



GEOLOGIA Y ANTECEDENTES GEOMETALURGICOS YACIMIENTO CAMPAMENTO ANTIGUO, TERCERA REGION

Terrazas, M. ¹

INTRODUCCION

La actualización de la geología del yacimiento Campamento Antiguo, considerando el análisis de los antecedentes históricos ha permitido, ha permitido la formulación de un nuevo modelo geológico, geometalúrgico y de validación de leyes de cobre del depósito mineral. Este trabajo forma parte de la revisión y actualización anual del recurso mineral de la División Salvador de Codelco Chile, disponibles para los procesos de concentración de cobre a través de la flotación e hidrometalurgia.

El yacimiento de Campamento Antiguo ("Old Camp") se sitúa en la Provincia de Chañaral, III Región, 3,5 km al noreste del yacimiento El Salvador y 6 km al este de la ciudad homónima. Su altitud media es de 2.700 m s.n.m. y las coordenadas geográficas corresponden a 26°14' latitud sur y 69°33' longitud oeste.

GEOLOGIA DEL YACIMIENTO

En el área de emplazamiento de los yacimientos satélites al pórfido cuprífero El Salvador, pertenecientes al distrito minero Indio Muerto, se ubica el yacimiento pórfido cuprífero Campamento Antiguo, cuyas unidades litológicas corresponden a una secuencia volcanoclástica de composición andesítica, correlacionables con la Formación Llanta del Cretácico Superior. Estas rocas están intruidas por cuerpos subvolcánicos constituidos por riolitas, pórfidos cuarcíferos, brechas de turmalina, latitas y "pebble dikes". De ellas la unidad pórfido cuarcífero adquiere la mayor relevancia desde el punto de vista geológico-económico, ya que ha controlado los eventos de distribución de la mineralización hipógena y alteración (1).

La secuencia volcanoclástica de carácter extrusivo y composición andesítica, está constituida por aglomerados, brechas, andesitas y escasas intercalaciones de tobas. Es la unidad de mayor distribución en el área (del orden de 60%) y se manifiesta como la roca de caja del intrusivo pórfido cuarcífero y "roof pendant". Estas rocas volcánicas han sido divididas en dos unidades litológicas: una unidad volcanoclástica, que corresponde a las rocas más antiguas, cuyos afloramientos se sitúan en los márgenes oriental y occidental del área del yacimiento, y una unidad de andesitas que se distribuyen en la parte central del área y presentan una intensa alteración potásica y sericitica.

Las rocas intrusivas que afloran en el área de Campamento Antiguo constituyen aproximadamente el 40% del área e intruyen las unidades volcánicas descritas anteriormente y, de acuerdo a sus relaciones de contacto, se definen en orden decreciente de edad: Riolitas, Pórfido Cuarcífero, Brechas de Turmalina, Latitas y "Pebble Dikes" (1). La unidad riolítica se distribuye en los márgenes oriental y occidental del área, donde afloran cuerpos filonianos de dirección noroeste sin continuidad espacial entre ellos, intruyendo rocas volcanoclásticas sin generar efectos metamórficos. El pórfido cuarcífero representa el cuerpo intrusivo de mayor relevancia, ya que se relaciona con la alteración y mineralización del yacimiento Campamento Antiguo; sus afloramientos han sido interpretados como un "ring dike" en torno al cuerpo riolítico de Cerro Pelado (2), ubicado inmediatamente al norte del área de estudio. Los afloramientos del pórfido cuarcífero ocurren como pequeños diques y apófisis mayores de forma cilíndrica, que intruyen indistintamente la roca de caja, unidades volcanoclástica, y filones riolíticos, generando distintos grados de alteración, desde una intensa biotitización hasta una débil propilitización. Macroscópicamente, el pórfido cuarcífero se caracteriza por presentar un color gris claro y una textura porfírica donde sobresalen abundantes ojos de cuarzo, cuyos fenocristales alcanzan hasta 5 mm en una masa fundamental principalmente silícea; se clasifica como un pórfido granodiorítico. Las características texturales, mineralógicas y evidencias de contactos litológicos verifican la existencia de dos fases de emplazamiento del pórfido: Un pórfido cuarcífero de fase temprana, que ocurre en forma elongada en sentido EW y contactos con las rocas de caja son nítidos y verticales; y un pórfido cuarcífero de fase tardía que intruye al anterior, y que

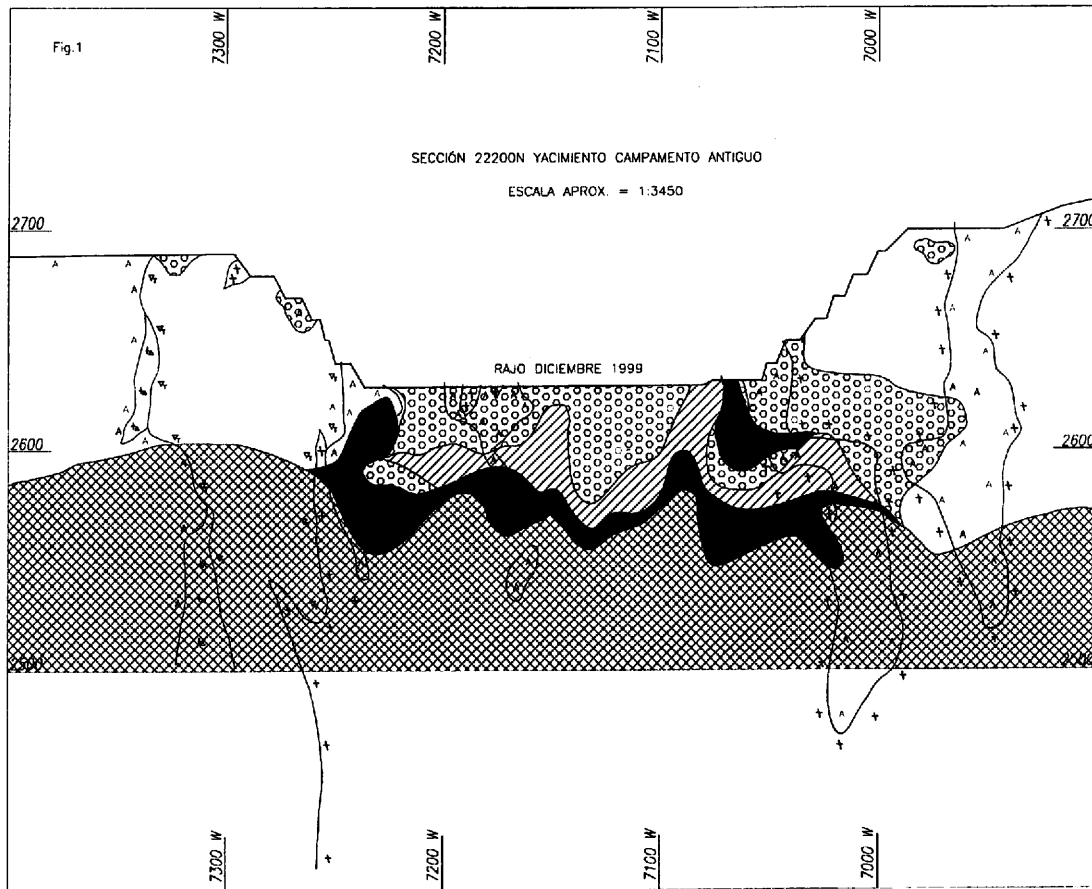
presenta afloramientos de una mayor extensión areal, con tendencia NS y se caracteriza por la carencia de vetillas de cuarzo, abundancia de fenocristales de biotitas de hasta 7 mm, parcialmente alterados a sericita; además, emplazados en esta roca y en las zonas de contacto con las rocas de caja, se observa, comúnmente, brechas de turmalina que presentan fragmentos de roca caja, de geometría angulosa a subredondeada, cementados por turmalina con hematita subordinada y trazas de calcita, distribuyéndose en forma aislada e irregular en el pórfido cuarcífero brechizado y unidades volcánicas; los contactos con las rocas de caja son graduales. Las latitas se distribuyen en forma irregular y restringida en los sectores marginales S y SW del área en estudio, como apófisis de rumbo NE y presentan un color gris oscuro y textura porfírica con abundantes fenocristales de plagioclasas débilmente reemplazadas por caolín, montmorillonita y escasa anfíbola; intruyen a la unidad volcanoclástica, filones riolíticos y brecha de turmalina, sin evidencias de metasomatismo en estas unidades de roca. Los "Pebbles Dikes" corresponden a escasos afloramientos pequeños y discontinuos, con espesores variables entre 2 y 4,5 m, corrida es desconocida; de rumbo N48°W y aparentemente subverticales; están constituidos por fragmentos de andesitas brechosas silicificadas, en menor proporción latita y pórfido cuarcífero; de formas geométricas ovaladas y tamaños que no sobrepasan los 20 cm; la matriz está formada principalmente por caolín.

En el área de Campamento Antiguo la asociación de minerales de alteración hipógena ha permitido definir cuatro zonas, que se disponen en forma concéntrica: un núcleo de alteración potásica y hacia sus márgenes, alteraciones argílica avanzada, sericítica y propilítica (1).

La zona de alteración potásica se manifiesta en el sector central del área, constituyendo un núcleo sobre el cual se disponen la alteración argílica avanzada y el halo sericítico. En el pórfido cuarcífero, el feldespato potásico metasomático reemplaza parcialmente a los fenocristales de plagioclasa de la masa fundamental. Las andesitas están biotizadas con una fina diseminación de biotita que impregna principalmente la masa fundamental. La zona de alteración argílica avanzada se dispone como una aureola irregular concéntrica, entre el núcleo potásico y la alteración sericítica; se desarrolla en el pórfido cuarcífero, andesitas blanqueadas y en la brecha de turmalina. Se caracteriza, principalmente, por la presencia de alunita asociada con sericita, localmente pirita y andalucita, que representan la asociación mineralógica más común. La zona de alteración sericítica se distribuye prácticamente en toda el área de Campamento Antiguo y se dispone como un halo concéntrico regular entre las alteraciones propilítica y potásica. Está constituida, esencialmente, por la asociación mineralógica sericita-cuarzo subordinado y en todas las unidades de rocas donde se ha desarrollado esta alteración, existe un reemplazo total o parcial de los feldespatos y plagioclasas a sericita. La zona de alteración propilítica se desarrolla principalmente en los márgenes oriental y occidental del área en estudio; en el sector oriental, afecta a las andesitas brechosas, cuya asociación característica está constituida por clorita, epidota subordinada y hacia el borde externo calcita restringida; hacia el sector occidental, afecta también a las andesitas brechosas en forma regular y con similar asociación mineralógica, pero se excluye la calcita.

La alteración supérgena se caracteriza por la presencia de caolín y montmorillonita, rellenando fracturas y reemplazando a los feldespatos. La mayor intensidad de la alteración supérgena se observa en el núcleo de alteración potásica y en la zona con alteración argílica avanzada. La zona lixiviada afecta y cubre gran parte de las rocas del área y corresponde a un nivel de amplia distribución, desarrollándose en profundidad hasta los 100 m promedio, afectando, indistintamente, al pórfido cuarcífero y a las andesitas. En esta zona predominan óxidos de hierro como limonitas, hematitas, jarosita y gohetitas que han reemplazados a sulfuros originales; también ocurren en forma restringida, arcillas con cobre, trazas de oxidados de cobre y presencia de cobre total en concentraciones de interés económico (3), que se atribuye a la ocurrencia de sulfuros relictos de origen hipógeno en las rocas de caja y huésped, las cuales han sido afectadas por esta alteración supérgena; los granos de sulfuros son microscópicos (5 a 10 micrones) de hábito anhedral a subhedral y se presentan encapsulados en cristales de cuarzo y/o silicatos frescos. Esta característica de la zona lixiviada, en la que se observa la presencia de cobre no sulfurado atrapado en silicato de aluminio-potasio, limonitas y silicato de aluminio-potasio-hierro, también ha sido mencionada en estudios posteriores (4). La zona de oxidación ocurre con manifestaciones superficiales de minerales oxidados de cobre mediante mantos (bolsones) restringidos, de 80 m de espesor promedio y de vetas subverticales controladas por estructuras de espesores entre 1 cm y 3 m, con rumbo preferencial N30°E, NS y N70°E y corridas de hasta 100 m. En el pórfido cuarcífero temprano, la roca huésped de la mineralización, estas estructuras constituyen vetas de alta ley; la removilización de los minerales oxidados de cobre ha producido en las rocas de caja y huésped, cuerpos de oxidados de cobre, por lo general de baja ley, a modo de bolsones ampliando la cobertura de oxidación. Los principales minerales oxidados de cobre son: brochantita, crisocola y "copper wad" y en menor proporción pseudomalaquita, rasleighita, libetinita y turquesa. La zona mixta está constituida por cuerpos mineralizados que ocurren en forma lenticular, restringida en el contexto de la zonación mineralógica global; corresponde a una zona de transición, donde coexisten oxidados y sulfuros de cobre en proporciones variables que se distribuyen, preferentemente, bajo la zona de oxidados de

cobre y sobre los sulfuros secundarios. La zona de enriquecimiento secundario, en el yacimiento, está definida por un cuerpo lenticular de 50 m de potencia como promedio, restringido a las unidades de roca pórfido cuarcífero y andesitas; donde la mineralogía de mena corresponde a calcosina pulverulenta y escasa covelina, reemplazando débilmente a pirita y calcopirita. El manto de enriquecimiento presenta un control litológico, delimitando dos bloques uno superior en las andesitas y otro inferior en el pórfido cuarcífero, observándose una diferencia de cota entre ellos del orden de 100 m (Fig. 1). La mineralización hipógena, en su mayoría removida en superficie por procesos de lixiviación, está constituida, en orden de abundancia, por calcopirita, pirita, magnetita, bornita y en menor proporción por tenantita, calcosina, molibdenita y covelina. En profundidad, los sulfuros primarios ocurren principalmente en vetillas tipo B, en menor proporción diseminada y en vetillas monominerales, comúnmente pirita (vetillas tipo D). En planta, el cuerpo mineralizado tiene una forma elíptica con su eje mayor orientado N30°W, alcanzando su máximo desarrollo entre los 180 y 350 m de profundidad. Los límites inferiores de la mineralización hipógena no han sido acotados a la fecha, no obstante se ha indicado que existe un acuñamiento en profundidad; pero los nuevos antecedentes aportados por nuevos sondajes, abren la posibilidad de ampliar el reconocimiento geológico en profundidad, donde eventualmente existiría un cuerpo mineralizado de alta ley (5). Asociado a la mineralización primaria de cobre se relacionan subproductos de oro, plata y molibdeno, en concentraciones de interés económico. El modo de ocurrencia de la molibdenita está restringido a vetillas tipo B en forma diseminada (Fig.1).



MODELAMIENTO GEOMETALURGICO

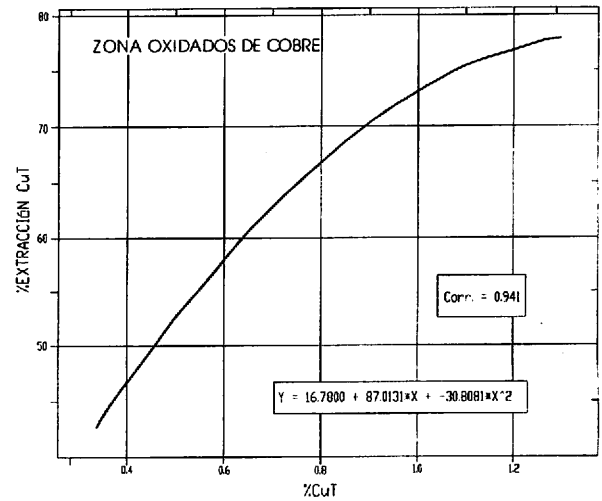
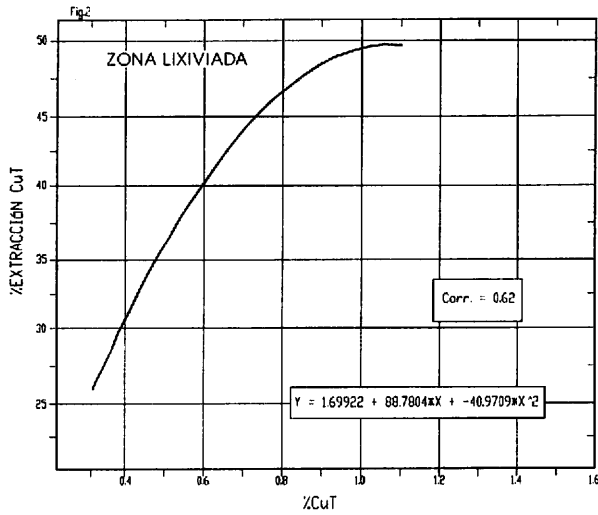
La explotación de yacimientos de cobre recuperable por métodos hidrometalúrgicos, depende en gran medida de la mineralogía de mena y ganga y del grado de liberación. Estos factores controlan y definen la factibilidad técnica de lixiviar zonas de mineral con características mineralógicas similares en botaderos, pilas, bateas y por agitación. Varios especialistas del tema plantean la importancia de los estudios mineralógicos, concluyendo que la mineralogía es la clave para la aplicación de procesos hidrometalúrgicos. A pesar de que hay muchos factores que afectan la lixiviación, los más relevantes corresponden a la mineralogía de la especie portadora de cobre, las especies de ganga y también el tamaño de la liberación. De esta manera, la caracterización mineralógica orientada a los procesos hidrometalúrgicos es de vital importancia para los esfuerzos de explotación, que buscan los objetivos más atractivos para procesar por LIX-SX-EW yacimientos que presentan concentraciones de minerales oxidados y sulfuros de cobre.

El modelamiento geometalúrgico propuesto (5) para evaluar y caracterizar el comportamiento metalúrgico de las diferentes unidades geológicas del yacimiento Campamento Antiguo, constituye una línea base y está sustentada en unidades que representan volúmenes de roca que han experimentado procesos geológicos similares con una identidad propia, de tal manera que el comportamiento metalúrgico y cinética de éstas sea uniforme. Por lo tanto, las unidades geometalúrgicas definidas en este estudio son correlacionables con las unidades del modelo geológico, las cuales están definidas tanto por la combinación de la variable litológica: pórfidos indiferenciados y andesitas indiferenciadas; como por la variable tipos de mineral: lixiviado, oxidados de cobre, mixtos, sulfuros secundarios y sulfuros primarios. Indudablemente, este modelo geometalúrgico a nivel de perfil, corresponde a un modelamiento orientativo, basado en características geológicas, extrapolación de prácticas y experiencia operacional. En consecuencia, posteriormente debería mejorarse, de acuerdo a nuevas investigaciones y observaciones, generando de esta manera una actualización del modelamiento geometalúrgico a nivel conceptual.

Para estas pruebas experimentales, de carácter preliminar, se ha considerado realizar pruebas de columnas, que con frecuencia presentan ciertas limitaciones de interpretación, como dificultad de balancear resultados, problemas de variabilidad de extracciones en pruebas efectuadas con el mismo tipo de material, reparos para explicar altos consumos de ácido y reacciones superficiales de equilibrio no esperadas. Otras pruebas adicionales corresponden a ensayos de curado e isoph.

De acuerdo a un plan de trabajo coordinado con profesionales de la Subgerencia Lixiviación, se programaron seis sondajes diamantinos de diámetro HQ, correspondientes a la campaña de sondajes 1998. El objetivo es realizar pruebas metalúrgicas con mineral representativo del yacimiento Campamento Antiguo, cuyos compósitos preparados en forma independiente, utilizando los rechazos de media pulgada de las muestras que se generan para análisis químico (6).

Los criterios geometalúrgicos se correlacionan con las unidades geológicas definidas en el modelamiento geológico, de tal manera que los compósitos preparados son representativos del yacimiento, a lo menos en esta etapa a nivel de perfil, incluyendo, además, la variable ley de cobre total por rangos. Esta permitió construir diagramas de dispersión de porcentaje de extracción versus cobre total para cada una de las unidades geometalúrgicas, de esta manera se obtuvieron proyecciones del comportamiento metalúrgico de los diferentes tipos de minerales procesados a escala industrial en las pilas de lixiviación ácida (Fig. 2)



REFERENCIAS

1. Godoy, S. 1983. Estudio Geológico del Yacimiento Satélite Campamento Antiguo. El Salvador. III Región. Memoria de Título (Inédito), Universidad de Chile, Departamento de Geología y Geofísica 113 p. Santiago.
2. Gustafson, L. ; Hunt, J. 1975. The Porphyry Copper Deposit at El Salvador, Chile. Economic Geology, Vol. 70, p.857-912.
3. Gálvez, W. 1974. Informe de trabajos de Exploración de la Zona Campamento Antiguo (Old Camp). CODELCO- CHILE, División Salvador, Superintendencia de Geología (Inédito), 16 p.
4. CIMM, 1996. Informe Final Ensayos Preliminares de Lixiviación en Columnas con Muestras de Afloramiento de Campamento Antiguo. Orden de Misión LIX - 005. Proyecto 934179. Preparado para Codelco Chile, División Salvador. (Inédito), 78 p.
5. Terrazas, M. 1998. Modelamiento Geometalúrgico a Nivel de Perfil del Recurso Lixiviable Yacimiento Campamento Antiguo. CODELCO-Chile, División-Salvador, Superintendencia de Geología. (Inédito), 25 p.
6. Terrazas, M. 1998. Caracterización Compósitos 1/2 Pulgada Pruebas Metalúrgicas Lixiviación Campamento Antiguo. Codelco Chile, División Salvador, Superintendencia de Geología. (Inédito), 16 p.