

Caracterización Química y Física del Mineral del Rajo Fortuna de Cobre. Lomas Bayas, Antofagasta - Chile

Jorge Campos¹, Mauricio Rubio¹ y Tihomir Domic²

(1) Superintendencia de Geología, Compañía Minera Lomas Bayas, Camino MINSAL Km 36 S/N – Sierra Gorda.

(2) Consultor Metalúrgico y de Ingeniería de Procesos, DAISA, Santiago de Chile.

jorge.campos2@glencore.cl

Resumen. Durante el 2014, se desarrolló un programa de caracterización geo-metalúrgica con los minerales del “Rajo Fortuna de Cobre”, de Compañía Minera Lomas Bayas. Para el desarrollo del trabajo experimental se contó con 197 muestras provenientes de sondajes aire reverso y diamantino.

El programa consideró el desarrollo de pruebas de laboratorio, orientadas a la caracterización de los minerales, incluyendo entre ellas la medición de los parámetros físicos, los contenidos químicos, una adecuada identificación mineralógica y la ejecución de pruebas de lixiviación en botellas.

Los resultados alcanzados durante el desarrollo de este trabajo, son los siguientes:

1. Los minerales presentan una tendencia natural a producir finos.
2. Las especies mineralógicas contenedoras de cobre más relevantes son la szomolnokita y la voltaíta, sulfatos de hierro donde el cobre ha entrado a reemplazar iones de hierro.
3. Los niveles de extracción de cobre son altos y en sintonía con los altos niveles de cobre soluble, tanto “en ácido” como “en agua”, y con una cinética de disolución particularmente alta.
4. Los consumos de ácido alcanzan niveles medios a bajos, debido a que una alta proporción de las impurezas solubles se encuentra en la forma de sulfatos solubles en agua.

1. INTRODUCCIÓN.

Actualmente la planta de proceso de Lomas Bayas está operando solo con el mineral del yacimiento Fortuna de Cobre, que por su alto nivel de compuestos solubles puede ser calificado como de alta complejidad metalúrgica. Por este motivo, la Superintendencia de Geología decidió actuar en forma proactiva, organizando un programa de trabajo que permitiera conocer anticipadamente el comportamiento geo metalúrgico del mineral, tanto para realizar planes que permitan tomar

medidas de control anticipado, como también poder cumplir con los planes de producción.

Para lograr este objetivo, se inició ya en 2013 un programa de caracterización geometalúrgica destinado a correlacionar las variables metalúrgicas - como la extracción de cobre, el consumo de ácido y el aporte de determinadas impurezas - con las variables geológicas del yacimiento, como la litología, las alteraciones y la mineralogía.

En el presente trabajo, se exponen las principales antecedentes y resultados obtenidos de las pruebas metalúrgicas, efectuadas principalmente durante 2014.

2. ANTECEDENTES GENERALES DE LA GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO FORTUNA.

Fortuna de cobre se ubica a 1600 m.s.n.m a 110 km al noreste de la ciudad de Antofagasta, está inmersa en un importante sistema plutónico, constituido principalmente por un batolito granodiorítico y cuerpos porfídicos menores de composición diorítica a tonalítica. La fuerte influencia tectónica asociada a un importante sistema hidrotermal generó la presencia de abundantes cuerpos de brechas, cuyo aporte de cuarzo, turmalina y sulfuros de hierro y cobre, fue fundamental en el desarrollo del yacimiento. En la figura 1, se muestra la relación de contacto entre los diferentes tipos de rocas presentes en el yacimiento. De acuerdo al modelo geológico vigente, se reconocen las siguientes unidades litológicas: Granodiorita, Pórfido y Brecha Sulfato.

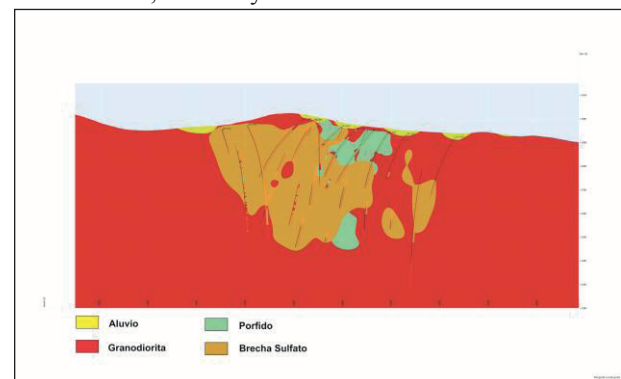


Figura 1.- Sección de Sector Central del Yacimiento.

2.1 Granodiorita

Es la unidad litológica más dominante de todo el distrito, como parte del batolito San Cristóbal. Su composición varía entre Granodiorita, Monzonitas Cuaríferas y Tonalita. En general, presenta una textura equigranular de grano medio. Ocasionalmente puede llegar a ser pseudoporfídica, por la ocurrencia de cristales de mayor tamaño en una masa cristalina más pequeña.

Constituye la “Roca Caja” del sistema, la cual está intruida por cuerpos porfídicos del Terciario Inferior, y parcialmente cubierta por depósitos sedimentarios modernos.

2.2 Pórfido

Los cuerpos porfídicos están relacionados a las zonas centrales del yacimiento, con una tendencia Noreste. Aunque su presencia en superficie es bastante clara, bajo ésta no presenta gran desarrollo, conformando elongadas cúpulas verticales, con proyección E-W y NE. También han sido reconocidos diques de orientación E-W y de hasta 5 metros de potencia, en la zona Oeste del yacimiento. Su composición es tonalítica con algunas variaciones dioríticas y monzoníticas cuaríferas, principalmente producto de diferentes grados de alteración. Su textura es claramente porfídica con desarrollo de fenocristales de gran tamaño, inmersos en una masa fundamental afanítica a microcristalina.

2.3 Brecha Sulfato

Corresponden a brechas hidrotermales ricas en sulfuros, que tienen una orientación preferencial E-W y se encuentran distribuidos en la parte central del yacimiento. La morfología de los cuerpos es tabular con disposición subvertical y pueden alcanzar profundidades de hasta 500 metros. Los cuerpos más potentes coinciden con intersecciones de estructuras principales (E-W y NE), las que favorecieron la circulación de fluidos hidrotermales ricos en sulfuros. Esta brecha crea una zona de influencia lateral que puede alcanzar los 30 metros por lado, que consiste en un grado de brechización menor o fracturamiento intenso.

Posee una textura típica de brecha, con clastos angulares a subangulares fuertemente alterados y tamaños de hasta 15 cm, inmersos en una matriz cristalina fina. Sin embargo, en la zona de influencia lateral existe una textura de fuerte fragmentación, con clastos abundantes de muy reducido tamaño y sin movimiento, cementados por minerales principalmente secundarios.

La brecha puede ocurrir tanto en Granodiorita, como en Pórfido. Por otro lado, la composición de sus clastos está influenciada principalmente por una fuerte alteración fílica y aporte de minerales supérgenos.

3. PROGRAMA DE CARACTERIZACIÓN.

A mediados de 2013 se efectuó un ejercicio de cuantificación e identificación de las muestras disponibles en la testigoteca de Lomas Bayas, buscando

que la disponibilidad de ellas cubriera la necesidad de que los resultados de la experimentación metalúrgica fuera representativa, en cuanto a la densidad requerida de muestras asociadas a cada fase de explotación de la mina. Así, se definió que se obtendrían las muestras de aire reverso desde tramos continuos de 15 metros – similar a la altura de los bancos de la mina – y con un grado de representatividad de 1 muestra cada millón de toneladas de mineral incluido en la fase 1 (cubo de 72 m por lado) hasta una muestra cada 4 millones de toneladas para los minerales de la fase 5 (cubo de 115 m por lado).

Este propósito se alcanzó razonablemente, permitiendo que se recuperaran 188 muestras de entre 5 y 10 kg cada una desde testigos de aire reverso y otras 9 de mucho mayor masa (entre 50 y 100 kg) desde testigos de diamantina.

Asimismo, se buscó que las 197 muestras mencionadas precedentemente fueran geológicamente identificadas por litología, alteración y tipo de mineralogía distintiva.

En la Tabla N° 1, siguiente se señalan las características generales de las 197 muestras ya señaladas.

Tabla N° 1.- Distribución Litológica de Muestras por Fase de Explotación.

FASE DE EXPLOTACIÓN	MUESTRAS N°	LITOLOGÍA		
		BRECHA	GRANODIORITA	PÓRFIDO
FASE 1	35	28	4	3
FASE 2	79	67	11	1
FASE 3	48	26	20	2
FASE 4	25	17	7	1
FASE 5	10	6	4	0
TOTAL	197	144	46	7

4. DESARROLLO EXPERIMENTAL.

Cada una de las 197 muestras fue caracterizada químicamente de acuerdo a las pautas de análisis del laboratorio de Lomas Bayas, considerando los contenidos de cobre y de todas las impurezas solubles relevantes en el mineral, como es el caso del hierro, aluminio, calcio, sodio, potasio, magnesio, manganeso, cloro, azufre y nitrato.

En paralelo, se midieron parámetros de carácter físico, como es el caso del perfil granulométrico, la gravedad específica del mineral, los parámetros de chancabilidad (índice de Bond y abrasión), el índice de plasticidad y la conductividad hidráulica.

A continuación, se desarrollaron pruebas de lixiviación en botellas a iso pH, buscando medir la extracción de cobre, el consumo de ácido y el desarrollo de la cinética frente al ataque ácido, en función del tiempo.

Finalmente, se desarrolló también una detallada caracterización mineralógica de los minerales. Se analizaron las 197 muestras, en todos los casos usando la

técnica de análisis Qemscan. De estas muestras, 56 (las de menor ley de cobre soluble en agua) fueron analizadas en Santiago y las otras 141 fueron analizadas en laboratorios de Canadá. En particular, se buscaba identificar todos los sulfatos posibles y discriminar entre los distintos tipos de arcillas presentes.

5. RESULTADOS REPORTADOS

Las leyes de cobre reportadas por los análisis químicos (Figura 2) se encuadraron dentro del perfil de leyes registrado a través del modelo de bloques para el yacimiento, por lo que se entiende que las muestras obtenidas para el desarrollo experimental fueron razonablemente representativas. Se pudo observar como resultado relevante que los minerales asociados a la Fase 1 de explotación muestran que gran parte del cobre se presenta como “soluble en ácido” (óxidos), en contraposición con el del resto de las fases siguientes, que presentan una mayor participación de cobre “soluble en agua” (sulfatos).

Por otro lado, los contenidos medidos de las impurezas totales y las solubles “en agua” y “en ácido”, permiten inferir preliminarmente que gran parte de ellas – a excepción del hierro, el magnesio y el calcio – no son relevantes para justificar el consumo de ácido que afecta al mineral. Solo tienen influencia al momento de dimensionar los contenidos de impurezas circulantes entre las etapas de lixiviación y extracción por solventes, particularmente el contenido de sulfatos. Los contenidos de nitratos y cloruros también están dentro de rangos razonables y no se vislumbran problemas asociados a su presencia.

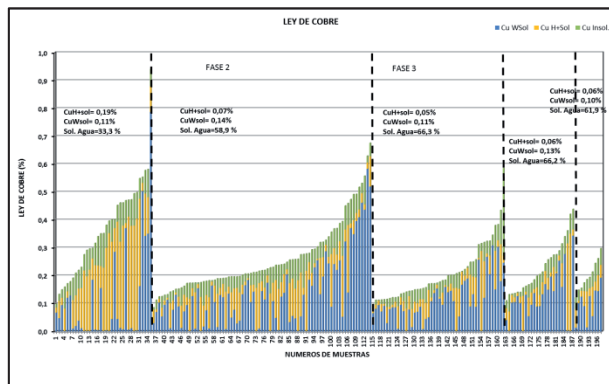


Figura 2.- Resultados de leyes de cobre

En cuanto a las pruebas de lixiviación en botellas, las extracciones de cobre reportadas a partir de ellas (base “cobre soluble en ácido”), se presentan muy parejas y con valores bastante altos, en promedio por sobre el 90% (Figura 3). Asimismo, la cinética mostró ser particularmente rápida, en concordancia con el alto contenido de cobre en la forma de sulfatos.

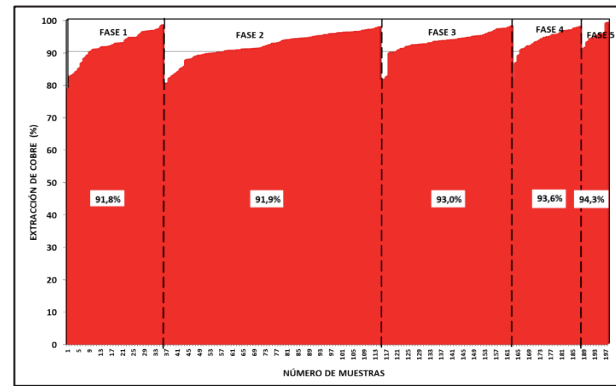


Figura 3.- Extracción de Cobre a pH 1,5

Los consumos de ácido, por otro lado, son bastante parejos dentro del contexto de las distintas fases, aunque se aprecia una tendencia a que el consumo suba a partir de la Fase 2 en adelante. Los rangos máximos deberían estar entre 11 y 16 kg/t, como consumo neto (Figura 4).

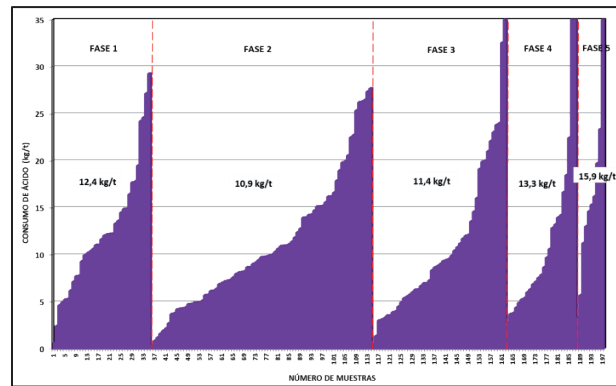


Figura 4.- Consumo Neto de Ácido a pH 1,5

Respecto de las características físicas, los análisis granulométricos del material bajo la malla 10 (2 mm) dejan en evidencia que éstos contienen una participación muy alta de material fino y ultra-fino. En este caso, los minerales bajo esas condiciones presentan casi un cuarto de la masa bajo la malla 400 (38 um).

En cuanto a las otras características físicas del mineral, como la conductividad hidráulica, se pudo constatar una gran variabilidad en los valores encontrados y un decrecimiento paulatino de los valores medios en el tiempo (Figura 5).

Finalmente, todos los parámetros químicos y físicos medidos tuvieron un punto de confluencia en el análisis mineralógico de las 197 muestras. En cuanto a los resultados de las 56 muestras analizadas en Santiago (típicamente óxidos), se puede señalar que el 90% de la masa sujeta a inspección corresponde a silicatos y un 5% a óxidos, hidróxidos y sulfatos. El resto son cantidades menores de sulfuros, carbonatos, fosfatos y cloruros.

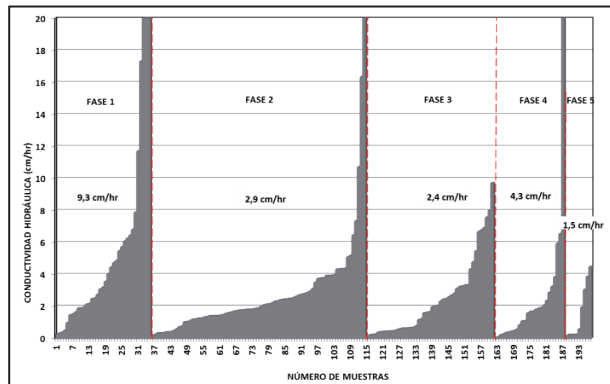


Figura 5.- Conductividad Hidráulica del Mineral

Los óxidos e hidróxidos identificados, por otro lado, en un 95% corresponden a óxidos de hierro (67,9%) y a rutilo (29,3%). Los sulfatos fueron solo identificados como tales, sin distinguir la clasificación de ellos (96,7%), salvo la identificación de la chalcantita (3,3%). Los resultados de los 141 muestras restantes (típicamente sulfatos) – analizadas en Canadá – muestran una gran consistencia general con la información proporcionada por las 56 muestras, aunque mucho más detallada. En este caso es posible indicar que el 83% de la masa sujeta a inspección corresponde a silicatos (Figura 6) y un 15% a óxidos, hidróxidos y sulfatos. El resto corresponde a sulfuros, carbonatos, fosfatos y cloruros.

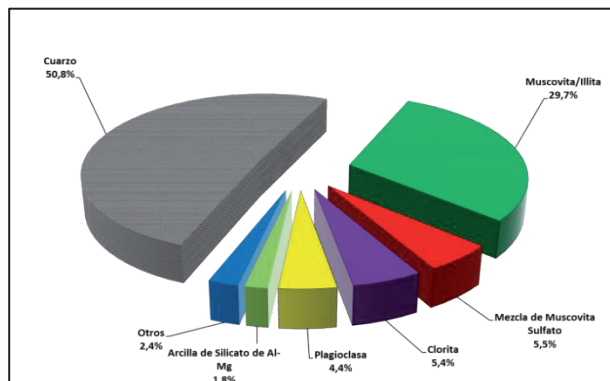


Figura 6.- Mineralogía de Silicatos en Muestras de Sulfatos.

En cuanto a las especies de cobre – y aquellas otras que no lo son, pero que contienen cobre – los resultados mostraron una gran sorpresa respecto de lo que se conocía hasta el momento respecto de la mineralización de cobre en Lomas Bayas (Figura 7).

En efecto, se encontró y comprobó que la especie de hierro zsomolnokita (sulfato monohidratado de hierro +2) era la principal fuente de cobre, al mostrarse que el cobre estaba sustituyendo – a veces en poca cantidad y otras veces en una mayor proporción – al hierro, todo lo anterior dentro de la estructura molecular de esta peculiar especie mineralógica.

Del mismo modo, se encontró que parte de la voltaíta (sulfato de hierro, potasio y aluminio) contenía cantidades

menores de cobre y que otros sulfatos de hierro y magnesio también habían reemplazado parte de su hierro y magnesio, respectivamente, en sus estructuras moleculares.

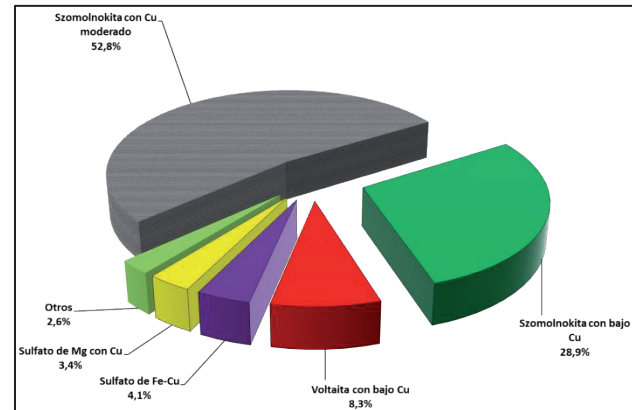


Figura 7.- Minerales que Aportan Cobre en Muestras de Sulfatos.

6. CONCLUSIONES.

1. Los minerales presentan una tendencia natural a producir finos, con una participación importante de arcillas.
2. Las especies mineralógicas contenedoras de cobre más relevantes son la szomolnokita y la voltaíta, que son sulfatos de hierro, donde el cobre ha entrado a reemplazar iones de hierro.
3. Los niveles de extracción de cobre son altos y en sintonía con los altos niveles de cobre soluble, tanto en ácido como en agua, y con una cinética de disolución particularmente alta.
4. Los consumos de ácido alcanzan niveles medios a bajos, debido a los altos contenidos de impurezas en la forma de sulfatos soluble en agua en desmedro de aquellas otras solubles solo en ácido.

Referencias

- Lomas Bayas (2009), *Estudio de Prefactibilidad Lomas II*.
- Domic, E. (2001), *“Hidrometalurgia: Fundamentos, procesos y aplicaciones”*.
- Domic, T. (2014), *“Construcción de Modelos Predictivos del Consumo de Ácido y la Extracción de Cobre para los Minerales del Rajo Fortuna de Cobre” – Informe Técnico PR-IT N° 017 a Lomas Bayas*.
- Domic, T. (2015), *“Resumen de Resultados Mineralógicos Correspondientes a 197 Muestras Provenientes de Testigos de Sondaje y 6 de Muestras Masivas” – Informe Técnico PR-IT N° 021 a Lomas Bayas*.