



Estadíos de mineralización en La Tapada, yacimiento cordillerano polimetálico Carhuacayán, Perú Central: su aplicación para modelar recursos y definir nuevos *targets* de exploración

Rafael Bernaola¹, Susankler Espinoza¹, Mario Díaz², Oshin Figueroa¹, César Farfán¹ y Lluís Fontboté³

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

² Anglo Peruana Terra S.A., Monte Grande 129 Piso 4, Lima, Perú (mario.diaz@apt.com.pe)

³ Université de Genève, Rue des Maraîchers 13, Ginebra, Suiza (lluis.fontbote@unige.ch)

Abstract

Mineralization stages in the La Tapada, Carhuacayán Cordilleran polymetallic deposit, Central Peru: its application to resources modelling and delineation of new exploration targets.

The La Tapada is part of the late Miocene Carhuacayán Cordilleran polymetallic deposit, emplaced in Cretaceous carbonate and siliciclastic rocks, and that is interpreted as the last event of a multistage porphyry system. Similarly, as in other Cordilleran deposits, three main stages of polymetallic mineralization are recognized. At La Tapada, they trace the transition from low to intermediate sulfidation conditions in the hydrothermal fluid. The recognition of these three stages has allowed to optimize the resource modelling and to refine the exploration model.

1. Introducción y marco geológico

El yacimiento cordillerano polimetálico de Carhuacayán está ubicado a 4 km al NO de la localidad de Santa Bárbara de Carhuacayán, departamento de Junín, a 180 km al NE de Lima, a una altitud de 4,162 a 4,585 m.s.n.m. La mina de Carhuacayán fue explotada en los años 1962 a 1982 (aproximadamente 2 Mt de mineral de Ag, Zn y Pb). A partir del año 2016, Volcan Compañía Minera S.A.A. está evaluando el área en la que se han distinguido de O a E, entre otros, Toldojirca, La Tapada y Candelaria (*Figura 1*).

En el proyecto afloran carbonatos de la Formación Jumasha (Cretáceo Superior) y hacia el tope, en discordancia angular, sedimentos continentales de la Formación Casapalca (Cretáceo Superior-Paleógeno). Mediante perforación diamantina se ha identificado una unidad de transición a sedimentos silicoclásticos por debajo de la Formación Jumasha, en parte afectados por metamorfismo de contacto (*hornfels*) y cuarcitas que no han sido atribuidos a una unidad litoestratigráfica formal (*Figura 2*).

Una de las estructuras principales del área es el anticlinal Carhuacayán, de dirección NO-SE. Las fracturas, fallas y lineamientos más importantes en superficie son ONO-ESE, O-E y NE-SO; las vetas coinciden con las estructuras NE-SO, y en menor cuantía con las estructuras O-E.

Se han distinguido las siguientes fases intrusivas (*Figuras 1 y 2*). 1) Pórfido dacítico (PD) con un diámetro aproximado de 1.5 km. 2) Brecha intrusiva con fragmentos de PD y en los bordes como brecha polimíctica incluyendo fragmentos de las rocas sedimentarias. 3) Pórfido cuarzo feldespático (PQF) con un diámetro de unos 230 m que intruye la brecha intrusiva. En el PD se reconoce alteración fílica y remanentes de potásica. El PQF desarrolla alteración potásica y fílica, además de mineralización de Cu-Au con ocurrencia de calcopirita y piritita probablemente aurífera que en parte afecta a la brecha intrusiva, en la cual existen brechas subverticales hidrotermales. Localmente algunos diques de

diorita cortan a los intrusivos. Brechas freáticas subverticales cortan la brecha intrusiva (Figura 2).

Esta contribución se enfoca en la mineralización polimetálica (Zn-Pb-Ag) de La Tapada de tipo cordillerano en cuerpos y vetas que cortan toda la secuencia sedimentaria y fases intrusivas

anteriores y que es interpretada como el último evento del sistema magmático-hidrotermal de tipo pórfido que formó al PD y PQF con sus alteraciones y mineralizaciones asociadas. Bissig et al. (2008) reportan una edad de 8.2 ± 0.18 Ma (Ar-Ar en biotita) para un domo de dacita del

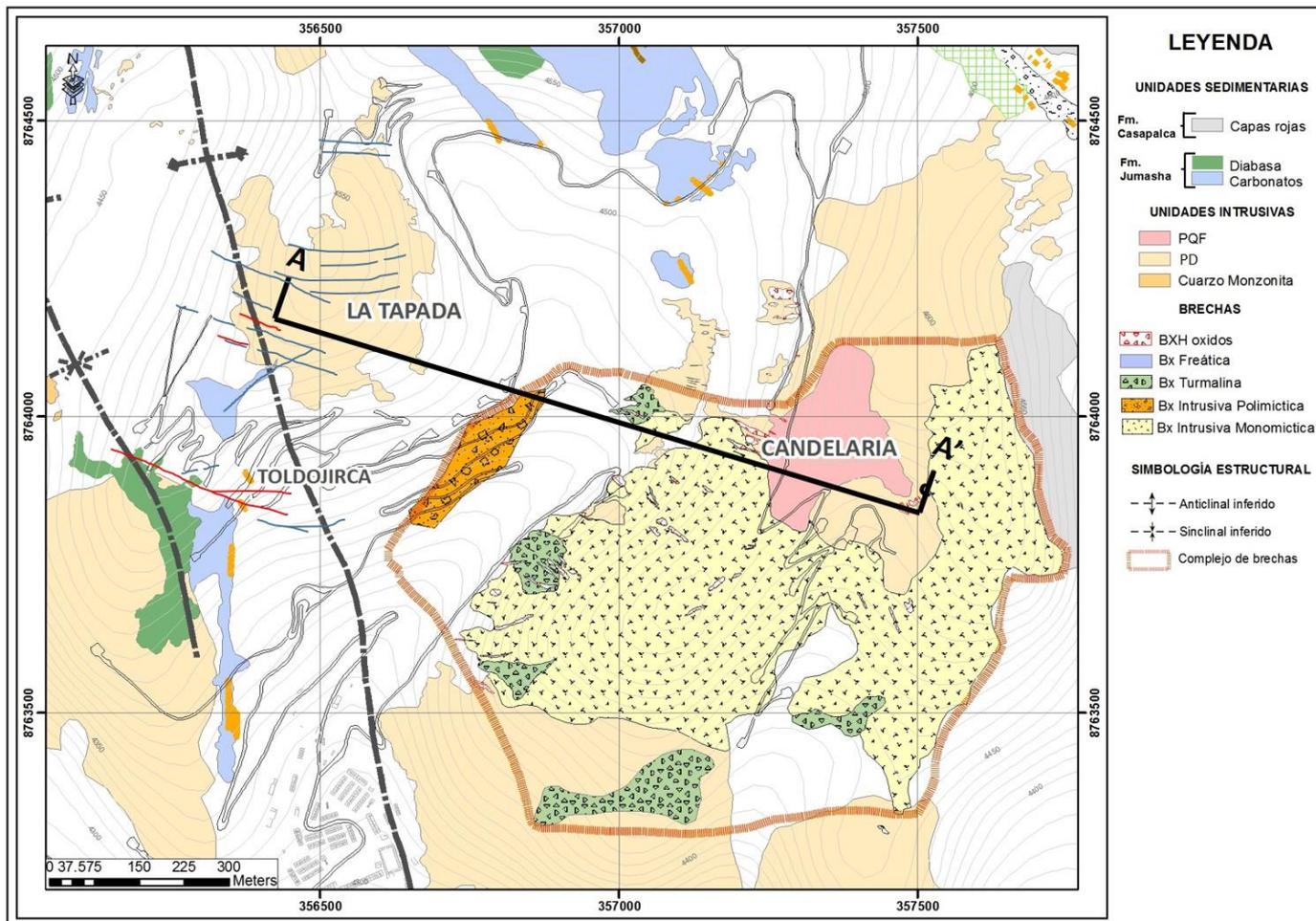


Figura 1. Mapa geológico del proyecto Carhuacayán.

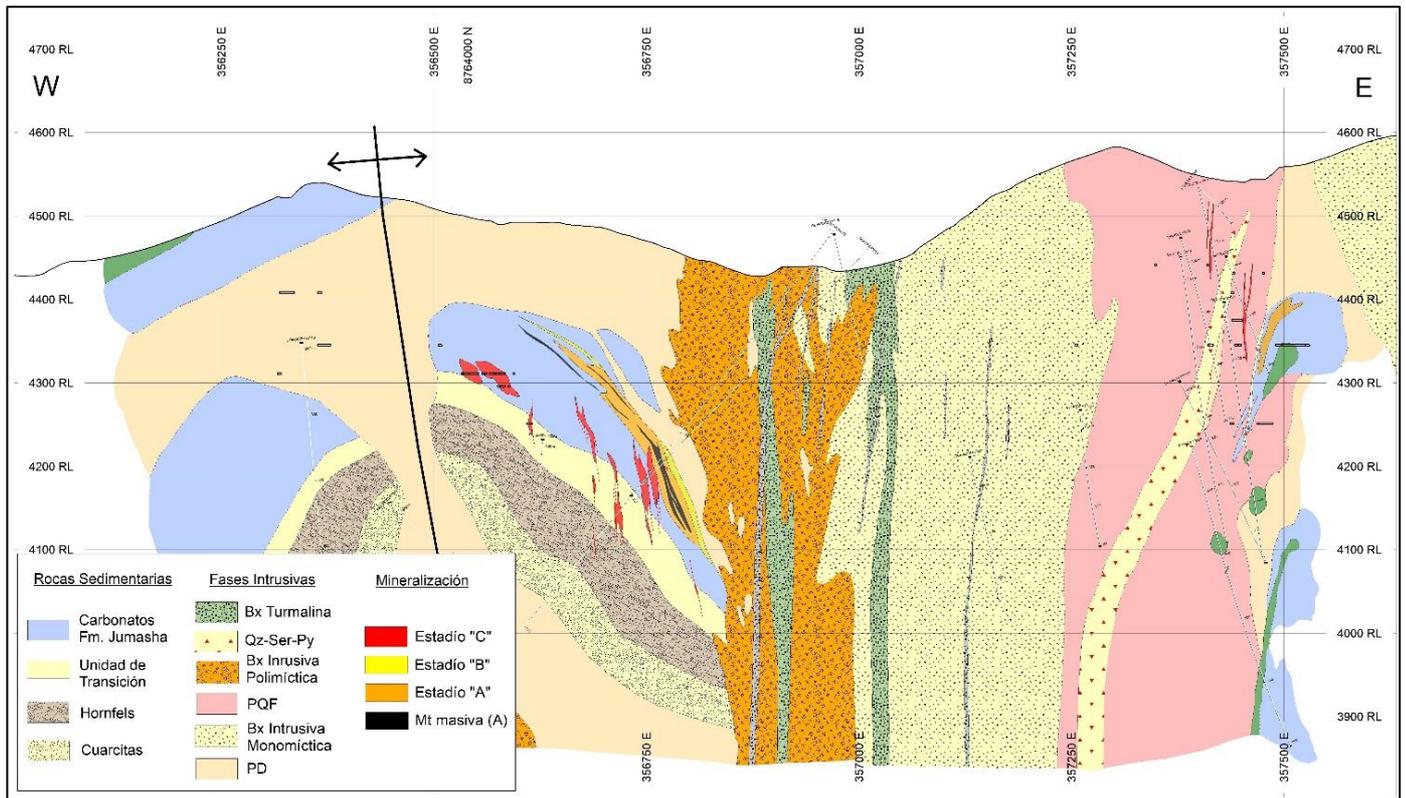


Figura 2. Sección geológica A-A' mirando al norte.

yacimiento de Carhuacayán (probablemente el PD) y Noble y McKee (1999) una edad de 7.8 ± 0.2 Ma (K-Ar) en alunita de vapor magmático probablemente de un 'lithocap' en Candelaria. La mineralización polimetálica sería, por lo tanto, ligeramente posterior a esta última edad. 2 km al E se encuentra el pórfido de Santa Bárbara (7.9 ± 0.1 Ma, U-Pb en zircón, G. Zulliger en Figueroa et al., 2019).

2. Estadios de mineralización y tipos de alteración

Se han identificado tres estadios de mineralización, que en analogía a los estadios reconocidos en el yacimiento de Cerro de Pasco (Rottier et al., 2018), se han denominados como A, B y C. La mineralogía y alteración presentes en cada uno de ellos en La Tapada evidencian una transición de baja sulfuración a sulfuración intermedia en el fluido hidrotermal.

2.1. Estadio A

La mineralización de estadio A son mantos de reemplazamiento subparalelos a la estratificación, emplazados principalmente en la secuencia carbonatada y en menor medida en la unidad de transición a sedimentos silicoclásticos. En general, magnetita es el mineral más abundante seguida por pirrotita intercrecida con esfalerita rica en Fe de color marrón oscura y más clara en las partes

más distales, dentro de un *skarn* de Mg conformado por serpentina, talco, brucita, tremolita fibrosa, fengita, flogopita, calcita y cloritas (Figura 3). Es posible que el Mg de este *skarn* provenga de una alteración hidrotermal previa y no de horizontes dolomíticos que no se aprecian en el área. Mucho menos abundante ocurre el *skarn* de granate andradítico y en él no se encuentra mineralización del estadio A.

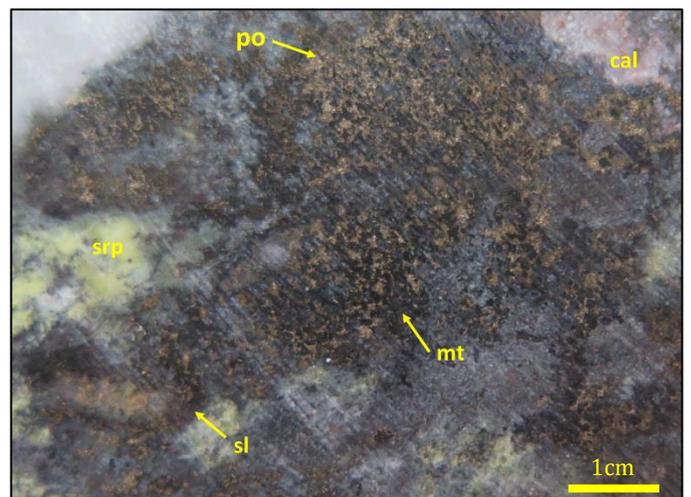


Figura 3. Magnetita, pirrotita y esfalerita en manto de estadio A con *skarn* de serpentina. DDHTPD17016 a 465.8 m @ 0.1 g/t Au, 0.1 Oz Ag, 0.0 % Pb, 2.6 % Zn, 0.1% Cu sobre 1.5 m. Abreviaturas: srp = serpentina, sl = esfalerita, mt = magnetita, po = pirrotita, cal = calcita.

Este primer evento representa aproximadamente 2/3 de la esfalerita de La Tapada con una ley

promedio de 3.57% Zn sobre un recurso mayor a 5 Mt estimados a la fecha. En este estadio no se observa la ocurrencia de minerales de Pb, Ag y Cu. La mineralogía refleja condiciones reductoras y pH cercano a neutro (baja sulfuración).

2.2. Estadío B

El estadio B consiste en reemplazamientos de pirita típicamente idiomórfica y con macla polisintética que en algunas partes contienen Au (hasta 9.36 g/t en tramos de 1.1 m a lo largo del sondaje de pirita masiva. La alteración es cuarzo-sericita ± arcillas. Pirita B se presenta en mantos subparalelos a la estratificación y en parte como cuerpos subverticales, en este caso también en espacios abiertos. Las evidencias de corte de este evento permiten determinar que su emplazamiento fue posterior al estadio A (Figura 4). Este estadio, a pesar de sus contenidos en Au, por si solo carece de importancia económica.

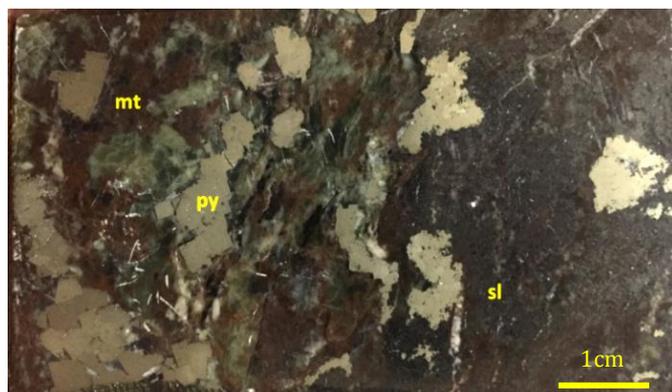


Figura 4. Pirita reemplazando manto de estadio A. DDHTPD17007 a 475.8 m @ 0.5 g/t Au, 0.6 Oz Ag, 0.0 % Pb, 4.1 % Zn, 0.1 % Cu sobre 1.7 m. Abreviaturas: py = pirita, sl = esfalerita, mt = magnetita.

2.3. Estadío C

El estadio C está formado por sets de vetillas, vetas y brechas, todas subverticales de orientación NE-SO y algunas NO-SE. Cortan los estadios anteriores y se emplazan principalmente en las unidades carbonatadas y de transición, en ocasiones también en *hornfels*, cuarcitas, PD y brechas intrusivas. En intersecciones con *skarn* de Mg y de granate, la roca de caja está frecuentemente mineralizada en disseminaciones y parches del estadio C. Las estructuras, con rangos que varían entre 5 cm y 1 m, están rellenas por cuarzo, carbonatos de Ca-Mg-Fe-Mn, pirita, esfalerita pobre en Fe, galena, cobres grises con alta razón As/Sb y contenidos de plata, además de trazas de calcopirita. Dentro de estas estructuras se puede observar texturas tipo peine y crustiformes, evidenciando la sucesión de deposición de los minerales (Figura 5). Este tercer

estadio de mineralización tiene gran importancia económica debido a la ocurrencia de leyes promedio de 4.18% Zn, 3.00% Pb, 3.27 oz/t Ag y puntualmente de Cu. En muchas de las estructuras de relleno ocurre caolinita e illita que sumado a los minerales presentes reflejarían condiciones oxidantes y pH ácido (sulfuración intermedia).

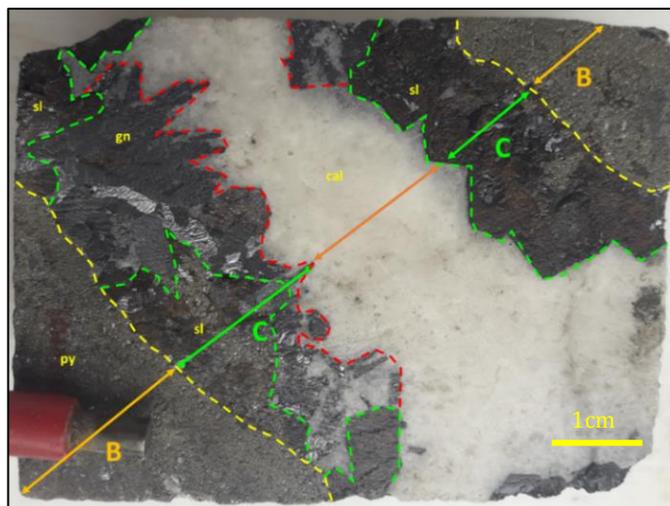


Figura 5. Veta de textura crustiforme reabierta por los diferentes estadios. DDHTPD17003 a 299.9 m @ 1.8 g/t Au, 8.2 Oz Ag, 6.2 % Pb, 5.6 % Zn, 0.3 % Cu sobre 1.3 m. Abreviaturas: py = pirita, sl = esfalerita, gn = galena, cal = calcita.

2.4. Estadío post C

Conjunto de vetillas y vetas de calcita con contenidos menores de esfalerita, galena, calcopirita y trazas de arsenopirita que cortan y/o reabren todo lo antes descrito (Figura 5).

3. Conclusiones y discusión

La mineralización cordillerana polimetálica en La Tapada es el último evento dentro de la evolución de un sistema tipo pórfido en el sentido de Sillitoe (2010) que incluye varias fases intrusivas y diferentes estadios de mineralización.

La mineralogía y alteración presentes en cada uno de los estadios evidencia una transición en las condiciones de los fluidos hidrotermales, partiendo desde un fluido con condiciones reducidas y pH neutro (estadio A, baja sulfuración) hasta llegar a condiciones oxidantes y de pH más ácido (estadio C, sulfuración intermedia). Todo esto formado después de la mineralización y alteración tipo pórfido Cu-Au con ocurrencia de calcopirita y pirita probablemente aurífera.

El reconocimiento de estos estadios, basado en ensambles de mineralización y alteración, y datos geoquímicos como la razón Zn/Ag (Figura 6), ha permitido hacer un modelamiento de recursos más

realista, ya que los estadios de mineralización tienen geometría distinta (A en mantos subparalelos a la estratificación, y C en cuerpos/vetas subverticales). El discriminar los estadios permitirá un tratamiento geometalúrgico diferenciado. El modelo del yacimiento alcanzado brinda nuevas guías de exploración.

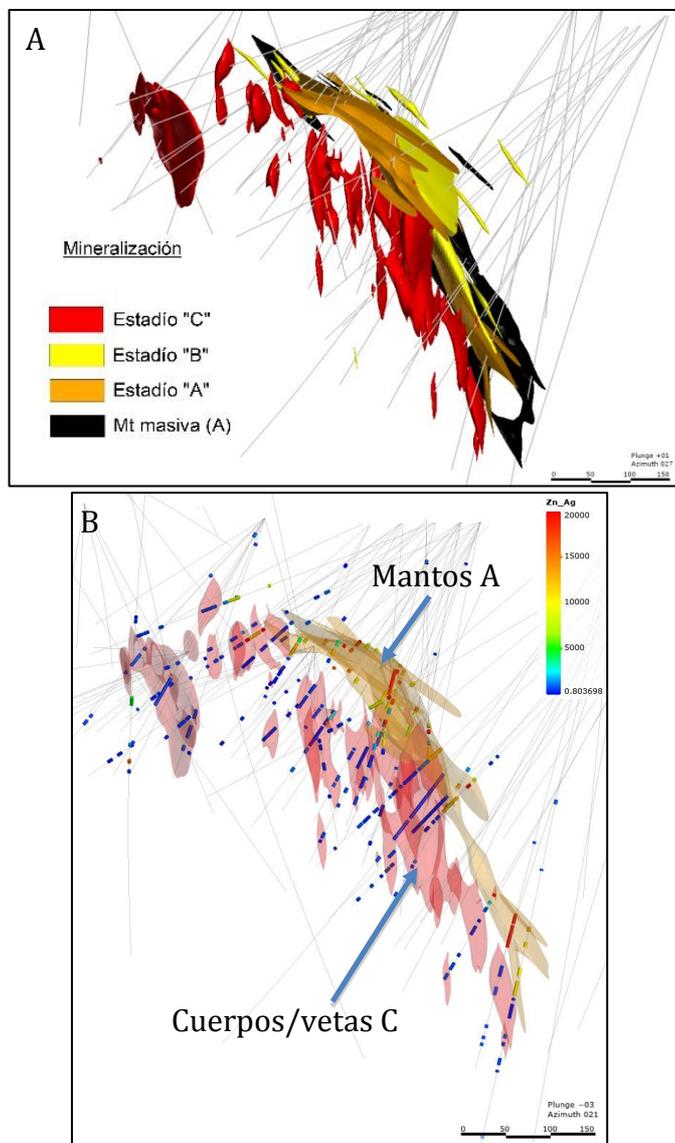


Figura 6. A. Modelo 3D de estadios de mineralización. B. Tramos mineralizados mayor a 1 % Zn equivalente, mostrando como leyenda la razón de Zn/Ag. Nótese que los valores altos (colores más cálidos) de la razón corresponden al estadio C y los valores bajos (colores más fríos) de la razón corresponden al estadio C.

Referencias

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.

Figuroa, O., Farfán, C., Fontboté, F., Bernaola, R., Espinoza, S. y Díaz, M., 2019. Exploración bajo un lithocap en el pórfido Au-Cu Santa Bárbara, Carhuacayán - Franja miocénica en el Perú Central: Importancia del reconocimiento de distintas fases intrusivas. *Resúmenes proEXPLO 2019*.

Noble, D. y McKee, E., 1999. The Miocene metallogenic 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*, p. 155–193.

Rottier, B., Kouzmanov, K., Casanova, V., Wälle, M. y Fontboté L., 2018. Cyclic dilution of magmatic metal-rich hypersaline fluids by magmatic low-salinity fluid: a major process generating the giant epithermal polymetallic deposit of Cerro de Pasco, Peru. *Economic Geology*, v. 113, p. 825–856

Sillitoe, R., 2010. Porphyry copper systems. *Economic Geology*, v. 105, p. 3-41.

