

# **GEOLOGÍA, PETROGRAFÍA Y GEOQUIMÍA DE LOS VOLCÁNICOS CENOZOICOS 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- Perú. Tel 51-1-3172000  
Email: ronald.callupe@hocplc.com.

## **INTRODUCCIÓN**

El área de estudio se ubica dentro de la Cordillera Occidental del sur peruano (al sur de la deflexión de Abancay), conocida como Cordillera del Huanzo. Políticamente ocupa parte de los departamentos de Apurímac, Cusco y Arequipa (Fig.1). En esta zona se reconocen numerosas secuencias volcánicas Cenozoicas, con evidencias de mineralización argentífera - aurífera del tipo epitermal que ha motivado a las compañías a realizar trabajos de exploración a diferentes escalas.

Las unidades volcánicas fueron divididas por: Mendivil (1965), Caldas (1993) y Palacios O. (1994) en diversas Formaciones, que en gran medida, han sido correlacionados a nivel muy regional, generalizándolos y agrupando en una misma unidad eventos que son no co-genéticos.

El presente trabajo pretende relacionar las características petrográficas, geoquímicas y estructurales de la secuencia volcánica Cenozoica de la Cordillera del Huanzo, con el fin de clarificar la evolución magmática - volcánica y dirigir la prospección geo-económica; mediante la definición de características lito-estratigráficas más locales, sistemas estructurales favorables y tipificación geoquímica, así mismo 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 y conjuntamente con el equipo de geólogos de la gerencia de exploraciones “greenfield” de Cia. Minera Ares S.A.C. se realizó diversos trabajos prospectivos donde se identificó y delimitó secuencias litoestratigráficas, estructuras, alteración y mineralización; 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; además se extrajeron 18 muestras de rocas para efectuar estudios petromineralográficos y geoquímicos.

## **MARCO TECTÓNICO REGIONAL**

Dentro del marco Geológico-Tectónico Regional, la Región Huanzo se ubica en la Zona Volcánica Central (ZVC) de los Andes de Sudamérica, que engloba al arco magmático Cenozoico del sur peruano y que se desarrolla sobre una potente y compleja corteza continental compuesta por rocas paleozoicas y mesozoicas (Zapata et al., 2008; Echavarría et al., 2006). Así mismo la característica geológica dominante del área de estudio, es la presencia de secuencias volcánicas ligadas a una intensa actividad explosiva y efusiva de edad Cenozoica y que forma parte del corredor metalogénico Puquio – Caylloma (Fornari & Vilca, 1979; Carlotto et al., 2009) donde se ubican minas de Ag-Au en operación como Arcata 5.4 Ma (Candiotti et al., 1990), Ares 12.5 Ma (Candiotti & Echavarría, 2005) y Caylloma 18.3 Ma (Echavarría et al., 2006), además proyectos de exploración avanzado como Crespo  $6.3 \pm 0.1$  a  $5.6 \pm 0.1$  Ma (Ponce et al., 2010) y Azuca.

Es de resaltar que el magmatismo-vulcanismo cenozoico muestra un drástico cambio que correlaciona con la inflexión de Abancay (Echavarría et al., 2006; Carlotto et al., 2009), al sur de esta inflexión y que engloba a la región Huanzo posee características evolutivas distintas respecto al norte, tanto en estilo de subducción, tectonismo y desarrollo de vulcanismo.

## **MARCO GEOLÓGICO DE LA REGIÓN HUANZO**

Litológicamente está constituido de un basamento Cretácico de la Fm. Soraya, cubierto por unidades volcánicas Miocenas a Pleistocenas del Grupo Tacaza, Formaciones Alpabamba, Aniso y Grupo Barroso, las que están intruidas por sub-volcánicos y domos dacíticos a riolíticos. (Fig. 2 y 3).

**Formación Soraya:** representada por areniscas cuarzosas de grano medio a grueso en paquetes decimétricos a métricos que llegan a 300 m de espesor con moderado plegamiento y extensión areal de 22 x 3 km, se disponen de manera aislada sobre altos estructurales y limitados por fallas NNO.

**Grupo Tacaza:** En la base predominan flujos piroclásticos de brechas matriz sostenida, líticos de rocas lávicas de textura porfirítica y matriz pumicea; al techo se reconocieron niveles lávicos de composición andesítica a dacítica de textura porfirítica gruesa con grandes cristales de plagioclasa y hornblenda. Su edad va entre 30 a 24 Ma (Mamani et al., 2010), se propone para la región Huanzo que el evento Tacaza se desarrolló en el Mioceno Inferior.

**Formación Alpacabamba:** consiste de potentes flujos piroclásticos en la base cubiertos por flujos de lavas, ambos dacíticos. Los flujos piroclásticos de la base son no soldadas y con escasos líticos, además son ricos en fragmentos de pómez de formas redondeadas y diámetro <5cm, contiene cristales de cuarzo y feldespato. Se desarrolló entre 13 a 10 Ma (Noble, 1972).

**Formación Aniso:** corresponde a niveles volcanoclásticos retrabajados, de composición andesítica, dacítica y riolítica ligados a eventos volcánicos del tipo explosivo; los afloramientos se reconocen en un área de 5 x 15km y llegan hasta 150m de espesor. De edad Miocénica Superior (Dávila, 1991). También fue nombrado como Fm. Sencca (Palacios O., 1994) y Fm. Para, en el sector de Azuca (Palacios C. et al., 2011).

**Grupo Barroso:** corresponde a secuencias de mayor exposición y extensión en el área de estudio (45% de superficie). Se describen dos unidades principales asociados a este vulcanismo. **Barroso Inferior:** los niveles inferiores consisten de secuencias volcanoclásticas y flujos de lavas andesíticas gris verdosa de textura porfirítica que contienen niveles tobaceos. En los niveles superiores se reconoce flujos de lavas de composición andesítica, color gris violáceas y textura porfido-afanítica; se habría desarrollado entre 7.0 y 5.5 Ma (Ponce et al., 2010). **Barroso Superior:** secuencias de flujos piroclásticos riodacíticos de textura porfirítica y de desvitrificación, se reconoce entre 50 y 100m de potencia y llegan hasta 4km de extensión en elongación NE y E-O, además se identificaron domos riodacíticos. Palacios C. et al. (2011) reporta  $2.5 \pm 0.8$  a  $2.4 \pm 0.2$  Ma (método Ar/Ar) en rocas de esta secuencia. Se le asignó una edad entre 5.5 y 1.0 Ma (Ponce et al., 2010).

**Unidad Post Barroso:** reconocido como flujos de lavas andesíticas - dacíticas de coloración pardo oscura a negro con textura afanítica a microporfirítica y marcada disyunción columnar. Se reconoció un dique con 3.5km de longitud y entre 10 - 25m de potencia, con un rumbo NNO y datado en  $0.76 \pm 0.16$  Ma (Palacios C. et al., 2011). Se postula que esta unidad representa el último evento volcánico e intrusivo dentro de la región Huanzo desarrollado durante edad Pleistocénica.

## ANÁLISIS ESTRUCTURAL

En base a métodos de rasterización, análisis sobre imágenes satelitales y observaciones de campo, se establece cuatro sistemas estructurales principales: “NNO-SSE y NO-SE”, “NE-SO y NNE-SSO”, “N-S” y “E-O y ENE-OSO” para la región Huanzo. (Fig.4A).

Basado en método 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 tipo transpresivo o transtensivo, se sugiere que el: **Sistema de rumbo NNO – SSE** y su tensional NO-SE con una cinemática inversa – sinistral que afecta principalmente a las areniscas cuarzosas de la Fm. Soraya y subvolcánicos relacionados al vulcanismo Tacaza. **Sistema de rumbo NE-SO** y su tensional NNE-SSO con una cinemática inversa – dextral que perturba principalmente a los afloramientos del Grupo Tacaza; además este sistema forma parte de estructuras tensionales que afecta a las unidades Alpacabamba, Barroso Inferior y Post-Barroso. **Sistema de rumbo N-S** con cinemática normal - dextral que afecta a los afloramientos de los volcánicos Alpacabamba, Sub-volcánicos del Aniso y Barroso Inferior. **Sistema de rumbo E-O** y su tensional ENE-OSO con una cinemática inversa - sinistral que perturba a la unidad del Post - Barroso Superior y otra cinemática normal - sinistral que afecta a las unidades del Aniso y Barroso Inferior.

Se propone que el sistema de estructuración E-O con su tensional ENE-OSO, producto del evento extensional con sentido NNE-SSO que afecta principalmente a la unidad volcánica Barroso Inferior, vendría a ser favorable tanto para la circulación como para la recepción de fluidos mineralizantes, como es el caso de las vetas en el Proyecto Azuca con más de 60.8 Moz Ag eq de recursos. (Fig.4C).

## GEOQUÍMICA, MAGMATISMO Y TECTÓNICA

Los análisis químicos de “Roca Total”, realizados en Als-Chemex por el método ICP-MS en 15 muestras extraídas de la región Huanzo. Permiten señalar, mediante la geoquímica de **los elementos mayores**, que las rocas de las unidades Barroso Inferior y Superior son andesita a traquiandesita, del Tacaza varían entre traquidacita a dacita y del Alpbamba, Aniso y Post Barroso son riolitas (Fig. 5); además definen una serie calco-alcalina con “Alto” contenido de potasio y ligera tendencia hacia la serie shoshonítica.

**Los elementos traza** en rocas del vulcanismo Tacaza, Barroso Inferior y Post Barroso muestran un alto contenido en Cs, Rb, Th, U y un bajo empobrecimiento en Sr y Eu, estas evidencias indican, según Thompson et al. (1984), que provienen de un magmatismo más diferenciado, mientras que las muestras del vulcanismo Alpbamba y Aniso presentan una mayor disminución en Sr y Eu lo que sugiere un alto régimen de diferenciación magmática con importante fraccionamiento de plagioclasa; la roca analizada del Barroso Superior muestra un comportamiento contrario a las anteriores, con fuerte disminución en Cs y sin empobrecimiento en Eu, lo que indica que proviene de un magmatismo menos diferenciado. Así mismo, el enriquecimiento en Cs – Rb y disminución de Nb y Eu en todas las unidades a excepción del Barroso Superior indica, según Sun & McDonough (1989), posible contaminación de corteza por adición de sedimentos. (Fig. 6).

**Los patrones de elementos traza** (Fig. 7) indican razones de Sm/Yb mayores a 3 para las unidades Tacaza, Barroso Inferior y Superior esto revelaría, según Mamani et al. (2010), que el magmatismo que los originó se habría formado en condiciones de alta presión asociada a una corteza engrosada (40 - 60km) para esta zona, además sugiere la presencia de anfíboles y granates residuales en equilibrio con el magma (Kay et al., 1999); esto coincide con el marco tectónico de características compresionales. Así mismo, las razones de Sm/Yb menores a 3 en las unidades Alpbamba y Aniso, indican un menor engrosamiento de corteza, ya que presentarían clinopiroxenos residuales en equilibrio con el magma; esto coincide con periodos distensivos cortos durante del Cenozoico Palacios O. (1994). Las razones de La/Sm mayores a 5 en rocas ácidas del Alpbamba y Aniso indican, según Mamani et al. (2010), una mayor sensibilidad al fraccionamiento de la plagioclasa, relacionado a magmatismo más diferenciado.

**Rol Hidrotermal de los Magmas:** Luego de haber definido magmatismos de diferenciación variada en los eventos volcánicos de la Región Huanzo, es de interés saber si estos diferentes procesos magmáticos han dado origen a fases fluidas hidrotermales y que puedan concentrar iones metálicos. Para definir esto, primero determinamos las variaciones de concentraciones en metales como Pb, Zn y Cu respecto a su abundancia promedio “background” que demuestra el grado de sulfuración, para nuestro caso mayor a 100, por otro lado determinamos fases ricas en alúmina mediante la relación  $A/CNK = (Al_2O_3) / [(CaO) + (Na_2O) + (K_2O)]$  en donde valores mayores a 1 significa magmas con fases menos fluidas, por Barnes (1997, en Quispe, 2004). La comparación de estas razones (Fig. 8) indican que los magmas que dieron origen a rocas volcánicas del Barroso Inferior (7.0 a 5.5 Ma) y Barroso Superior (5.5 a 1.1 Ma) habrían desarrollado fases más fluidas con capacidad de formar fases sulfuradas; esto coincide con la **época metalogenética Mio-Pliocénica** en donde se ubican los depósitos epitermales de sulfuración intermedia con mineralización de Ag-Au, como Crespo (Ponce et al., 2010) y Azuca (Palacios C. et al., 2011), dentro de la Región del Huanzo.

## CONCLUSIONES

- Mediante el análisis estructural se establece cuatro sistemas estructurales principales: “NNO-SSE y NO-SE”, “NE-SO y NNE-SSO”, “N-S” y “E-O y ENE-OSO” para la región Huanzo.
- Las unidades del Barroso Inferior y Superior son andesita a traquiandesita, del Tacaza son traquidacita a dacita y del Alpbamba, Aniso y Post Barroso son riolitas; además definen una serie calco-alcalina con “Alto” contenido de potasio y ligera tendencia hacia la serie shoshonítica.
- El vulcanismo del Barroso Superior provendría de un magmatismo menos diferenciado y sin contaminación de corteza, la del Tacaza, Barroso inferior y Post Barroso de un magmatismo más

diferenciado, mientras que la del Alpbamba y Aniso de una mayor diferenciación magmática con importante fraccionamiento de plagioclasa.

- El magmatismo de las unidades Tacaza, Barroso Inferior y Superior se habría desarrollado en condiciones de alta presión asociada a una corteza engrosada (40 – 60km) que coincide con el marco tectónico compresional. Además, el magmatismo del Alpbamba y Aniso habrían tenido un menor engrosamiento de corteza (<40km) y coincidiría con periodos distensivos durante el Mioceno.
- La unidad Barroso Inferior (7.0 a 5.5 Ma) es más prospectiva, debido que su magmatismo habría albergado fases fluidas y por la capacidad de formar fases sulfuradas. Además esta unidad estuvo afectado por el evento extensional de sentido NNE-SSO que genera fracturas-fallas favorables para la circulación de fluidos. Como ejemplo tenemos los depósitos Ag-Au de Crespo y Azuca de edad Mio-Pliocénica.

## REFERENCIAS

- Caldas, J. (1993). Geología de los cuadrángulos de Huambo y Orcopampa, Instituto Geológico, Mineros y Metalúrgico, Perú. *Boletín 46 Serie A*, 62p.
- Candiotti, H. & Echavarría, L. (2005). Yacimiento Epitermal de Au – Ag de Baja Sulfuración Ares: Descubrimiento, Geología y Geoquímica. *Informe interno Compañía Minera Ares S.A.C.*
- Candiotti, H., Noble, D. & Mckee, E. (1990). Geologic setting and epithermal silver veins of the Arcata district, southern Peru. *Economic Geology*, V. 85, pp. 1473 – 1490.
- Carlotto, V., Cerpa, L., Acosta, H. & Rodríguez, R. (2009).- Evolución Tectónica y Metalogenética de la Litosfera del Sur del Perú: Resultado de la acreción de bloques alóctonos, *Convención Minera de Perú 2009*, pp. 1-11.
- Dávila, D. (1991). Geología del cuadrángulo de Pacapausa, Instituto Geológico, Mineros y Metalúrgico, Perú. *Boletín 41 Serie A*, 56p.
- Echavarría, L., Nelson, E., Humphrey, J., Chávez, J., Escobedo, L. & Iriondo, A. (2006). Geologic evolution of the Caylloma epithermal vein district, Southern Peru. *Economic Geology*, V. 101, pp. 843-863.
- Fornari, M. & Vilca, C. (1979). Mineralización Argentífera Asociada al Volcanismo Cenozoico en la Faja Puquio - Caylloma: *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, Tomo 60, pp 106 – 107.
- Kay, R., Mpodozis, C. & Coira, B. (1999). Neogene Magmatism, Tectonic and Mineral Deposits of the Central Andes (22° to 33°S Latitude). *Special Publication N° 7, Society of Economic Geologist*, Chap. 2, pp. 27-59.
- Le Maitre, R., Bateman, P., Dubek, A., Keller, J., Lameyre Le Bas, M., Sabine, P., Schmid, R., Sorensen, H., Streckeisen, A., Wolley, A. & Zanettin, B. (1989). A Classification of Igneous Rocks and Glossary of terms. *Blackwell*, 193 pp., Oxford.
- 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* 2010, pp. 162-182.
- McCoss, A. (1986) “Simple constructions for deformations in transpresión/transensión zones”. *Journal of Structural Geology*, vol. 8, pp. 715-718.
- Mendivil, S. (1965). Geología de los cuadrángulos de Maure y Antajave, Instituto Geológico, Mineros y Metalúrgico, Perú. *Boletín 10*.
- Noble, D. (1972). Reconnaissance study of the stratigraphy and structure of Cenozoic volcanics rocks of the Orcopampa district. *Informe publicado por Compañía Minera Buenaventura S.A.*
- 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. *Course of Society for Geology Applied to Mineral Deposits, Antofagasta – Chile*.
- Palacios, O. (1994). Geología de los cuadrángulos de Chulca y Cayarani, Instituto Geológico, Mineros y Metalúrgico, Perú. *Boletín 51 Serie A*, 73p.
- Ponce, A., Quispe, J., Palacios, C. Zapata, A. & Sang-Mo, K. (2010). Complejo de domos Mio-Pliocénicos y su Relación con la Mineralización de Ag – Au tipo Epitermal en el Proyecto Crespo, Cordillera del Huanzo. *XV Congreso Peruano de Geología, Volúmenes Resúmenes Extendidos*, pp. 596 - 599.
- Quispe, J. (2004). “Petrografía, Geoquímica e Implicancias Metalogenéticas de los Volcánicos Cenozoicos del Sureste del Perú, Puno (Perú)”. *Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería*.
- Sun & McDonough (1989). Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts: Implications for mantle composition and processes. *Geological Society, London, Special Publications*, v. 42; pp 313-345.
- Thompson, R., Hendry, G. & Parry, S. (1984). An assessment of the relative roles of crust and mantle in magma genesis: and element approach. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 310, 549-590.
- Zapata, A., Morales, M. & Zegarra, M. (2008). Geología distrital preliminar del Proyecto Azuca. *Informe interno Compañía Minera Ares S.A.C.*

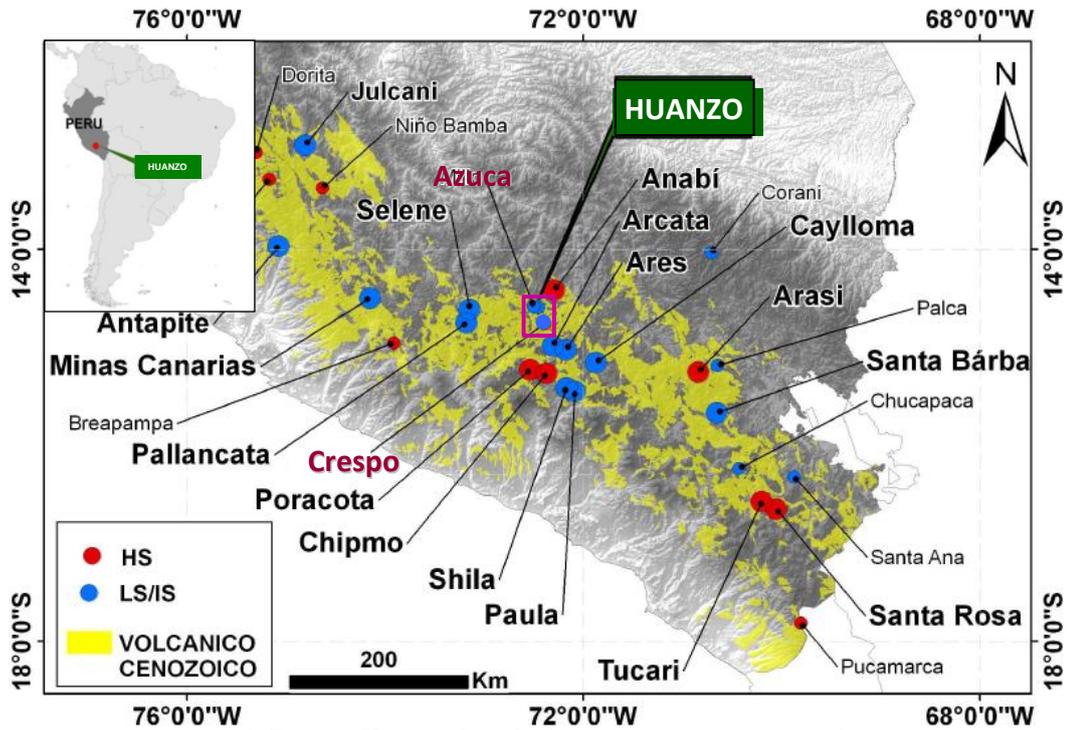


Fig. 1: Proyecto Huanzo, plano de ubicación y ocurrencias minerales.

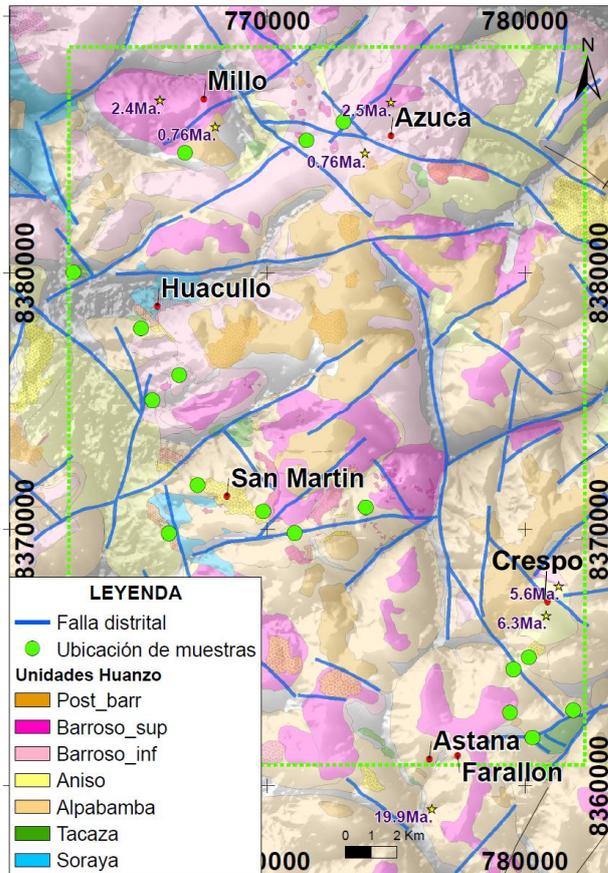
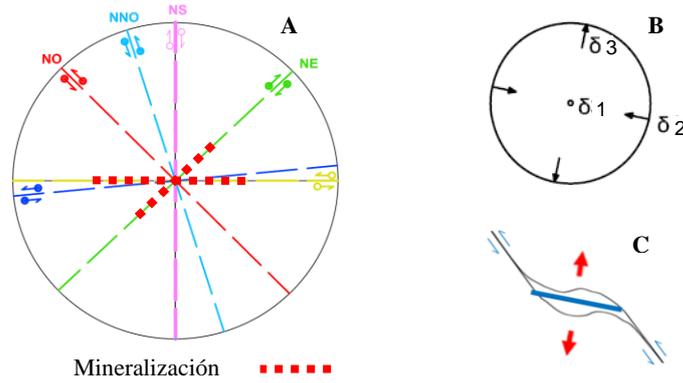


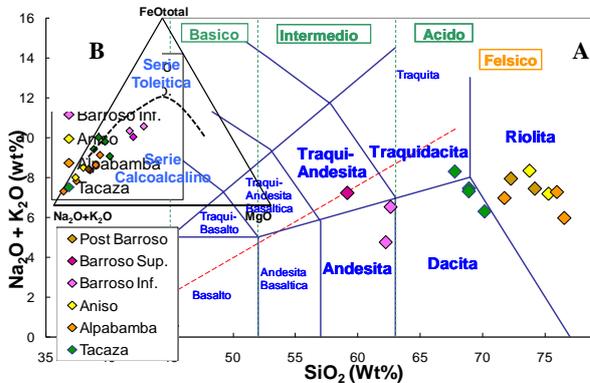
Fig. 2: Mapa litológico de la región Huanzo.

EDAD (Ma)	UNIDAD	ESFUERZOS:	
Cuaternario	Holoceno 0.01	Depositos cuaternarios ( <i>hoy</i> -0.01 Ma)	
	Pleistoceno	Post. Barroso (0.2-1.1 Ma)	Distensivos con 61 vertical y 63 en sentido NNO.
		Barroso superior (1.1-5 Ma)	
Neógeno	Plioceno	Lavas y tobas riódacíticas a riolíticas	Compresivos con 61 en sentido ONO y 61 en sentido ONO.
		Barroso inferior (5-7 Ma)	
	Mioceno	Intercalación de lavas y vulcanoclásticos andesíticos - ceniza y lapilli dacíticas riódacíticas.	Distensivos con 61 vertical y 63 en sentido NNE.
		Fm. Aniso (7-8 ma)	
		Flujos piroclásticos y vulcanoclásticos retrabajados andesíticos	
		Fm. Alpabamba (10-13 Ma)	Distensivos con 61 vertical y 63 en sentido ONO.
		Superior: Flujos de lavas dacíticas	
Inferior: Tobas de xls y líticos, dacíticas			
Cretácico inferior	Gpo. Tacaza (18-22 Ma)	Superior: Lavas andesíticas - traquidacíticas	Compresivos con 61 en sentido ONO.
		Inferior: Tobas andesíticas - dacíticas	
	Fm. Soraya (100-145 Ma)	Areniscas cuarzosas	Compresivos con 61 en sentido NO.

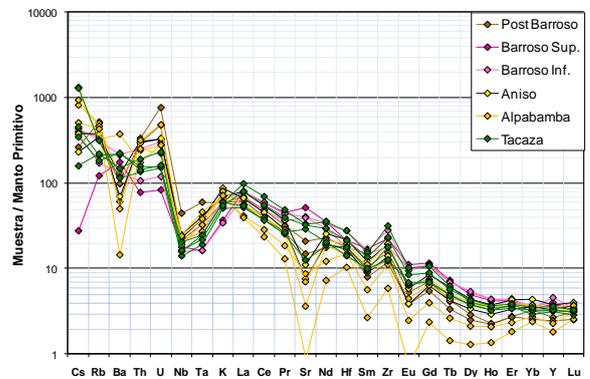
Fig. 3: Columna estratigráfica para la región Huanzo y orientación de sistemas de esfuerzos que habrían sucedido hasta el Pleistoceno.



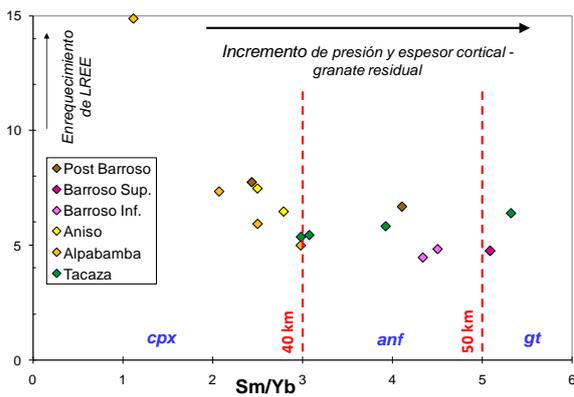
**Fig. 4:** A) Sistema de estructuración planteado para la región Huanzo. B) Sistema de esfuerzos de tensión durante el Mioceno Superior - Plioceno. C) Cinemática para estructuras de rumbo NO-SE producto del evento tensional.



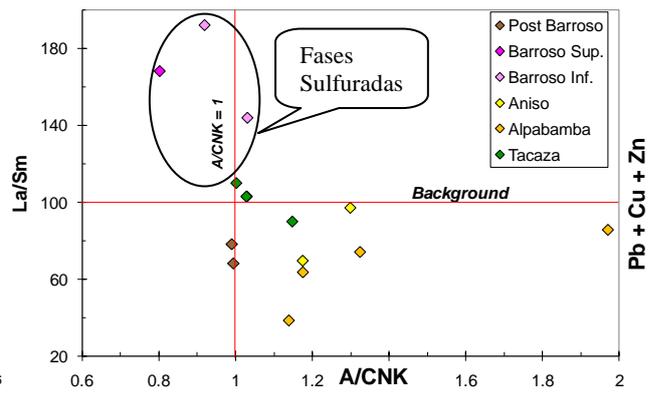
**Fig. 5:** A) Diagrama del contenido de  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  (wt%) con líneas clasificatorias de rocas según Le Maître et al. (1989). B) Definición de la serie calcoalcalina en el diagrama AFM.



**Fig. 6:** Diagrama "spider" de elementos traza y tierra rara (REE), normalizados al manto primitivo según Sun & McDonough (1989).



**Fig. 7:** Diagrama La/Sm vs Sm/Yb, la razón Sm/Yb indica minerales residuales en el magma (Kay et al., 1999).



**Fig. 8:** Diagrama A/CNK Vs Pb+Cu+Zn, para diferenciar fases fluidas y fases sulfuradas.