

# EDAD DE MINERALIZACIÓN Y FUENTES DE METALES DE Cu-Mo-Au EN EL BATOLITO ANDAHUAYLAS-YAURI

<sup>1</sup>Jorge Acosta, <sup>2</sup>Heo Chul-Ho, <sup>1</sup>Eder Villarreal, <sup>3</sup>Cynthia Yauli, <sup>4</sup>Carlos Salazar,  
<sup>2</sup>Yang Seok-Jun, <sup>3</sup>Moisés Ortega & <sup>3</sup>Braulio Zorrilla.

<sup>1</sup> Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET. Lima, Perú. ([jacosta@ingemmet.gob.pe](mailto:jacosta@ingemmet.gob.pe))

<sup>2</sup> Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources – KIGAM. Daejeon, Corea del Sur.

<sup>3</sup> Universidad Nacional Mayor de San Marcos – UNMSM. Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. Lima, Perú.

<sup>4</sup> Hudbay Perú S.A.C.

## Resumen

Se da a conocer nuevas edades mineralización, obtenidas por los métodos U-Pb y Re-Os, así como cuatro resultados de isótopos de plomo de dos yacimientos tipo pórfido Cu-Mo.

## Abstract

We report new mineralization ages, obtained by the U-Pb and Re-Os methods respectively, as well as four lead isotope results from two Cu-Mo porphyry-type events.

**Palabras claves:** *geochronology, U-Pb, Re-Os, metallogeny.*

## INTRODUCCIÓN

En abril del 2015 se firmó el Convenio internacional entre el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) y el Instituto Coreano de Geociencia y Recursos Minerales (KIGAM), con el fin de estudiar la metalogenia de la mineralización de cobre y de oro en las franjas de pórfidos y epitermales de la región de Apurímac (Quispe et al., 2008). Durante la primera campaña del 17 y 28 de junio del 2015 se realizó el reconocimiento de la geología, alteración y mineralización de la mina Constancia y el proyecto Trapiche.

En este trabajo damos a conocer resultados de 4 edades de mineralización obtenidas por el método U-Pb y Re-Os y 4 resultados de isótopos de plomo de rocas y menas de los yacimientos de Trapiche y Constancia.

## DATOS GEOCRONOLÓGICOS Y EDAD DE MINERALIZACIÓN

El batolito intruye principalmente depósitos marinos y continentales mesozoicos y cenozoicos, conformados por las formaciones Piste, Chuquibambilla y Soraya (equivalente al Grupo Yura), Mara, Ferrobamba, Puquin, Chilca y Grupo San Gerónimo. Algunas edades K – Ar reportadas por Carlier et al. (1996), Carlotto (1998) y Perelló et al. (2003), confirman una edad Eoceno medio a Oligoceno temprano (~ 48 – 32 Ma) para la mayor parte del batolito. Los datos geocronológicos obtenidos por Perelló et al. (2003) apoyan la idea de Bonhomme y Carlier (1990) que sugiere que las rocas consideradas de la etapa temprana son realmente las más antiguas (48 – 43 Ma) que las rocas de composición intermedia (40 – 32 Ma, las cuales ambas dieron origen al batolito. Edades K-Ar en las dioritas de Utupara (NO del batolito) reportadas por Bustamante (2008) sugieren una edad mucho más antigua para el batolito (63.15 y 61.5 Ma), sin embargo, estos datos deben ser corroborados con métodos más precisos como Ar-Ar (Figura 1).

La edad de la alteración y mineralización en el batolito se presenta continua entre 28-33 Ma, 35-37 Ma y 40 Ma (Perelló et al. 2003), la cual guarda relación con la edad de las rocas más jóvenes del batolito, de composición intermedia, formadas por granodioritas, tonalitas, monzonitas y monzonitas con cuarzo.

Las edades obtenidas en el Proyecto Trapiche, por el método U-Pb en zircón, fueron  $29.29 \pm 0.27$  Ma y  $29.34 \pm 0.20$  Ma en el pórfido monzonítico (KIGAM-M-001). Mientras que el pórfido monzonítico intramineral dio una edad de  $29.39 \pm 0.22$  Ma (KIGAM-M-002). Las edades obtenidas guardan relación con las obtenidas previamente entre  $28.95 \pm 0.5$  Ma y  $28.89 \pm 0.39$  Ma (Llosa et al., 2013).

En la mina Constancia la edad de mineralización obtenida fue  $30.73 \pm 0.2$  Ma, por el método Re-Os en molibdenita. La muestra procedió de la brecha monomítica con clastos monzoníticos subredondeados a subangulosos y matriz rellena de molibdenita (KIGAM-135), la cual está en contacto con el pórfido monzonítico intramineral.

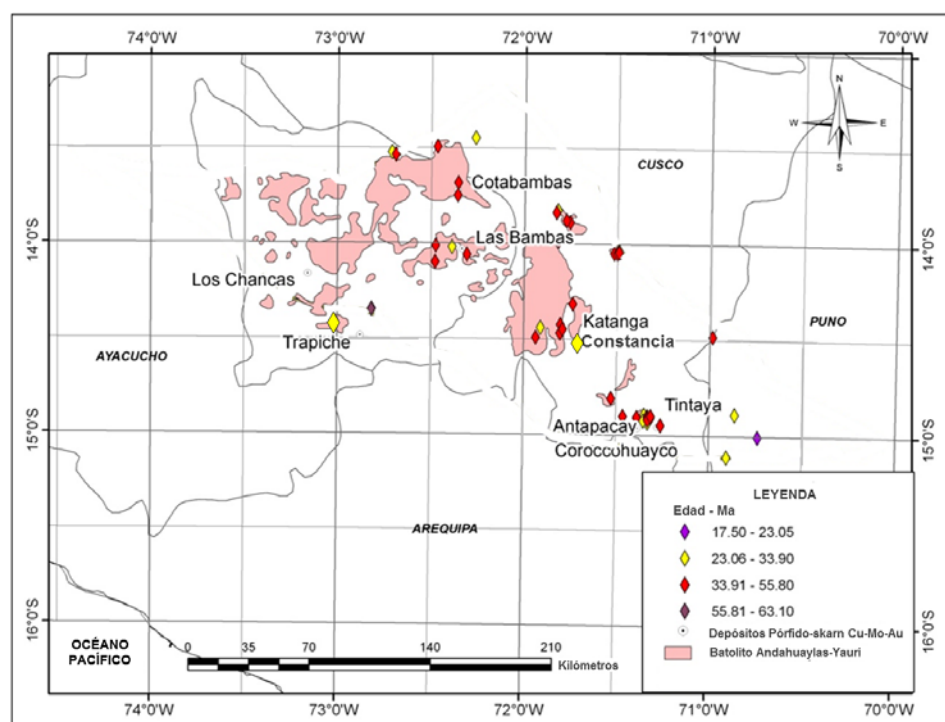


Figura 1. Mapa de edades de rocas y mineralización en el del Batolito Andahuaylas – Yauri.

## DATOS ISOTÓPICOS DE PLOMO Y FUENTES DE MINERALIZACIÓN

Para el estudio isotópico del Pb, se tomaron en total 4 muestras (Tabla 1). Las muestras procedieron de taladros de perforación y afloramientos del pórfido Cu-Mo Trapiche y del pórfido-skarn Cu-Mo-Au - Constancia. Para el caso de Trapiche, se tomaron 2 muestras de taladros del pórfido cuarzo monzonita (PQM), donde a partir de venillas de cuarzo-sulfuros, se separaron pirita (KIGAM-M-016) y pirita-calcopirita (KIGAM-M-018C). La tercera muestra (KIGAM-M-013) corresponde a un afloramiento de pórfido cuarzo dacita (PQD) con pirita diseminada, evento posterior al PQM.

En Constancia, se tomó una muestra de pirita (KIGAM-M-038) de un afloramiento de una diorita argilizada con pirita y calcopirita (también en venillas menores que 1 mm). La diorita pertenece al evento precursor del depósito.

Para establecer la fuente de dónde ha venido la mineralización (corteza superior, corteza inferior, manto u orógeno), a partir de los análisis isotópicos de plomo se determinaron las relaciones isotópicas  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  y  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ . Tomando como referencia la curva de evolución isotópica de Pb establecida para el modelo plumbotectónico uranogénico de Stacey & Krammers (1975), se plotearon las relaciones isotópicas  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  vs  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ . De la misma manera, se

plotearon las relaciones  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  vs  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  en las curvas de evolución isotópica del Pb para el modelo plumbotectónico toriogénico de Zartman & Doe (1981).

En el modelo plumbotectónico uranogénico de Stacey & Krammers, con cocientes isotópicos  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  vs  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ , se puede notar que hay dos grupos de muestras. El primero, (muestras de Trapiche, Constanca y una de Utupara) se ubica por encima de la curva de la corteza superior, lo cual sugiere que la fuente de la mineralización de estos depósitos se encuentra en la corteza superior (Figura 2A).

Tabla 1.- Resultados de análisis de isótopos de Pb de Utupara, Cotabambas, Trapiche y Constanca.

| Muestra        | LONG    | LAT     | Mineral            | $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | Error % | $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | Error % | $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | Error % | Autor               |
|----------------|---------|---------|--------------------|-----------------------------------|---------|-----------------------------------|---------|-----------------------------------|---------|---------------------|
| UTU-001        | -72.816 | -14.352 | Pirita             | 18.596                            | 0.041   | 15.629                            | 0.044   | 38.661                            | 0.044   | Bustamante., 2008   |
| UTU-002        | -72.802 | -14.349 | Pirita             | 18.645                            | 0.007   | 15.652                            | 0.01    | 38.76                             | 0.01    | Bustamante., 2008   |
| UTU-003        | -72.815 | -14.354 | Pirita             | 18.641                            | 0.02    | 15.654                            | 0.019   | 38.732                            | 0.023   | Bustamante., 2008   |
| UTU-004        | -72.815 | -14.349 | Pirita             | 18.675                            | 1.055   | 15.729                            | 1.061   | 38.963                            | 1.065   | Bustamante., 2008   |
| UTU-005        | -72.815 | -14.354 | Pirita             | 18.703                            | 0.009   | 15.662                            | 0.009   | 38.79                             | 0.009   | Bustamante., 2008   |
| UTU-013        | -72.833 | -14.366 | Pirita             | 18.492                            | 0.007   | 15.633                            | 0.006   | 38.595                            | 0.007   | Bustamante., 2008   |
| UTU-012        | -72.815 | -14.349 | Diorita            | 18.848                            | 0.008   | 15.649                            | 0.008   | 38.941                            | 0.008   | Bustamante., 2008   |
| UTU-016        | -72.815 | -14.351 | Diorita            | 18.755                            | 0.007   | 15.638                            | 0.008   | 38.839                            | 0.008   | Bustamante., 2008   |
| KIGAM-2010-023 | -72.357 | -13.732 | Pirita             | 18.535                            | 0.012   | 15.577                            | 0.012   | 38.442                            | 0.01    | Rivera et al., 2011 |
| KIGAM-2010-004 | -72.367 | -13.722 | Pirita             | 18.559                            | 0.016   | 15.604                            | 0.015   | 38.522                            | 0.015   | Rivera et al., 2011 |
| KIGAM-M-013    | -72.878 | -14.502 | Pirita             | 18.77                             | 1.06    | 15.77                             | 1.01    | 38.91                             | 1.02    | Este estudio        |
| KIGAM-M-016    | -72.871 | -14.501 | Pirita             | 18.65                             | 1.13    | 15.75                             | 1.09    | 38.81                             | 1.11    | Este estudio        |
| KIGAM-M-018C   | -72.871 | -14.501 | Pirita-calcopirita | 18.82                             | 0.94    | 15.85                             | 0.84    | 39.2                              | 0.87    | Este estudio        |
| KIGAM-M-038    | -71.76  | -14.507 | Pirita             | 18.83                             | 0.69    | 15.79                             | 0.74    | 38.92                             | 0.74    | Este estudio        |

Lo contrario sucede en Cotabambas y Utupara, donde el segundo grupo de muestras se encuentran entre las curvas de mezcla orogénica y la corteza superior (a excepción de la muestra de mena UTU-004), lo que sugiere que la principal fuente son rocas de la corteza superior. Sin embargo, no se puede descartar una contaminación de la corteza inferior o del manto. Dado que las muestras de sulfuros de Utupara siguen la misma tendencia de la curva de evolución isotópica de Pb de las rocas intrusivas encajantes (dioritas), se puede aceptar a las dioritas (UTU-012 y UTU-016) como la fuente principal de mineralización en Utupara (Figura 2B).

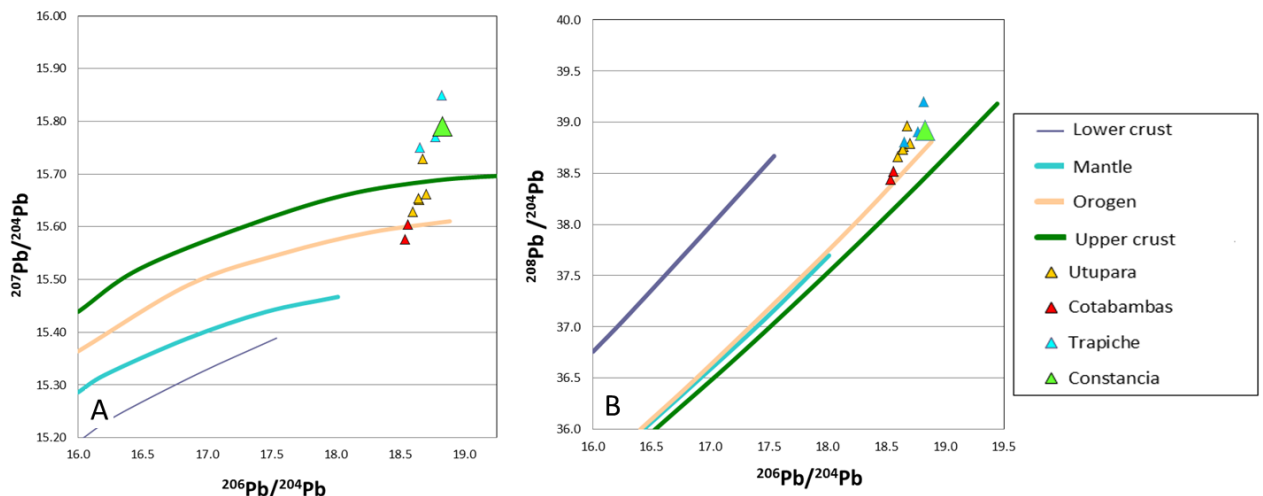


Figura 2. A. Diagrama plumbotectónico uranogénico de Stacey & Krammers (1975) de  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  vs  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  para sulfuros de Utupara, Cotabambas, Trapiche y Constanca en el Batolito Andahuaylas-Yauri. B.

Diagrama modelo plumbotectónico toriogénico de Zartman & Doe (1981) de  $^{208}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$  vs  $^{206}\text{Pb} / ^{204}\text{Pb}$  para sulfuros de Utupara, Cotabambas, Trapiche y Constancia en el Batolito Andahuaylas-Yauri.

El diagrama con relaciones  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  vs  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  establecido para el modelo Toriogénico sirve para discriminar fuentes de mineralización entre la corteza inferior, superior o el manto. En este caso, nuestro interés está en discriminar entre la corteza inferior y el manto. En la Figura 3 se puede ver que las muestras caen en el campo entre las curvas de mezcla orogénica y de la corteza inferior. Por consiguiente, la mineralización proviene de una mezcla donde su segundo componente es la corteza inferior.

## CONCLUSIONES

Las edades de mineralización de ~31 y ~29 Ma obtenidas en los depósitos tipo pórfido-skarn de Constancia y Trapiche, respectivamente, concuerdan con el primer pulso de mineralización entre 28 y 33 Ma reportado previamente por Perelló et al. (2003).

Los resultados de los isótopos de plomo demostraron que la mineralización de Cu-Mo-Au en Trapiche y Constancia proviene de la corteza superior, mientras que la mineralización de Cu-Au en Utupara y Cotabambas deriva de una fuente orogénica, debido a una mezcla de la corteza superior y la corteza inferior en menor proporción.

## Agradecimientos

Los resultados expuestos en este trabajo son gracias al apoyo recibidos por las compañías mineras para reconocer y recolectar muestras de sus yacimientos el año 2015. Se extiende un agradecimiento especial a Hudbay Perú S.A.C. y Cía. de Minas Buenaventura S.A.A.

## Referencias

- Bustamante, A. (2008).- Geocronología, petrografía, alteraciones e isótopos de Pb y Sr del complejo porfirítico de (Cu – Au) Utupara, Aplicaciones a la exploración minera, Antabamba –Apurímac – Perú. Tesis de maestría, 126 p.
- Carlier, G., Lorand, J.P., Bonhomme, M. and Carlotto, V. (1996) A reappraisal of the Cenozoic Inner Arc magmatism in southern Peru: Consequences for the evolution of the Central Andes for the past 50 Ma, Third International Symposium on Andean Geodynamics, St. Malo, France, Extended Abstracts volume, pag. 551-554.
- Llosa, F., Veliz, J e Ito., B. 2013. Descubrimiento y Geología del Pórfido Cu Mo Trapiche. Apurímac Perú. Perumin – 31.
- Perello, J., Carlotto, V., Zarate, A., Caballero, A., Fuster, N. and Murh R. (2003) Porphyry-Style alteration and mineralization of the Middle Eocene to Early Oligocene Andahuaylas-Yauri Belt, Cuzco Region, Peru. *Economic Geology*, Vol. 98, pag. 1588.
- Quispe, J., Carlotto, V., Acosta, J., Macharé, J., Chirif, H., Rivera, R., Romero, D., Huanacuni, D. & Rodríguez, R. 2008. Mapa Metalogénico del Perú 2008. CD Resúmenes del XIV Congreso peruano de Geología. Código C-27.
- Rivera, R.; Acosta, J; Chul – Ho HEO, C.; Cheng Ryu RYOO, C.; Bustamante, A.; Villarreal, E.; Santisteban, A. 2011. Metallogeny of Andahuaylas - Yauri Batholith and their Implications in the Exploration of Cu – Au Porphyry Systems. Perumin – 30
- Stacey, J.S. and Kramers, J.D. (1975). Approximation of Terrestrial Lead Isotope Evolution by a 2-Stage Model. *Earth and Planetary Science Letters* 26(2): 207-221.
- Zartman R. E. & Doe, B. R. (1981) Plumbotectonic – the model. *Tectophysics*, vol. 75, pag. 135-162.