



SGP
FUNDADA 1924

Boletín de la Sociedad Geológica del Perú

journal homepage: www.sgp.org.pe

ISSN 0079-1091

Características isotópicas y fuentes de mineralización de las franjas metalogenéticas del sureste peruano

**Jorge Acosta¹, Chul-Ho Heo², Michael Valencia¹, Cheng Ryu Ryoo²,
Alexander Santisteban¹, Seok-Jun Yang², y Raymond Rivera³**

¹ INGEMMET, Dirección de Recursos Minerales y Energéticos, Av. Canadá 1470, San Borja, Lima, Perú (jacosta@ingemmet.gob.pe)

² KIGAM, 92 Gwahang-no, Yuseong-gu, Daejeon 305-350, Corea del Sur

³ Minera Antares Peru SAC, calle Simón Bolívar 101, Yanahuara, Arequipa, Perú

1. Introducción

La zona de estudio se ubica en el sureste de Perú y se extiende entre las regiones de Puno y Cusco y las cordilleras de Carabaya y Vilcabamba. El trabajo presenta resultados de una caracterización isotópica de plomo de los yacimientos metálicos del sureste del Perú. La caracterización isotópica muestra qué tipo de yacimientos son más radiogénicos y con la ayuda de los diagramas plumbotectónicos se determina cuáles son las posibles fuentes de mineralización de las franjas metalogenéticas.

Este estudio se realizó a partir de una base de datos de 69 muestras de isótopos de Pb de mena y roca, de las cuales 21 corresponden a este estudio. Los datos fueron tomados de Kontak et al. (1990), Bustamante (2008), Miskovic (2009), y Rivera et al. (2011). Se ha realizado una interpretación preliminar a partir de 20 muestras de roca total y 49 muestras de sulfuros como galena, pirita, pirrotita, calcopirita, molibdenita y esfalerita.

2. Marco geológico

La geología está formada por unidades sedimentarias del Paleozoico inferior, las cuales comprenden las formaciones Sandía y Ananea del Ordovícico, Silúrico y Devónico. Afloran con una orientación NO-SE. Otra secuencia sedimentaria corresponde al Paleozoico superior, formado por los grupos Ambo, Tarma y Copacabana, del Carbonífero y Pérmico. La secuencia del Cretácico comprende las formaciones Huancané y Ayabacas, de la llamada cuenca Putina. Suprayaciendo a las secuencias anteriores se encuentra el Grupo Puno y rocas volcánicas del la secuencia del Cenozoico. Las

secuencias anteriores están cortadas por intrusivos del Permo-Triásico, Triásico tardío, Jurásico, Cretácico, y Cenozoico, los cuales tienen una tendencia NO-SE (Fig. 1). En la zona de estudio se han reconocido tres ciclos orogénicos, del Precámbrico, Paleozoico, y la tectónica andina (Laubacher, 1978).

3. Franjas metalogenéticas

Se han determinado cinco franjas metalogenéticas, y una zona potencial de uranio (Fig. 1):

- **I** : Depósitos de oro en rocas meta-sedimentarias del Ordovícico y Siluro-Devónico.
- **II** : Depósitos de W-Sn-Mo-U y Au-Cu-Pb-Zn relacionados con intrusivos del Permo-Triásico.
- **III** : Pórfidos-skarns de Cu-Mo (Au, Zn) y depósitos de Cu-Au-Fe relacionados con intrusivos del Eoceno-Oligoceno.
- **IV** : Depósitos epitermales de Ag-Pb-Zn(-Au) y depósitos de Sn-Cu-W relacionados con intrusivos del Oligoceno-Mioceno.
- **V** : Depósitos de uranio hospedados en rocas volcánicas del Mio-Plioceno.
- Zona potencial de uranio en rocas sedimentarias del Cretácico.

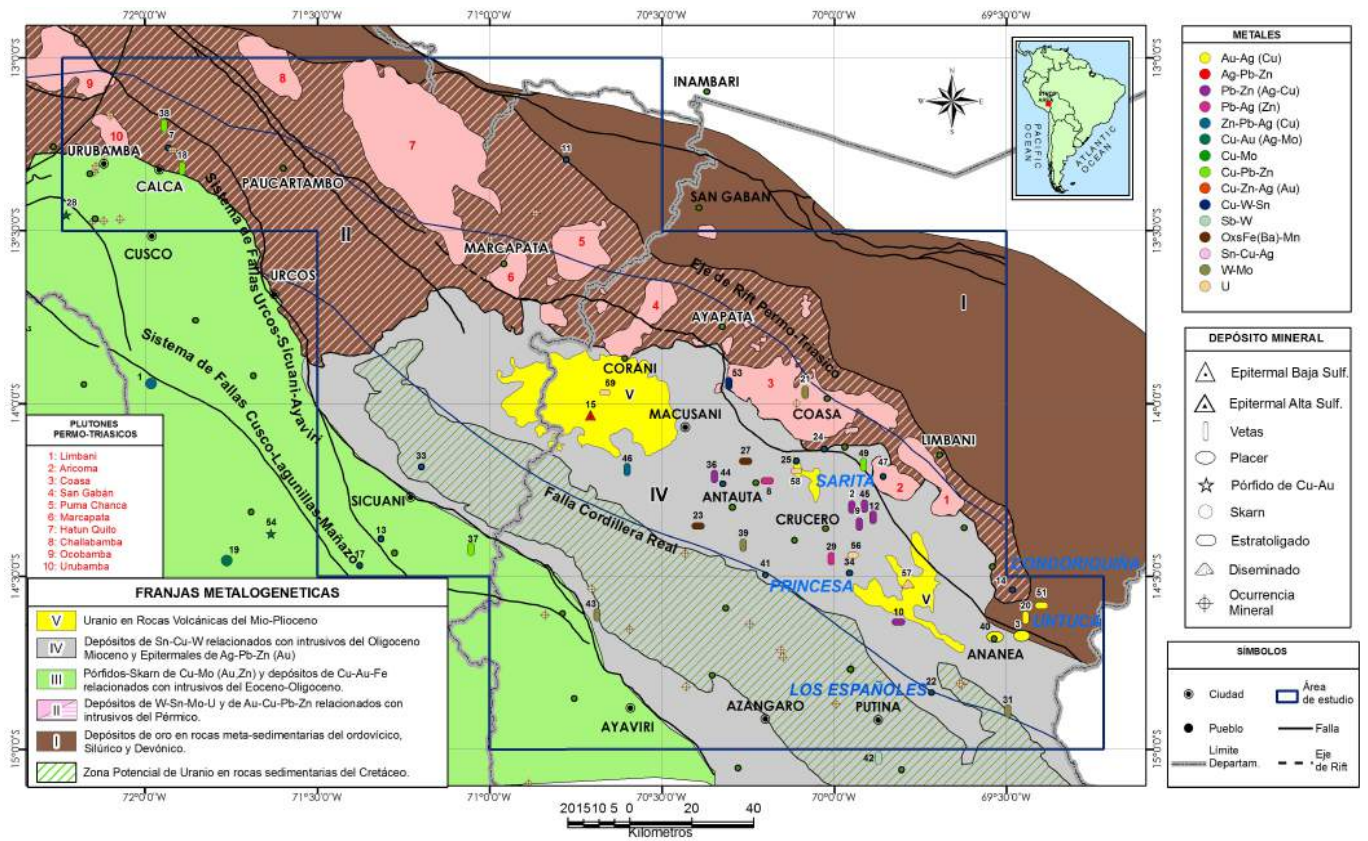


Figura 1. Mapa metalogénico del sureste del Perú.

4. Características de los isótopos de plomo en los yacimientos

Con el fin de comparar los rangos isotópicos de las menas se han graficado las razones isotópicas de $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ y $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ para los distintos depósitos minerales de la zona de estudio. En la Figura 2 se puede notar que los depósitos minerales más radiogénicos y con mayor rango isotópico son los de U (Macusani) y aquellos de Sn, W, Mo, Cu, Au (Sarita, Levans, Volcán) de las franjas V y II respectivamente.

Los depósitos menos radiogénicos son los de Cu, Mo, Au como por ejemplo Cotabambas, Utopara y Yauricocha en la franja III. Esta característica también se observa en los depósitos polimetálicos de Pb, Ag, Cu como Cerro Inca Azul, Casa de Plata, Santa Ana Dos, y Altura; también hay depósitos polimetálicos de Pb, Zn, Ag, que llevan Sn, W o Mo, que son menos radiogénicos, y todos ellos se encuentran en la franja IV.

Otro rasgo que podemos notar es que las composiciones isotópicas de las menas de Cu, Mo, Au de la franja III y polimetálicas de la franja IV son más homogéneas que las de U y Sn, W, Mo, Cu, Au de las franjas V y II, respectivamente.

5. Fuentes de mineralización de las franjas metalogénicas

En el diagrama $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs. $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ establecido para el modelo plumbotectónico uranogénico (Fig. 3), se puede apreciar que la fuente principal de Pb radiogénico de las mineralizaciones (en sulfuros) se localiza en dos

zonas. La primera tiene una tendencia lineal y se encuentra por encima de la corteza superior, y la segunda está asociada a una zona orogénica con predominio de la corteza superior. Esto sugiere que la mineralización proviene de dos fuentes, una de la corteza superior y otra de una mezcla de corteza superior con una contaminación subordinada de Pb de la corteza inferior.

En la Figura 3 se ve que los depósitos minerales de Sn, W, Mo, Cu, Au de la franja II siguen una tendencia lineal como Sarita, Levans y Volcán, lo que sugiere que provienen de una misma fuente de mineralización, como es la corteza superior. Similar es el caso con los depósitos polimetálicos de Ag, Pb, Zn, Cu, y Pb, Zn, Ag Sn, W, Mo de la franja IV, los cuales provienen principalmente de una fuente metálica de la corteza superior. Lo mismo sucede con las muestras relacionadas con la mineralización de uranio de la franja V.

Sin embargo, pasa lo contrario con los depósitos de Cu, Mo, Au de la franja III, como Utopara, Cotabambas y Yauricocha, ya que ambos provienen de una fuente producto de la mezcla entre la corteza superior y la corteza inferior.

En el diagrama $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs. $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ establecido para el modelo plumbotectónico toriogénico (Fig. 4), podemos notar dos grupos de muestras. El primer grupo sigue una tendencia lineal a lo largo de la curva de la corteza superior, lo cual sugiere que provienen principalmente de esa fuente metálica. El segundo grupo se encuentra por encima de la curva de mezcla orogénica y muy debajo de la curva de corteza inferior, lo cual

significa que la fuente de mineralización es una mezcla de corteza superior con corteza inferior.

Si relacionamos las fuentes de mineralización con el contenido metálico de los yacimientos, notaremos que los depósitos de Sn, W, Mo, Cu, Au de la franja II como Sarita, Levans y Volcán provienen de la corteza superior, al igual

que los depósitos de uranio de la franja V. Por otro lado, los depósitos de Cu, Mo, Au, y los depósitos polimetálicos de Ag, Pb, Zn, Cu, y Pb, Zn, Ag Sn, W, Mo, provienen de una mezcla de fluidos de la corteza superior y la corteza inferior

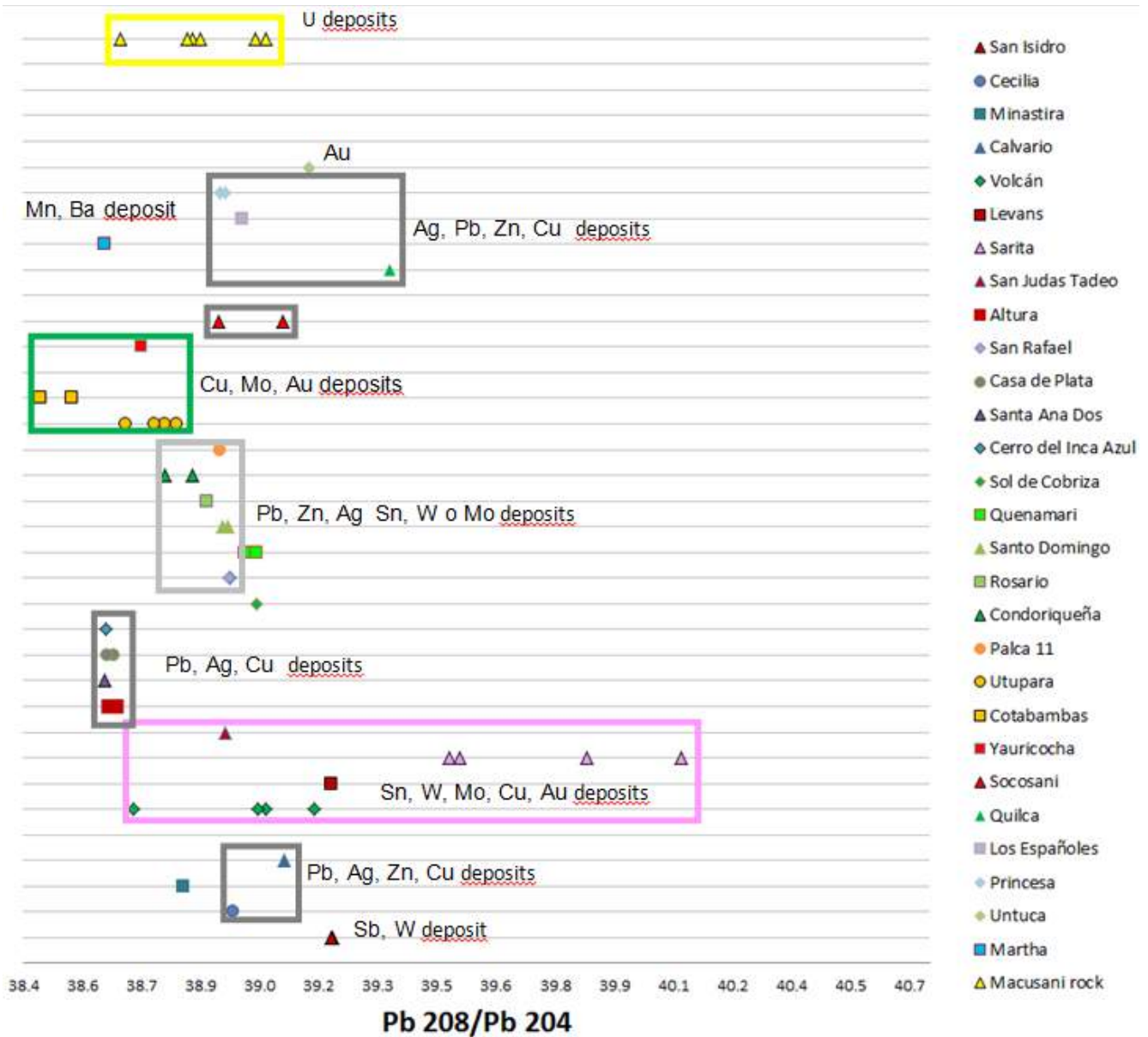


Figura 2. Razones isotópicas $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ de las menas de los depósitos minerales del sur del Perú (Cusco y Puno).

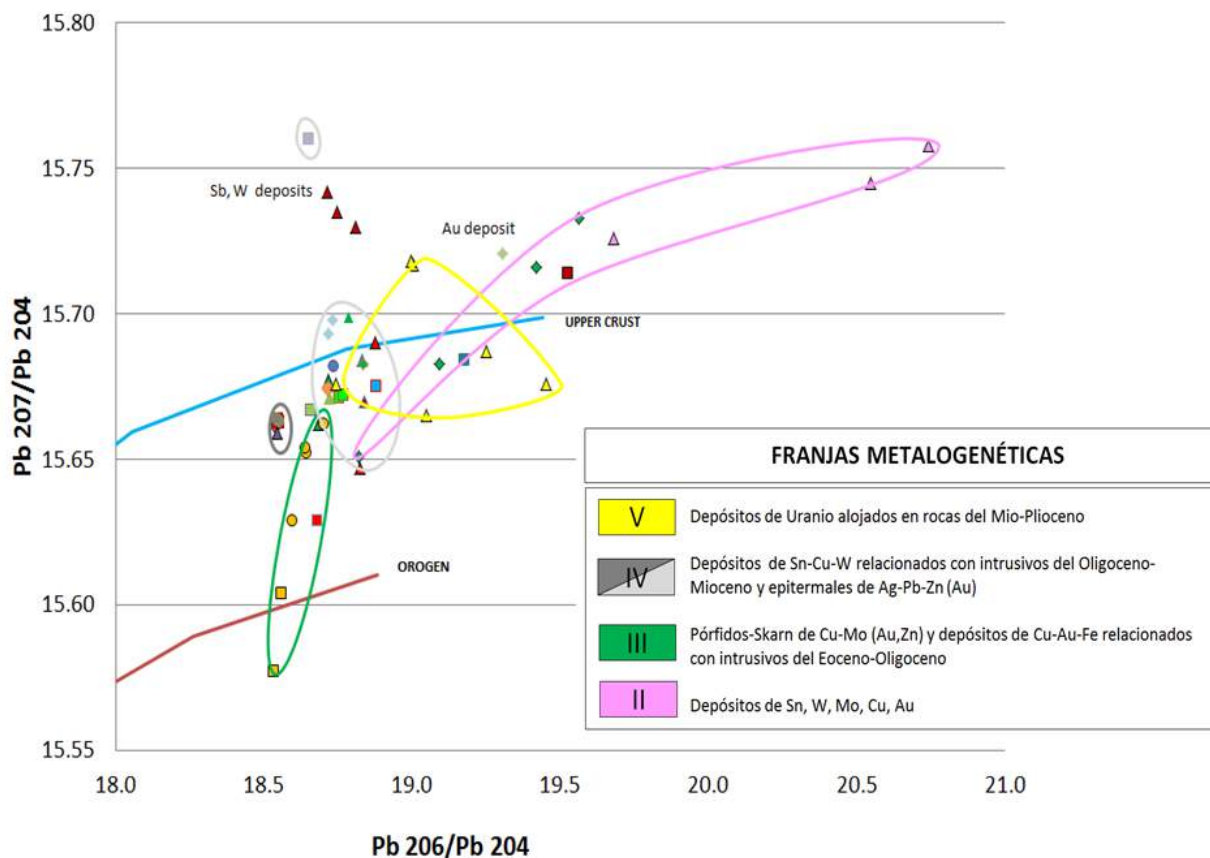


Figura 3. Diagrama plumbotectónico uranogénico (Zartman & Doe, 1981) para las muestras de mena de los depósitos minerales del sur del Perú (Cusco y Puno).

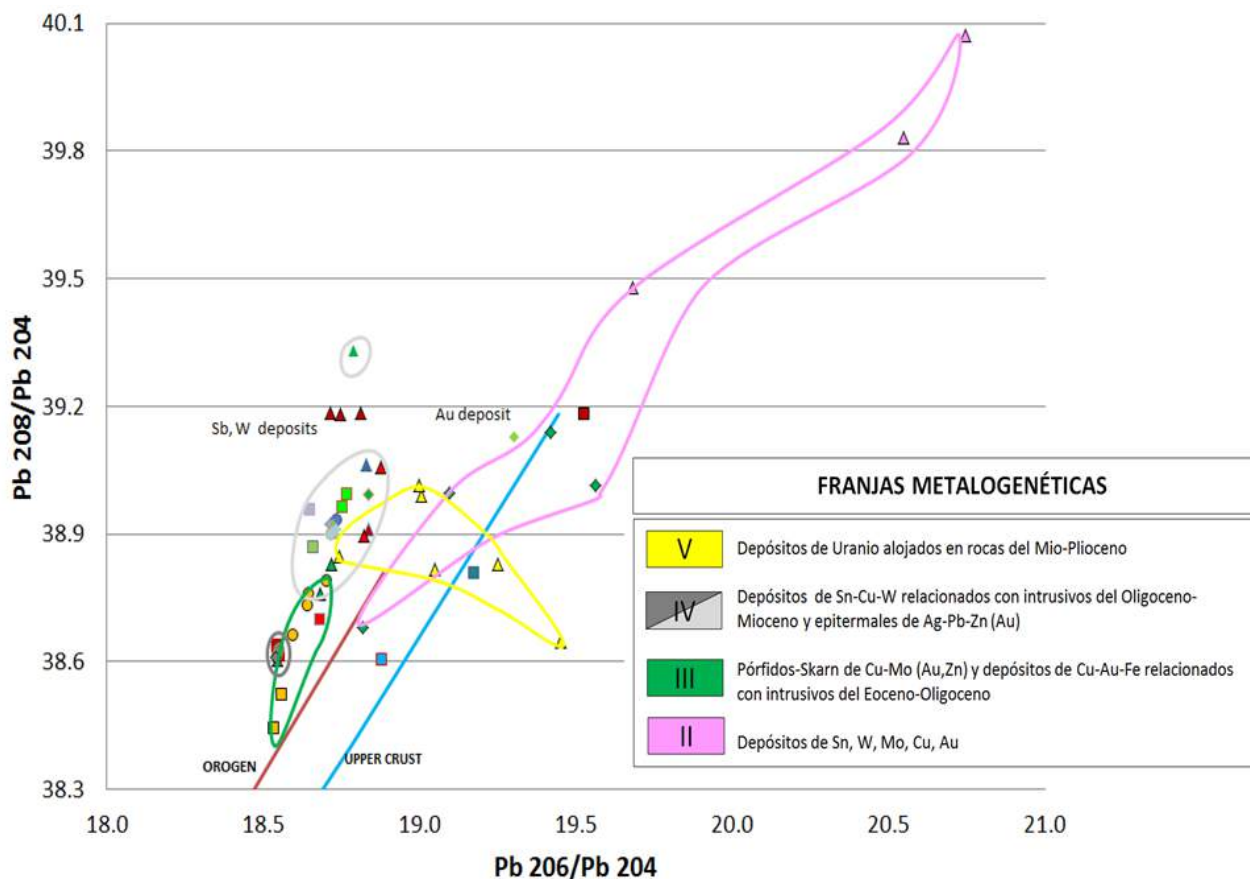


Figura 4. Diagrama plumbotectónico toriogénico (Zartman & Doe, 1981) para las muestras de mena de los depósitos minerales del sur del Perú (Cusco y Puno).

6. Conclusiones

Las menas de los depósitos minerales presentan más Pb radiogénico que las rocas de caja, y sus valores tienen una variación más amplia. Esto significa que las franjas metalogenéticas II (Sn, W, Mo, Cu, Au) y V (uranio) tienen más Pb radiogénico que las franjas III (Cu, Mo, Au) y IV (Ag-Pb-Zn(-Au) y Sn-Cu-W). También se puede interpretar que los fluidos mineralizantes procedieron al menos de dos fuentes.

Los análisis de los cocientes de $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ y $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ establecen que existieron dos fuentes de mineralización. De esta manera se ha podido establecer que los depósitos de W-Sn-Mo de la franja II y los depósitos de uranio de la franja V provienen de una misma fuente de mineralización que se encuentra en la corteza superior. Sin embargo, los depósitos de Cu, Mo, Au de la franja III y los depósitos polimetálicos de Ag, Pb, Zn, Cu, y Pb, Zn, Ag Sn, W, Mo, provienen de una mezcla de fluidos de la corteza superior y la corteza inferior.

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.
- Kontak, D.J., Cumming, G.L., Krstic, D., Clark, A.H., Farrar, E. 1990a. Isotopic composition of lead in ore deposits of the Cordillera Oriental, southeastern Peru. *Economic Geology*, v. 85, p. 1584-1603.
- Kontak, D.J., Farrar, E., Clark, A., Archibald, D. 1990b. Eocene tectono-thermal rejuvenation of an Upper Paleozoic - Lower Mesozoic terrane in the Cordillera de Carabaya, Puno, southeastern Peru, revealed by K-Ar and Ar/Ar dating. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 3, p. 231-246.
- Laubacher, G. 1978. Estudio geológico de la región norte del Lago Titicaca. *Boletín del INGEMMET, Serie D: Estudios especiales*, v. 5, 138 p.
- Rivera, R., Condori, N., Valencia, J. 2011. Metalogenia del uranio en las regiones de Cusco y Puno. *Boletín del INGEMMET, Serie B: Geología Económica*, v. 23, 121 p.
- Zartman, R.E., Doe, B.R. 1981. Plumbotectonics: The model. *Tectonophysics*, v. 75, p. 135-162.