



## Geoquímica del magmatismo de la franja metalogenética XXIV y su relación con los yacimientos minerales

**Cristina Cereceda, Luis Cerpa, Luis Muñoz, Juan Martínez, Diego Siesquén, y Luis Coba**

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), Av. Canadá 1470, San Borja, Lima, Perú

### 1. Introducción

En el flanco Este de la Cordillera Occidental de la zona centro-sur del Perú afloran rocas ígneas que abarcan desde el Cretácico superior al Holoceno. Los trabajos de actualización de la Carta Geológica del Perú realizados en el marco del Proyecto GR13, durante los años 2011–2013, determinaron, en base al cartografiado, relaciones estratigráficas y reconocimiento de facies volcánicas (Fig. 1).

Más de 30 centros volcánicos fueron emplazados durante la actividad de 6 arcos magmáticos: Chocolate, Anta, Nazca, Sillapaca, Barroso Inferior y Barroso superior. El análisis geoquímico se realizó en base a estos arcos magmáticos con el objetivo de determinar las características geoquímicas de los centros volcánicos con proyectos mineros existentes, con la finalidad de plantear otros centros volcánicos afines como probables potenciales para la formación de yacimientos minerales y de esta manera enfocar los estudios de exploración.

### 2. Características geoquímicas

En base al contenido de álcalis vs.  $\text{SiO}_2$  (Fig. 2A), las rocas de los arcos magmáticos Chocolate (Batolito de la Costa), Anta (Fm Sacsaquero), Nazca, Sillapaca (centros volcánicos Antaorjo, Ayachi, Jellojasa y Tres Cruces), Barroso inferior (centros volcánicos Orcochonta, Huaychallo, Itininayoc, Negro Mayo, Pillune, Runtucori, Carhuarazo y Yancore), y Barroso superior (centros volcánicos Corihuirí, Huicso, Incapacha y Palla-Palla), pertenecen a la serie sub-alcalina. Predominan andesitas y

andesitas basálticas, pero las rocas de los centros volcánicos Corihuirí, Huicso, Itininayoc, Runtucori, Pillune, Orcochonta, Tres Cruces, Hauychallo, Carhuarazo, y Ayachi además presentan composición dacítica a riolítica.

En el diagrama Dy/Yb vs.  $\text{SiO}_2$  (Fig. 2B), los arcos magmáticos presentan diferentes patrones, pues se observa una pendiente negativa para las rocas del arco Anta y una positiva para las del arco Palca. Las rocas de los centros volcánicos Ayachi, Jellojasa, Huaychallo, Tres Cruces, que pertenecen al arco Sillapaca, conforman una pendiente positiva; en cambio los centros volcánicos Orcochonta, Carhuarazo y Antaorjo delimitan una pendiente negativa. Las rocas de todos los centros volcánicos del arco Barroso inferior tienen una pendiente negativa. Las rocas de los centros volcánicos Incapacha y Palla-Palla, del Barroso superior, tienen una pendiente positiva; mientras que los centros Corihuirí y Huicso, una pendiente negativa. La pendiente positiva marca la presencia de granate como fase mineral residual mientras que la pendiente negativa señala al anfíbol. El granate indica que los magmas de estas rocas se formaron a mayor presión que los magmas con fase residual de anfíbol.

El diagrama Ce/Y vs.  $\text{SiO}_2$  (Fig. 2C) sugiere que los magmas a partir de los cuales cristalizaron estas rocas se formaron a profundidades entre 25 y 80 km; los magmas de los centros Palla-Palla, Yancore, y Orcochonta se generaron a mayor profundidad, los centros Huicso, Incapacha, y Jellojasa a niveles intermedios (35–50 km), y para los centros Ayachi, Corihuirí, Itininayoc, Pillune, y Antaorjo, desde niveles intermedios a superficiales.

En base al diagrama Sr/Y vs. Sm/Yb (Fig. 2D), se observa que los magmas de la gran mayoría de los centros

volcánicos tuvieron una asimilación somera en una corteza félsica correspondiente al Dominio Paracas (Mamani et al., 2010), pero los del centro volcánico Palla-Palla probablemente sufrieron una asimilación en una

corteza máfica. En detalle notamos que los magmas de los centros Corihuiri, Incapacha, e Itinayoc tuvieron una asimilación en condiciones cuasi similares, del mismo modo que los centros volcánicos Yancore y Palla-Palla.

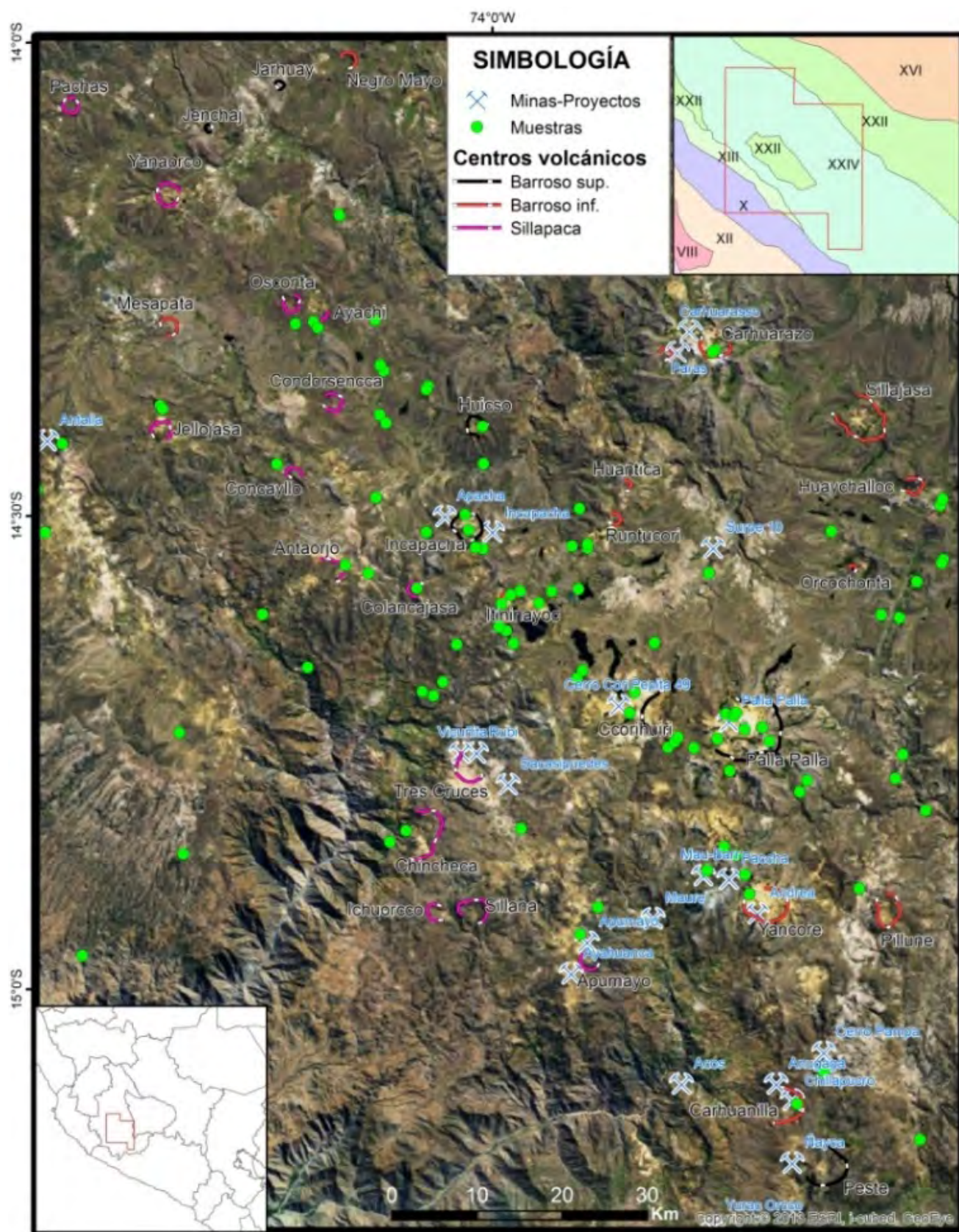


Figura 1. Mapa de ubicación de muestras, centros volcánicos, y minas, abarcando cuadrángulos de Santa Ana, Puquio, Chaviña, Querobamba y Coracora.



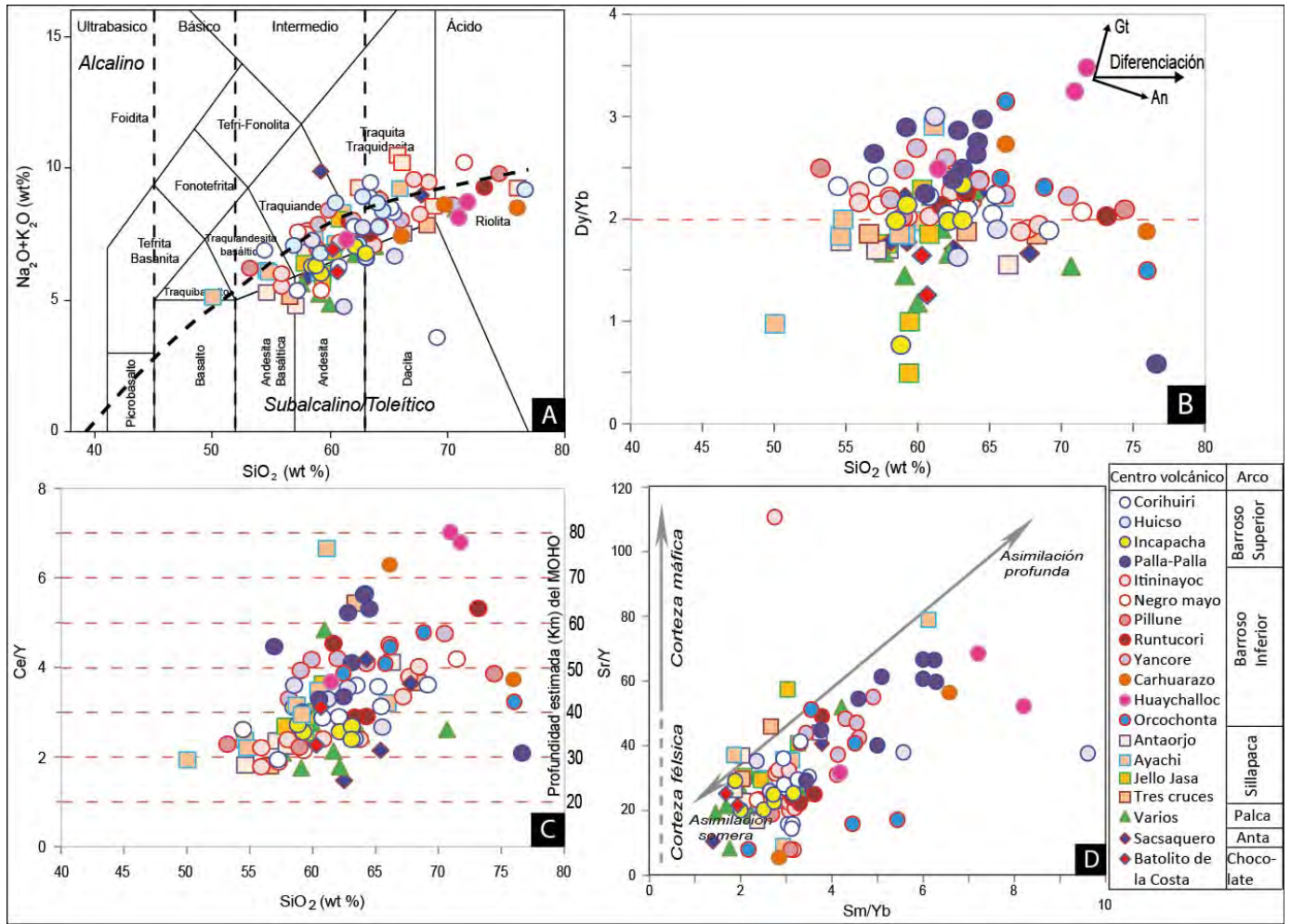


Figura 2. A: Diagrama TAS (Le Bas et al., 1986). B y C: Diagramas de razones de REE versus SiO<sub>2</sub>. D: Diagrama Sr/Y vs. Sm/Yb.

**3. Relación con la mineralización**

La composición y las características de emplazamiento del magma constituyen un factor importante en la formación de yacimientos minerales. En este sentido, se observa que la mayoría de los magmas de los centros volcánicos tienen valores de  $Eu/Eu^* < 1$  (Fig. 3A), lo que señala que se trata de magmas húmedos, y por ende tienen una gran probabilidad de formar fluidos hidrotermales.

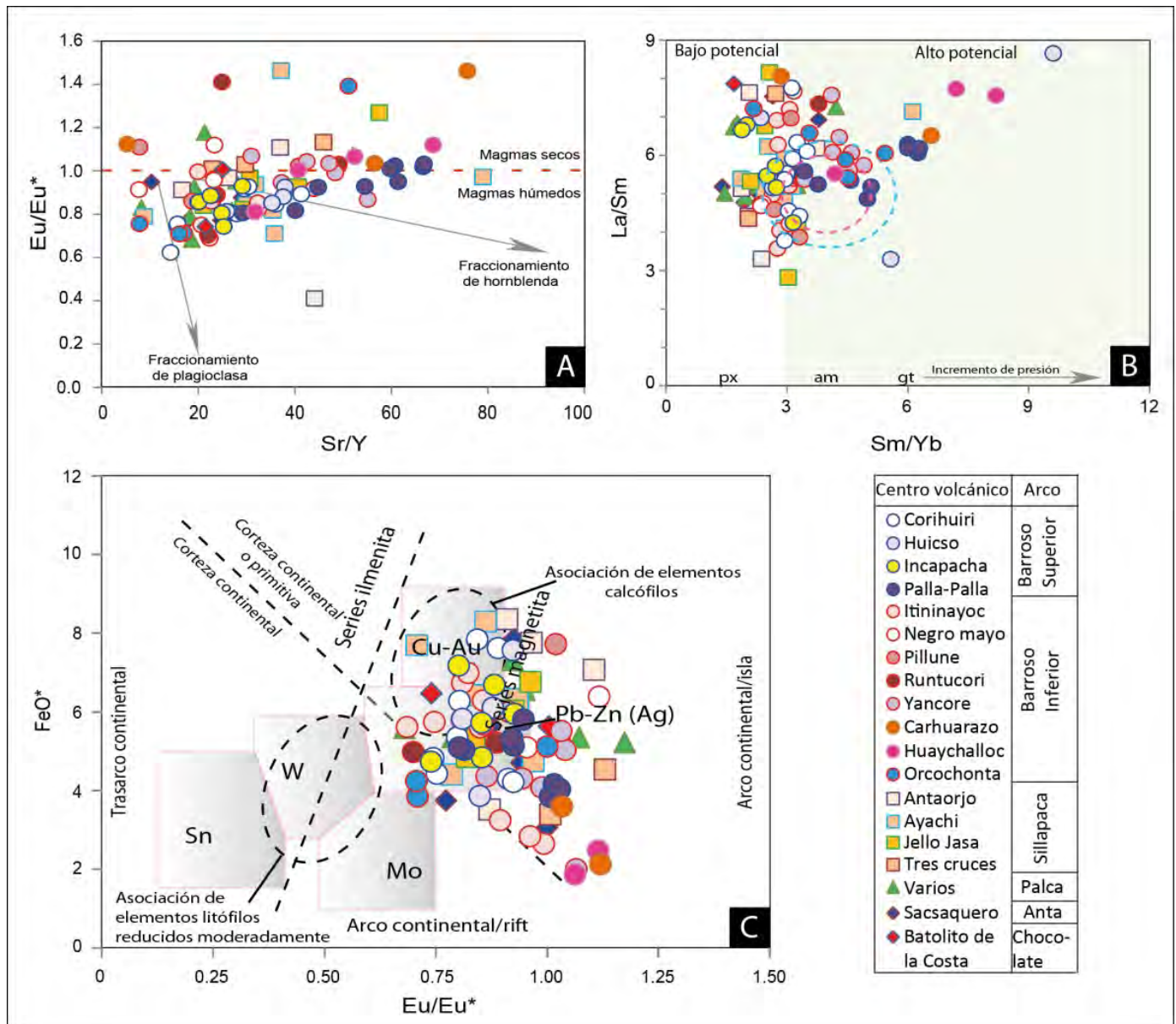
Usando el diagrama La/Sm vs. Sm/Yb (Fig. 3B), se considera que las rocas con valores de Sm/Yb mayores a 3 tienen un alto potencial para la formación de yacimientos hidrotermales debido a la presencia de anfíbol como fase residual (Bissig & Tosdal, 2009). Pertenecen a este campo los magmas de los centros volcánicos Yancore, Orcochonta, Huaychalloc, Carhuarazo (Barroso inferior), y Corihuirí, Huicso, Palla-Palla (Barroso superior).

En base a este mismo diagrama La/Sm vs. Sm/Yb (Fig. 3B), sólo los magmas del centro volcánico Palla-Palla caen en el campo de mineralización de Au y Cu, debido a que estos magmas se encuentran en equilibrio con anfíbol en transición a granate como fase residual (Kay &

Mpodosis, 2001); justamente en este centro volcánico se desarrolla actualmente un proyecto de exploración para Au y Ag. Por otra parte, observamos que los magmas de los centros volcánicos Incapacha, Corihuirí, y Yancore (círculos azules) tienen valores cercanos al campo de mineralización de Au-Cu, y que a su vez también presentan proyectos con este tipo de mineralización.

Asimismo, se observa que los magmas con contenidos de hierro total ( $FeO^*$ ) entre 4 y 8, y anomalía de  $Eu/Eu^*$  entre 0.75 y 0.9 (Fig. 3C), son los que están asociados a ensambles de Au-Cu y Pb-Zn-Ag: tales magmas corresponden a los centros volcánicos Incapacha, Corihuirí, Huicso, Palla-Palla (Barroso superior), Runtucori (Barroso inferior), Ayachi y Jellojasa (Sillapaca).

El análisis geoquímico permite distinguir que los magmas de los centros volcánicos Incapacha, Palla-Palla, Corihuirí, Yancore, y Tres Cruces tienen una alta probabilidad de haber formado yacimientos minerales, lo que es acorde con la existencia de proyectos de exploración que vienen siendo desarrollados actualmente.



**Figura 3. A:** Diagrama  $Eu/Eu^*$  vs.  $Sr/Y$ . **B:** Campos de alto y bajo potencial (colores blanco y verde) en base al diagrama  $Sm/Yb$  vs.  $La/Sm$  (Bissig & Tosdal, 2009); el elipse rojo señala el campo de mineralización de Au-Cu según Kay & Mpodozis (2001). **C:** Diagrama mostrando el estado de oxidación vs. anomalías de  $Eu/Eu^*$ ; los campos de distribución de las ocurrencias metálicas fueron elaborados en base a Lang & Baker (2001).

#### 4. Conclusiones

En conclusión planteamos que los magmas húmedos de los centros volcánicos Corihuirí, Huicso, Incapacha, Palla-Palla, y Yancore, fueron generados entre 35 y 50 km, encontrándose en equilibrio con anfíbol en transición a granate como fase mineral residual, y que posteriormente sufrieron una asimilación de la corteza Paracas o tal vez se almacenaron en la corteza superior. Las rocas que se formaron a partir de estos magmas tienen una alta probabilidad para formar yacimientos minerales en la zona de estudio.

#### Referencias

- Bissig, T., Tosdal, R.M. 2009. Petrogenetic and metallogenetic relationships in the eastern Cordillera Occidental of Central Peru. *Journal of Geology*, v. 117, p. 499-518
- Kay, S., Mpodozis, C. 2001. Central Andean ore deposits linked to evolving shallow subduction systems and thickening crust. *GSA Today*, v. 11, p. 4-9.
- Mamani, M., Wörner, G., Sempere, T. 2010. Geochemical variations in igneous rocks of the Central Andean orocline (13°S to 18°S): Tracing crustal thickening and magma generation through time and space. *Geological Society of America Bulletin*, v. 122, p. 162-182.