

# **CARACTERÍSTICAS ISOTÓPICAS Y FUENTES DE MINERALIZACIÓN DE LAS FRANJAS METALOGENÉTICAS DEL SURESTE PERUANO**

Jorge ACOSTA<sup>1</sup>, Chul-Ho HEO<sup>2</sup>, Michael VALENCIA<sup>1</sup>, Chung-Ryul RYOO<sup>2</sup>, Alexander SANTISTEBAN<sup>1</sup>, Seok-Jun YANG<sup>2</sup> & Raymond RIVERA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> INGEMMET, Dirección de Recursos Minerales y Energéticos. Av. Canadá 1470. Lima 41. Tel. 51-1-6189800

<sup>2</sup> KIGAM, 92 Gwahang-no, Yuseong-gu, Daejeon 305-350, Corea del Sur. Tel. 82.42.868.3089

<sup>3</sup> Minera Antares Peru SAC. Cal. Simón Bolívar No. 101. Yanahuara- Arequipa

jacosta@ingemmet.gob.pe, chheo@kigam.re.kr, mvalencia@ingemmet.gob.pe, ryoo@kigam.re.kr,  
asantisteban@ingemmet.gob.pe, ysj@kigam.re.kr, rayrc77@hotmail.com

## **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 el Perú. La caracterización isotópica muestra que tipo de yacimientos son más radiogénicos y con la ayuda de los diagramas plumbotectónicos se ha determinado 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 isotopos de Pb de mena y roca, de las cuales 21 corresponden a este estudio. El resto de 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.

## **MARCO GEOLÓGICO**

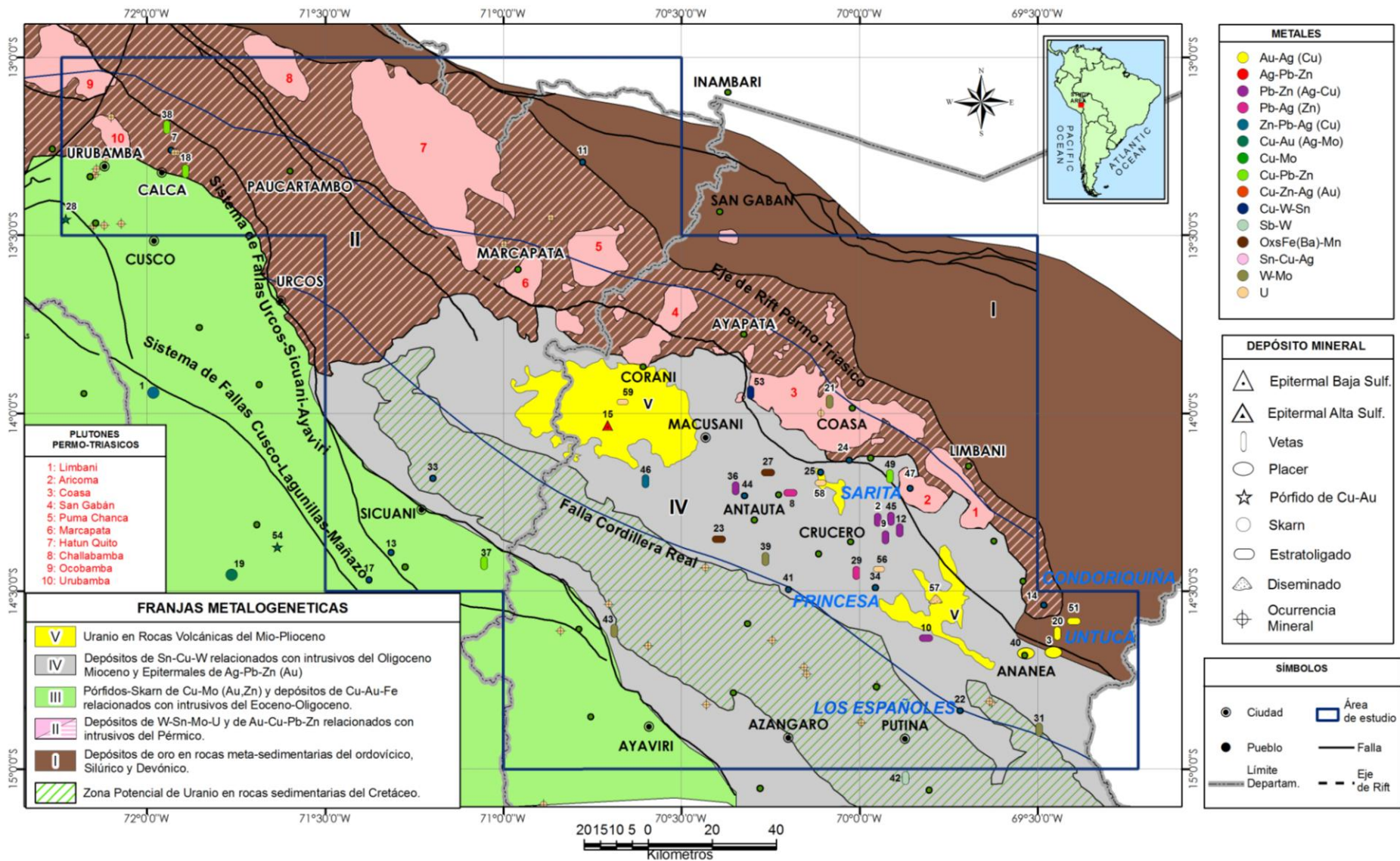
La geología esta formada por unidades sedimentarias del Paleozoico inferior, las cuales comprenden las formaciones Sandia y Ananea del Ordovícico, Silúrico y Devónico. Presentan una orientación NO-SE. Otra secuencia sedimentaria corresponde al Paleozoico superior, formado por los Grupos Ambo, Tarma y Copacabana del Carbonífero y Pérmico. La secuencia del cretácico comprende las formaciones Huancané y Ayabacas de la Cuenca Putina. Suprayaciendo a las secuencias anteriores se encuentra el Grupo Puno y rocas volcánicas de la secuencia del Cenozoico. Las secuencias anteriores están cortadas por intrusivos del Permotriásico, Triásico Tardío, Jurásico, Cretácico y Cenozoico los cuales tienen una tendencia NO-SE (Figura 1). En la zona de estudio se han reconocido tres ciclos orogénicos del Precámbrico, Paleozoico y la Tectónica Andina (Laubacher, 1978).

## **FRANJAS METALOGENÉTICAS**

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

- I: Depósitos de oro en rocas meta-sedimentarias del Ordovícico y Siluro-Devónico,
- II: Depósitos de W-Sn-Mo-U, Au-Cu-Pb-Zn relacionados con intrusivos del Permo-Triásico,
- III: Pórfidos-skarn 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 y
- V: Depósitos de uranio hospedados en rocas volcánicas del Mio-Plioceno.

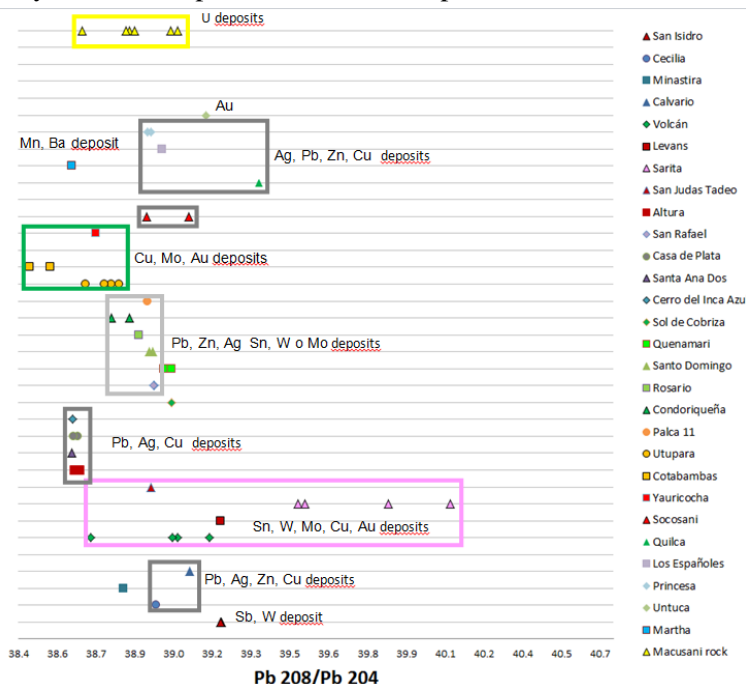
Zona potencial de uranio en rocas sedimentarias del Cretácico.



## 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, Utupara y Yauricocha de 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.



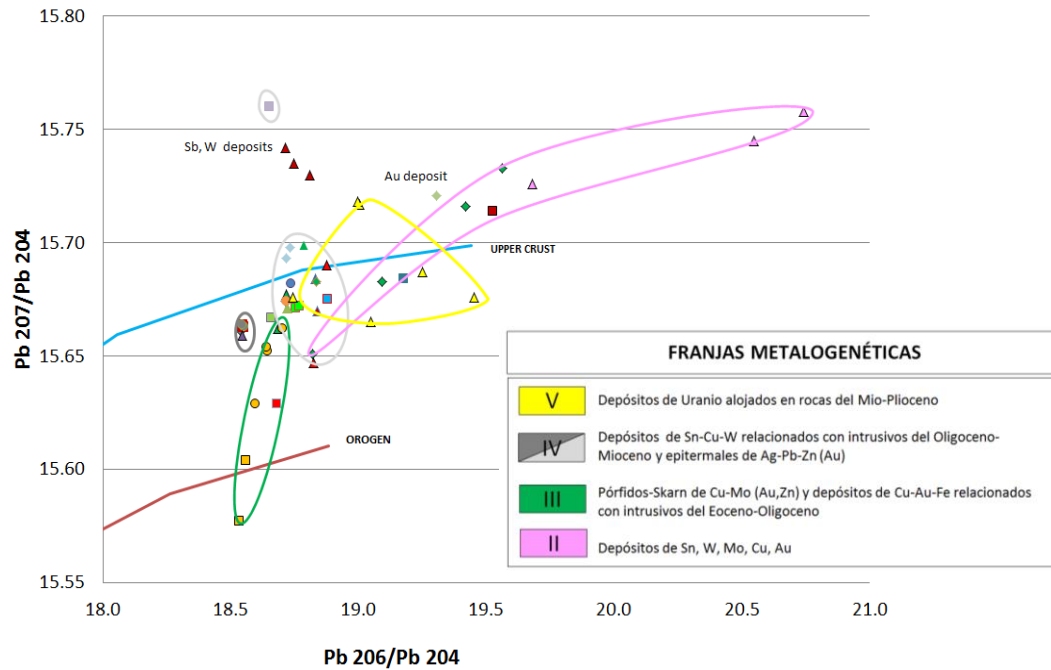
**Figura 2.** Razones isotópicas  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  de las menas de los depósitos minerales del sur del Perú (Cusco y Puno).

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.

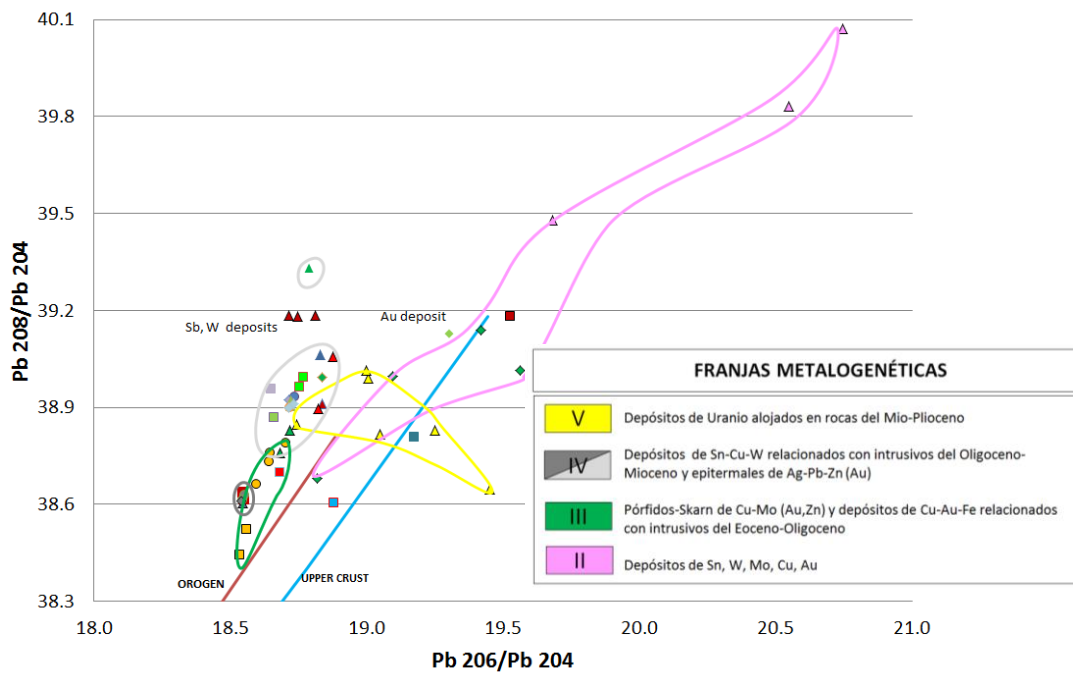
## FUENTES DE MINERALIZACIÓN DE LAS FRANJAS METALOGENÉTICAS.

En el diagrama  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  vs  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  establecido para el modelo plumbotectónico uranogénico (Zartman & Doe, 1981), se puede apreciar en la Figura 3 que la fuente principal de Pb radiogénico de las mineralizaciones (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 de 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 Utupara, Cotabambas y Yauricocha, ya que ambos provienen de una fuente producto de la mezcla entre la corteza superior y la corteza inferior.



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



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

El diagrama  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  vs  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  establecido para el modelo plumbotectónico toriogénico (Figura 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 Franja III) y los depósitos polimetálicos de Ag, Pb, Zn, Cu y Pb, Zn, Ag Sn, W, Mo (Franja IV) provienen de una mezcla de fluidos de la corteza superior y la corteza inferior.

## CONCLUSIONES

Las menas de los depósitos minerales presentan más Pb radiogénico que las rocas y sus valores tienen una variación más amplia. Esto significa, que las franjas metalogénicas II (mineralización de Sn, W, Mo, Cu, Au) y V (depósitos de uranio) tienen más Pb radiogénico que las III (mineralización de Cu, Mo, Au) y IV (mineralización de Ag-Pb-Zn (Au) y Sn-Cu-W). Por consiguiente, se puede interpretar que los fluidos mineralizantes procedieron de la corteza superior y la corteza inferior.

Los análisis de los cocientes de  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  y  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  han establecido que existen dos fuentes de mineralización: la corteza superior y una zona mixta (corteza superior y corteza inferior). De esta manera, se ha podido establecer que los depósitos de W-Sn-Mo de la franja III 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 (Franja IV) 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 –Apurimac – Perú. Tesis de maestría, 126 p.
- KONTAK, D; CLARK, A.; & FARRAR, E. (1984).- The magmatic evolution of the Cordillera Oriental, southeastern Peru. En: Andean magmatic chemical and isotopic constraints. Harmon, R & Barreiro, B eds. p 203-219.
- KONTAK, D. J., CUMMING, G.L., KRSTIC, D., CLARK, A. H., AND 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.; 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 Perú, revealed by K-Ar and Ar/Ar dating. En: Journal of South American Earth Sciences. Vol.3, N° 4. 1990. p. 231-246
- LAUBACHER, G. (1978).- Estudio geológico de la Región Norte del Lago Titicaca. INGEMMET. Boletín N° 5. Serie D: Estudios Especiales, 138p,
- MISKOVIC A. (2009).- Magmatic evolution of the Peruvian Eastern Cordilleran Intrusive Belt: Insights into the Growth of Continental Crust and Tectonism along the Proto-Andean Western Gondwana. Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias de la Tierra. Facultad de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Geneve (Suiza). Terre & Environment Vol. 85. 267 p.
- RIVERA, R.; CONDORI, N. & VALENCIA, J. (2011) - Metalogenia del uranio en las regiones de Cusco y Puno. INGEMMET, Boletín, Serie B: Geología Económica, 23, 121 p.