



Exploración bajo un lithocap en el pórfido Cu-Au Santa Bárbara, Carhuacayán - Franja miocénica en el Perú Central: Importancia del reconocimiento de distintas fases intrusivas

Oshin Figueroa¹, Cesar Farfán¹, Lluís Fontboté², Rafael Bernaola¹, Susankler Espinoza¹ y Mario Díaz³

¹ Volcan Compañía Minera S.A.A., Manuel Olguín 373 Piso 8, Lima, Perú (ofigueroa@volcan.com.pe)

² Université de Genève, Rue des Maraîchers 13, Ginebra, Suiza (lluis.fontbote@unige.ch)

³ Anglo Peruana Terra S.A., Monte Grande 129 Piso 4, Lima, Perú (mario.diaz@apt.com.pe)

Abstract

Exploration under a lithocap in the Santa Bárbara Cu-Au porphyry deposit, Carhuacayán – Miocene Belt of central Peru: Importance of the recognition of different intrusive phases.

Four intrusive phases have been recognized in the late Miocene Santa Bárbara Cu-Au porphyry deposit through examination of veinlet types and other fabric features. Copper-gold, mineralization was mainly introduced during potassic alteration of an early porphyry that at depth and laterally is intruded by low grade inter-mineral porphyry stocks. To date, a resource of 143.8 Mt @ 0.52% Cu equivalent has been estimated, whereby parts of the deposit remain open to exploration. This estimation takes into account that ore grades are low in the upper part of the deposit owing to overprinting by advanced argillic alteration favored by telescoping.

Palabras clave: Sobreimposición, telescoping, vetillas truncadas y pórfido intermineral.

1. Introducción

El proyecto de pórfido de Cu-Au Santa Bárbara de la franja Miocénica del Perú Central, se encuentra a 2 km al NE de la mina antigua Carhuacayán y 3.5 km al N-O del pueblo Santa Bárbara de Carhuacayán.

Cinco sondajes realizados en 1996 por Rio Tinto Mining and Exploration (RTZ) permitieron estimar un recurso de 76 Mt @ 0.4 g/t Au y 0.3% Cu (Panez, 2008). En 2016-2017, Volcan Compañía Minera inició una campaña de exploración con

mapeo superficial, muestreo geoquímico de roca y perforación (9,087 metros en 16 sondajes). Los

resultados hasta el momento han permitido estimar un recurso geológico de 143.8 Mt @ 0.52 % Cu equivalente con un *cut off* de 0.35% Cu equivalente (precios: 2.7 US \$ / lb Cu, 1100 US \$ Oz Au).

Esta contribución presenta un resumen de la última campaña de exploración. La caracterización geológica de un extenso "lithocap" que aflora a cotas de 4,600 a 4,390 m.s.n.m. con típica e intensa alteración argílica avanzada ha ayudado a centrar la exploración. El análisis de las relaciones de corte entre fases intrusivas con contenidos distintos de vetillas, y la identificación de vetillas truncadas (Sillitoe, 2010) ha permitido diferenciar pórfidos temprano EP e interminerales IMP1 y IMP2. Esto ha sido clave para la exploración y evaluación del yacimiento.

2. Marco geológico

El pórfido de Cu-Au Santa Bárbara (Figuras 1 y 2) consiste en un típico sistema secuencial de stocks de cuarzomonzonita (temprano EP e interminerales IMP1 y IMP2) de textura porfírica, ojos de cuarzo bien desarrollados y matriz microcristalina cortados por brechas intrusivas

polimícticas y monomícticas. Una muestra del stock IMP1 fue datada en 7.9 ± 0.1 Ma (comunicación escrita G. Zulliger, enero 2019: U/Pb en zircón en "pórfido riódacítico con abundantes ojos de cuarzo", tramo 687.2-688.4 m del DDH-02). Esta edad es similar a la del

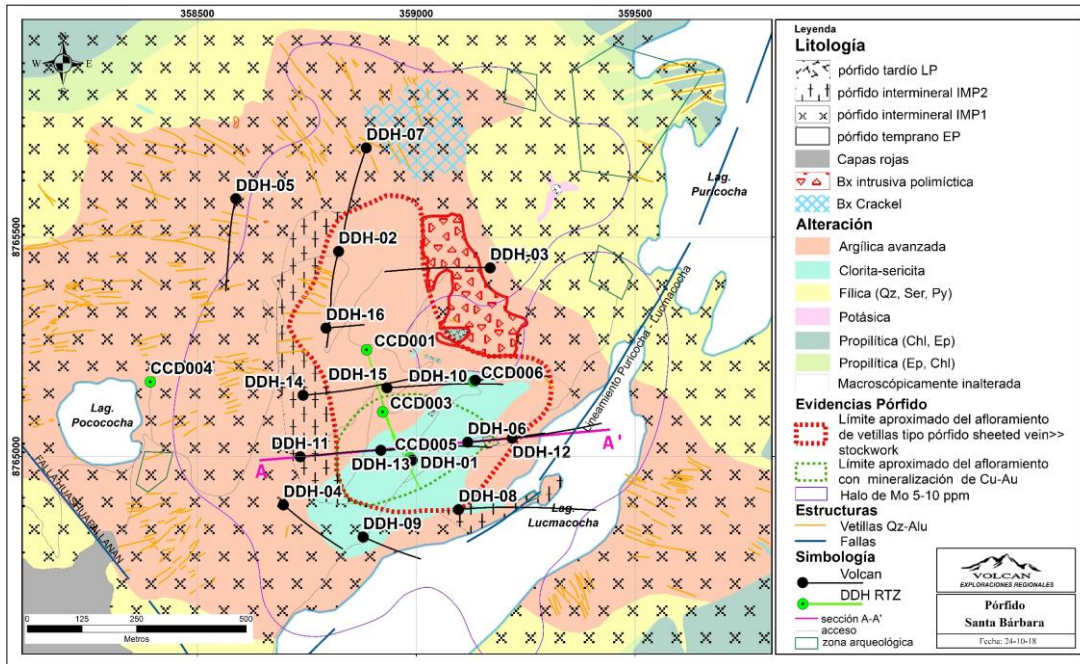


Figura 1. Mapa geológico y de alteración del pórfido Santa Bárbara. (modificado de Volcan Compañía Minera S.A.A. 2017). Los códigos completos de las perforaciones DDHPCRH-17001 a 17016 se han simplificado a DDH-01 a 16.

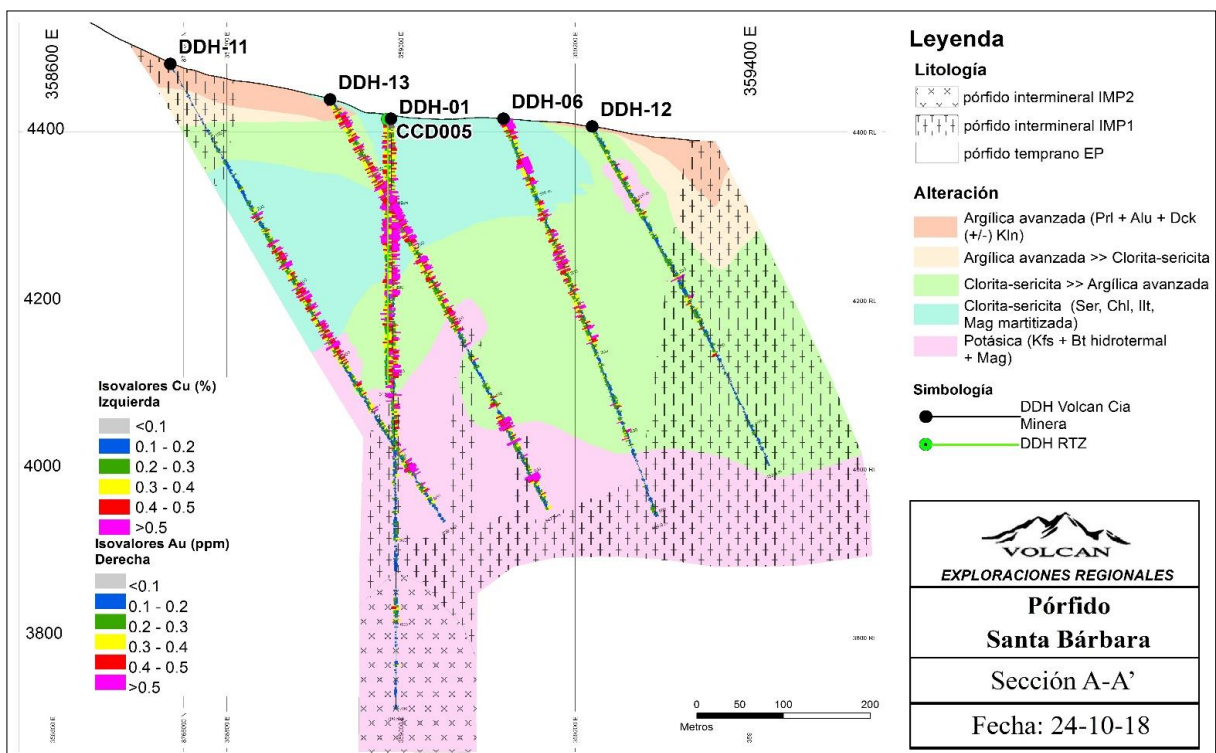


Figura 2. Sección geológica A-A' mostrando la litología, alteración y mineralización del pórfido Santa Bárbara.

vecino depósito cordillerano polimetálico de Carhuacayán (Bernaola et al., 2019) con edades reportadas por Noble y McKee (1999, 7.8 ± 0.2 Ma, K–Ar en alunita) y Bissig et al., 2008 (8.2 ± 0.18 Ma Ar–Ar en biotita de pórfido dacítico) y a la de otros yacimientos de la franja Miocena tardía del Perú central, como Toromocho (7.3-6.8 Ma, Catchpole et al., 2015).

Los pórfidos tienen como caja a las capas rojas de la Formación Casapalca (Cretáceo Superior - Paleógeno) y rocas carbonatadas del Cretáceo Superior pertenecientes a la Formación Jumasha creando anticlinales y sinclinales con dirección andina, incluyendo el anticlinal Carhuacayán al O del proyecto. Las principales fallas regionales son de dirección NO-SE incluyendo la falla Huashuapallanan (N120E°O) que pone en contacto la Formación Casapalca y los pórfidos de Santa Bárbara. El lineamiento NE-SO Puricocha-Lucmacocha pasa al E del proyecto (Figura 1).

3. Fases Intrusivas y tipo de vetillas

Se han distinguido cuatro stocks porfiríticos de composición cuarzomonzonítica en base a las características y abundancia de las vetillas que contienen:

- Pórfido temprano EP, mostrando multi-eventos de vetillas A (>5% vol.) con textura sacaroide, sinuosas y rectas < 10 cm de ancho, se cortan entre sí, (Figura 3) y son las más abundantes. Puntualmente vetillas Tipo B (muestran sutura con cristales de cuarzo subhedrales que crecen desde las paredes de las vetillas, son rectas y continuas < 2 cm). Esporádicamente se observan vetillas tipo D (de cuarzo masivo, son rectas < 0.5 cm de ancho, muestran halo de alteración sericítica y cortan a las anteriores). También se observan vetillas tempranas sin cuarzo de feldespatopotásico-biotita hidrotermal (Figura 4) y de tipo M de magnetita (Figura 5) de ancho milimétrico, rectas, sinuosas y son cortadas por las de tipo A, B y D.

- Pórfidos interminerales IMP1 y IMP2 contienen todos los tipos de vetillas descritos anteriormente. El ancho de las vetillas tipo A en estas fases intrusivas es en general <2 cm y la abundancia entre 2 a 5% (IMP1) y <2% (IMP2).

- Pórfido tardío LP, que no contiene vetillas y aflora en el NE del proyecto.

La brecha intrusiva polimíctica contiene fragmentos de pórfidos temprano EP, interminerales IMP1, IMP2 y pórfido tardío LP.



Figura 3. Pórfido temprano EP con vetillas tipo A (<7 cm de ancho) de cuarzo granular. La alteración clorita-sericita está sobrepuesta en partes por alteración argílica avanzada (DDH-02, 317.6 m).



Figura 4. Pórfido intermineral IMP2. Vetillas milimétricas de feldespatopotásico-biotita hidrotermal (delgadas líneas de tonalidad blanca a rosada). Alteración clorita-sericita. La mineralización consta de piritacalcopirita y está diseminada en las vetillas. (DDH-08, 521.3 m).



Figura 5. Vetillas milimétricas de magnetita tipo M (líneas delgadas de color negro) cortadas por una vetilla tipo A de cuarzo granular. La alteración potásica (feldespato potásico, biotita hidrotermal) está sobreimpuesta por débil alteración clorita-sericita. Pirita y calcopirita (no visibles) están diseminadas en las vetillas y matriz. (DDH-13, 504.3 m).

4. Alteración

La alteración hidrotermal muestra zonación vertical afectando los pórfidos temprano EP e interminerales IMP1 y IMP2. Los sondajes y en parte la erosión, permiten observar que debajo de la alteración argílica avanzada, que forma el extenso lithocap aflorando a cotas entre 4,600 y 4,390 m.s.n.m. (*Figura 1*), ocurre una zona con alteración clorita-sericita y a mayor profundidad, los sondajes cortan alteración potásica (*Figura 2*).

La alteración argílica avanzada está compuesta principalmente por cuarzo, pirofilita, dickita, alunita y caolinita (caracterización mineralógica por el laboratorio de mineralogía de Volcan). En superficie se observan *ledges* de cuarzo-alunita con anchos < 20 cm y una disposición radial (*Figura 1*). El lithocap tiene una profundidad promedio de 80 a 100 metros, pero evidencias de alteración argílica avanzada llegan hasta la cota 4,150 m.s.n.m.

La alteración clorita-sericita aflora en el centro del sistema de alteración hidrotermal reconocido y bajo la alteración argílica avanzada mostrando varios grados de intensidad de sobreimposición de esta última. Las rocas contienen también illita, esmectitas, así como relictos de alteración potásica incluyendo magnetita parcial o totalmente martitizada.

Bajo la cota 4,100 a 3,950 m.s.n.m, la alteración potásica, con biotita hidrotermal, magnetita y feldespato potásico, es predominante y afecta sobre todo los pórfidos interminerales IMP1, IMP2 y en menor medida se reconoce en el pórfido temprano EP.

En superficie, hacia los márgenes del lithocap se observa alteración cuarzo-sericita-pirita (*Figura 1*). En partes distales y en delgados diques tardíos que cortan los pórfidos temprano EP e interminerales IMP1 y IMP2, se distingue (sondajes DDH-14 y 15) alteración propilítica

(clorita, epidota). El pórfido tardío LP no muestra alteración visible macroscópicamente.

5. Mineralización

La mayor parte de la mineralización se encuentra en el pórfido temprano EP en las zonas de alteración clorita-sericita sin o con poca sobreimposición de alteración argílica avanzada. Calcopirita y contenidos menores de bornita ocurren diseminados en todas las vetillas y en la matriz en proporción de 3 a 1. Se asume que la mayor parte de la mineralización de Cu y Au se habría introducido durante un evento anterior de alteración potásica junto a las vetillas A de cuarzo (Sillitoe, 2017). Los pórfidos interminerales IMP1 y IMP2 están más pobremente mineralizados. Esto se observa bien en los sondajes que, entre las cotas 3,950 a 4,050 metros, atraviesan el contacto del pórfido temprano EP (techo) con los pórfidos interminerales IMP1 e IMP2 (piso) caracterizados por presentar pocas vetillas, principalmente de tipo A. Por debajo de ese contacto, la ley baja de aproximadamente ~ 0.4% Cu a <0.2 % Cu y de 0.4 ppm Au a <0.2 ppm Au (por ejemplo, DDH-01 y CCD005 en *Figura 2*). El pórfido temprano EP mineralizado habría quedado englobado en los pórfidos interminerales IMP1 y IMP2, más débilmente mineralizados, los cuales tendrían su origen en resurgencias de la cámara magmática. Sin embargo, no todos los truncamientos de ley son al contacto entre pórfido temprano EP con pórfido intermineral. En los sondajes DDH-11 y 13, (*Figura 2*), así como el DDH-02 se observa un descenso similar de la ley al interior de un pórfido con alteración potásica y con más de 5% de vetillas, en parte gruesas, que es probablemente pórfido temprano.

La alteración argílica avanzada es destructiva respecto a la mineralización lo que se refleja en las leyes del pórfido, significativamente menores en zonas con alteración argílica avanzada que en

partes con alteración clorita-sericita o con alteración argílica avanzada poco intensa, donde se observan leyes superiores a 0.4 % Cu y 0.4 ppm Au. En sectores afectados por alteración argílica avanzada, el cobre está en parte en minerales de alta sulfuración (calcosina, covelita, y trazas de enargita) y en parte como calcopirita y bornita relícticas, estos dos últimos minerales en particular presentes en vetillas de tipo A.

Trazas de molibdenita, se observan, de preferencia, en vetillas tipo B y en pórfidos interminerales IMP1 y IMP2.

6. Potencial conceptual

En base a los resultados de perforación diamantina efectuada por RTZ y Volcan, a las anomalías geoquímicas de los afloramientos y a la extensión de los sistemas de vetillas de cuarzo granular la masa mineralizada tendría dimensiones del orden de 700 a 800 m de largo, 250 a 350 m de ancho y 300 a 400 m en vertical. Los sondajes DDH-05, 04 y 09, que interceptaron pórfido intermineral IMP2 al NO y S del pórfido temprano EP dieron en general valores menores a 0.1% Cu y 0.1 ppm Au. Sin embargo, hacia el O y al N la mineralización está abierta.

En un escenario conservador, el potencial estimado de recurso geológico del pórfido Santa Bárbara es de 143.8 Mt @ 0.52 % Cu equivalente, sin considerar el potencial de las partes donde la mineralización está abierta, ni de sistemas porfíricos vecinos.

7. Discusión y conclusiones

El estudio del lithocap ha ayudado a centrar la exploración e identificar el potencial del pórfido subyacente. Las alteraciones, argílica avanzada sobreimpuesta incluso sobre alteración potásica, indican un fuerte telescoping y en parte destrucción de la mineralización hipógena asociada a la alteración potásica y clorita-sericita.

El estudio de vetillas y vetillas truncadas de los pórfidos cuarzomonzoníticos del proyecto de Cu-Au Santa Bárbara, perteneciente al cinturón mioceno del Perú central, ha permitido diferenciar un pórfido temprano EP y dos pórfidos interminerales IMP1 y IMP2. La mineralización de Cu-Au ha sido introducida principalmente durante un antiguo evento de alteración potásica del pórfido temprano EP conjuntamente con las vetillas de tipo A de cuarzo. Pórfidos interminerales de menor ley que afloran en los bordes y en profundidad parecen haber embebido partes del pórfido temprano EP.

En un escenario conservador, el potencial estimado de recurso geológico del pórfido Santa Bárbara es de 143.8 Mt @ 0.52% equivalente en Cu, quedando sectores abiertos al N y O del área reconocida.

Agradecimientos

Al Dr. R. Sillitoe y G. Zulliger por sus comentarios e información que ayudaron a esclarecer múltiples aspectos del proyecto; al área de Generativos Volcan 2017, en especial a W. Espinoza, con quienes se obtuvo la información de campo e interpretaciones; a J. Enríquez, C. Velásquez y todo el equipo de exploraciones Volcan que han hecho posible realizar esta publicación, a Kaizen Discovery Inc. por la información brindada.

Referencias

- Bernaola, R., Espinoza, S., Díaz, M., Figueroa, O., Farfán, C. y Fontboté, L. 2019. Estadios de mineralización en La Tapada, yacimiento cordillerano polimetálico Carhuacayán, Perú Central: su aplicación para modelar recursos y definir nuevos targets de exploración. Resúmenes proEXPLO 2019.
- Bissig, T., Ulrich, T., Tosdal, R., Friedman, R. y Ebert, S. 2008. The time-space distribution of Eocene to Miocene magmatism in the central Peruvian polymetallic province and its metallogenetic implications. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 26, p. 16–35.
- Catchpole, H., Kouzmanov, K., Bendezú, A., Ovtcharova, M., Spikings, R., Stein, H., Astorga, C., Fontboté, L. 2015. Timing of porphyry (Cu-Mo) and base metal mineralization (Zn-Pb-Ag-Cu) in a magmatic - hydrothermal system – Morococha district, Peru. *Mineralium Deposita*, pp. 895-922.
- Noble, D.C., McKee, E.H. 1999. The Miocene metallogenetic belt of central and northern Peru, In: Skinner, B.J. (Ed.), *Geology and Ore Deposits of the Central Andes: Society of Economic Geologists Special Publication No. 7*, Littleton, Colorado, p. 155–193.
- Panez R. 2008. *Geología y Exploración del Pórfido Au-Cu de Carhuacayán en los Andes Centrales del Perú*. Tesis para optar título de Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco, p.91–97.
- Sillitoe R. 2010. *Porphyry Copper Systems*, *Economic Geology*, v 105, p. 3–41.
- Sillitoe R. 2017. *Comments on the Carhuacayán, Cerro de Pasco, Pedregal and Chumpe projects, Central Peru*. Memorándum interno de Volcan Compañía Minera S.A.A., 13 p.

Volcan Compañía Minera S.A.A. 2017. Informe
anual del programa de exploración 2017.

