



Franjas metalogenéticas del sureste peruano: Nuevos datos geoquímicos, isotópicos y de edad

Michael Valencia, Jorge Acosta, Raymond Rivera, y Alexander Santisteban

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), Av. Canadá 1470, San Borja, Lima, Perú (mvalencia@ingemmet.gob.pe)

1. Introducción

El área de estudio se localiza en el sureste del Perú, entre las regiones de Puno y Cusco, y entre las Cordilleras de Carabaya y Vilcabamba. Geológicamente (Laubacher, 1978), las unidades sedimentarias afloran con una orientación NO-SE y se distribuyen de NE a SO en el siguiente orden:

- Paleozoico inferior (formaciones Sandia y Ananea, del Ordovícico, Silúrico y Devónico), relacionado a la franja I del estudio (Fig. 1);
- Paleozoico superior (grupos Ambo, Tarma y Copacabana, del Carbonífero y Pérmico), relacionado a la franja IV del mismo;
- Cretáceo (sub-cuenca Putina: formaciones Huancané y Ayabacas), relacionado a la franja III y la zona potencial de U;
- Cenozoico (Grupo Puno y volcánicos), dispersos en todo el área.

Las intrusiones han sido divididas por edad entre el Permo-Triásico, Triásico tardío, Jurásico, Cretácico, y Cenozoico, con la misma tendencia NO-SE (Fig. 1). Tectónicamente se ha reconocido tres ciclos orogénicos: Precámbrico, Paleozoico, y la tectónica andina

2. Franjas metalogenéticas

El área de estudio cuenta con cinco franjas metalogenéticas (Fig. 1):

- **I**: Oro en rocas meta-sedimentarias del Ordovícico y Siluro-Devónico.
- **II**: Depósitos 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**: 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.

También existe un área con potencial de U. Estas franjas están controladas por unidades geológicas, con una tendencia marcada por la tectónica andina, que ha condicionado la distribución de los depósitos minerales. El único productor de estaño en la zona es la mina San Rafael, en la franja IV. La producción de oro en la franja I proviene de las minas de La Rinconada y Ananea, y de la minería informal.

3. Geoquímica magmática

Se recolectaron numerosas muestras de rocas intrusivas para su caracterización geoquímica. Los resultados analíticos se plotearon en el diagrama de Pearce modificado por Christiansen & Keith (1996) para la discriminación de los granitoides permo-triásicos (Fig. 2A) y de sus equivalentes volcánicos (Fig. 2B), en donde los granitoides de tipo S están relacionados a los granitoides sin-colisionales (syn-COLG), los de tipo I a los granitoides de arcos volcánicos (VAG), los de tipo A a los granitoides intra-placa (WPG), y los de tipo ORG a los granitoides de dorsales oceánicas (ORG).

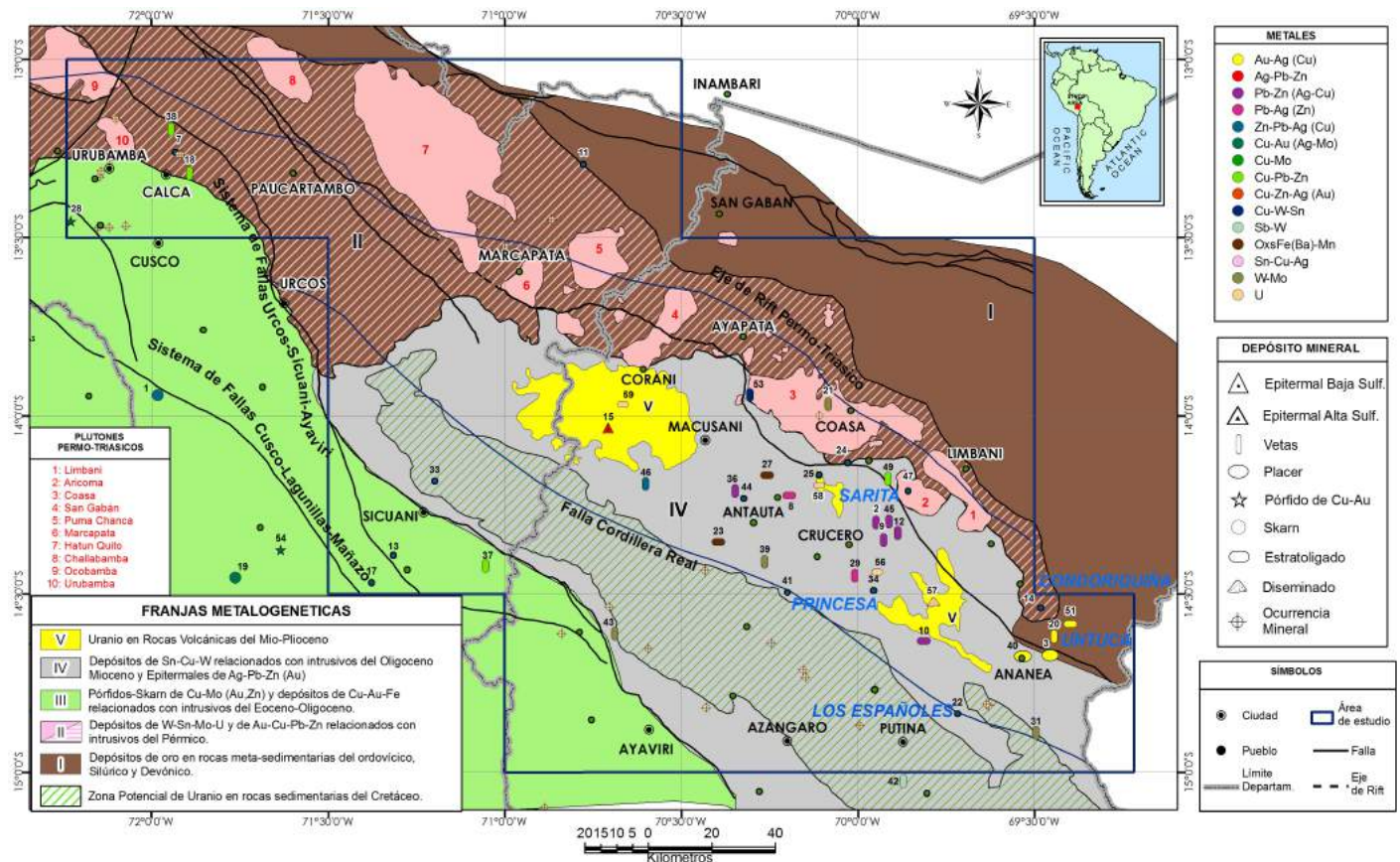


Figura 1. Franjas metalogénicas y depósitos minerales (ver Tabla 3) del área de estudio. Se destacan los intrusivos muestreados y, en azul, los principales depósitos en donde se recolectaron muestras isotópicas. El círculo rojo es el intrusivo de Limacpampa; los diamantes morados indican el intrusivo de Untuca; la pequeña estrella negra es el intrusivo de Minascunca.

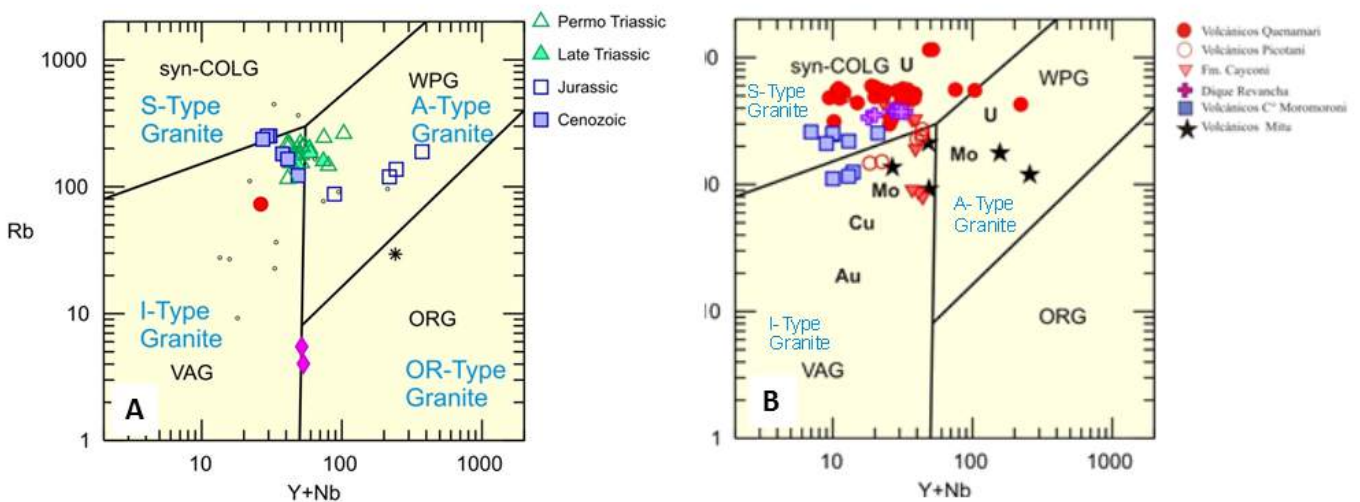


Figura 2. Muestras recolectadas en este estudio y ploteadas en el diagrama de Pearce modificado por Christiansen & Keith (1996), para intrusivos (A) y volcánicos (B).

Estos resultados evidencian que las intrusiones del Permo-Triásico derivan de un protolito sedimentario proveniente de la corteza continental.

En cambio, los intrusivos del Triásico tardío y del Cenozoico (Laubacher, 1978; Kontak et al., 1984; Miskovic, 2009) se han derivado de una fuente del nivel de la corteza y el manto.

El intrusivo peralcalino jurásico tiene un origen en el

manto, pero con contaminación cortical.

Los intrusivos del Cretáceo provinieron de una fuente del nivel del manto, dentro de un contexto extensional. Esta misma relación la tiene el vulcanismo permo-triásico del Grupo Mitu (Noble et al., 1978), mientras que las rocas volcánicas cenozoicas del Grupo Quenamari (Sandeman et al., 1990) están relacionadas con una contaminación de corteza.

4. Estudios isotópicos de plomo

La interpretación de datos isotópicos se ha realizado a partir de muestras de roca total y muestras de sulfuros (galena, pirita, pirrotita, calcopirita, molibdenita y esfalerita), recopiladas en nuestros trabajos de campo de

una mina de oro en la localidad de Untuca (Tabla 1) y de otro tipo de ocurrencias (Tabla 2), así como de información bibliográfica (Kontak et al., 1990a; Bustamante, 2008; Miskovic, 2009).

Tabla 1. Muestras de isótopos de minas de oro recogidas en los trabajos de campo.

Muestra	Tipo de roca	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
GE3311-274	Pizarra	19.304	15.721	39.125
GE3311-276B	Granito	18.453	15.672	38.503

Los datos de la fuente principal de Pb radiogénico de las mineralizaciones (sulfuros), para una mina de oro sobre la Cordillera Oriental, sugieren que la mineralización provino de la corteza superior. Este mismo rasgo se distingue para los demás tipos de depósitos minerales de

Sn, W, Mo, Cu, Au (Sarita entre otros), y los otros depósitos polimetálicos de Ag, Pb, Zn, Cu, y Pb, Zn, Ag Sn, W, Mo. Algunos datos indican que el fluido mineralizante provenía de una mezcla de corteza superior e inferior.

Tabla 2. Muestras de isótopos de depósitos polimetálicos recogidas en los trabajos de campo.

Muestra	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	Depósito Mineral	Elementos
GE3311-254	19.682	15.726	39.480	Sarita	Cu-W-Sn-Mo
GE3311-259	18.717	15.677	38.829	Condoriquiña	Sn
GE3311-264	18.650	15.760	38.955	Los Españoles	Pb, Ag
GE3311-271	18.731	15.698	38.912	Princesa	Pb,Ag,Zn

5. Dataciones

Al este del intrusivo de Limacpampa (cerca de Condoriquiña), el más oriental de los cuerpos plutónicos atribuidos al Permo-Triásico, existe un pequeño afloramiento de un cuerpo intrusivo. Se trata de un leucogranito gneisificado, con cuarzo presentando extinción ondulante, muscovita deformada y orientada, y además cordierita anhedral con fracturas. El intrusivo muestra una fuerte silicificación y oxidación. La mineralogía y foliación de este ortogneis sugiere fuertemente que se trata de un magma derivado de una fusión cortical y emplazado durante un episodio de deformación posiblemente extensional, como es el caso del ortogneis triásico de Abancay (Sempere et al., 2002).

Dataciones efectuadas en Canadá sobre este intrusivo resultaron en edades aparentes de 148.8 ± 3.9 Ma (K-Ar en muscovita; Titoniano) y 172.7 ± 7.7 Ma (K-Ar en roca total; Jurásico medio basal, pero con una incertidumbre de ~ 8 Myr). La interpretación de estas edades requiere considerar las temperaturas de cierre correspondientes. La edad de 148.8 ± 3.9 Ma obtenida por el método K-Ar en muscovita no puede indicar la edad de formación de la roca pero significa que la parte muestreada del intrusivo se enfrió por debajo de 400°C en el Jurásico terminal. La edad de 172.7 ± 7.7 Ma obtenida por el método K-Ar en roca total tampoco puede indicar la edad de formación de la roca, y es más difícil de interpretar puesto que se trata de una datación realizada en roca total, para lo cual no se

puede determinar una temperatura de cierre; sin embargo, confirma que la temperatura del intrusivo en cuestión ya estaba por lo menos por debajo de $\sim 500^\circ\text{C}$ en el Jurásico medio o superior.

Por otra parte, no se puede descartar que el intrusivo haya sufrido cierta pérdida de Ar radiogénico (Faure & Mensing, 2005) durante el evento tectono-termal de Zongo-San Gabán del Eoceno tardío (Kontak et al, 1990b).

6. Conclusiones

Los depósitos minerales tienen una amplia dispersión de Pb radiogénico. Estos depósitos involucraron fluidos mineralizantes provenientes de al menos dos fuentes: la corteza superior, y una mezcla de las cortezas superior e inferior.

Los grandes cuerpos intrusivos del Permo-Triásico derivan de un protolito sedimentario proveniente de la corteza continental.

Los intrusivos del Triásico tardío y los del Cenozoico provinieron de una fuente del nivel de la corteza y el manto, mientras que el intrusivo peralcalino jurásico tuvo un origen en el manto, pero con contaminación cortical.

Muchas de las intrusiones permo-triásicas muestran algunas evidencias de procesos metamórficos, lo que hace recomendar el uso preferencial del método U-Pb en circón para determinar sus edades de cristalización.

Tabla 3. Depósitos y ocurrencias minerales del área de estudio.

No	NOMBRE	ESTADO	TIPO DE DEPÓSITO MINERAL	METAL
1	Accha (Titiminas)	Proyecto	skarn	Zn-Ag-Pb
2	Altura	Mina Activa	vetas	Pb-Zn-Ag-Cu
3	Ananea	Proyecto	aluvial	Au
4	Antapaccay	Proyecto	pórfido Cu-Au	Cu-Au-Ag
5	Antay	Proyecto	pórfido Cu-Mo	Cu-Mo
6	Arcata	Mina Activa	epitermal baja sulfuración	Au-Ag
7	Azul	Mina Inactiva	vetas	Cu
8	Calvario	Mina Activa	estratoligados	Pb-Ag(-Zn)
9	Casa de Plata	Mina	vetas	Pb-Zn-Ag-Cu
10	Cecilia	Mina Activa	estratoligados	Pb-Zn-Ag(-Cu)
11	Cerro Camanti	Mina Activa	vetas	Au
12	Cerro del Inca Azul	Mina	vetas	Pb-Zn-Ag-Cu
13	Clara Luz	Mina Inactiva	estratoligados	Au-Ag
14	Condoriqueña	Mina Inactiva	vetas	Cu-Zn(-Sn)
15	Corani	Mina Inactiva	epitermal baja sulfuración	Ag-Pb-Zn-Au
16	Cotabambas	Proyecto	pórfidos & skarn	Cu-Au-Mo
17	Francisca	Ocurrencia	estratoligados	Cu-Ag-Au?
18	Holmio	Mina Inactiva	vetas	Cu
19	Katanga	Proyecto	skarn	Cu-Au
20	La Rinconada (Ana Maria)	Mina Activa	vetas	Au
21	Levans	Ocurrencia	vetas	W-Mo
22	Los Españoles	Mina Inactiva	vetas & cuerpos	Ag-Pb-Zn-Cu
23	Martha	Prospecto	estratoligados	oxs. Fe(-Ba)-Mn
24	Mesafranca	Mina Inactiva	vetas & cuerpos	Cu
25	Minascunca	Ocurrencia	vetas	Au-Cu
26	Minaspata (Anabi)	Proyecto	epitermal alta sulfuración	Au-Ag-Cu-Mo
27	Minastira	Mina	estratoligados	oxs. Fe(-Ba)-Mn
28	Morosayhuas	Proyecto	pórfido Cu-Au	Cu-Au
29	Nicaragua	Mina Inactiva	vetas	Pb-Ag
30	Pacchac	Ocurrencia	estratoligados & vetas	Au-Cu
31	Palca 11	Mina Activa	vetas	W-Sn-Pb-Zn-Ag-Cu-Bi
32	Pashuana	Mina Inactiva	vetas	Pb-Zn
33	Patanza	Ocurrencia	estratoligados	Cu
34	Princesa	Mina Inactiva	estratoligados	Ag-Mn-Pb-Zn-Cu
35	Quechua	Proyecto	pórfido Cu-Au	Cu-Mo-Au
36	Quenamari	Mina Activa	vetas	Pb-Zn-Ag-Sn-Cu
37	Quilca	Mina Inactiva	vetas	Cu-Pb
38	Quishuarani	Mina Inactiva	vetas	Cu
39	Rosario	Prospecto	vetas	Mo-W
40	San Antonio de Poto	Proyecto	aluvial	Au
41	San Francisco (Taucane)	Mina Inactiva	vetas	Pb-Zn-Cu
42	San Isidro	Mina Inactiva	vetas	Sb-W
43	San Judas Tadeo	Mina Inactiva	vetas	W (Mo, Au)
44	San Rafael	Mina Activa	vetas & cuerpos	Sn-Cu-Ag
45	Santa Ana Dos	Mina Inactiva	vetas	Pb-Zn-Ag-Cu
46	Santo Domingo	Prospecto	vetas	Zn-Pb-Cu-Sn
47	Sarita	Mina Inactiva	vetas	Cu-W-Sn-Mo
48	Socosani	Mina	vetas	Ag-Pb-Zn-Cu
49	Sol de Cobriza	Prospecto	vetas	Cu
50	Tintaya	Mina Inactiva	skarn, pórfido Cu-Au	Cu-Au-Ag
51	Untuca	Mina Activa	estratoligados & vetas	Au
52	Utupara	Proyecto	pórfido & skarn	Au-Cu
53	Volcán	Ocurrencia	vetas	Cu-W
54	Winicocha	Proyecto	pórfido Cu-Au	Cu-Au
55	Yauricocha	Proyecto	skarn	Cu-Mo
56	Crucero	Ocurrencia	estratoligados	U
57	Picotani	Ocurrencia	diseminados y vetillas	U
58	Cayconi	Ocurrencia	estratoligados	U
59	Macusani	Proyecto	estratoligados	U

Agradecimientos

Los autores queremos agradecer el apoyo brindado por el Korea Institute of Geosciences and Mineral Resources, (KIGAM) de la República de Corea del Sur, para los análisis de laboratorio en Canadá y Lima; y muy especialmente a los doctores Chul-Ho Heo, Cheng-Ryu Ryoo y Seok-Jun Yang del mismo Instituto, por su asesoría en el campo. Agradecemos también el apoyo brindado por las autoridades del INGEMMET en la elaboración del presente estudio. Finalmente, deseamos agradecer el apoyo y sugerencias al artículo de parte de Thierry Sempere.

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.
- Cristiansen, E., Keith, J. 1996. Trace-element systematics in silicic magmas: A metallogenic perspective. In: D. Wyman (ed.), Trace-element geochemistry of volcanic rocks: Applications for massive sulphide exploration. Geological Association of Canada, Short Course Notes, v. 12, p. 115-151.
- Faure, G., Mensing, T. 2005. Isotopes: Principles and applications. John Wiley & Sons, New Jersey, 897 p.
- Kontak, D., Clark, A., Farrar, E. 1984. The magmatic evolution of the Cordillera Oriental, southeastern Peru. In: R. Harmon & B. Barreiro (eds.), Andean magmatic chemical and isotopic constraints, p. 203-219.
- 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.
- 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. Ph.D. dissertation, Université de Genève (Suiza), Terre et Environnement, v. 85, 267 p.
- Noble, D., Silberman, M., Mégard, F., Bowman, H. 1978. Comendite (peralkaline rhyolite) and basalt in the Mitu Group, Peru: Evidence for Permian-Triassic lithospheric extension in the Central Andes. *J. Res. U.S. Geological Survey*, v. 6, p. 453-457.
- Sandeman, H.A., Clark, A.H., Farrar, E. 1990. Geochronological and petrological investigations of Oligocene-Miocene volcanic and hypabyssal rocks, Picotani and Quenamari mesetas, Cordillera Oriental, southeastern Peru: Summary of progress. Instituto Peruano de Energía Nuclear, unpublished report, 7 p.
- Sempere, T., Carlier, G., Soler, P., Fornari, M., Carlotto, V., Jacay, J., Arispe, O., Néraudeau, D., Cárdenas, J., Rosas, S., Jiménez, N. 2002. Late Permian – Middle Jurassic lithospheric thinning in Peru and Bolivia, and its bearing on Andean-age tectonics. *Tectonophysics*, v. 345, p. 153-181.