

CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS DEL VOLCANISMO CENOZOICO DEL SUR DEL PERÚ EN EL SECTOR CONDOROMA-OCUVIRI: IMPLICANCIAS EN LA ESTRATIGRAFÍA VOLCÁNICA Y MINERALIZACIÓN

Cristina Cereceda¹, Luis Cerpa¹, Mirian Mamani¹, Daniel Torres¹, Luis Muñoz¹ y Rigoberto Aguilar¹

¹ Instituto Geológico Minero y Metalúrgico

INTRODUCCIÓN

La zona volcánica Central de los Andes (15-23°S) está considerado como un ejemplo de arco volcánico asociado a zonas de subducción, donde el volcanismo presenta composiciones variables y diferentes estilos de emplazamiento. Esto es explicado por las diferencias espacio-temporales del ambiente tectónico y las variaciones composicionales del emplazamiento magmático (Kay et al, 1999). Durante el Cenozoico en el Sur del Perú (Cusco, Arequipa y Puno) se emplazaron sucesiones volcánicas sobrepuestas asignadas a la presencia de 3 arcos magmáticos: Tacaza (30-24Ma), Huayllillas (24-10 Ma) y Barroso inferior (10-3 Ma), establecidos por INGEMMET (Mamani et al., 2010). Los trabajos de cartografía a escala 1:50000 en la zona sur del país, muestran la presencia de cuatro eventos principales de actividad volcánica Tacaza (28-24 Ma), Palca (22-18 Ma), Sillapaca (18-12Ma) y Barroso-Cailloma (6-3 Ma) (Cereceda et al., 2010) involucrados en los arcos magmáticos antes descritos.

En el presente trabajo se describe la geoquímica de elementos mayores y trazas correspondientes a 19 centros de emisión y de 2 secuencias volcánicas (Fig. 1), para determinar su fuente, las posibles relaciones entre sus cámaras magmáticas y sus implicancias con la formación de yacimientos magmático-hidrotermales.

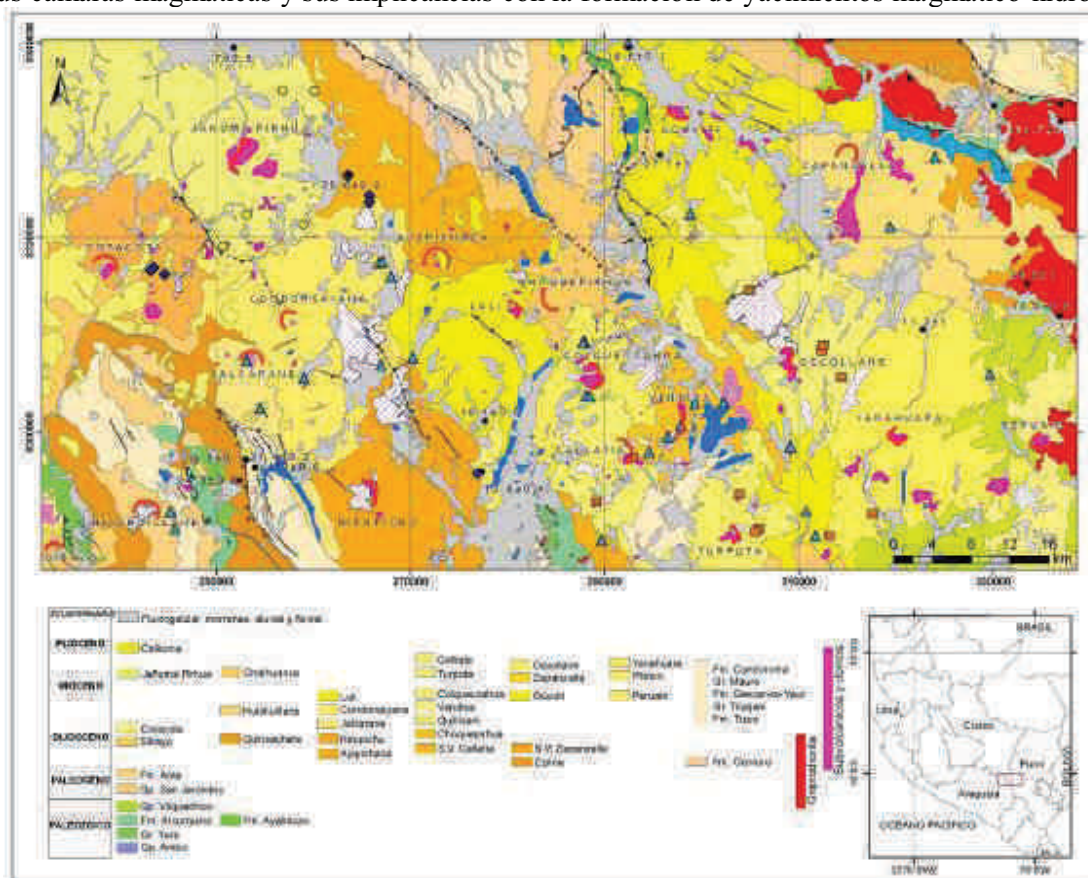


Figura 1. Mapa geológico de la zona de estudio. Los rombos azules pertenecen a muestras del Evento Tacaza, los triángulos turquesa al Evento Palca, los cuadrados anaranjados al Evento Sillapaca y los redondos amarillos al Evento Barroso inferior.

GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA

En este estudio se utilizaron 63 muestras, 22 por recopilación bibliográfica de los trabajos de Mamani et al. (2004, 2008, 2009), Boudesseul et al. (2000); Klinck et al. (1986); las 41 muestras restantes son presentadas en este trabajo y fueron analizadas mediante los métodos ICP-AES/ICP-MS (con fusión de peróxido de sodio) y P-AES (con fusión de metaborato de litio). Las muestras corresponden a lavas, domos y flujos piroclásticos. Los resultados han sido agrupados y asignados a su centro de emisión y posición estratigráfica, establecidos en 4 eventos principales de actividad volcánica.

EVENTO TACAZA (28-24 MA)

En este evento se emplazo el centro volcánico Ajopichaca. Estos centros mayormente están formados por depósitos de flujos de lava afanítico y afirico, depósitos de flujos piroclásticos de bloques y ceniza, y flujos piroclásticos de pómez y ceniza.

De acuerdo al diagrama álcalis totales (Fig. 2A) las lavas son de composición alcalina y varían de traquibasaltos a traquiandesitas, asimismo pertenecen a la serie shoshonítica (Fig. 2A). Los valores de U no sobrepasan los 6 ppm, el Sr abarca entre 500-1200 ppm y el Ni disminuyen con el incremento de sílice. Las razones de La/Sm, Sm/Yb y Dy/Yb incrementan con el contenido de sílice (Fig. 3A).

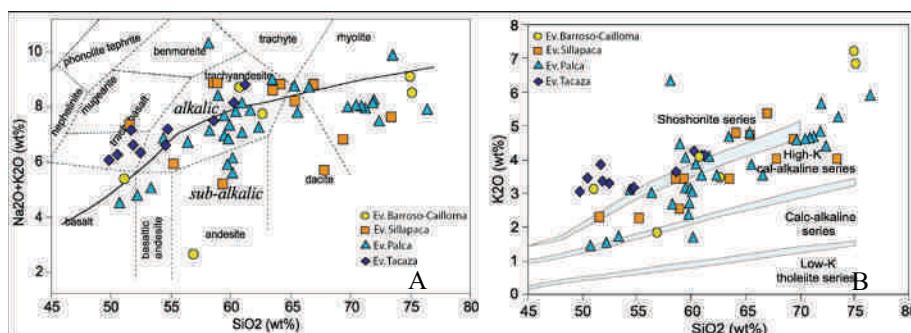


Figura 2. A. Diagrama del contenido de SiO_2 (wt %) versus $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (wt %) para las rocas de todos los centros volcánicos. La línea de clasificación de las series alcalinas y sub-alcalinas fue tomada de Miyashiro (1978). B. Diagrama Calc-alkaline series, según Rickwood (1989). Los rombos azules en círculo verde y rojo pertenecen a los centros Ajopichaca y Cotacota, respectivamente.

EVENTO PALCA (22-18MA)

Durante este evento se emplazaron los centros volcánicos Sibayo, Huishuillane, Jalcarane, Condorsayana, Luli, Colqueccahua, Vendisa, Ocuviri, Zapansalla, Peruani y las secuencias volcánicas Aticata y Quillisani. Están compuestos principalmente por depósitos de flujos piroclásticos de pómez y ceniza, y flujos de lava. Sus productos son mayormente alcalinos a excepción de los centros Condorsayana y Huishuillane que tienen una tendencia más subalcalina, y están conformadas por basaltos, andesitas basálticas, andesitas, traquiandesitas y riolitas (Fig. 2A). En la figura 2B las rocas pertenecen mayormente a la serie calcoalcalina rica en K y solo los centros volcánicos Condorsayana, Zapansalla y la secuencias volcánicas Aticata y Quillisani son shoshoníticos.

Los valores de U son menores a 8 ppm, el Sr disminuye con la diferenciación y el Ni no supera los 50 ppm. La razón La/Sm incrementa ligeramente con la diferenciación, la razón Sm/Yb es menor a 5 y el Dy/Yb generalmente es menor a 2, excepto en el centro de emisión Condorsayana y la secuencia volcánica Quillisani (Fig. 3A).

EVENTO SILLAPACA (18-12 Ma)

Los centros volcánicos de este evento son el Cotacota, Callatia, Turputa, Oscollane, Yanahuara y Pilinco. Estos centros presentan secuencias de flujos de lava y depósitos de flujos piroclásticos de bloques y ceniza. Las rocas son generalmente alcalinas a excepción de los centros Oscollane, Yanahuara y Pilinco que tienden a ser subalcalinas (Fig. 2A). En la Fig. 2B la mayoría de las rocas pertenecen a la serie calcoalcalina rica en K, en cambio, los volcanes Turputa y Callatia son shoshoníticos. El U, Sr y Ni son menores a 7 ppm, 1400 ppm y 170 ppm, respectivamente. La razón de La/Sm incrementa con el contenido de sílice, los valores de Sm/Yb son menores a 5 y la razón de Dy/Yb es menor a 4 (Fig. 3A).

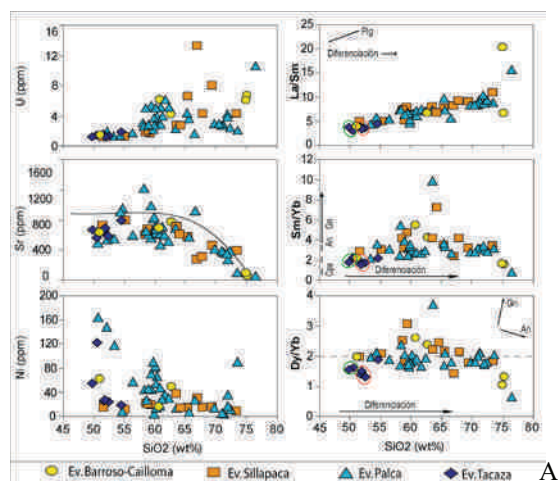


Figura 3. A. Elementos traza y razones vs. SiO_2 .
Cpx: clinopiroxeno, An: anfíbol, Gn: granate.

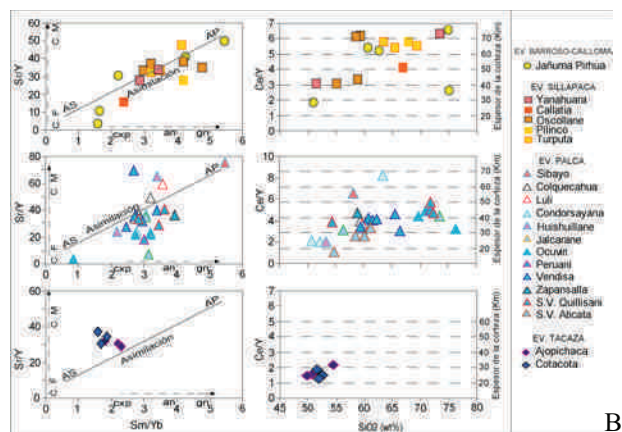


Figura 3.B. Razones de elementos incompatibles para cada centro volcánico. C.F: corteza félsica, C.M: corteza máfica, AS: asimilación superficial, AP: asimilación profunda.

EVENTO BARROSO - CAILLOMA (6-3 Ma)

En la zona de estudio se emplazó el centro volcánico Jañuma Pirhua. Las rocas son de composición alcalina y están constituidas por basaltos, traquiandesitas, andesitas y riolitas (Fig. 2A); pertenecen a la serie shoshonítica y calcoalcalina rica en K (Fig. 2B). Los valores de U incrementan con la diferenciación, en tanto que, el Sr y Ni disminuyen. Las razones de La/Sm aumentan con el contenido de sílice, los valores Sm/Yb son menores a 6 y las razones Dy/Yb no sobrepasan a 3 (Fig. 3A).

DISCUSION

Los magmas alcalinos y subalcalinos (Fig. 2) de los 4 eventos volcánicos confirman un volcanismo típico de un ambiente de margen continental activo. En este caso los magmas shoshoníticos del evento Tacaza (Fig. 2B) y los altos valores de U (Fig. 3A) revelan el emplazamiento de los magmas a un nivel somero, lo que evidencia una corteza delgada durante este evento. Por otro lado las shoshonitas de los eventos Palca y Sillapaca están controladas por los sistemas de fallas Condoroma y Luli, esto probablemente indique un origen profundo de estas fallas por donde los magmas ascendieron con rapidez.

El Sr y La son compatibles con la plagioclasa, es así que el diagrama La/Sm vs. SiO_2 muestra que todos los centros volcánicos han sufrido el fraccionamiento de la plagioclasa producto de una diferenciación magmática superficial (Fig. 3A). El Y e Yb son indicadores de presión litosférica, es así que los valores de estos elementos indican la presencia de anfíbol como fase mineral principal en las rocas del evento Tacaza (Fig. 3A) lo que indica que las cámaras magmáticas se habrían emplazado en una corteza delgada, menor a 40 km (Fig. 3B). Por otro lado, las cámaras magmáticas de los centros volcánicos de los eventos Palca, Sillapaca y Barroso-Cailoma, fueron emplazadas entre 70 y 40 km (Fig. 3B), y presentan al granate como fase mineral principal (Fig. 3A), lo que refleja el incremento del espesor de la corteza.

El comportamiento semejante de los elementos mayores y traza (Fig. 2 y 3A-B) de los centros volcánicos Ajopichaca (Tacaza) y Cotacota (Sillapaca), hace suponer que comparten una misma fuente y que ambos pertenecen al evento Tacaza, esto es probable ya que distan espacialmente en 30 km.

En el diagrama de Eu/Eu* vs. SiO_2 (Fig. 4A) observamos que los magmas de todos los centros de emisión son húmedos, por lo tanto tuvieron un gran potencial para generar fluidos hidrotermales. En función al contenido de Fe total vs la fugacidad del oxígeno ($\log f_{\text{O}_2}$) en el magma (Fig. 4B), asumimos que los centros volcánicos Ajopichaca, Cotacota, Oscollane y Jalcarane tienen probabilidades de formar mineralizaciones de Cu-Au, y los centros Callatia y Condorsayana de Cu-Mo, debido a que existe menos agua y Fe total en los magmas de estos 2 últimos centros volcánicos.

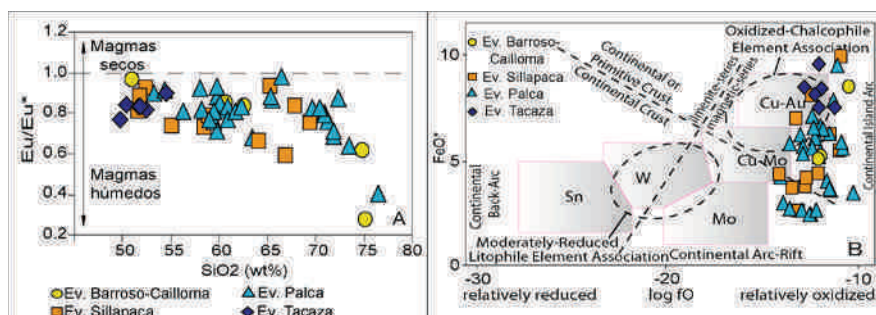


Figura 4. A. Diagrama de discriminación de magmas secos y húmedos en función de Eu/Eu^* vs. SiO_2 . B. Contenido de Fe vs. estado de oxidación de los magmas ($\log fO_2$) y los posibles ensambles de metales asociados (Lang & Baker, 2001). C. Línea de tendencia de la razón promedio del Ce/Y para cada periodo de actividad volcánica.

CONCLUSION

Cada evento volcánico tiene una firma o impronta geoquímica particular (elementos mayores, traza y razones de elementos incompatibles), en base a esto, se logró determinar que los centros volcánicos Ajopichaca y Cotacota pertenecen al evento Tacaza (28-24 Ma). La afinidad shoshonítica y las razones de elementos incompatibles de los centros volcánicos Huishuillane, Cotacota, Jañuma Pirhua y Callatia (ubicados entre los sistemas de fallas Condoroma y Luli), limitan un corredor estructural que estaría asociado a una falla profunda.

De los diagramas geoquímicos se deduce que los productos asignados al Evento Tacaza se emplazaron en una corteza delgada, con fraccionamiento tardío de plagioclasas y con fase mineral de anfíbol junto con la plagioclasa.

Los valores e Dy/Yb indican que los productos derivados de las cámaras magmáticas profundas de los eventos Palca, Sillapaca y Barroso-Cailloma presentan al granate como fase mineral principal, lo que indica el engrosamiento de la corteza.

El diagrama de Sr/Y vs. Sm/Yb confirma que la asimilación de los magmas en las cámaras magmáticas de todos los centros volcánicos ocurrieron en una corteza félsica, correspondiente al dominio cortical Paracas (Mamani et al, 2008a).

El diagrama de Eu/Eu^* vs. SiO_2 , y el de Fe total vs. $\log fO_2$ en el magma, nos demuestran que el magmatismo cenozoico es húmedo y con potencial para asociaciones de Cu, Cu-Mo y Cu-Au, constituyendo así una herramienta más para la exploración de yacimientos minerales.

REFERENCIAS

- Boudesseul, N., Fornari, N., Sempere, T., Carlier G., Mamani, M., Ibarra, I., Meza, P., and Cerpa, L. (2000). Un importante evento volcánico de edad Mioceno inferior en la zona de Descanso-Ayaviri-Condoroma-Santa Lucía (Dptos. de Cusco, Puno Arequipa). X Congreso Peruano de geología, Resúmenes. Edit. Soc. Geol. Perú., pp. 8.
- Kay, S., Mpodozis, C., and Coira, B. (1999). Neogene magmatism, tectonism and mineral deposits of the Central Andes (22° to 33°S latitude), in Skinner, B.J., ed., *Geology and Ore Deposits of the Central Andes*: Society of Economic Geologists Special Publication 7, 27–59 p.
- Klinck, B.A., Ellison, R.A., and Hawkins, M.P. (1986). *The Geology of the Cordillera Occidental and Altiplano West of Lake Titicaca, Southern Peru*: Lima, Peru, Instituto de Geología Minería y Metalurgia, preliminary report, 353 p.
- Lang, J. and Baker, T. (2001). Intrusion-related gold systems: the present level of understanding. *Mineralium Deposita*, v. 36, n. 6, 477–489 p.
- Mamani, M., Wörner, G., and 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* 122; 162–182 p.
- Mamani, M. (2009). Composición geoquímica de los dominios corticales de los Andes Centrales: control estructural del dominio de Arequipa. *Sociedad Geológica del Perú. Volumen Especial*, n. 7, 185–197 p.

- Mamani, M., Tassara, A., and Wörner, G. (2008a). Composition and structural control of crustal domains in the Central Andes: *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, v. 9, doi: 10.1029/2007GC001925.
- Mamani, M., Ibarra, I., Carlier, G., and Fornary, M. (2004). Petrología y geoquímica del magmatismo alcalino de la zona noroeste del Altiplano peruano (departamento de Puno): In: J. Jacay & T. Sempere (eds.), *Nuevas contribuciones del IRD y sus contrapartes al conocimiento geológico del sur del Perú*, Sociedad Geológica del Perú, Publicación Especial n° 5, 157-174 p.
- Miyashiro, A. (1978). Nature of alkalic volcanic rock series, *Contrib. Mineral. Petrol.* 66, 91–104 p.
- Rickwood, P. (1989). Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements: *Lithos*, v. 22, 247-263 p.