Boletín de la Sociedad Geológica del Perú

journal homepage: www.sgp.org.pe ISSN 0079-1091

Geología, petrografía y geoquimíca de las rocas volcánicas cenozoicas de la cordillera del Huanzo, sur del Perú

Ronald Callupe Carhuas

Compañía Minera Ares SAC, afiliada a Hochschild Mining PLC, Calle La Colonia 180, Surco, Lima, Perú (ronald.callupe@hocplc.com)

1. Introducción

El área de estudio se ubica dentro de la Cordillera Occidental peruana, en su segmento conocido al sur de la deflexión de Abancay como Cordillera del Huanzo. Políticamente ocupa parte de los territorios de los departamentos de Apurímac, Cusco y Arequipa (Fig. 1).

Debido a la amplia distribución de secuencias volcánicas cenozoicas con evidencias de mineralización argentífera–aurífera (Arcata, Crespo, Azuca, y Millo), y favorables para la exploración de yacimientos de tipo epitermal (motivo de exploración por diversas compañías, a diferentes escalas). Así mismo, los eventos volcánicos expuestos a veces se agruparon en una misma unidad no cogenética.

El presente trabajo pretende relacionar las características petrográficas, geoquímicas y estructurales de los volcánicos cenozoicos de la Cordillera del Huanzo, con el fin de clarificar la evolución magmática y dirigir la prospección geo-económica, mediante la definición de características lito-estratigráficas más distritales, sistemas estructurales favorables, y tipificación geoquímica. Pero también nos interesa saber si durante los diferentes procesos de evolución magmática se han producido fases fluidas relacionadas a mineralizaciones metálicas.

Entre setiembre de 2008 y agosto de 2009, se desarrollaron diversos trabajos prospectivos, mediante la identificación, descripción, delimitación e interpretación de secuencias litoestratigráficas, estructuras, alteración, y mineralización. Estos trabajos se realizaron conjuntamente con el equipo de geólogos de la Cia. Minera Ares S.A.C., y se puso mayor énfasis en sectores prospectivos como Azuca, Crespo, Huacullo, y San Martín. En febrero de 2010, el autor realizó un cartografiado a escala 1/50,000, poniendo mayor detalle en sectores donde se exponen niveles representativos de las unidades volcánicas. Además se extrajeron 18 muestras orientadas a estudios petromineragráficos y geoquímicos de rocas volcánicas (roca total).

2. Marco tectónico regional

Dentro del marco geológico-tectónico regional, la región de Huanzo se ubica en la Zona Volcánica Central (ZVC) de los Andes, correspondiente al cinturón volcánico miocénico-holocénico del sur del Perú. Este arco volcánico se desarrolló sobre una potente y compleja corteza continental compuesta por rocas paleozoicas y mesozoicas.

A nivel regional, el magmatismo cenozoico muestra un drástico cambio correlacionado con la deflexión de Abancay. La zona sur (que engloba a la región de Huanzo) posee características evolutivas distintas en su tectonismo y desarrollo de vulcanismo con respecto al área norte de la deflexión mencionada.

La característica geológica dominante del área de estudio es la presencia de una intensa actividad volcánica explosiva y efusiva de edad cenozoica. Además se ubica dentro del corredor metalogenético Puquio–Caylloma (Fornari & Vilca, 1979) con minas Ag-Au en operación como Arcata (5.4 Ma), Pallancata, Ares, Anabi, y otros proyectos de exploración como Azuca, Inmaculada-Quellopata y Crespo (daatados entre 6.3 ± 0.1 y 5.6 ± 0.1 Ma).

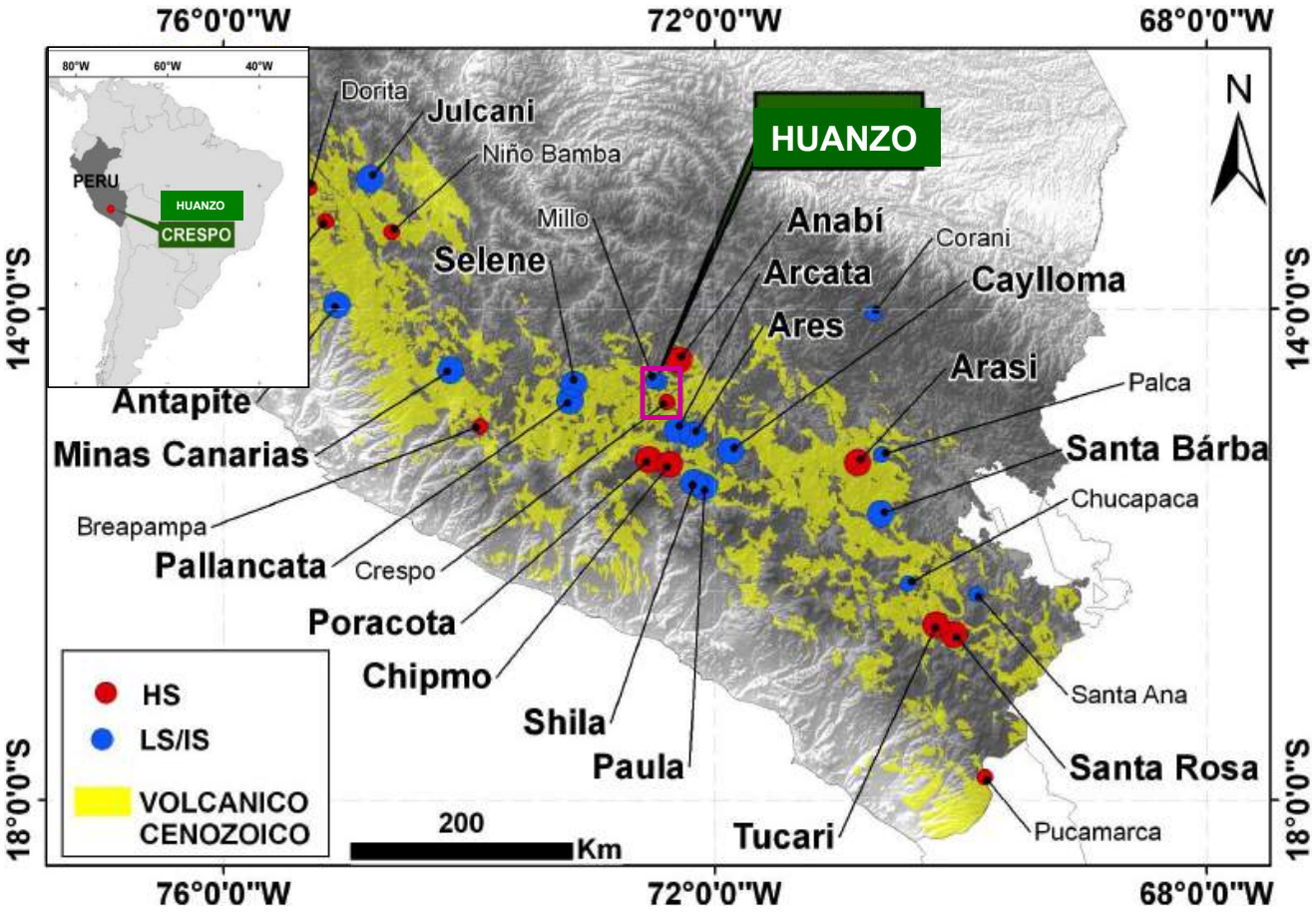

Figura 1. Proyecto Huanzo: plano de ubicación y ocurrencias minerales.

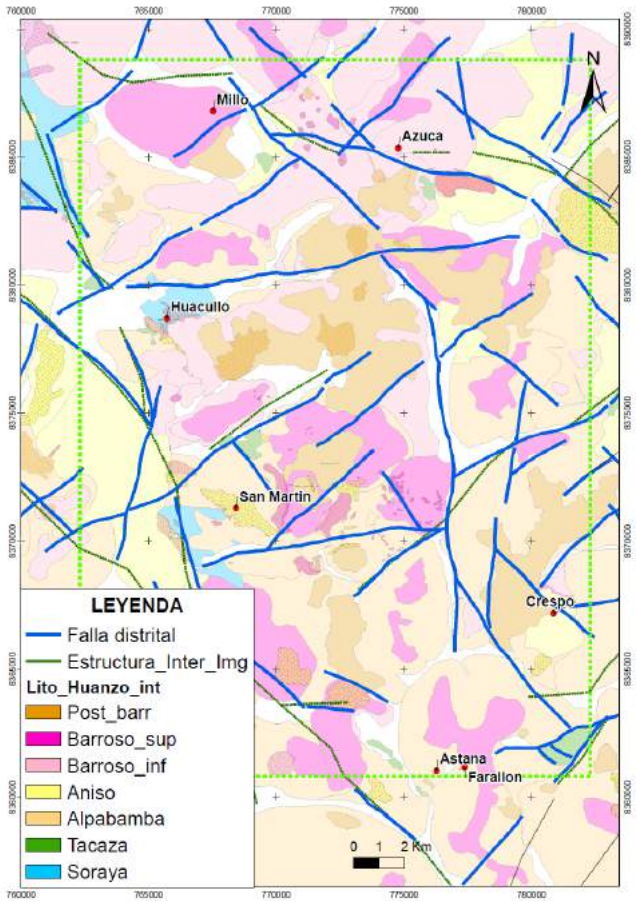

Figura 2. Mapa litológico del área de estudio.

3. Marco geológico de la región Huanzo

Litológicamente esta región contiene un basamento cretácico y unidades volcánicas miocenas a pleistocenas (Tacaza, Alpabamba, Aniso, y Barroso). Estas últimas están intruidas por sub-volcánicos y domos ácidos (Figs. 2 y 3).

3.1. Formación Soraya

Esta unidad está representada principalmente por areniscas cuarzosas de grano medio a grueso en paquetes decimétricos a métricos, expuestos en altos estructurales limitados por fallas de orientación NNW y EW. Se expone en paquetes estratificados de más o menos 300 m de espesor con moderado plegamiento y extensión áreal de 22 x 3 km, con afloramientos aislados de alineación NNO.

3.2. Grupo Tacaza

Esta unidad corresponde a eventos volcánicos de tipo explosivo (Tacaza inferior) y principalmente de tipo efusivo (Tacaza superior) con alternancias de lavas y rocas volcanoclásticas de composición andesítica a dacítica. Por correlación de facies, se asigna una edad entre 22 y 18 Ma (Mioceno Inferior).

3.3. Formación Alpabamba

Se trata de potentes flujos piroclásticos en la base, coronados por flujos de lavas andesíticas–dacíticas al techo. En la base de esta unidad, se reconoce una potente sucesión de flujos piroclásticos ricos en fragmentos pumicios (<5 cm de diámetro) de formas redondeadas con nulo o muy escaso soldamiento; los cristales de cuarzo y feldespato son comunes, mientras los fragmentos líticos son escasos; la matriz es pumícea y abundante. Por su posición, se le asigna una edad entre 16 y 10 Ma.

3.4. Formación Aniso

Esta unidad corresponde a eventos volcánicos de tipo explosivo con niveles volcanoclásticos retrabajados, de composición andesítica hasta riolítica. Los afloramientos a sub-afloramientos se reconocen en un área de 5 x 15 km, llegando hasta 150 m de espesor. Se le asigna una edad entre 8 y 7 Ma (parte del Mioceno superior). También fue descrita como Formación Sencca (Palacios, 1993), y Formación Para en el sector de Azuca (Palacios et al., 2010).

3.5. Grupo Barroso

Esta unidad corresponde a la mayor exposición y extensión (45 % de superficie). Se describen dos sub-unidades principales, asociadas a este vulcanismo:

3.5.1. Barroso inferior

Esta sub-unidad consiste de secuencias volcanoclásticas y flujos de lavas andesíticas de color gris verdoso, de textura porfiritica, que contienen niveles tobáceos.

Los niveles superiores tienen una potencia de 15 a 70 m, y corresponden a flujos de lavas de color gris violáceo, composición andesítica, y textura porfido-afanítica. Se habría desarrollado entre 7.0 y 5.0 Ma (fines del Mioceno superior).

3.5.2. Barroso superior

Esta sub-unidad consiste de flujos piroclásticos y domos de composición riodacítica, con textura porfirítica y de desvitrificación, y estructuras con foliación de flujo plegadas. Tiene de 50 a ~100 m de potencia y llega hasta 4 km de extensión en elongación NE y E-W. No presenta alteración hidrotermal. Rocas de esta sub-unidad han sido datadas en 2.5 ± 0.8 y 2.4 ± 0.2 Ma en biotita por el método Ar/Ar (Palacios et al., 2010), por lo que esta sub-unidad se habría acumulado entre 5.0 y 1.1 Ma (Plioceno y parte del Pleistoceno).

3.6. Unidad post-Barroso

Consiste de flujos de lavas andesíticas–dacíticas de coloración pardo oscura a negra, con textura afanítica a microporfirítica. Tiene ~50 m de grosor y llega a hasta 1 km en elongación N-S. Ciertos sectores presentan una marcada disyunción columnar. Por el Cerro Pintapata se expone un dique de ~10–25 m de potencia, con 3.5 km de longitud reconocido en un *trend* NNW, que fue datado en 0.76 ± 0.164 Ma (Palacios et al., 2011). Representa el último evento volcánico, y se le asigna una edad entre 1.1 y 0.2 Ma.

4. Análisis estructural

La estructuración de la región de Huanzo responde a un sistema de deformación frágil-dúctil que generó un conjunto de fallas. El análisis estructural basado en observaciones de campo y de imágenes satelitales, y aplicando métodos de rasterización a escala regional y local, que coinciden en gran medida, indica cuatro sistemas estructurales principales: "NO-SE y NNO-SSE", "NE-SO y NNE-SSO", "N-S", y "E-O y ENE-OSO" (Fig. 4).

Se usó el método de McCoss (1986), quien desarrolló un modelo geométrico que ayuda a determinar la orientación de los ejes del elipsoide de esfuerzos en zonas afectadas por un régimen tectónico del tipo transpresivo o transtensivo. Los resultados sugieren lo siguiente:

- *El sistema de rumbo NNO–SSE y sus tensionales NO-SE* tuvieron una cinemática inversa-sinestral, afectando prevalecientemente a las areniscas cuarzosas de la Fm Soraya y los subvolcánicos relacionados al vulcanismo Tacaza.
- *El sistema de rumbo NE-SO* tuvo una cinemática inversa–dextral, afectando prevalecientemente a las acumulaciones del vulcanismo Tacaza y formando parte de sistemas tensiónales del vulcanismo Alpabamba, Barroso inferior y post-Barroso.
- *El sistema de rumbo N-S y sus tensiónales NO-SE* tuvieron una cinemática normal–dextral, afectando prevalecientemente a los volcánicos Alpabamba, sub-volcánicos del Aniso, y el Barroso inferior.

• *El sistema de rumbo E-O* tuvo dos cinemáticas: una inversa–sinestral que afectó prevalecientemente a los volcánicos post-Barroso superior, otra normal–sinestral que afectó a los afloramientos de los volcánicos Aniso y Barroso inferior.

El sistema de estructuración E-O con sus tensionales NE-SO, producto de un evento extensional con sentido NNO-SSE y relacionado a los eventos volcánicos del Aniso y Barroso inferior, vendría a ser favorable para la recepción de fluidos mineralizantes, como es el caso de las vetas en Azuca.

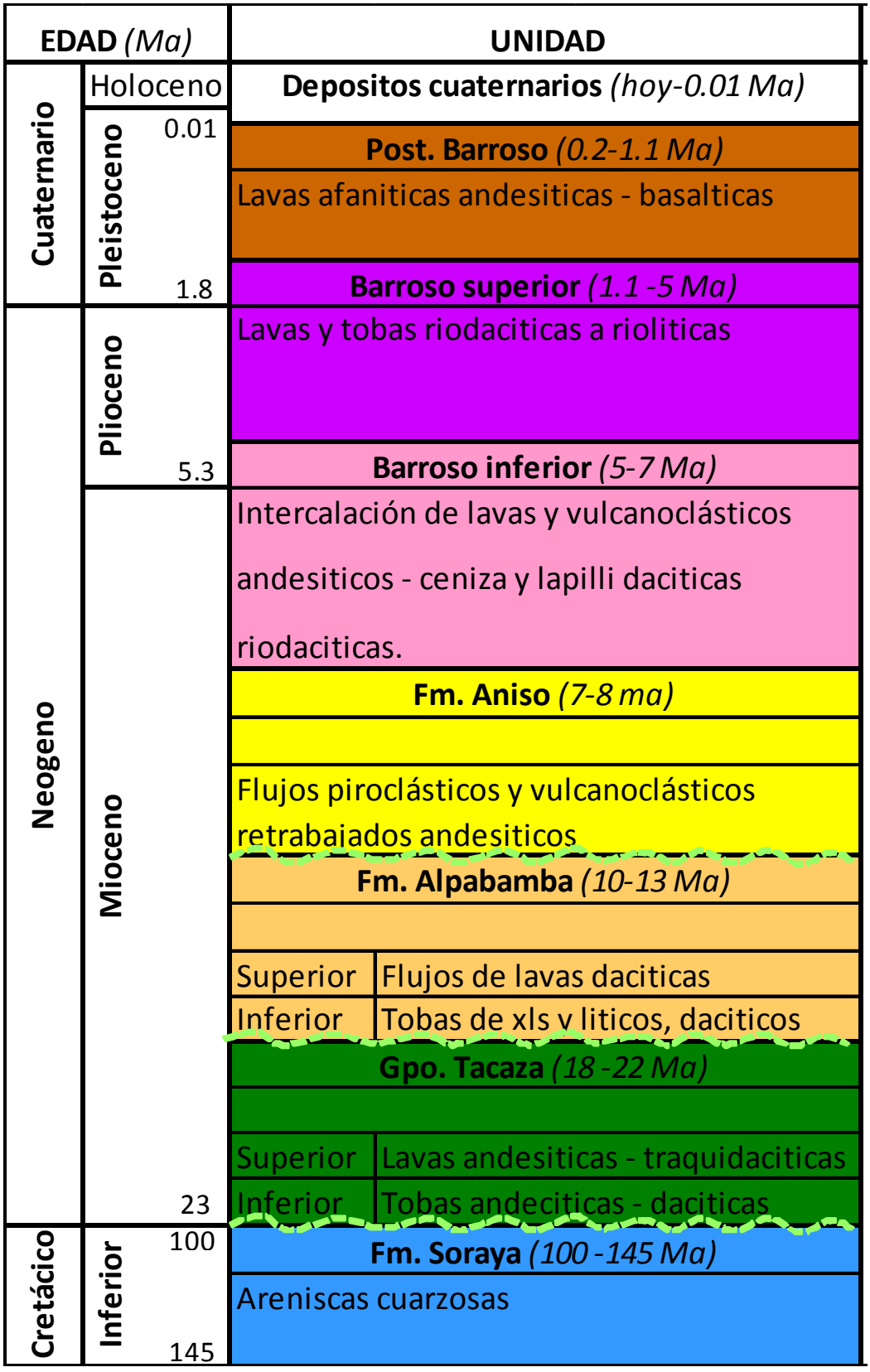

Figura 3. Columna estratigráfica de la región Huanzo.

	Cinemática	Asociado al:
NNO	Transpresivo Sinestral	Soraya
NO	Transpresivo Sinestral	Barroso Sup
NE	Transpresivo Dextral	Tacaza
NS	Transtensivo Dextral	Alpabamba
EO	Transtensivo Sinestral	Aniso
EO	Transtensivo Sinestral	Barroso Inf
ENE	Transpresivo Sinestral	Post Barroso

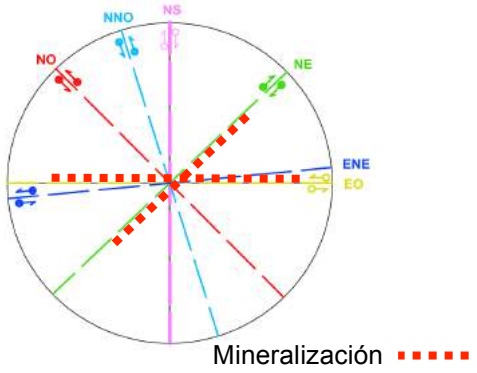

Figura 4. Sistema de estructuración planteado para la región Huanzo.

5. Geoquímica, magmatismo, y tectónica

5.1. Geoquímica de los elementos mayores

El vulcanismo de la región de Huanzo consiste de rocas intermedias (unidades Barroso inferior y superior) a ácidas (unidades Tacaza, Alpabamba, Aniso, y post-Barroso). Composicionalmente, el Grupo Tacaza varía entre traquiandesita a dacita. Las formaciones Alpabamba, Aniso y post-Barroso consisten de riolitas. El Barroso inferior y superior se compone de andesitas a traquidacitas.

Las diferentes unidades definen una serie calco-alcalina con un contenido de potasio relativamente alto y una ligera tendencia hacia la serie shoshonítica. Además muestra una tendencia evolutiva calco-alcalina de su magmatismo, teniendo mayor evolución las rocas acidas (Alpabamba, Aniso, y post-Barroso) y una evolución moderada las rocas intermedias (Barroso superior e inferior) (Figs. 5 y 6).

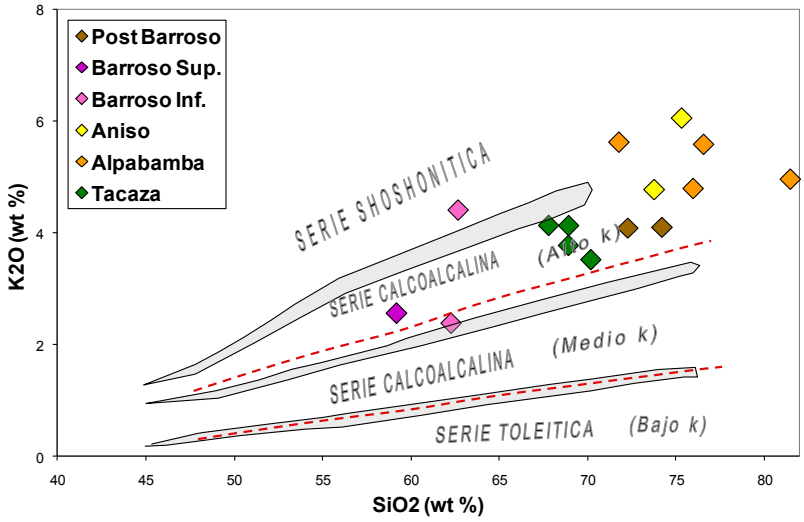

Figura 5. Diagrama KS de Le Maitre et al. (1989), que define divisiones entre las series shoshonítica, calcoalcalina y toleítica.

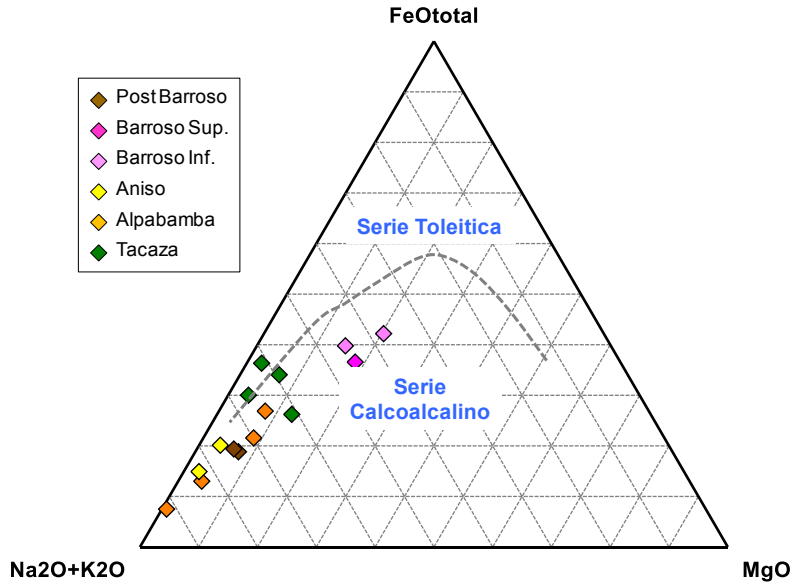

Figura 6. Diagrama AFM de Irvine y Baragar et al. (1971), que define el límite entre los campos toleítico y calcoalcalino.

5.2. Geoquímica de elementos trazas y tierras raras

Se observa un enriquecimiento en Cs y Rb y un empobrecimiento en Nb y Eu, que indican un magmatismo de subducción con fraccionación de plagioclasa. Se sugiere que ésta fue mayor en los vulcanismos Alpabamba y Aniso, donde la depleción en Eu es mayor, y menor durante las vulcanismos Tacaza, Barroso inferior y post-Barroso (menor depleción de Eu). Según el modelamiento de fusión parcial, las unidades Tacaza y Barroso inferior muestran una fuente con anfíbol dominante y granate menor; en cambio, el Barroso superior muestra una fuente con anfíbol mayor y granate moderado. Para las unidades Alpabamba y Aniso, la fuente era dominada por clinopiroxeno con plagioclasa menor, indicando una menor profundidad de asimilación de los magmas. Para la unidad post-Barroso, la signatura parece sugerir una fuente con clinopiroxenos y anfíboles (Figs. 7 y 8).

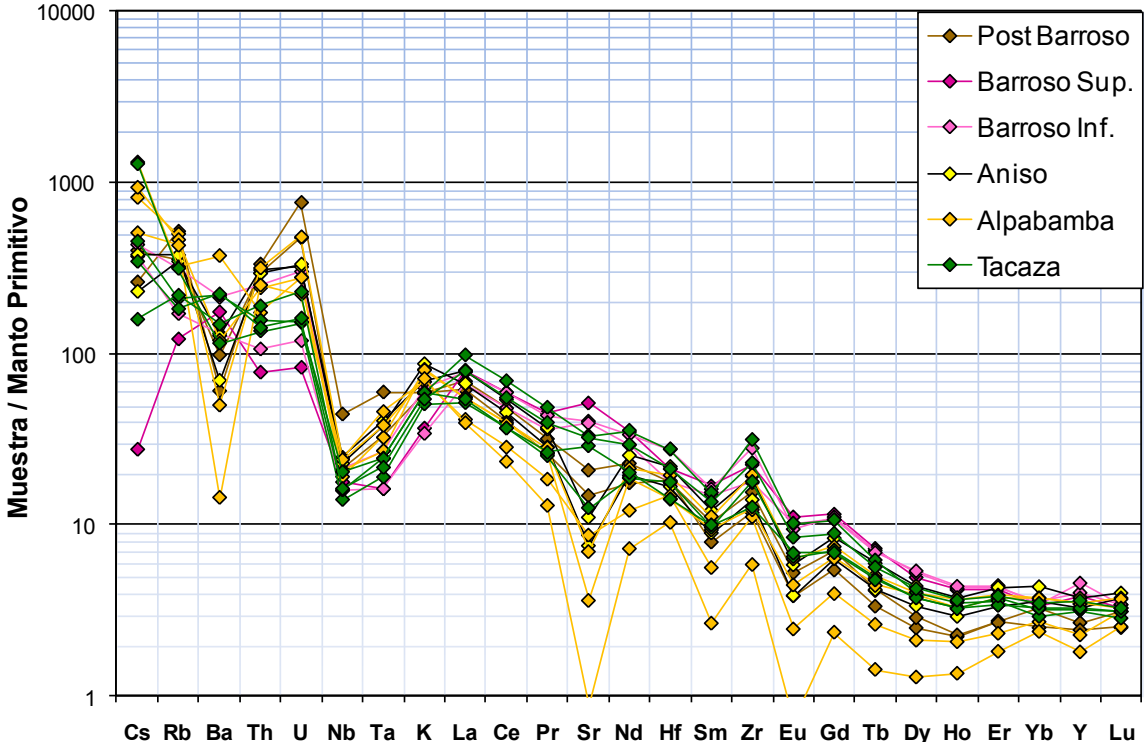

Figura 7. Diagrama "spider" de elementos trazas y tierras raras (REE), donde se grafican muestras del vulcanismo Aniso; normalización al manto primitivo (McDonough and Sun, 1995).

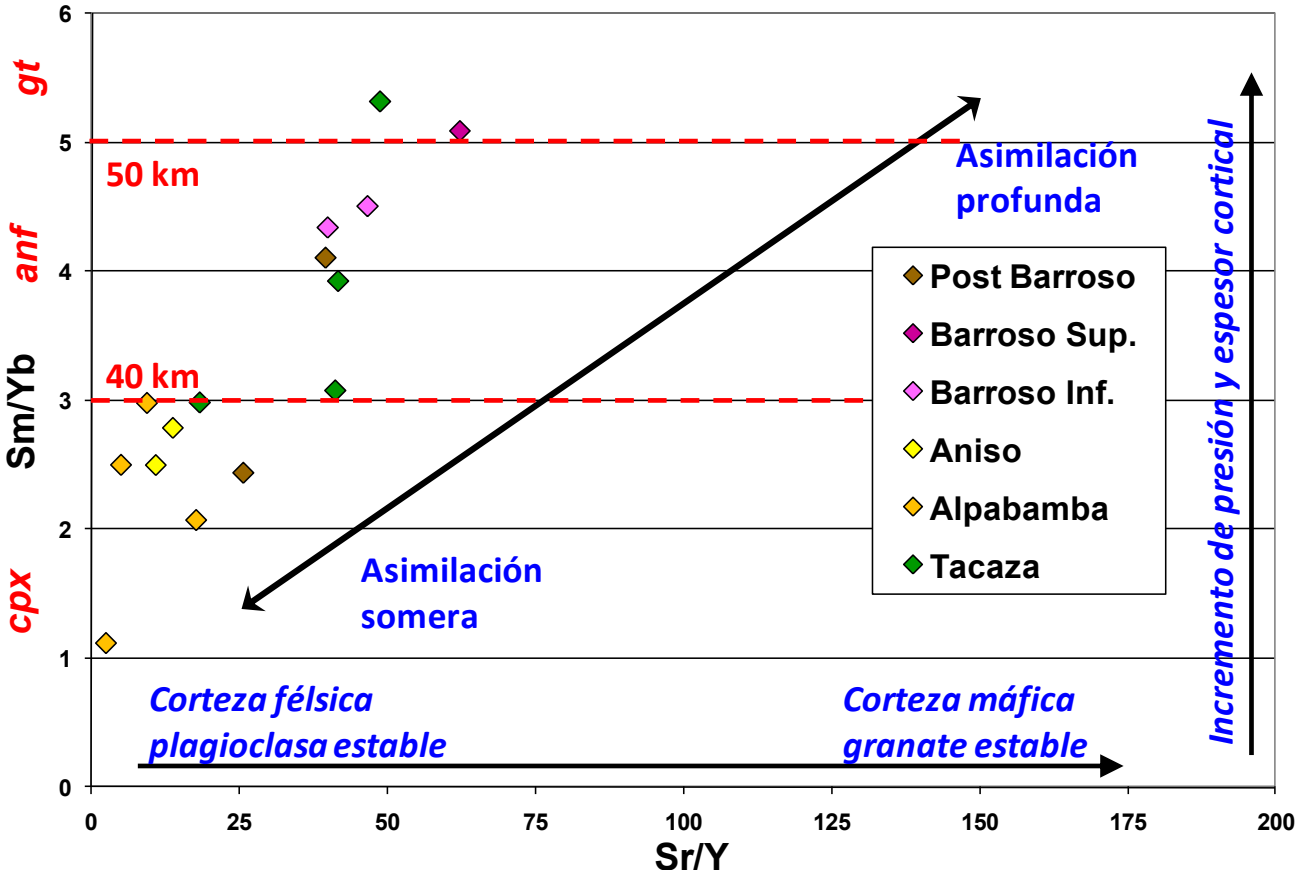

Figura 8. Diagrama Sm/Yb (normalizado al condrito) vs. Sr/Y, con minerales residuales, espesor y composición cortical, y profundidad aproximada de asimilación.

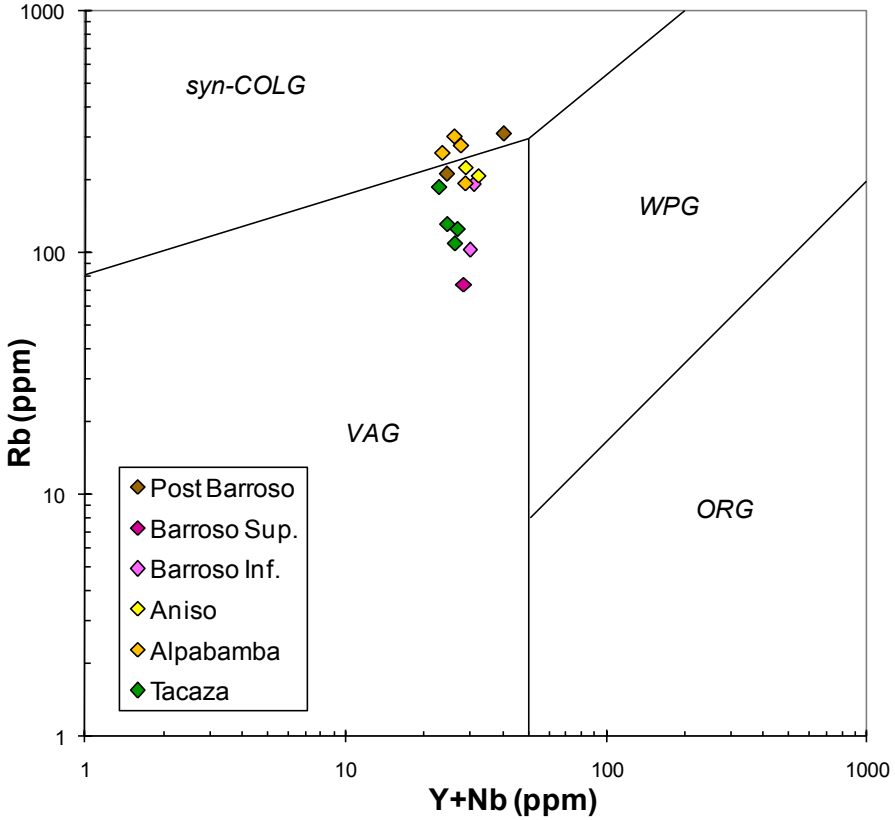

Figura 9. Diagrama Rb vs. Y+Nb, con campos de granitos sincolisionales (syn-COLG) y granitos de arco volcánico ("volcanic arc granite", VAG).

5.3. Discriminación del ambiente tectónico

Según el diagrama discriminante de Perace et al. (1984) (Rb vs. Y+Nb; Fig. 9), las rocas estudiadas se ubican en el campo de los granitos de arco volcánico (*"volcanic arc granite"*, VAG) en transición con el campo de granitos sincolisionales (syn-COLG). De esta forma se confirma que estas rocas se formaron en una zona de subducción.

5.4. Rol hidrotermal de los magmas

La Figura 10, construida siguiendo a Barnes (1997), permite comparar las concentraciones de metales (en nuestro caso solamente Pb, Zn, y Cu) con referencia a su *background*, y sus variaciones en función de SiO_2 y de la relación A/CNK. Este diagrama proporciona indicaciones sobre la viscosidad que tuvieron de los magmas y también sobre la existencia de una fase sulfurada en ellos.

De esta forma se puede interpretar que los magmas que dieron origen a las rocas volcánicas de las formaciones Alpabamba, Aniso, y ligeramente el Grupo Tacaza, presentaban mayor viscosidad en comparación con los magmas de las unidades Barroso inferior y superior, y tenuemente el post-Barroso.

Así mismo se puede sugerir que solamente el Barroso inferior y superior, y tenuemente el Tacaza, desarrollaron fases sulfuradas.

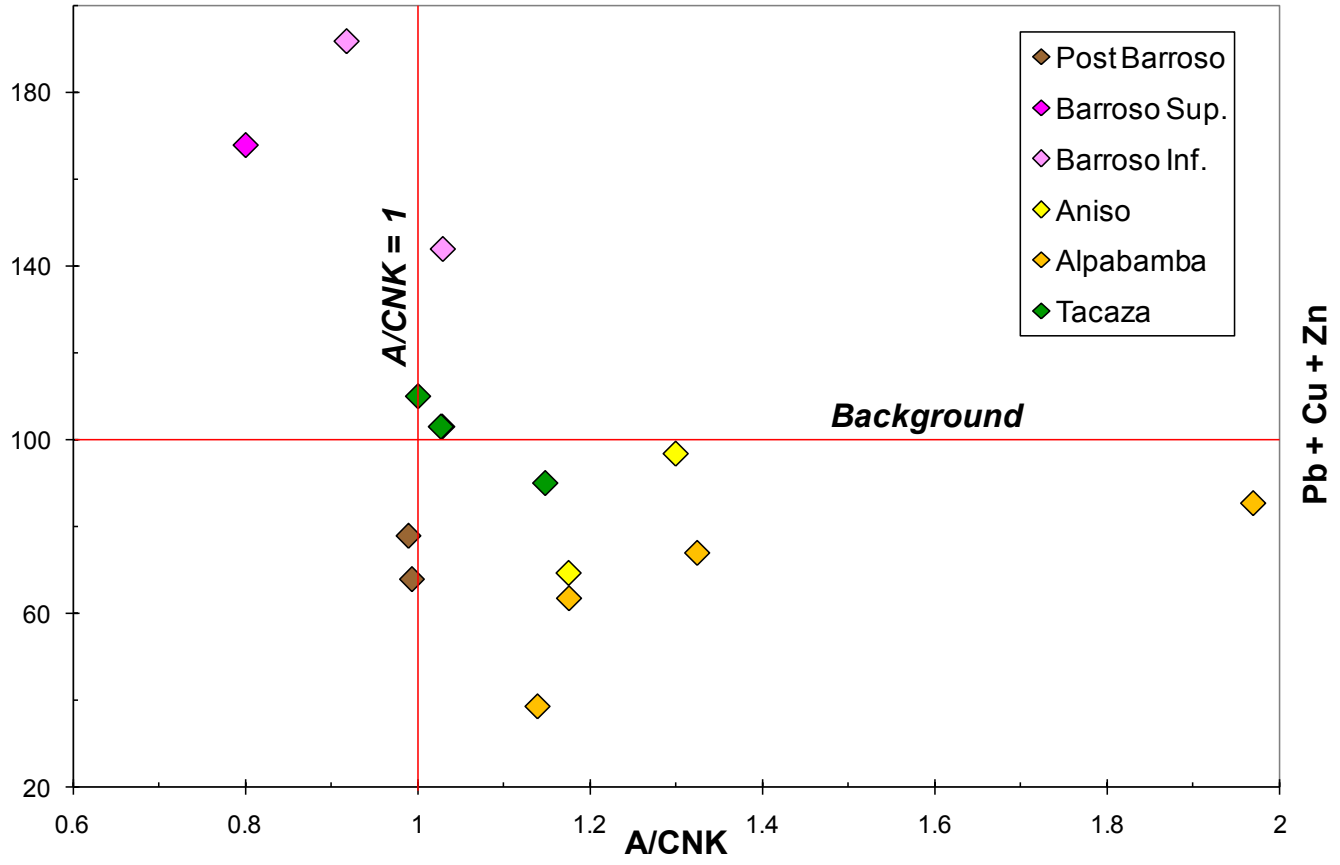

Figura 10. Diagrama A/CNK vs. Pb+Cu+Zn, para diferenciar una fase sulfurada en los fluidos.
A/CNK = (Al_2O_3) / [(CaO) + (Na_2O) + (K_2O)].

6. Conclusiones

La región de Huanzo responde a una estructuración con cuatro sistemas principales de fallas "NO-SE y NNO-SSE", "NE-SO y NNE-SSO", "N-S", y "E-O y ENE-OSO".

El sistema de estructuración E-O con sus tensionales NE-SO fue producto de un evento extensional con sentido NNO-SSE, relacionado a las unidades del Aniso y Barroso inferior. Vendría a ser favorable para la circulación y relleno de fluidos mineralizantes (como es el caso de las vetas en Azuca).

Los magmas de las unidades del Tacaza, Barroso inferior y Barroso superior sugieren una profundidad de asimilación entre 40 y 50 km, debido a una fuente con anfíbol dominante y granate moderado; mientras que las unidades Alpabamba y Aniso sugieren una menor profundidad de asimilación de su magmatismo, debido a una fuente dominada por clinopiroxeno con plagioclasa menor.

Los magmas relacionados al vulcanismo Alpabamba, Aniso, y ligeramente el Grupo Tacaza presentaron mayor viscosidad, y los del vulcanismo Barroso inferior, Barroso superior, y tenuemente el post-Barroso, una menor viscosidad.

Las unidades del Barroso inferior, Barroso superior, y tenuemente el Tacaza, habrían desarrollado fases sulfuradas, favorables para la exploración minera.

Referencias

Candiotti, H., Noble, D., McKee, E. 1990. Geologic setting and epitermal silver veins of the Arcata district, southern Peru. Economic Geology, v. 85, p. 1473–1490.

Echavarria, L., Nelson, E. 2002. Structural controls on the Arcata epitermal vein system, Peru. Abstract, Geological Society of America, p. 7.

Fornari, M., Vilca, C. 1979. Mineralización argentífera asociada al volcanismo cenozoico en la faja Puquio–Caylloma. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, v. 60, p. 106–107.

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.

McCoss, A. 1986. Simple constructions for deformation in transpresión/transtensión zones. Journal of Structural Geology, v. 8, p. 715-718.

McKee, E.H., Noble, D.C. 1982. Miocene volcanism and deformation in the Western Cordillera and high plateaus of south-central Peru. Geological Society of American Bulletin, v. 93, p. 657–662.

Morche, W. 2004. Volcanic field study of the Liam prospect, southern Peru. Informe interno Newmont, p. 27.

Palacios, C., Medina, R., Zapata, A., Usca, J., Zegarra, Z., Velazco, C. 2011. A new Ag-Au epithermal vein-type ore deposit, Azuca, Cordillera de Huanzo, southern Peru.

Palacios, O. 1994. Geología de los cuadrángulos de Chulca y Cayarani. Boletín del INGEMMET, Serie A, v. 51, 73 p.

Quispe, J., Ponce, A. 2010. Complejo de domos mio-pliocénicos y su relación con la mineralización de Ag–Au de tipo epitermal en el proyecto Crespo, Cordillera del Huanzo (Cusco, Perú). Resúmenes extendidos, XV Congreso Peruano de Geología, p. 1-3.

Ramos, V. 2009. Anatomy and global context of the Andes: Main geologic features and the Andean orogenic cycle. Geological Society of America Memoirs, v. 204, p. 31-65.

Zapata, A., Morales, M., Zegarra, M. 2008. Geología distrital preliminar del Proyecto Azuca. Informe interno Cia. Minera Ares S.A.C.