

CARACTERIZACION ISOTOPICA DEL AZUFRE DE LOS DEPOSITOS ESTRATOLIGADOS DE CU EN CHILE

SULPHUR ISOTOPE CHARACTERIZATION OF STRATABOUND COPPER DEPOSITS IN CHILE

Francisco Munizaga

Departamento de Geología, U. de Chile, Casilla 13518 Correo 21 Santiago-Chile

Marcos Zentilli

Department of Geology, Dalhousie University, Halifax, N.S. B3H 3J5 Canadá

ABSTRACT

The isotopic composition of sulphur in sulphides from stratabound copper deposits in Chile defines empirically two main groups: those hosted predominantly by volcanic and volcanoclastic rocks have $\delta^{34}\text{S}$ variable compositions straddling that of "magmatic" sulphur (range -10 to +10‰), whereas those hosted by mostly sedimentary strata are isotopically very light, with $\delta^{34}\text{S}$ values ranging from -10 to -40‰. These empirical groups, pose restrictions on the possible genetic models for these important deposits.

INTRODUCCION

Los numerosos depósitos estratoligados de Cu, conocidos en Chile como tipo "Manto", se disponen principalmente en la Cordillera de la Costa, emplazados en secuencias volcánicas mesozoicas.

De acuerdo a la litología de las secuencias estratigráficas que los hospeda los depósitos tipo "Manto" en Chile (Fig 1), han sido agrupados en dos tipos principales (Camus 1986;1990),



Fig. 1: Distribución geográfica de las principales yacimientos de Cu estratoligado "Manto". Triángulos: yacimientos relacionados a rocas volcánicas principalmente y cuadrados: yacimientos relacionados a rocas volcanoplástica y sedimentarias.

aquellos asociados a rocas principalmente volcánicas (de aquí en adelante MV) y aquellos asociados a rocas volcanoclásticas y sedimentarias (de aquí en adelante MVS). Los depósitos mas importantes del grupo MV, son entre otros, Mantos Blancos, El Soldado, Lo Aguirre, Carolina de Michilla, Buena Esperanza, mientras que los principales depósitos incluidos en el tipo (MVS), son aquellos pertenecientes a los distritos de Talcuna, Cerro Negro y Arqueros. En ambos

grupos de depósitos la mineralización de mena consiste en sulfuros de cobre y presenta contenidos menores de Ag, existiendo también entre los asociados a rocas sedimentarias algunos con sulfuros de Pb y Zn.

El objetivo de este trabajo es caracterizar los yacimientos estratoligados de Cu en Chile, en base a la composición isotópica de S y discutir el significado genético de esta caracterización.

CARACTERÍSTICAS GEOLOGICAS DE LOS YACIMIENTOS ESTRATOLIGADOS TIPO "MANTO"

Los yacimientos tipo MVS se disponen en secuencias de rocas sedimentario-volcánicas, que están afectadas por cuerpos intrusivos de tipo subvolcánico tales como diques y filones mantos principalmente. Los tipos litológicos que forman parte de las secuencias estratificadas que alojan este grupo de yacimientos (MVS) corresponde principalmente a areniscas, tobas, brechas volcánicas, limolitas, calizas, areniscas calcareas y lutitas carbonosas, (Espinoza, 1969; Llaumet y Olcay, 1977; Boric, 1985). Estas secuencias han sido interpretadas como depositadas en ambientes lagunares en cuencas intramontanas (Elgueta et al., 1990; J. Injoque, com. personal).

La génesis de estos yacimientos es actualmente interpretada como epigenética (Boric, 1985; Sato, 1984; Camus, 1990).

Los yacimientos tipo MV se encuentran mayoritariamente emplazados en secuencias jurásicas y cretácicas de la cordillera de la costa, los principales tipos litológicos son andesitas, basaltos y dacitas, y además intrusivos menores de tipo diorítico; sin embargo, a pesar de la estrecha relación espacial con intrusivos de mayor tamaño (Carolina de Michilla, Buena Esperanza), no ha sido posible establecer una relación clara de estos con el origen de la mineralización de mena. Estas secuencias volcánicas son mayoritariamente de origen subaéreo (predominantemente de carácter andesítico). La génesis de estos yacimientos ha sido interpretada también como epigenética, específicamente en El Soldado se le ha relacionado a la etapa terminal de la actividad volcánica (Holmgren, 1987).

MINERALIZACION Y ALTERACIÓN HIDROTHERMAL

Las rocas de caja de estos yacimientos presentan una alteración a escala regional, que se manifiesta por la asociación epidota-albita-zeolita-calcita-clorita-cuarzo principalmente, descrita por Losert (1974) y Palacios (1977), para las rocas jurásicas de la Formación La Negra en el norte de Chile y por Levi (1970) y Levi et al (1988), para las rocas cretácicas de Chile central.

La alteración hidrotermal asociada a los yacimientos del tipo MV es muy semejante a la alteración regional, pero es mas intensa y se encuentra restringida a las proximidades de los yacimientos. Ella se caracteriza por la presencia, en distintas proporciones y asociaciones paragenéticas, de albita-clorita-calcita-cuarzo y sericita en menor cantidad. (Camus, 1986).

En los yacimientos tipo MV, los principales minerales de mena corresponden a calcosina, bornita, calcopirita, hematita y pirita. La abundancia de los minerales de cobre es variable entre los yacimientos, por ejemplo: calcosina y bornita los mas abundantes en Carolina de Michilla (Palacios y Definis, 1981); pirita, calcopirita y bornita son los sulfuros predominantes en Mantos Blancos (Chávez, 1985).

La alteración hidrotermal que acompaña la mineralización en los yacimientos MVS es considerada de menor temperatura que la de los MV (Camus, 1990). Los minerales de ganga mas característicos son clorita, calcita, cuarzo, y en menor cantidad sericita albita y epidota (Olcay, 1978; Boric, 1985). Olcay (1978) ha observado en el yacimiento de Cerro Negro que la mineralogía de alteración es variable y

se distribuye de acuerdo a los distintos tipos litológicos que afecta.

La mineralización cuprífera que presentan los depósitos MSV es más bien simple y consiste principalmente de bornita, calcopirita y calcosina y además pirita, hematita, covelina, galena y magnetita entre otros.

ISOTOPOS DE S

Los datos publicados y los que aporta este trabajo se presentan en la Fig. 2. En los yacimientos tipo MV, los $\delta^{34}\text{S}$ muestran valores cercanos a cero con una variación entre -5,2 y + 2,1 ‰, mientras que en los yacimientos MSV los valores fluctúan entre -10 y -40 ‰

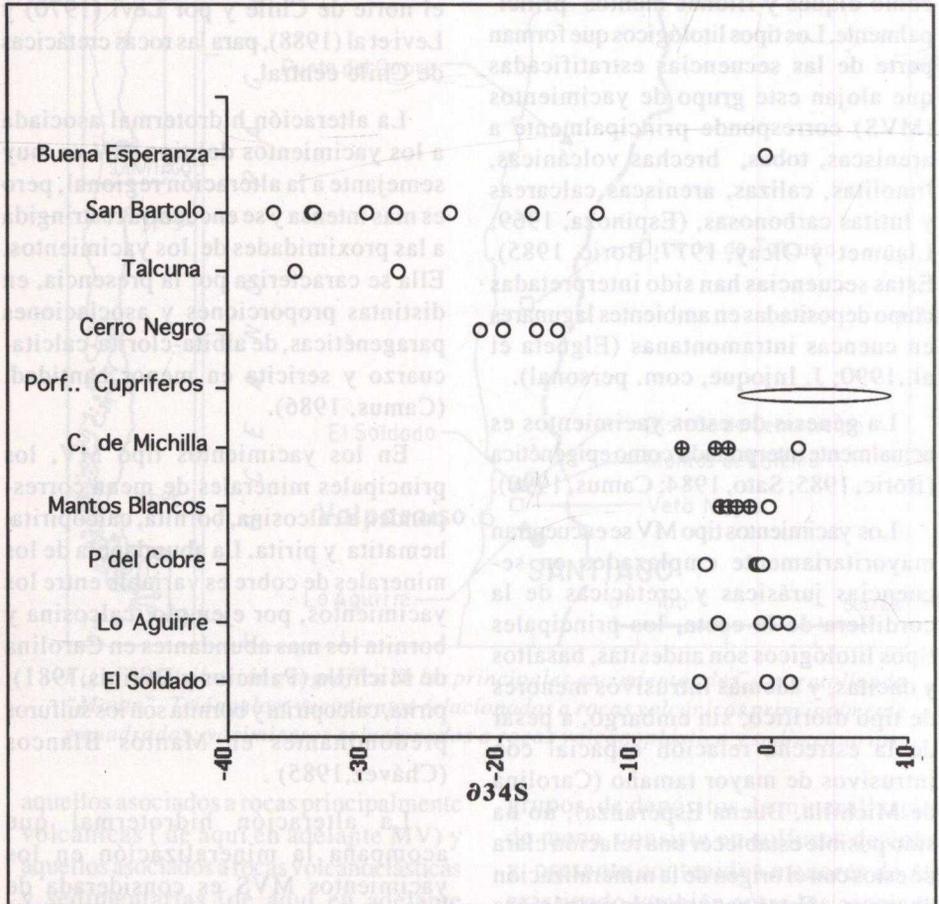


Fig. N.º2: Comparación de los valores isotópicos de S en yacimientos tipo manto asociados principalmente a rocas volcánicas. Círculos abiertos: datos obtenidos de Sasaki et al (1984); Holmgren (1987); Munizaga et al. (en prensa); Puig y Spiro (1988); Flint (1986). Círculos con cruz incluida, este trabajo.

DISCUSION DE LOS RESULTADOS ISOTOPICOS

La mayoría de los $\delta^{34}\text{S}$ en los sulfuros de los yacimientos tipo MV, presentan valores cerca de 0 ‰ o con pequeñas variaciones, que están dentro del rango de $\delta^{34}\text{S}$ encontrados en los sulfuros de los pórfidos cupríferos. Esta tendencia de las razones isotópicas de S refuerza la idea de que el S es principalmente de origen magmático. Dada la estrecha relación con las rocas volcánicas, estos valores de $\delta^{34}\text{S}$ podrían ser relacionados al magmatismo que da origen a las rocas volcánicas, y podrían interpretarse que el S es de origen magmático, ya sea por lixiviación del S de las rocas volcánicas o proveniente de soluciones hidrotermales de origen magmático. Los nuevos valores de $\delta^{34}\text{S}$ que se han obtenido en los sulfuros de los yacimientos tipo MVS, mantienen la tendencia de los ya publicados, es decir bastante fraccionado y livianos, lo que permite afirmar que los procesos que afectaron el S que forma los sulfuros de estos yacimientos fueron diferentes, que los MV.

Camus (1990), señala que la alteración hidrotermal de MSV es débil y la asociación mineralógica de alteración indicaría temperaturas menores de formación para los yacimientos MVS respecto a los yacimientos tipo MV. La temperatura es un factor importante en el fraccionamiento isotópico, ya que el fraccionamiento es mayor en minerales generados a bajas temperaturas. El signo de las razones isotópicas va a depender de los procesos involucrados en la génesis del yacimiento.

Los valores livianos para el $\delta^{34}\text{S}$, como los que presentan los yacimientos tipo MVS, son interpretados como generados por procesos de reducción biogénica mediante actividad bacteriana, sin embargo, debido al volumen de mineralización

de mena, parece poco probable que toda la mineralización de mena tenga ese origen.

Otro proceso que puede marcar la diferencia de las razones isotópicas entre ambos tipos de yacimientos, sería el grado de oxidación que afecta a las soluciones mineralizadoras. Rye y Ohmoto (1974), han mostrado en otros yacimientos, la importancia de la fugacidad de oxígeno en los procesos de fraccionamiento. Si el S que produce los sulfuros proviene del mismo reservorio en ambos tipos de yacimientos, entonces lo que puede producir las diferentes razones isotópicas de azufre, sería una variación de la fugacidad de oxígeno, en su ambiente de formación. Para el grupo MVS se sugiere un ambiente más oxidante debido a la presencia de capas tipo *red-beds* en las secuencias en que se emplazan.

En el caso de los MVS, las tendencias observadas en la composición isotópica de los sulfuros sería compatible con sistemas hidrotermales abiertos, donde las soluciones serían frías, ricas en sulfatos solubles de Cu y Fe, donde el aporte de S en forma de sulfato excede la razón de reducción bacteriana o inorgánica de las capas mineralizadas, precipitando el isótopo más liviano por reducción bacteriana, asociado a las capas con materia orgánica (por Ej. Hoy y Ohmoto, 1989).

En los MV, a diferencia de MVS, se trataría de fluidos hidrotermales que actuaron como sistemas cerrados, donde los sulfuros precipitan de soluciones de circulación relativamente profunda, a mayor temperatura y principalmente en forma inorgánica.

Aunque los datos existentes no permiten definir las características de las soluciones mineralizadoras, una hipótesis es que en ambos grupos de yacimientos, el S proviene de rocas ígneas con características

isotópicas "magnéticas", ya sea por oxidación de sulfuros diseminados o de aportes hidrotermales directos.

Los distritos mineros de Cerro Negro y Talcuna que presentan sulfuros con S muy livianos (Puig y Spiro 1988; Munizaga et al., en prensa) contienen materia orgánica, lo que es otra característica que los diferencia de los yacimientos del tipo MV. Aunque en El Soldado, se ha descrito materia orgánica, parece ser que en este yacimiento existen 2 eventos de mineralización (Boric, comunicación verbal). Esta materia orgánica sería responsable del fraccionamiento en los sulfuros de los MVS, pero su principal papel, fue la reducción de las soluciones oxidadas que generaron los sulfuros.

En San Bartolo, donde la mineralización ha sido interpretada por Flint (1986) como semejante a los yacimientos del tipo *Red-Bed*, el fraccionamiento de los sulfuros muestran valores más livianos que los de Cerro Negro y Talcuna, lo que podría explicarse por la influencia de un ambiente geológico diferente. En este yacimiento la mineralización ha sido interpretada como de tipo diagenética con una temperatura levemente superior a los 90°C.

Las características geológicas de los ambientes donde se emplaza la mineralización, potentes secuencias de coladas de lava para los yacimientos tipo MV mientras los MVS están emplazados en cuencas intramontañas de pequeña extensión, de tipo lacustre, donde se depositaron rocas sedimentario-volcánicas, permiten suponer que las soluciones que dieron origen a la mineralización en ambos tipos de yacimientos han tenido una historia diferente.

CONCLUSIONES

Los razones isotópicas de S en los sulfuros presentan un rango de valores marcadamente diferentes para los yacimientos de Cu tipo MV que para los MVS.

El fraccionamiento que presentan los isótopos de S en los yacimientos MVS, es compatible con procesos de mineralización de baja temperatura, lo que es concordante con las asociaciones mineralógicas de alteración hidrotermal que ellos presentan.

La composición isotópica de S parece indicar génesis diferentes para ambos tipos de depósitos, estas diferencias podrían explicarse considerando que las soluciones mineralizadoras que actuaron en ambos tipos de depósitos tenían distintas fuentes de S o ellas interactuaron en ambientes con diferente fugacidad de oxígeno, lo que explicaría el gran fraccionamiento en los yacimientos MVS.

La diferencia entre las composiciones isotópicas de S en los sulfuros de ambos tipos de yacimientos, estaría estrechamente ligado al ambiente geológico donde se desarrollan, como por ejemplo en los MVS, la presencia de un ambiente continental con capas rojas, que pudo conferir un carácter altamente oxidante a las soluciones que circularon en estos ambientes a diferencia de los MV, donde el ambiente que producían las rocas de caja era menos oxidante o más bien reductor.

La presencia de materia orgánica en las lutitas de Cerro Negro, parecen ser muy importantes en el control de la mineralización, asimismo en el distrito de Talcuna se han observado trazas de este material junto a la mineralización de mena. Esta materia orgánica, pudo

haber jugado un rol importante en la reducción de las soluciones mineralizadoras.

La ejecución de mas estudios de este tipo es importante para establecer la persistencia de esta diferencia isotópica y tratar de usar las razones isotópicas de S como una herramienta para diferenciar tipos de yacimientos estratoligados, cuyo potencial económico y modelo de exploración serían diferentes.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se hizo bajo el marco del proyecto N° 342 del PICG "Age and Isotopes of South American Ores" y fue financiado por el proyecto FONDECYT 1240-91. Se agradece por sus interesantes sugerencias a Waldo Vivallo del Depto de Geología, Universidad de Chile.

REFERENCIA

- Boric R., 1985. Geología de los yacimientos metálicos del distrito Talcuna, Región de Coquimbo. *Rev Geológica de Chile* N° 25-26, 57-75.
- Camus, F., 1986. Los yacimientos estratoligados de Cu, Pb, Zn y Ag de Chile. En: Frutos, J., Oyarzún, J. y Pincheira, M. (Eds.). *Geología y Recursos Minerales*, 2, 547-635.
- Camus, F., 1990. Geological Characteristics of Stratabound Deposits Associated With Lacustrine Sediments, Central Chile Stratabounds Ore Deposits. in the Andes. L. Fonboté, G. C. Amstutz, M. Cardozo, E. Cedillo and J. Frutos (Eds.). Special Publication N° 8 of the Society for Geology Applied to Mineral Deposits Springer-Verlag, 449-462.
- Chavez, W., 1985. Geological setting and the nature and distribution of disseminated copper mineralization of the Mantos Blancos district, Antofagasta Province, Chile. Ph.D. Thesis California California Univ., Berkeley, 142 p.
- Elgueta, S., Hodgkin, A., Rodriguez, E. y Schneider, A., 1990. The Cerro Negro Mine, Chile: Manto-Type Copper Mineralization in a Volcaniclastic Environment. *Stratabounds Ore Deposits in The Andes*. L. Fonboté, G. C., Amstutz, M., Cardozo, E., Cedillo and J. Frutos (Eds.). Special Publication N°8 of the Society for Geology Applied to Mineral Deposits Springer-Verlag, 463- 471.
- Espinoza, W., 1969. Geología del distrito cuprífero de Cerro Negro. Memoria para optar al título de Geólogo, Depto Geología, U. de Chile, 147 p.
- Flint, S., 1986. Sedimentary and Diagenetic Controls on Red-Bed Ore Genesis: The Middle Tertiary San Bartolo Copper Deposit, Antofagasta Province, Chile. *Economic Geology*, 81, 761-778.
- Holmgren, C., 1987. Antecedentes para un modelo genético del yacimiento El Soldado, V Región de Valparaíso. *Revista Geológica de Chile*, 30, 3-18.
- Hoy, L. D. y Ohmoto, H., 1989. Constraints for the genesis of redbed-associated stratiform Cu deposits from sulphur and carbon mass-balance relations. In: Boyle, R. W., Brown, A. C., Jefferson, C. W., Jowett, E. C. and

- R.V. Kirkham (Eds.). Sediment-hosted stratiform Copper deposits: Geological Association of Canada, Special Paper 36, 135-149.
- Levi, B., Nystrom, J. O., Padilla, H. y M. Vergara, 1988. Facies de alteración regional en las secuencias volcánicas mesozoicas y cenozoicas de Chile central. *Revista Geológica de Chile*, 15, 83-88.
- Llaumet, C. y Olcay, L., 1977. Geología y Evaluación de Mina Valparaiso. Cía Minera Cerro Negro (informe inédito).
- Losert, J., 1974. Alteration and associated copper mineralization in the jurassic volcanic rocks of buena Esperanza mining area (Antofagasta Province, Northern Chile). In: Klohn, E. (Editor), Coloquio sobre fenomenos de alteración y metamorfismo en rocas volcánicas e intrusivas, 51-85.
- Munizaga F., Reyes J.C., Nyström J.O., 1994. $\delta^{34}\text{S}$ de los sulfuros del distrito minero de Cerro Negro, ¿un sello característico? de los depósitos estratoligados de Cu asociados a sedimentos lacustres. Sometido a *Rev. Geológica de Chile*.
- Olcay, L. (1979). Geología alteración hidrotermal y mineralización cuprífera del yacimiento estratiforme de Diabolo Sur, Distrito Minero de Cerro Negro. *Revista Comunicaciones*, 27, 1-18
- Palacios, C., 1977. Metamorfismo regional en rocas volcánicas jurásicas en el norte de Chile. *Estudios Geológicos*, 33, 11-16.
- Palacios, C. y Definis, M., 1981. Geología del yacimiento estratiforme "Susana" distrito de Michilla, Antofagasta. Actas 1 Coloquio sobre volcanismo y Metalogénesis, 82- 91.
- Puig, A. and Spiro, B., 1988. The source of sulphur in polymetallic deposits in the Cretaceous magmatic arc, Chilean Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 1, 261-266.
- Rye, R. O., and Ohmoto, H., (1974). Sulfur and carbon isotopes and ore genesis: A review. *Economic Geology* 69, 826-842.
- Sasaki, A. Ulriksen, C. E., Sato, K., Ishihara, S., 1984. Sulfur isotope reconnaissance of porphyry copper and manto-type deposits in Chile and the Philippines. *Bulletin, Japan Geological Survey*, 35, 615-624.
- Sato, T., 1984. Manto type copper deposits in Chile: A review. *Bull. Geol., Survey Japan* 35, 565-582.