,3). Los granitoides de edades comprendidas entre 89 y 115 m.a. (3,4) corresponden a batolitos y stocks de composición intermedia de grano medio, en partes con variedades porfíricas. Estas intrusiones han causado el desarrollo de aureolas de contacto sobre las rocas estratificadas. La mayor parte de los depósitos minerales se presentan asociados espacialmente a sistemas intrusivo-aureola de contacto. Depósitos ferríferos de los tipos Carmen, El Algarrobo, La Suerte y Desvío Norte (5) coexisten con otros que por sus asociaciones minerales parecen afines con la metalogénia ferrífera. Entre estos últimos: vetas de apatita del distrito Los Fósiles; vetas cupríferas del distrito Tambillos, caracterizadas por la asociación anfíbola-apatita-magnetita-calcopirita-epidota-feldespato potásico, algunas de las cuales contienen además pechblenda y molibdenita; skarns ferríferos y cupríferos con magnetita abundante del distrito San Antonio (3,4), que se asemejan a los depósitos ferríferos tipo Bandurrias (5). Existen, por otra parte vetas y skarns cupríferos, en partes con contenidos de Co, sin o con escasa magnetita (distritos Tamaya, Cocinera, Tambi-

\* Geólogo Universidad de Chile, Consultor Independiente. Casilla 749 Correo La Serena.

llos y Huachalalume). En este último se registra además un caso de depósito de Ti (titanita diseminada en aptita)(3). Se conocen también depósitos singenéticos de Cu y Mn (distrito Las Jamelas)(3). Finalmente cabe mencionar la existencia de áreas con anomalías magnéticas y radiométricas.

### GEOLOGIA DEL DEPOSITO SAN CRISTOBAL

El yacimiento se ubica en una aureola de contacto desarrollada sobre la Formación Arqueros (3,1), y causada por un plutón no aflorante. De acuerdo con la extensión areal y las características de la zonación mineralógica y textural de la aureola, el plutón se ubicaría debajo del depósito y una de sus apófisis principales estaría emplazada a unos 1500 m al sur. En la aureola se han desarrollado diversas litofacies de rocas metamórficas y metasomáticas (Fig. 2). El grado máximo de metamorfismo registrado en metadesitas correspondería al de facies de rocas córneas de hornblenda. El depósito se halla encajado concordantemente entre metareniscas litofeldespáticas y metamargas negras del miembro 2 de la Formación Arqueros (Fig. 2). Otro manto de magnetita, de pocos metros de espesor en sus afloramientos, está encajado dentro de la unidad de metareniscas litofeldespáticas.

Son frecuentes los filones andesíticos de texturas finas afíricas y porfíricas, en partes de la variedad "ocoíta". Se presentan también 2 sills y un filón de diorita fina a media. Todos ellos son pre-mineralización. Un pequeño stock de diorita fina aflora a unos 400 m al oeste del depósito, en la entrada del nivel 210 de la mina San Cristóbal (Fig. 3).

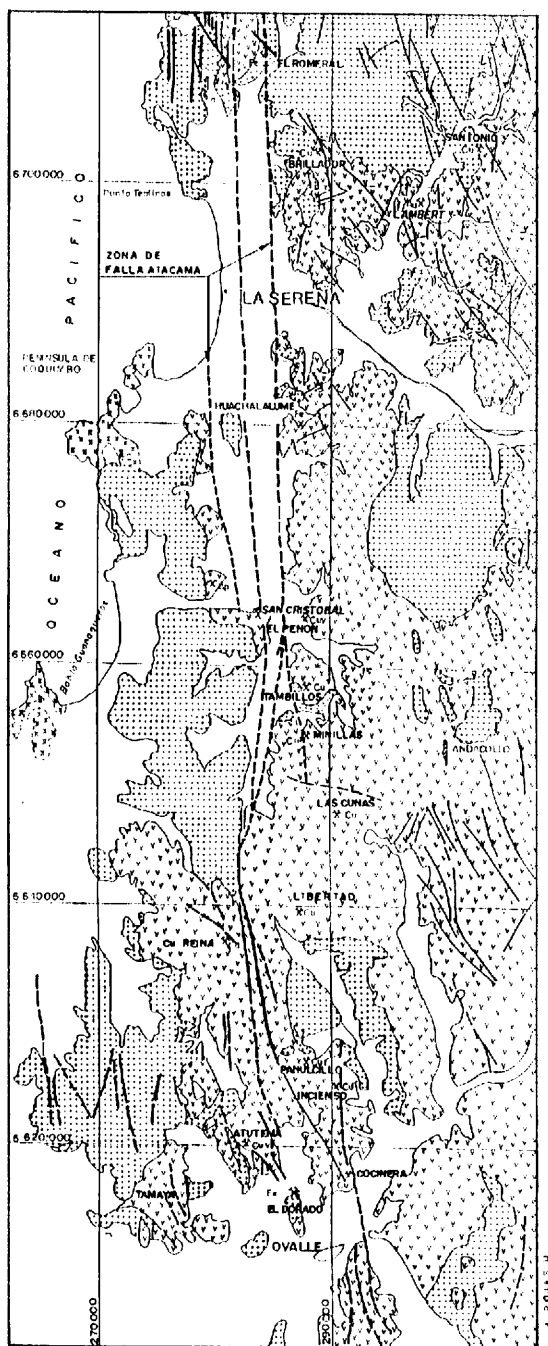
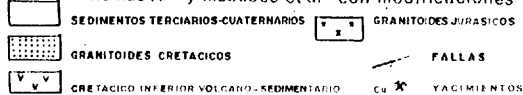


FIG. 1 MARCO GEOLOGICO REGIONAL. Adaptado de Thomas H.<sup>1</sup> y Moscoso et al.<sup>2</sup> con modificaciones



El depósito es un cuerpo estratiforme de orientación N100W/70E y de espesor variable entre 5 y 40 m. Se presenta dislocado por un sistema de fallas post-mineralización N100-300W/300-800W (Fig. 3). Los clavos cupríferos más ricos se presentan dentro del manto adosados a filones de orientación N850E/500-600S.

La siguiente zonación de volúmenes relativos de magnetita versus sulfuros más minerales no metálicos de ganga (silicatos, calcita, cuarzo), ocurre a través del espesor del manto.

**Tercio inferior:** 100% > magnetita > 50%, es un agregado cuasi macizo y localmente macizo de magnetita fino granular y en partes medio y grueso granular, con desarrollo de octaedros subhedrales de magnetita, en partes con textura de "naipe". Los restantes minerales ocurren en espacios discontinuos y en vetillas.

**Tercio intermedio:** 50% > magnetita > 30%, conformando con los restantes minerales agregados de formas irregulares.

**Tercio superior:** Magnetita < 30%, amplio predominio de sulfuros más minerales de ganga no metálica, conformando agregados medio y finos granulares granoblásticos y porfidoblásticos, con fábrica bandeada aparentemente relicto de estratificación.

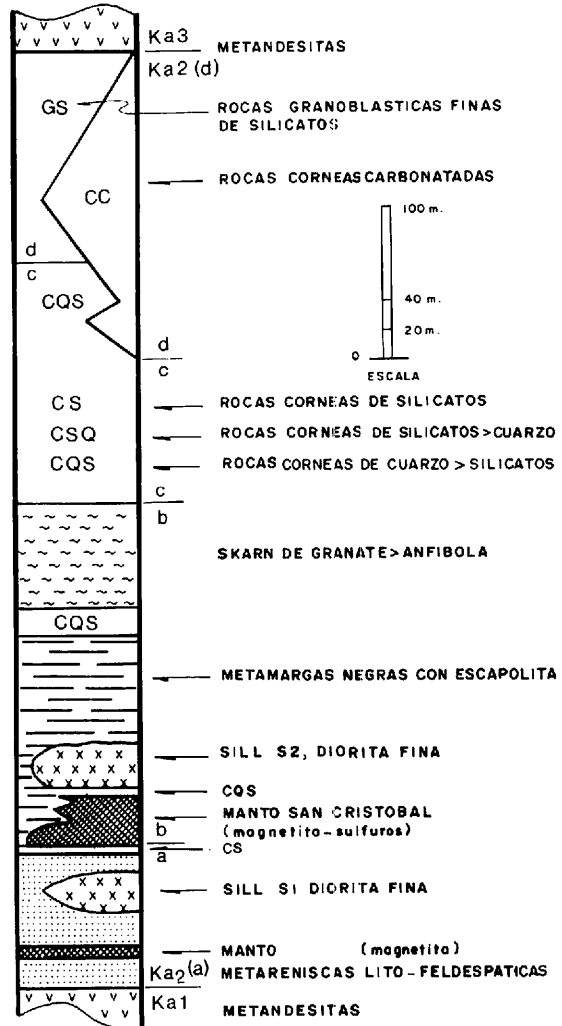


FIG. 2 SECCION GENERALIZADA DE LA FORMACION ARQUEROS EN AREA YACIMIENTOS<sup>NO</sup> CRISTOBAL

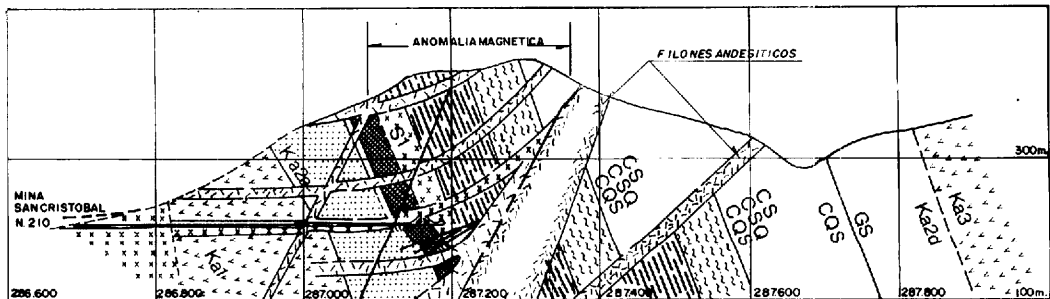


FIG. 3 SECCION GEOLOGICA ESTE-OESTE POR EL YACIMIENTO SAN CRISTOBAL

Los sulfuros se presentan diseminados, en vetillas, y en lentes y bandas discontinuas paralelas a la estratificación. Concentraciones económicas de cobre se presentan en estas 3 zonas.

Una primera paragénesis de alteración metasomática anhidra de metamargas negras está representada por granate, relativamente escaso. Le sigue una paragénesis de magnetita, acompañada por pirita, actinolita y escapolita. De ésta etapa actinolita es el mineral de ganga más abundante. Calcopirita, único mineral cuprífero, está asociado a una paragénesis hidrotermal posterior que incluye también cuarzo, feldespato potásico, biotita, epidota y clorita, siendo este último el mineral más abundante de esta etapa. Una última paragénesis hidrotermal incluye la asociación melnicovita-calcita-ceolita.

Magnetita en forma de diseminación y relleno de fisuras se presenta exclusivamente en las unidades localizadas estratigráficamente debajo del manto San Cristóbal (Ka1, Ka2a) y en algunos tramos de la secuencia de skarn granatífero que integra la unidad Ka2b (Fig. 2), en este caso conjuntamente con pirita, pirrotita y calcopirita. Un halo de sulfuros (pirita, pirrotita, blenda, calcopirita) en forma de diseminación y relleno de vetillas se desarrolla en el miembro 2 de la Formación Arqueros. Anfíbola verde se presenta en forma de nidos, vetillas y desarrollos de skarn anfibolítico, a través de los 3 miembros de la Formación Arqueros. Escapolita se desarrolla abundantemente en forma de porfidoblastos en la secuencia de metamargas negras que integra la unidad Ka2. Localmente se encuentran agregados pegmatíticos de apatita en skarn de granate y en vetas con

anfíbola verde, magnetita, cuarzo, epidota y clorita.

#### CARACTERIZACION QUIMICA Y ECONOMICA

El manto San Cristóbal presenta la siguiente composición química global en porcentajes de peso: 47,66 Fe total, 45,11 Fe magnético, 0,22 P, 4,6 S, 12,8 SiO<sub>2</sub>, 2,6 CaO, 2,7 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0,37 Na<sub>2</sub>O, 0,58 K<sub>2</sub>O, 0,06 Ti, 0,01 V, 0,14 Mn, 0,33 Cu, 0,15 g/t Au y 7 g/t Ag (estimada). Su contenido de Fe magnético es equivalente a un 62% y aproximadamente a un 76% de magnetita en peso y volumen respectivamente.

En su parte conocida el depósito contaría con recursos del orden de  $2,5 \times 10^6$  ton. De ese total del orden de  $650 \times 10^3$  ton corresponden a mineral con leyes de cobre económicas. El depósito ha sido explotado por cobre en una extensión de 200 m de corrida por 100 m de altura habiéndose extraído a la fecha del orden de  $600 \times 10^3$  ton de 1,8% Cu insoluble, 0,35 g/t Au y 15 g/t Ag. Los cuerpos explotables presentaron espesores de hasta 20 m, con tonelajes del orden de decenas de miles de ton.

#### DISCUSION: FILIACION GENETICA Y TIPOLOGICA DEL DEPOSITO.

De acuerdo con la anterior descripción, San Cristóbal presenta características geológicas que avalan su filiación genética con la metalogenia de la franja ferrífera de Atacama-Coquimbo, si bien difiere de los tipos de depósitos hasta ahora definidos en ella (5). Se parece mucho al tipo Bandurrias por la asociación de magnetita con minerales de skarn, pero se diferencia de él por su carácter polimetálico. El mayor grado de semejanza parece tenerlo con

los "skarns anfibolíticos de Cu-Fe" de la costa central de Perú (6): idéntica mineralogía, si bien en éstos el contenido de magnetita parece ser menor, similar ambiente tectónico y la misma edad. San Cristóbal puede ser considerado como depósito tipo skarn por su localización dentro de un sistema intrusivo-aureola de contacto, por la asociación de sus minerales metalíferos con ganga de silicatos de Ca, Fe, Mg, Al (anfíbola-granate) y escapolita, de origen metasomático, y por su localización estratigráfica en un horizonte de rocas carbonatadas a las cuales reemplazaría metasomáticamente. Sin embargo, en este momento no puede descartarse que la génesis de este depósito sea más compleja y que estén involucrados también procesos magmáticos como los propuestos para explicar la génesis de los depósitos tipo Kiruna (7). En tal caso, el tercio inferior de magnetita cuasi maciza del manto San Cristóbal podría corresponder a un filón manto de magnetita, y sus tercios restantes podrían ser producto del reemplazo metasomático de metamargas negras, por magnetita anfíbola y escapolita, constituyendo por lo tanto un skarn. El cuerpo ferrífero así constituido habría servido posteriormente como roca favorable para la deposición de calcopirita, oro y plata, a partir de soluciones hidrotermales póstumas, del sistema magmático-hidrotermal ferrífero y polimetálico.

#### AGRADECIMIENTOS

Se agradece a COMINOR S.A. su autorización para dar a conocer este trabajo, y a los colegas S. Espinoza y J. Oyarzún, las sugerencias para su redacción final.

#### REFERENCIAS

1. Thomas H., 1967: Geología de la Hoja Ovalle, provincia de Coquimbo. Inst. Invest. Geol. Bol. Nº 23.
2. Moscoso R., Nasi C., Salinas P., 1982: Hoja Vallenar y parte norte de La Serena. SERNA-GEOMIN, Carta Nº 55, 100 p. Santiago.
3. Aguirre L., y Egert E., 1970: Cuadrángulo Lambert (La Serena), provincia de Coquimbo. Inst. Invest. Geol. Carta Nº 23, 28 p.
4. Ardila R., 1993: Génesis de los yacimientos de cobre tipo skarn en el distrito minero de San Antonio y el yacimiento Panulcillo, IV Región, Chile. Tesis para el grado de Doctor en Ciencias, Mención Geología, Universidad de Chile. 234 p.
5. Espinoza S., 1990: The Atacama-Coquimbo Ferriferous Belt, Northern Chile, in Strata Bound Ore Deposits in the Andes. L. Fontboté, G.C. Amstutz, M. Cardoso, E. Cedillo, J. Frutos Eds. Springer-Verlang Berlin Heilderberg 1990.
6. Vidal C., Injoque J., Sidder G., Mukasa S., 1990: Amphibolitic Cu-Fe Skarn Deposits in the Central Coast of Perú. Economic Geology, Vol. 85, pp 1447-1461.
7. Geijer P., 1919: Recent developments of Kiruna. Sveriges Geol. Undersökning Nº 288, ser C, 22 p.