

CONTROLES DE MINERALIZACION EN EL PÓRFIDO DE Cu ZAFRANAL, EN EL SUR DEL PERÚ

Fernando Rivera, Jorge León, Oscar Cano y Moisés Huamán

Minera AQM Copper Perú SAC, Aristides Aljovín 431, Miraflores, Lima 18

RESUMEN

El proyecto Zafranal es un depósito tipo pórfido de cobre ubicado al noroeste de la ciudad de Arequipa. Su descubrimiento fue hecho por Teck Cominco Perú en el año 2003. Actualmente Minera AQM Copper SAC opera el Proyecto Zafranal y hasta la fecha viene ejecutando un programa agresivo de exploración con la finalidad de conocer sus recursos minerales y su viabilidad como proyecto de producción. Zafranal está localizado en la parte meridional de la franja cretácea de pórfidos de cobre del sur del Perú. Este sistema se encuentra controlado por la extensión norte del sistema transpresivo de fallas Incaquiquio.

El prospecto Zafranal está limitado tanto al norte como al sur por dos rasgos morfotectónicos que se extienden en forma rectilínea según el rumbo E-O. Estas grandes estructuras de característica dextral representarían el control estructural original del emplazamiento del depósito y definen el emplazamiento del complejo intrusivo Zafranal en el centro de un jog transpresivo asociado a estas estructuras mayores. En la zona central del depósito existen fallas NO (Az. 130°-140°) de movimiento de rumbo tipo dextral, reactivadas en el terciario con movimientos normales, responsables del seccionamiento de la capa de sulfuros supérgenos hacia el sur.

La unidad que aparentemente trae la mineralización de cobre primario en el depósito Zafranal es una microdiorita, con rangos de ley promedio entre los 0.4-0.6% Cu (calcopirita). El espesor de la zona de enriquecimiento supérgeno llega hasta los 150m, pero promedia en todo el depósito 75 m, retornando valores promedio de hasta 1% Cu. Existe además mineralización de óxidos de cobre que puede llegar a tener hasta 60 m de espesor con leyes promedio de hasta 0.4% Cu.

En Zafranal se ha evidenciado buenos controles de mineralización, específicamente asociados a un importante control estructural y litológico. Estudios avanzados en este depósito permitirán evaluar y localizar nuevos blancos de perforación que ayudarán a aumentar sus recursos de cobre. Además, los nuevos conocimientos geológicos de este depósito brindarán nuevas guías de exploración dentro del distrito Zafranal, ya que existen sistemas tipo pórfido evaluados someramente, además de un gran potencial por pórfidos ciegos en la zona de las pampas cubiertas por depósitos terciarios de la Formación Moquegua.

CONTEXTO REGIONAL

Zafranal está localizado en la franja cretácea de pórfidos de cobre del sur del Perú (Rivera et al., 2008). Esta franja cretácea se localiza en el flanco occidental de la cordillera de los Andes entre los paralelos 13° y 16° S, con una extensión de 770 km de largo por 20 a 40 km de ancho, reconociéndose en esta franja más de 26 prospectos tipo pórfido de cobre, de los cuales Zafranal es el más importante y de mayor potencial conocido hasta la fecha.

Zafranal forma parte del Distrito Zafranal, que está conformado por los pórfidos Campanero, Sicera Norte, Sicera Sur, Zafranal, Rosario y Zafranalito. Estos sistemas se encuentran controlados por la extensión norte del sistema transpresivo de fallas Incaquiquio. Esta extensión norte, también denominada Fallas Cincha-Lluta, ha controlado el emplazamiento magmático del arco cretáceo en el área (Martínez, 2005).

GEOLOGIA LOCAL DEL PÓRFIDO ZAFRANAL

Conformando el basamento cristalino regional se encuentra una unidad metamórfica que aflora en el sector norte del depósito. Esta unidad está conformada por un gneis granítico bandeado y compuesto por una intercalación de bandas claras (cuarzo-feldespatos) y verdes oscuras (biotita). Esta unidad no muestra fuerte alteración-mineralización en el área, ya que se encuentra en el borde norte del sistema estando afectada sólo

por alteración propilítica. Rocas de la Formación Guaneros de edad Jurásica afloran en toda el área. Esta unidad está dominada por intercalaciones de rocas sedimentarias y volcánicas. La secuencia sedimentaria comprende limolitas, areniscas y brechas sedimentarias (debris flows); mientras que la secuencia volcánica consiste de tobas, brechas y flujos lávicos andesíticos, así como unidades sub-volcánicas de composición andesítica. Esta unidad está afectada por una fuerte alteración cuarzo-sericita dentro de la zona de alteración del pórfido Zafranal.

Al igual que en los demás pórfidos de la franja Cretácica del sur del Perú, los principales eventos intrusivos en el área de Zafranal ocurrieron durante el Cretáceo Superior. El complejo intrusivo Zafranal, tiene una orientación E-O, el cual comprende rocas de composición intermedia que son las responsables de la importante alteración (4.5 x 1 km) y mineralización de este depósito tipo pórfido. Este complejo de intrusivos comprende varias unidades de acuerdo a la siguiente secuencia:

Diorita Zafranal, es una roca de color gris verdosa con textura porfírica conformada por plagioclasas, hornblenda y cuarzo. En superficie aflora a manera de stocks y diques en todo el depósito, cortando a las rocas volcanoclásticas de la Formación Guaneros. Este intrusivo exhibe en superficie alteración sericita-clorita-biotita presentando además vetillas de tipo D, tipo B y en profundidad tipo A. Se postula que este intrusivo representa una fase temprana de mineralización hipógena de cobre en el depósito. Microdiorita, es de color gris verdosa con textura de grano fino conformada por plagioclasas, hornblendas y cantidades pequeñas de cuarzo. Aflora principalmente a manera de stock y apófisis en la zona oeste y este del depósito, exhibiendo en superficie una alteración clorita-biotita y moderada sericita sobreimpuesta. En profundidad presenta una alteración potásica: cuarzo (silicificación) + biotita secundaria + clorita +/- feldespato potásico acompañado por vetillas tipo B y tipo A. Esta microdiorita, que corta a la Diorita Zafranal, parece ser el principal responsable de la mineralización hipógena de cobre en Zafranal, con leyes de hasta 1% en la zona de sulfuros primarios. Cuarzodiorita, es de color gris oscura y presenta una textura fanerítica conformada por plagioclasa, hornblenda y ojos de cuarzo. Normalmente exhibe alteración clorita-biotita y comúnmente presenta pirita (1%) y magnetita. Dioritas postminerales, a manera de diques y pequeños apófisis, son los últimos eventos intrusivos en el depósito. Estos pueden exhibir alteración subpropilítica o estar inalterados.

CONTROLES LITOLÓGICOS-ALTERACIÓN

Mineralización Hipógena:

La principal unidad que controla la mineralización de cobre primario en el depósito Zafranal es la microdiorita. Esta roca es la hospedante del mayor porcentaje de sulfuro hipógeno (calcopirita). Sin embargo, nuevos resultados en los pozos de perforación en la zona Este determinan similar mineralización en la diorita Zafranal, asociada espacialmente a estos cuerpos. Esta mineralización primaria está asociada a una zona de alteración potásica conformada por una asociación de: cuarzo (silicificación) + biotita secundaria + clorita +/- feldespato potásico. En esta zona podemos encontrar calcopirita diseminada y en vetillas; además de vetillas tipo A y B (cuarzo-calcopirita-pirita, cuarzo-calcopirita-molibdenita). Los rangos de ley promedio de este tipo de mineralización están entre los 0.35-0.4% Cu; teniendo localmente hasta 1% Cu. Como ejemplo de mineralización primaria asociada a la microdiorita tenemos el taladro ZFDDH10-018 que arroja 0.38% Cu desde los 219 hasta los 503m. (284 m).

La Diorita Zafranal generalmente también presenta mineralización hipógena, asociada principalmente a vetillas de calcopirita-pirita y menor cantidad en matriz. La ley de cobre en la Diorita Zafranal es típicamente entre 0.15-0.23% Cu. Sin embargo, muestra mineralización primaria mayor a 0.3% Cu cuando está cortada por el stock de microdiorita lo cual indicaría que ha sido mineralizada por esta unidad, al igual que la unidad volcánica de la Formación Guaneros. Se ha observado mineralización primaria con leyes de entre 0.35 y 0.45% Cu en Zafranal hasta 400 metros de profundidad, por lo que el potencial de mineralización primaria en Zafranal se mantiene abierto.

Mineralización Supérgena:

La mineralización supérgena en Zafranal está representada por calcosina reemplazando calcopirita y como pátinas sobre pirita. La zona de enriquecimiento secundario muestra mayores leyes cuando se ubica en los volcánicos y la Diorita Zafranal. La cantidad de calcosina es menor cuando se encuentra dentro la

microdiorita, probablemente por la mayor cantidad de calcopirita con relación a la pirita lo cual disminuiría la cantidad de ácido sulfúrico que la microdiorita podría generar.

La zona de enriquecimiento supérgeno está asociada a una alteración filica conformada por un ensamble: sericita + cuarzo + clorita/biotita + arcillas + pirita. El espesor del enriquecimiento supérgeno llega hasta los 150 m, pero promedia en todo el depósito 75 m, con valores de cobre de hasta 7% Cu. No se cuenta con dataciones del enriquecimiento supérgeno en Zafranal, sin embargo, se estipula que esta mineralización tenga una edad Eoceno Superior- Mioceno Inferior similar al enriquecimiento de los pórfidos en la franja Paleocena (Quang et al., 2005). La reactivación tectónica de las fallas principales de rumbo (Az. 130°-140°) con movimientos normales es la responsable del seccionamiento de la capa de sulfuros secundarios hacia el sur.

Mineralización de Óxidos de Cobre:

Esta mineralización está localizada en el interior del encape lixiviado asociada a una alteración filica intensa (sericita + cuarzo + arcillas). La mineralización en óxidos puede llegar a tener hasta 60 metros de espesor con leyes promedio de hasta 0.4% Cu, mientras que el encape lixiviado tiene una potencia de entre 30 y 200 metros. La zona de óxidos de cobre determina antiguas zonas de enriquecimiento supérgeno (paleoblanket) colgadas dentro de la zona de lixiviación óxidos de hierro. Los óxidos de cobre están reemplazando a calcosina, siendo las principales especies: brocantita, crisocola, calcantita, neotocita, tenorita y psilomelanos. Esta zona de mineralización de cobre agrega un valor económico adicional al depósito Zafranal.

CONTROLES ESTRUCTURALES

Se han definido los principales controles estructurales ordenados cronológicamente desde el evento más antiguo al más joven:

Fallas Norte y Sur:

El prospecto Zafranal está limitado tanto al norte como al sur por dos rasgos morfotectónicos que se extienden en forma rectilínea según el rumbo E-O. Estas grandes estructuras de característica dextral representarían el “control estructural” original del emplazamiento del depósito y formarían parte de la extensión norte del sistema de fallas Incapuquio (Fallas Cincha-Lluta). Esta morfología estructural indica que Zafranal se ha emplazado en el centro de un jog transpresivo, limitado por estas estructuras mayores.

Sistema de Fallas NE (Az. 050° - 060°):

En superficie encontramos este sistema de fallas evidenciado por estructuras continuas, específicamente en los bordes oeste y este del sistema. La relativa ausencia de fallas en la zona central de este sistema se debe a la preponderancia de posteriores estructuras de rumbo dextral (Az. 130°-140°) que han seccionado este sistema al NE y que se manifiestan localmente como estructuras pequeñas. Este sistema de estructuras NE junto con las estructuras NO sirvieron como conductos de ascenso magmático, y es en sus intersecciones donde se encuentran localizados los grandes stocks asociados con la principal mineralización de cobre.

Sistema de Fallas Rumbo-Normales (Az. 130° - 140°):

Estas estructuras se encuentran localizadas en la parte central del depósito, manifestándose como estructuras continuas de gran extensión y presentando potentes zonas de brechas de fallas de hasta de 2 m de ancho. Estas estructuras tienen una orientación NO-SE paralelas al sistema de fallas Cincha-Lluta (Incapuquio) y han sido generadas por la gran deformación de cizalla en la zona. Estas fallas originalmente sirvieron como conductos de los diferentes cuerpos ígneos que conforman el complejo intrusivo Zafranal. Posteriormente al emplazamiento de los diferentes intrusivos, estas estructuras tuvieron un movimiento de rumbo de tipo dextral presentando desplazamientos de hasta 400 m. En el Terciario, después de la formación del

enriquecimiento secundario, estas estructuras importantes sufrieron una reactivación tectónica (asociado al levantamiento andino) con movimientos de tipo normal que segmentan al blanket hacia el sur.

Foliación-Lineamientos-Plegamientos:

Las observaciones estructurales revelan la existencia de un evento de foliación que ha afectado el depósito Zafranal. Este evento estaría relacionado directamente con el movimiento de las fallas de rumbo que a su vez fueron originadas por los esfuerzos de cizalla dentro del jog transpresivo. Esta deformación ha afectado al prospecto posteriormente a los eventos de emplazamiento de intrusivos y del proceso de alteración-mineralización hipógena de cobre. Además, sea en superficie que en profundidad, los intrusivos porfiríticos presentan lineamientos en sus cristales, específicamente en las hornblendas, lo que demuestra que el evento de cizalla también los afectó cuando se estaban emplazando los mismos. El importante evento de deformación transpresivo en el depósito zafranal ha originado una serie de plegamientos (E-W) (sinformas-antiformas) evidenciado en el zoneamiento de la foliación dentro de los corredores estructurales conformados por las fallas de dirección NO-SE.

CONCLUSIÓN

Zafranal se ha emplazado en el centro de un jog transpresivo, limitado por dos estructuras E-O al norte y al sur. El emplazamiento de los cuerpos de intrusivos, así como la zona de alteración y mineralización coincide dentro del límite de estas estructuras. Un sistema de fallas NE (Az. 050°-060°) controlarían el emplazamiento de los intrusivos, mientras que el sistema NO (Az. 130°-140°) está asociado a un primer movimiento dextral y posteriormente normal, el cual determina la disposición actual de los intrusivos así como el seccionamiento de la zona de sulfuros secundarios.

La mineralización hipógena en el depósito Zafranal está asociada a una microdiorita con alteración potásica: cuarzo (silicificación) + biotita secundaria + clorita +/- feldespato potásico. Los rangos de ley promedio de este tipo de mineralización de calcopirita están entre los 0.4-0.6% Cu; teniendo localmente hasta 1% Cu. Se ha observado mineralización de calcopirita hasta 400 metros de profundidad, por lo que el potencial de mineralización primaria en Zafranal se mantiene abierto. La mineralización supérgena conformada por calcosina está asociada a una alteración fílica conformada por un ensamble: sericita + cuarzo + clorita/biotita + arcillas + piritita. El espesor de la zona de sulfuros secundarios llega hasta los 150 m, pero promedia en todo el depósito 75 m, con valores de cobre de hasta 7% Cu. La mineralización de óxidos de cobre en el depósito determina antiguas zonas de enriquecimiento supérgeno (paleoblanket) colgadas dentro de la zona de lixiviación de óxidos de hierro. Esta mineralización puede llegar a tener hasta 60 metros de espesor con leyes promedio de hasta 0.4% Cu.

Los últimos trabajos de exploración en Zafranal están evidenciando buenos controles de mineralización, específicamente asociados a un importante control estructural. El mayor conocimiento geológico de este depósito brindará nuevas guías de exploración dentro del distrito Zafranal, ya que existen otros sistemas tipo pórfido evaluados someramente, así como un gran potencial por depósitos ciegos en la zona de pampas. Asimismo, se cuenta ahora con nuevas guías de exploración que ayudarán en la búsqueda de depósitos de similar características dentro de la gran franja cretácica de pórfidos de cobre que se extiende desde el valle de Cañete (Lúcumo-Los Pinos) hasta el norte de la mina Cerro Verde (Zafranal-Angostura).

REFERENCIAS

- Quang, C., Clark, A. & Lee, J., 2005, Response of supergene processes to episodic Cenozoic uplift, pediment erosion, and ignimbrite eruption in the porphyry copper province of southern Perú: *Economic Geology*, v. 100, p. 87-114.
- Martínez, W & Cervantes, J., 2003, Mapa de Rocas ígneas del Sur de Perú, Nuevos datos geocronométricos, geoquímicos y estructurales entre los paralelos 16° y 18°30' latitud sur. INGEMMET. Serie D. N° 26.
- Rivera, F., Moretti, A. & Baumgartner., 2008, La franja Cretácea de pórfidos de cobre en el sur del Perú: XII Congreso Latinoamericano de Geología y XIV Congreso Peruano de Geología, Lima, 2008, CD-ROM, 6 p.