



## Algunos aportes sobre el yacimiento de cobre Chapi

Julio Córdova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Nexa Resources Perú S.A.A., [julio.cordova@nexaresources.com](mailto:julio.cordova@nexaresources.com)

### 1. Introducción

El yacimiento Chapi fue conocido y trabajado desde el siglo pasado, explotándose óxidos de cobre en mantos de alta ley, albergados en rocas sedimentarias del Grupo Yura (Chirif y Amstutz, 1997). Durante muchos años su génesis no estuvo clara, tejiéndose la hipótesis de que son mantos de reemplazamiento de horizontes favorables o estratoligado (Chirif et al., 1997; Ingemmet, 2000 y 2001; reportes internos de Milpo, 2002-2010). La asociación de la mineralización en mantos con los pórfidos cercanos tampoco estuvo clara, toda vez que los mantos tenían relativamente alta ley de cobre (>0.7% Cu), mientras que los pórfidos apenas promediaban 0.2% Cu o eran estériles. Además, se espera que los resultados geocronológicos de U-Pb en zircones tomados de 5 de los intrusivos que afloran en Chapi confirmen su verdadera edad, pues su posición en la franja Cuajone-Toquepala-Cerro Verde hace pensar que correspondería al Paleoceno-Eoceno (56-60 Ma).

### 2. Antecedentes e historia

La mina Chapi fue trabajada artesanalmente desde 1936 explotándose óxidos de cobre de alta ley (30-40% Cu) (Martínez et al., 2017). Su explotación continuó, irregularmente entre 1956 y 1983, por varias empresas que procesaron sulfuros secundarios a razón de 800-1200 tpd para producir concentrados de 20% Cu. En los años noventa Phelps Dodge perforó 46,300 metros en 255 sondajes y definió un recurso de 642k ton @ 0.39% Cu. El 2002 Milpo se hace del 100% de la propiedad y el 2006 inicia la

producción de sulfatos de cobre, explotando óxidos de cobre en operaciones subterráneas y en pequeños tajos. El 2008 entra en operación la Planta de Electrodeposición (EW) con capacidad de 27 tpd. El 2010 Votorantim Metais toma el control de Milpo y en 2012, debido al agotamiento de óxidos, baja recuperación, altos costos y caída del precio del cobre, decide suspender temporalmente la producción, entrando a una etapa de *care and maintenance*. Se decide enfocar la exploración en los sulfuros primarios, buscando alimentar una planta de flotación de >30k tpd y, para ello, el 2017 se realiza un inventario de recursos basado en los 560 mil metros históricos de perforación (DDH+RC), los cuales definieron un recurso lixiviable (óxidos + sulfuros secundarios) de 316k ton @ 0.37% Cu y un recurso flotable (sulfuros primarios) de 624k ton @ 0.21% Cu, (*cut off* de 0.1% Cu). Pruebas metalúrgicas iniciales demostraron que el sulfuro secundario puede lixiviar en un ambiente clorurado con una recuperación entre 70% y 94%.

### 3. Marco geológico regional

Las rocas más antiguas corresponden al plutón Siete Toldos de composición tonalítica-diorítica, que aflora a 10 Km al norte de Chapi, datado recientemente en 160.5 Ma tanto por Demouy (2012) como por Noury (2017), y anteriormente en 152 Ma por Mukasa (1986), correspondiendo al Jurásico superior. Este Plutón aparece como parte del Batolito de la Caldera (Cretácico superior – Paleoceno) tanto en los planos físicos del Ingemmet (Atencio y Romero, 2000) como en el plano digital de la web del Geocatmin

(<http://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>), cuando por su edad es correlacionable con el Batolito de Ilo (174-152 Ma) (Boekhout et al, 2012).

El Grupo Yura empieza su depositación silicoclástica de facies marina profunda en el Jurásico medio con las areniscas de la Formación Puente, seguida de las lutitas con niveles carbonosos de la Formación Cachíos y continuó en el Jurásico superior con las areniscas de la Formación Labra (Chávez, 1982). La sedimentación luego cambia a una facies marina de plataforma en el Jurásico superior con la depositación de areniscas calcáreas, areniscas volcánicas de matriz calcárea y calizas arrecifales de la Formación Gramadal, para cerrar con cuarcitas, areniscas cuarzosas y areniscas feldespáticas de la Formación Hualhuani en el Cretácico inferior (Chávez, 1982). No afloran en la zona de estudio los volcánicos Chocolate del Jurásico inferior ni las calizas Socosani del Jurásico medio, pues el Grupo Yura descansa directamente sobre el plutón Siete Toldos. Todo el paquete sedimentario tiene un rumbo general noroeste y suave buzamiento promedio de 15°-20° hacia el suroeste, con algunos suaves sinclinales y anticlinales. Más hacia el suroeste de la zona de estudio afloran los volcánicos Toquepala (flujos y derrames andesíticos). Toda la región se encuentra finamente cubierta por las cenizas del volcán Huaynaputina, del año 1600.

## **4. Geología local**

### **4.1. Litología**

En la zona de la mina Chapi predominan los sedimentos areno-calcáreos de la Formación Gramadal y cuarzo-feldespáticos de la Formación Hualhuani (Chávez, 1982). En la mina, la Formación Gramadal empieza (de abajo a arriba) con una arenisca calcárea en bancos decimétricos a métricos, seguida de una intercalación de limolitas y areniscas cuarzosas con algunos niveles de calizas, todos en bancos decimétricos a menores a un metro, y cierra encima otra secuencia de areniscas cuarzosas que va gradando a limolitas y calizas al tope. Sobreyaciendo se encuentran paquetes de areniscas cuarzosas en bancos potentes mayores al metro, intercalados con algunos niveles de arenisca feldespática poco potentes, correspondientes a la Formación Hualhuani.

Las rocas intrusivas van desde granitos equigranulares que corresponden a facies del Batolito, como a pórfidos de composición cuarzo-monzonita, así como diques y sills de

composición andesítica de hasta 3 metros de potencia.

Al suroeste de Chapi aflora un paquete de rocas de composición andesítica de dos texturas diferentes: un flujo lávico estratificado subhorizontal de matriz afanítica de color marrón-púrpura con escasos fenos de feldespatos e interestratificado con areniscas; y una roca hipoabisal porfirítica con textura de flujo con fenos de plagioclasas en una matriz fanerítica de grano fino de color verdoso compuesta principalmente por feldespatos, que aflora tanto en la forma de sills o lacolitos de decenas (y hasta centenas) de metros de potencia, así como de diques de unos pocos metros de ancho intruyendo a los sedimentos del Yura y/o a los flujos lávicos afaníticos. Estas rocas en su conjunto eran mapeadas inicialmente por el Ingemmet como Volcánicos Chocolate del Jurásico inferior (García, 1978), que luego fueron rebautizadas como Volcánicos Matalaque (Cretácico Inferior) al saberse que están sobreyaciendo a las rocas sedimentarias del Yura (Atencio et al, 2000). Pero una datación reciente sobre una secuencia de volcanitas macizas (Martínez et al., 2003) ha revelado su verdadera edad: 168 Ma (Jurásico medio), por lo que sería aparentemente coetáneo con el Grupo Yura (¿Formación Guaneros? ¿Formación Chocolate tardío?). De comprobarse esta edad, se trataría de un vulcanismo coetáneo al plutón Siete Toldos, aportando más datos sobre esta poco conocida época de magmatismo en el tras-arco Jurásico (175-150 Ma) (Demouy, 2012; Boekhout, 2012).

### **4.2. Alteración**

En la mina Chapi las rocas aflorantes presentan una alteración fílica evidentemente hipógena de ensamble cuarzo-sericita-pirita. Debido a procesos supérgenos, muchas rocas presentan ensambles argílicos (illita-dickita-esmectita). Ambas alteraciones son más notorias en las rocas ígneas cuarzo-monzoníticas, así como en las areniscas de matriz feldespática y/o calcárea, pero menos notoria en las areniscas cuarzosas debido a la naturaleza silíceas de su matriz.

No se ha podido documentar alteración potásica que haya sobrevivido a la posterior alteración fílica/argílica, aunque sí se ven relictos de magnetita y biotita secundaria en los pórfidos con alteración fílica.

### **4.3. Mineralización**

La mena en los mantos son óxidos, sulfatos y carbonatos de cobre (tenorita, cuprita, malaquita,

atacamita, calcantita, brocantita) emplazados de manera preferentemente concordante con la estratificación, pues aprovecha la porosidad primaria y secundaria de las rocas sedimentarias. En la zona de sulfuros secundarios la mena es principalmente calcosita, con menor digenita y covelita. La calcosita se presenta como relleno en fracturas y recubriendo granos de pirita. En la zona primaria, la mineralización se encuentra como calcopirita y molibdenita en vetillas tipo B y D, y calcopirita y pirita diseminadas. Los pórfidos aflorantes y sus rocas cajas cercanas presentan *stockworks* de vetillas de cuarzo con abundantes óxidos de hierro (hematita, goetita y menor jarosita) pero sin valores de cobre.

#### **4.4. Geología estructural**

Las principales fallas en el yacimiento, que pertenecen a la familia de las Fallas Cincha-Lluta-Incapuquio (Acosta et al., 2010), son las fallas paralelas Chapi y América, de orientación N130°-140°, de carácter normal y que buzcan al suroeste entre 60° y 75°. Inicialmente se pensaba que estas fallas formaban un graben (Chirif et al., 1997; Acosta et al., 2011), con la falla América buzando al NE (Ingemmet, 2000), o que la falla Chapi era inversa (Chávez, 1982), pero datos de campo indican que se trata de dos fallas normales paralelas cuyos bloques suroeste han caído con respecto al bloque noreste. También se pensaba que dichas fallas restringían la mineralización y que la falla Chapi limitaba los mantos hacia el noreste (reportes internos de Milpo, 2002-2010), pero debido a las perforaciones realizadas el 2018 ahora se sabe que la mineralización continúa en este bloque. La falla América pone al mismo nivel rocas volcánicas con las rocas sedimentarias del Yura que lo infrayacen, siendo la falla de mayor salto. Cortando y desplazando a estas fallas regionales se tienen fallas de rumbo noreste, como las fallas Campanayoc y Atahualpa, así como otras de rumbo casi este-oeste, como la falla Asia. Otro grupo de fallas de rumbo norte-sur desplazan en menor grado los cuerpos mineralizados, como el grupo de fallas Don Lucho. Aparentemente la mineralización es truncada únicamente por la falla América hacia el suroeste (¿debido a su gran salto?), pues las otras fallas no truncan al cuerpo mineralizado ni lo desplazan en gran medida. Este conocimiento reciente aumenta el potencial de éxito en la exploración del yacimiento al quitar restricciones.

#### **5. Hipótesis sobre la génesis de los mantos**

Al ser los niveles de areniscas feldespáticas muy porosas y permeables, y estar selladas arriba y abajo por las areniscas cuarzosas más impermeables, la mineralización secundaria se desarrolló mejor en esta roca y por ello se pensó que se trataba de mantos de reemplazamiento en horizontes favorables o mantos estratoligados. Estos mantos de óxidos de cobre pasan hacia abajo a sulfuros secundarios de cobre (calcocita principalmente) y tienen encima un potente paquete estéril pero con vetillas de cuarzo con abundantes óxidos de hierro, formando el perfil clásico de enriquecimiento secundario supérgeno, donde la zona de enriquecimiento secundario se desarrolla por debajo de la napa freática al descender los fluidos ácidos que se formaron de la hidrólisis de la pirita en una zona oxidante (zona vadosa), que lixiviaron el cobre de la calcopirita (dejando únicamente hematita y goetita como relictos) y lo transportaron por gravedad hasta esta zona reductora, donde precipitaron el cobre como calcocita sobre los granos de pirita y/o reemplazando pirita en fracturas (López et al., 1995). En el caso de Chapi, la napa freática se ubica en las areniscas más porosas y permeables, que en la zona se presentan subhorizontales, por lo que la mineralización de óxidos y sulfuros secundarios se confundía con mantos de reemplazamiento en lugar de verlos como capas o mantos de enriquecimiento. El proceso de enriquecimiento secundario no necesita un protolito de alta ley primaria, pues puede multiplicar x4, x6 y hasta x10 la ley inicial del pórfido. De hecho, en Chapi, los pórfidos existentes (Cuprita, Atahualpa, Huáscar, Candelaria, etc.) tienen en promedio 0.2% Cu como mineralización primaria, pero en las zonas de enriquecimiento puede ser mayor a 0.7% Cu.

#### **6. Conclusiones**

A pesar de ser un depósito muy conocido y trabajado desde hace tiempo, la génesis de la mineralización en Chapi no estuvo clara debido en parte a preconceptos y paradigmas pre-establecidos traídos de minería subterránea o de otros tipos de yacimientos, así como de la poca difusión pública de los trabajos existentes en la zona escritos por las empresas que tuvieron a su cargo el proyecto en el pasado.

La existencia de magmatismo-vulcanismo Jurásico en la zona merece ser estudiada más a detalle, sobre todo si está asociada a depósitos mineralizados como tal vez sea el caso de Chapi.

Reconstruir la columna estratigráfica desde el Yura hasta el Toquepala pasando por el Matalaque (de preferencia con más dataciones)

ayudará a vectorizar la exploración por pórfidos de cobre con leyes >0.4% Cu en mineralización primaria y su enriquecimiento secundario asociado.

## Agradecimientos

Agradezco a la Gerencia de Exploraciones de Nexa por permitir la publicación de este trabajo, el cual refleja el esfuerzo de varios colegas que trabajaron en Chapi mina y proyecto. Agradezco de manera personal a Jonas Motta, Jean Paul Guzmán, Juan Rosas, Plácido Gonzales, Jorge Atencio, Dennis Quispe, Richard Osorio, Humberto Salvador, Luigi Sanz y Orlando Pariona por su excelente trabajo de campo y porque con sus ideas y experiencias alimentaron esta publicación.

## Referencias

- Acosta, J., Rodríguez, I., Huanacuni, D. 2011. Memoria sobre la Geología Económica de la Región Moquegua. Proyecto GE33, Metalogenia y Geología Económica por Regiones. INGEMMET, p. 13-14.
- Acosta, H., Alván, A., Oviedo, M., & Rodríguez, J. P. 2010. Actividad tectónica del sistema de fallas Cincha-Lluta-Incapuquio durante la evolución de la cuenca Arequipa en el Jurásico. En: XV Congreso Peruano de Geología. Resúmenes extendidos. Sociedad Geológica del Perú, Pub. Esp. N° 9 (2010), Cusco, p. 742-745.
- Atencio, E., & Romero, D. 2000. Mapa Geológico del Cuadrángulo de Puquina, Escala 1:50,000. Hojas 34-t-III y 34-t-IV.
- Boekhout, F., Spikings, R., Sempere, T., Chiaradia, M., Ulianov, A., & Schaltegger, U. 2012. Mesozoic arc magmatism along the southern Peruvian margin during Gondwana breakup and dispersal. *Lithos*, v. 146–147, p. 48–64, doi: 10.1016 /j.lithos.2012.04.015.
- Chávez, A. 1982. Estratigrafía y Tectónica del Sector de Chapi. Universidad Nacional de San Agustín, Tesis de Grado, 101 p.
- Chirif, H., & Amstutz, G. C. 1997. Petrografía y mineralogía del Yacimiento de Chapi (Moquegua – Perú). En: IX Congreso Peruano de Geología. Resúmenes extendidos. Sociedad Geológica del Perú, Vol. Esp. 1 (1997), Lima, p. 21-23.
- Demouy, S., Paquette, J.L., Blanquat, M., Benoit, M., Belousova, E., O'Reilly, S., García, F., Tejada, L., Gallegos, R., & Sempere, T. 2012. Spatial and temporal evolution of Liassic to Paleocene arc activity in southern Peru unraveled by zircon U–Pb and Hf in-situ data on plutonic rocks, *LITHOS*, 18 p.
- García, W. 1978. Geología del cuadrángulo de Puquina, Omate, Huaitire, Mazo Cruz, Pizacoma, 34-t, 34-u, 34-v, 34-x, 34-y. Boletín A 29. Ingemmet.
- Ingemmet. 2001. Proyectos de inversión minera y prospectos en estudio. Boletín Especial, p. 36-38.
- Ingemmet. 2000. Estudio de los recursos minerales del Perú, Franja N° 1. Boletín B 8, p. 38-42.
- López, J.A., & Tittley, S.R. 1995. Outcrop and capping characteristics of the supergene sulfide enrichment at North Silver Bell, Pima County, Arizona, in Pierce, W., and Bolm, J.G., eds., *Porphyry copper deposits of the American Cordillera: Arizona Geological Society Digest* 20, 424– 435 p.
- Martínez, W., & Cervantes, J. 2003. Rocas ígneas en el Sur del Perú; Nuevos Datos Geocronométricos, Geoquímicos y Estructurales entre los paralelos 16° y 18°30'; Latitud Sur. Boletín 26, Serie D: Estudios Regionales. Ingemmet.
- Martínez, W., Marchena, A., Otero, J., Cervantes, J., & León, W. 2017. Geología y controles Tectonomagmáticos de los Sistemas Porfiríticos en el Arco Magmático Occidental Sur de Perú. Ingemmet, p. 73-76.
- Mukasa, S.B. 1986. Zircon U-Pb Ages of superunits in the Coastal Batholith, Peru: implications for magmatic and tectonic processes. *Geological Society of America Bulletin* v. 97, p. 241-254.
- Noury, M., Philippon, M., Bernet, M., Paquette, J., & Sempere, T. 2017. Geological record of flat slab-induced extension in the southern Peruvian forearc: *Geological Society of America* v. 45; no. 8; p. 723–726. Data Repository item 2017239. doi:10.1130/G38990.1.
- Reportes internos de Milpo. 2002-2010 (no publicados).

