

# AFINIDAD ADAKÍTICA Y SUS IMPLICANCIAS EN LA EVOLUCIÓN DEL MAGMATISMO CENOZOICO Y LA TECTÓNICA EN EL SUR DEL PERÚ

Cristina Cereceda, Luis Cerpa, Luis Muñoz, Diego Siesquen, Rigoberto Aguilar

INGEMMET, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Av. Canadá 1470 San Borja, Lima-Perú,  
[ccereceda@ingemmet.gob.pe](mailto:ccereceda@ingemmet.gob.pe)

## INTRODUCCIÓN

En el Sur del Perú afloran rocas volcánicas e intrusivos de composición variable, que fueron emitidos desde el Jurásico hasta la actualidad por una sucesión de arcos magmáticos; cuyas características están asociadas al incremento del espesor de la corteza, a los cambios en la tectónica de placas, la interacción del manto y rocas del basamento (Mamani et al., 2010). A niveles corticales superiores este emplazamiento está controlado por sistemas de fallas regionales NO-SE (Fig. 1). (Cerpa et al., 2012).

En este trabajo se realiza un estudio detallado de las rocas volcánicas emitido por los arcos magmáticos Anta (45-30 Ma), Tacaza (30-24 Ma), Palca (24-18 Ma) y Sillapaca (18-10 Ma), con el fin de establecer la relación entre la geometría de la placa subducida y la influencia en el magmatismo.

## CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA

El estudio geoquímico se realizó a partir de 162 muestras, de las cuales 104 fueron compiladas de los siguientes trabajos: Sáez, 2008., Carlier et al., 2005; Wasteneys, 1990; La Torre and Oros, 2000; Klinck et al., 1986; Mamani et al. (2004, 2008, 2010); Boudesseul et al., 2000; Cerpa and Meza, 2001; Bonhomme et al., 1985; Vatin-Perignon., 1996; Lefevre et al., 1979; Maher et al., 2010; y Cerpa et al., 2011; las 17 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).

### ARCO MAGMÁTICO ANTA (45-30 Ma)

Los gabros, dioritas y granodioritas del Batolito de Andahuaylas-Yauri contienen valores bajos y medios de  $K_2O$ . El  $Al_2O_3$  varían entre 15-20 wt. %, mientras que el  $MgO$  wt. % también disminuye con la diferenciación magmática. Los valores de Sr y Ni oscilan entre 400-1000 ppm y 0-50 ppm, respectivamente, mientras que el Cr es menor a 300 ppm (Fig. 2). En tanto las rocas volcánicas se caracterizan por presentar concentraciones medias y altas de  $K_2O$ , el  $Al_2O_3$  varía entre 12-20 wt. % y el  $MgO$  wt. % disminuye con la diferenciación. Los valores de Sr varían entre 1000-2000 ppm. Mientras que el Ni y Cr son menores a 200 y 150 ppm, respectivamente.

Las rocas del Batolito de Andahuaylas-Yauri, en el diagrama multielemental (Fig. 3), presentan anomalías positivas en Sr e Y, y anomalías negativas en Th, Nb, Ta, Eu con empobrecimiento en elementos de tierras raras pesadas (HREE). En las rocas volcánicas se observan anomalías positivas en Sr e Y, anomalías negativas en Th, Nb, Ta, Zr, Hf y también empobrecimiento en HREE.

En el diagrama de Sr/Y versus Y (Fig. 4), las rocas del Batolito de Andahuaylas, las lavas y diques de la Formación Anta pertenecen al campo de las adakitas, pero existen rocas volcánicas que se encuentran fuera y corresponden a tefritas leucíticas, cuyos magmas primitivos han sufrido un alto grado de contaminación con rocas carbonatadas.

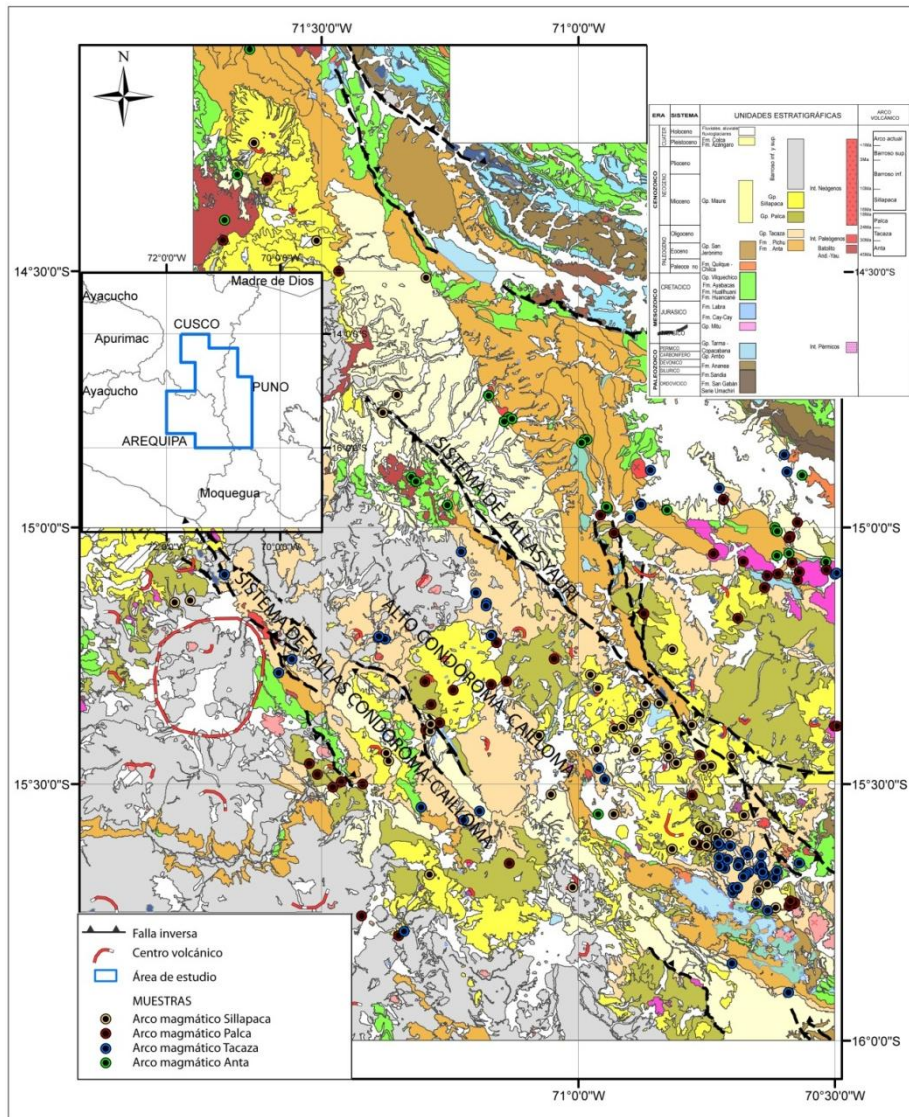


Fig. 1: Mapa geológico de la zona de estudio, donde se observan los principales sistemas de fallas NO-SE y la ubicación de las muestras.

#### ARCO MAGMÁTICO TACAZA (30-24 Ma)

Las lavas, domos y diques de este periodo se caracterizan por presentar concentraciones medias y altas de  $K_2O$ ; el  $Al_2O_3$  varía entre 15-22wt. % y el  $MgO$  es  $<10$  wt. %. El Sr varía entre 500-1700 ppm, el Ni y Cr son menores 400 ppm. En las rocas volcánicas se observan anomalías positivas en Sr, anomalías negativas en Th, Nb, Ta, Zr y también empobrecimiento en HREE. Según el diagrama de Sr/Y versus Y, pertenecen al campo de las adakitas, pero también existen rocas volcánicas calcolcalinas (Fig. 3), que corresponden a las muestras ubicadas al suroeste del Sistema de fallas Yauri.

#### ARCO MAGMÁTICO PALCA (24-18 Ma)

En este periodo los depósitos de flujos piroclásticos predominan a los depósitos de lava, estas rocas se caracterizan por presentar generalmente concentraciones medias de  $K_2O$ , el  $Al_2O_3$  varía entre 15-20 wt. % y el  $MgO$  es  $<6$ wt. %. El Sr  $<1300$  ppm, el Ni y Cr son menores a 100 y 300 ppm, respectivamente (Fig. 2). Se observan fuertes anomalías negativas en Ba, Sr, Zr, Eu y empobrecimiento en HREE (Fig. 3). Según el diagrama de Sr/Y versus Y presentan afinidad adakítica y calcolcalina (Fig. 4A), las primeras corresponden a las rocas ubicadas al suroeste y

noreste, de los sistemas de fallas Condoroma-Cailloma y Yauri, respectivamente, donde el emplazamiento de los magmas oscila entre 45-80 km de profundidad (Fig. 4B); en tanto que los magmas calcoalcalinos se ubican en el corredor estructural Alto Condoroma-Cailloma, limitado por los dos sistemas de fallas mencionados (Fig. 1). En este corredor el emplazamiento de los magmas varía entre 30-45 Km de profundidad, que claramente son más superficiales que las anteriores.

#### ARCO MAGMÁTICO SILLAPACA (16-10 Ma)

Las lavas y domos se caracterizan por presentar generalmente concentraciones medias de K<sub>2</sub>O, el Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> varía entre 12-18 wt. %, el MgOes <7 wt. %; el Sr<1300 ppm, el Ni y Cr son menores a 130 y 200 ppm, respectivamente (Fig. 2). En el diagrama multielemental (Fig. 3) se observan anomalías positivas en Sr e Y, anomalías negativas en Ba, Nb, Ta, Sr, Zr, Eu y empobrecimiento en HREE (Fig. 3). En el diagrama de Sr/Y versus Y<sub>N</sub> (Fig. 4A), estas rocas pertenecen a los campos adakítico y calcoalcalino (Fig. 4A), donde los magmas adakíticos están asociados a magmas emplazados entre 45-80 km de profundidad (Fig. 4B), mientras que los magmas calcoalcalinos están relacionados a los magmas emplazados entre 30-50 km de profundidad (Fig. 4B).

#### CONCLUSION

Las rocas del Batolito de Andahuaylas-Yauri, las lavas y diques emitidas por el arco magmático Anta, limitados al noreste del sistema de Fallas Condoroma-Cailloma (Fig. 1), tienen un carácter adakítico, y las que limitan al suroeste son calcoalcalinos. Asimismo, las lavas del arco magmático Tacaza que están restringidas al noreste del Sistema de Fallas Lagunillas tienen firmas del tipo adakitas y las que afloran al suroeste son calcoalcalinas. En base a esta variación espacial del carácter adakítico, el espesor de corteza entre 20-40 km, obtenidos por las razones de Ce/Y, el desarrollo de una subducción plana en el Eoceno-Oligoceno (Perello, 2003; Martinod et al., 2010), sugerimos que las adakitas de los arcos magmáticos Anta y Tacaza derivan de los estadios inicial y final de una subducción plana, lo que se ajusta al modelo de fusión parcial de una losa oceánica antigua y fría en subducción plana planteado por Gutscher et al. (2000). Por otra parte el carácter adakítico de los magmas emitidos por los arcos magmáticos Palca y Sillapaca están asociadas al emplazamiento de los magmas entre 50-80 km de profundidad (Ce/Y), por lo tanto estos valores estarían relacionados a la fusión parcial de la base del arco por engrosamiento de la corteza, cuando se re-establece la subducción normal ocasionando la migración del arco magmático hacia el Oeste. Además, también se observa que el carácter calcoalcalino de las rocas emitidas por el arco magmático Palca están relacionadas a una zona de fracturas corticales (Alto Condoroma-Cailloma) (Carlotto et al., 2009), que permitió el ascenso de los magmas y su emplazamiento a niveles someros.

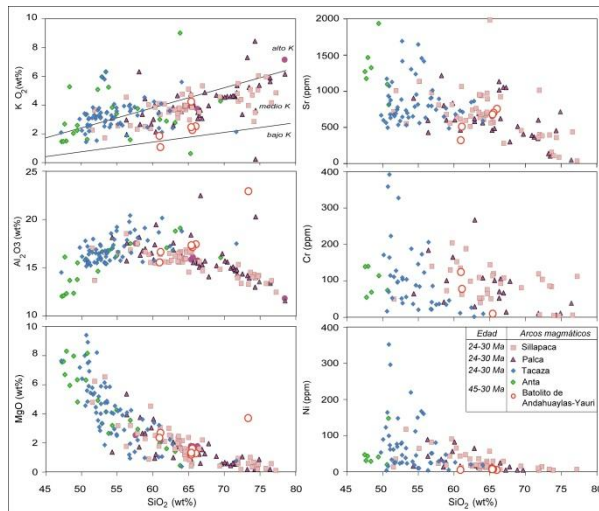


Figura 2: Diagramas tipo Harker de elementos mayores y traza. Los contenidos de óxidos están recalculados al 100% y libre de bases volátiles y con todo el Fe como FeO total. Los campos en el diagrama  $K_2O$  vs.  $SiO_2$  fue modificado de Peccerillo & Taylor (1976).

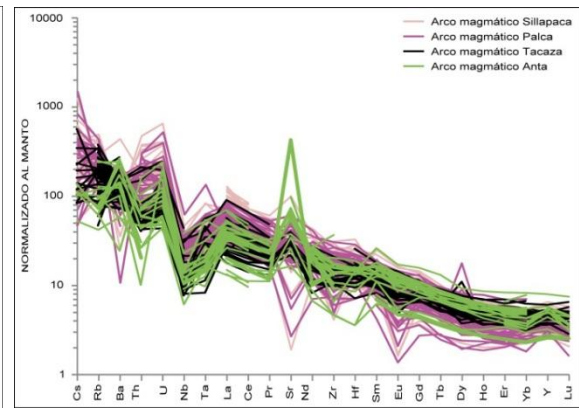


Fig. 3: Perfiles de los elementos traza y elementos de tierras raras, valores normalizadas al manto primitivo (según McDonough & Sun 1995).

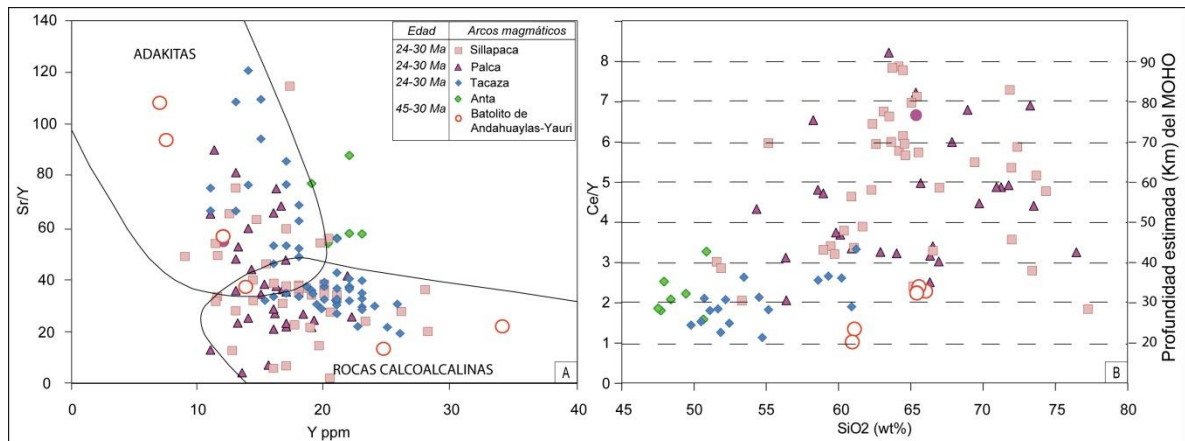


Fig. 4:A. Diagrama de discriminación de  $Sr/Y$  vs.  $Y$  para las rocas de los arcos volcánicos Anta, Tacaza, Palca y Sillapaca. Modificado de Drummond & Defant, 1990. B. Diagrama  $Ce/N$  para estimar la profundidad de los magmas (Mantle & Collins (2008)).

#### REFERENCIAS

- Bonhomme, M., Audebaud, E., Vivier, G. (1985). K-Ar ages of Hercynian and Neogene rocks along an east west cross section in southern Peru. *Comunicaciones (Universidad de Chile)*, n. 35, 27-30 pp.
- 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. 8 p.
- Carlier, G., Lorand, J.P., Liégeois, J.P., Fornari, M., Soler, P., Carlotto, V. & Cárdenas, J. (2005). Potassic-ultrapotassic mafic rocks delineate two lithospheric mantle blocks beneath the southern Peruvian Altiplano. *Geology*; 33, 601-604 pp.
- Carlotto, V., Quispe, J., Acosta H., Rodríguez, R., Romero D., Cerpa, L., Mamani, M., Díaz, E., Navarro, P., Jaimes F., Velarde, K., Lu, S., Cueva, E. (2009). Dominios geotectónicos y metalogénesis del Perú. *Sociedad Geológica del Perú. Boletín*, n. 103, 1-89 pp.
- Cerpa, L., Cereceda, C., Torres, D., Muñoz, L., Aguilar, R., Rodríguez, F. (2011). Geología del cuadrángulo de Condoroma hoja 31-t, escal 1:50000. *INGEMMET, Boletín, Serie A. Carta Geológica Nacional*, 143, 96p.



- Cerpa, L. y Meza, P. (2001). Las cuencas neógenas del sur del Perú, la Cuenca Descanso-Yauri (Mioceno): evolución sedimentológica y tectónica. Tesis Ing. Univ. San Antonio Abad. Cusco, 130 p.
- Saez, J. (1996). Skarn and ore parageneses in the Cu (-Fe) Tintaya deposit, southern Peru. Heidelberg Geowissenschaftliche Abhandlungen, Band 86, 205p.
- Gutscher, m., Spakman, W, Bijwaard, H., Engdahl, E. (2000): Geodynamic of flat subduction: seismicity and tomographic constraints from the Andean margin. *Tectonics* 19, 814-833 pp.
- 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.
- Lefevre, C. (1979). Un exemple de volcanisme de marge active dans les Andes du Pérou (Sud) du Miocene a l'actuel (zonation et pétrogénese des andesites et shoshonites. Université Des Sciences Et Techniques Du Languedoc. Académie De Montpellier. 555 p.
- Mantle, G. & Collins, W. (2008). Quantifying crustal thickness variations in evolving orogens: Correlation between arc basalt composition and Moho depth. *The Geological Society of America*. V. 36; no. 1; 87-90pp; doi: 10.1130/G24095A.1.
- 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 pp.
- 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 pp.
- Martinod, J., Husson, L., Roperch, P., Guillaume, B., Espurt, N. (2010). Horizontal subduction zones, convergence velocity and the building of the Andes. *Earth and Planetary Science Letters* 299.299-309 pp.
- McDonough, W. & Sun, S. (1995). The composition of the Earth. *Chemical Geology*, 120, 223-254 pp.
- Mungall, J.E., 2002. Roasting the mantle: slab melting and the genesis of major Au and Au-rich Cu deposits. *Geology* 30, 915-918 pp.
- Peccerillo, R. & Taylor, S. (1976). Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 58, 63-81 pp.
- Perelló, J., Carlotto, V., Zárate, A., Ramos, P., Posso, H., Neyra, C., Caballero, A., Fuster, N. & Muhr, R. (2003a). Porphyry-style alteration and mineralization of the Middle Eocene to early Oligocene Andahuaylas-Yauri belt, Cuzco region, Peru. *Econ. Geol.*, 98, 1575-1605 pp.
- Sáez, F. (2008). Señal adakítica en el cinturón Andahuaylas Yauri., Resúmenes. Sociedad Geológica del Perú 2008, 6 p.
- Vatin-Perignon, N., Poupeau, G., Oliver, R., Lavenu, A., Labrin, E., Keller, F., Bellot-Gurlet, L. (1996). Trace and rare-earth element characteristics of acidic tuffs from southern Peru and northern Bolivia and a fission-track age for the Sillar of Arequipa. *Journal of South American Earth Sciences*, vol. 9, n. 1/2, 91-109 pp.
- Wasteneys, H., Clark, A., Farrar, E. and Langridge, R.J. (1995). Grenvillian granulite facies metamorphism in the Arequipa massif, Perú: a Laurentia-Gondwana link. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 132, 63-73 pp.
- Maher, C. (2010). Skarn alteration and mineralization at Coroccohuayco, Tintaya District, Peru. *Economic Geology*, vol. 105, n. 2, 263-283 pp.
- Latorre, O. y Orós, Y. (2000). Evolución sedimentológica y tectónica terciaria entre la laguna Langui-Layo y Llalli (borde NE de la Cordillera Occidental). Tesis Ing. Univ. San Antonio Abad. Cusco, 89 p.