
Caracterización tectónica de los depósitos tipo VMS en el arco volcánico submarino Casma

Rosa Jara Torres¹ y Enrique Fernández de Paredes²

¹ Lima, Perú (rosajarat@gmail.com)

² Lima, Perú (enrique.fernandez.paredes@gmail.com)

Abstract

This research characterizes, on a regional scale, the tectonic context during the formation of volcanogenic massive sulphide deposits (VMS) hosted in the Cretaceous volcanic-sedimentary sequences of the Casma Group on the central coast of Peru, particularly in the Cañete basin where Cerro Lindo, Perubar, Maria Teresa and Palma deposits are located.

The results of the litho-geochemical analysis show that tectonic context during the formation of the VMS deposits correspond to a submarine volcanic arc, in which the volcanic-sedimentary sequences of the Casma group were deposited, characterized by calc-alkaline signature with enrichment of light rare earth elements (LREE) and depletion of Nb and Ti. The rocks were deposited on a crust ~20-30 km thick.

Resumen

La presente investigación caracteriza, a escala regional, el contexto tectónico durante la formación de los depósitos de sulfuros masivos volcánicos (VMS) hospedados en las secuencias volcánico-sedimentarias del Grupo Casma en la costa central de Perú, particularmente en la cuenca Cañete donde se ubican los depósitos de Cerro Lindo, Perubar, María Teresa y Palma.

Los resultados de los análisis de litogeoquímica, muestran que el contexto tectónico corresponde a un arco volcánico submarino, en el cual se depositaron las secuencias volcánico-sedimentarias del Grupo Casma, caracterizadas por una signatura calco-alkalina, con enriquecimiento de tierras raras ligeras (LREE) y empobrecimiento de Nb y Ti. Las rocas fueron

depositadas sobre una corteza de ~20-30 km de espesor.

2. Introducción

Los depósitos de sulfuros masivos volcánicos (VMS) en el Perú están asociados a cuencas volcánico-sedimentarias submarinas cretácicas en la costa Perú (Cuenca Casma y Cuenca Lancones). En la cuenca Casma, particularmente en el área de la sub-cuenca Cañete, se ubican varios depósitos y ocurrencias del tipo VMS, conteniendo importantes recursos polimetálicos (Zn, Pb, Cu, Ag y Au). Conocer y entender los controles metalogénicos constituyen herramientas claves para las exploraciones y descubrimientos futuros, es por ello que la caracterización tectónica es relevante. El contexto tectónico de la Cuenca Casma, a través de varios estudios previos (Atherton & Webb, 1989; Aguirre et al., 1989; Polliand et al., 2005; Romero, 2007; Cueva et al., 2010; Fontboté, 2019), ha tenido diversas interpretaciones, que varían entre ambiente de tras-arco y arco volcánico. Los resultados de esta investigación logran contextualizar el ambiente de formación, para los depósitos VMS conocidos, dentro de la sub-cuenca Cañete a escala regional.

3. Litogeoquímica de las rocas volcánicas

Se realizaron análisis de roca total y elementos traza a 14 muestras de rocas volcánicas en la sub-cuenca Cañete, éstas incluyen a las unidades volcánicas asociadas a depósitos VMS (Cerro Lindo, Perubar y Palma) y muestras en el sector oeste y sur de la cuenca.

3.1. Clasificaciones

Las rocas volcánicas tienen una composición bimodal de acuerdo al diagrama de elementos traza Zr/Ti versus Nb/Y de Pearce (1996) (Fig. 01), estos elementos son inmóviles durante los procesos hidrotermales o supérgenos. Además, las muestras tienen una signatura sub-alkalina, que se observa en el diagrama AFM (Álcalis: $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$; FeO; MgO) de Irvine y Baragar (1971).

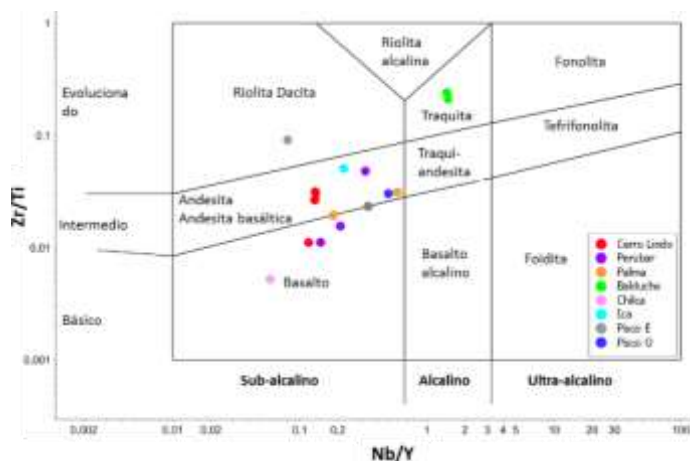


Figura 01. Clasificación de rocas volcánicas de Pearce (1996) en base a elementos traza inmóviles.

3.2. Litogeoquímica de Rocas Máficas

El contexto tectónico bajo el cual se formaron las rocas volcánicas se evaluó utilizando elementos traza inmóviles en diagramas de rocas máficas.

Los diagramas ternarios de Th, Zr, Nb (Wood, 1980) e Y, La, Nb (Cabanis y Lecolle, 1989) muestran que todas las rocas corresponden a un ambiente de arco volcánico, con signatura principalmente de arco calco-alkalino a arco transicional (Fig. 02), esta misma signatura se observa en el diagrama AFM de Irvine y Baragar (1971). La diferenciación del tipo de arco volcánico, según el diagrama Th/Yb versus Nb/Yb de Pearce (2014), muestra una transición desde un arco oceánico a un arco continental y algunas muestras indican un origen continental sub-aéreo (Fig. 03).

Los diagramas tipo spider de tierras raras y multi-elementales de Pearce (2010), normalizados con respecto al manto primitivo de McDonough et al., (1992) (Fig. 04), muestran un enriquecimiento de LREE acompañado de alta razón de Th con respecto a Nb (Fig. 4A); esta signatura es consistente con zonas de arcos calco-alkalinos, lo cual coincide con la clasificación de contexto tectónico hecha en base al diagrama de La, Y, Nb; la razón alta de Th/Nb es causada porque el Th es

un elemento móvil durante procesos de subducción a diferencia del Nb que es un elemento inmóvil en la mayoría de ambientes de arco. Adicionalmente, se observa un empobrecimiento de Ti indicando también un ambiente de subducción y fusión parcial (Pearce, 2014).

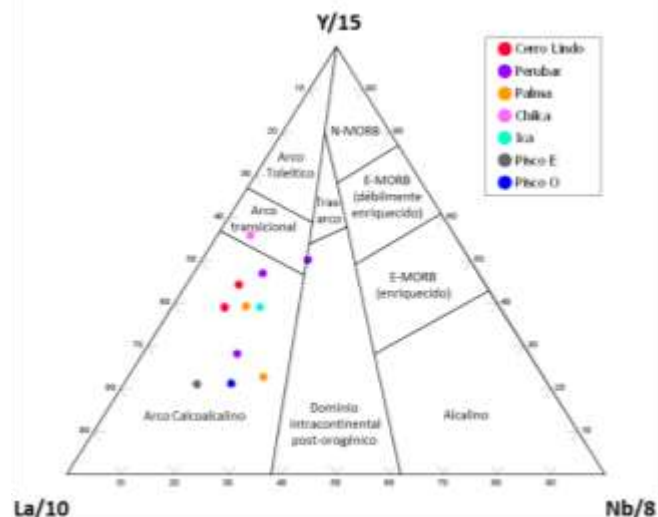


Figura 02. Diagrama La/10, Y/15, Nb/8 de Cabanis y Lecolle (1989).

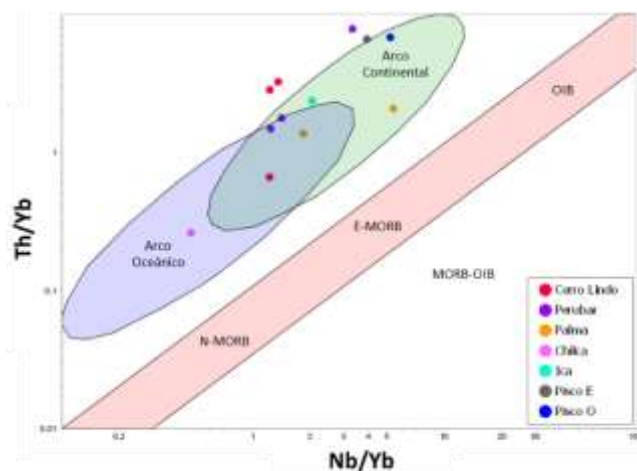


Figura 03. Th/Yb versus Nb/Yb de Pearce (2014).

Una muestra presenta relación plana entre elementos LREE con respecto a HREE (Fig. 4B), lo cual representa también un ambiente de subducción; sin embargo, podría representar una etapa más temprana del desarrollo del arco. El empobrecimiento de Zr y Hf representa una signatura típica de arcos oceánicos, concordando con la clasificación previa del Diagrama Th/Yb versus Nb/Yb de Pearce (2014) (Fig. 03).

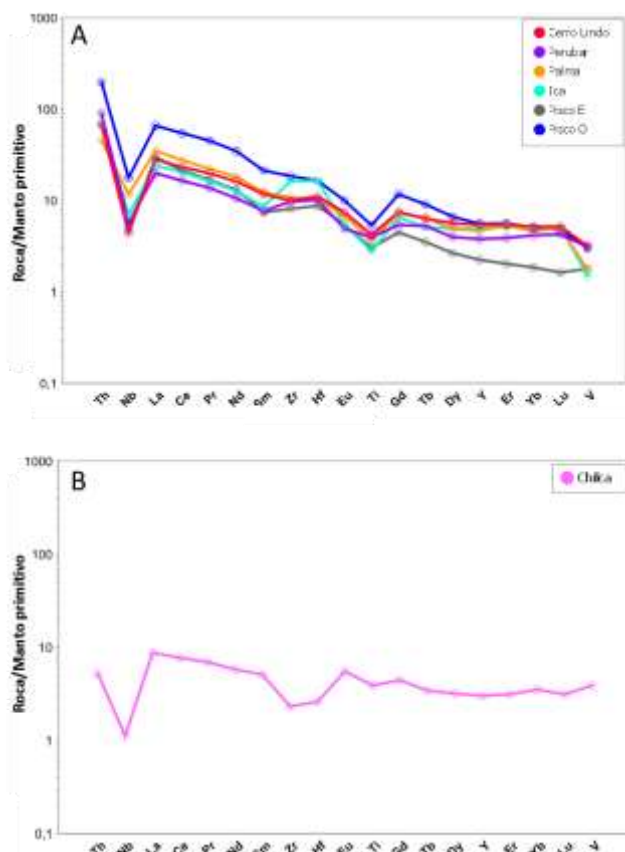


Figura 04. Diagrama tipo spider de los dos tipos de firmas. A. Enriquecimiento de LREE en rocas asociadas a los depósitos VMS. B Relación plana de LREE y HREE en una muestra al NO de la cuenca.

Para poder discriminar entre rocas de arco y rocas de tras-arco debemos considerar que las rocas máficas de arco tienen como característica una significativa anomalía negativa de Nb con respecto a Th (Pearce, 1996) causando una alta razón de Th/Nb, esta característica se observa en las rocas asociadas a los depósitos VMS en el área de estudio (Fig. 04A).

3.3. Espesor Cortical

De acuerdo a la relación Ce/Y de Mantle & Collins (2008) para rocas de composición máfica, en la sub-cuenca Cañete las rocas volcánicas asociadas al contexto de arco oceánico a transicional se habrían depositado sobre una corteza desde ~20 km hasta ~30 km de espesor (Fig. 05). Las secuencias asociadas al contexto de arco continental, del extremo sur, se habrían depositado en una corteza de hasta ~45 km (Fig. 05).

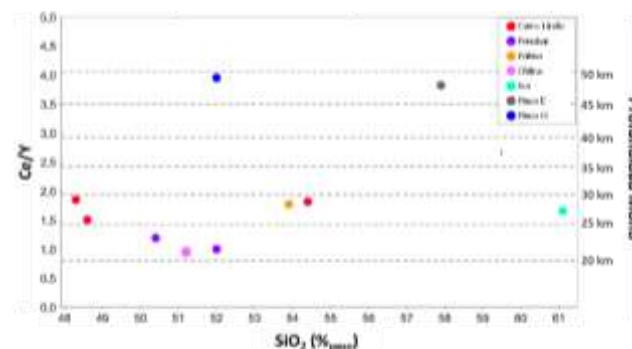


Figura 05. Diagrama Ce/Y versus SiO₂ para estimación del espesor cortical de Mantle y Collins (2008).

4. Conclusiones

Las rocas volcánicas del Grupo Casma, en la sub-cuenca Cañete, se habrían formado en un contexto tectónico de arco volcánico oceánico en el extremo NO, evolucionando a un arco transicional oceánico-continental o arco oceánico somero en la parte central (contexto dominante en la cuenca) (Fig. 06), sobre una corteza entre ~20-30 km de espesor. La existencia de rocas de origen continental en el extremo SE de la sub-cuenca Cañete, que se depositaron en una corteza con >45 km de espesor, sugieren que estas rocas no corresponden al Grupo Casma se encontraría al sur del depósito de Cerro Lindo (Fig. 06).

La firma geoquímica varía de un arco transicional a netamente calco-alcalina (Fig. 02). Las rocas ubicadas al extremo noroeste, de firma transicional, corresponden a los niveles estratigráficos inferiores y varían hacia el este a niveles estratigráficos superiores, a una firma calco-alcalina; esta variación está acompañada con un enriquecimiento de elementos de tierras raras ligeras (LREE) (Fig. 04A y 04B).

Los depósitos VMS en la sub-cuenca Cañete se habrían formaron en un arco volcánico transicional, que puede ser interpretado como un arco oceánico somero o poco profundo, asociados a una firma calco-alcalina y con un espesor cortical que varía entre ~20 - 30 km.

5. Discusión

Han sido ampliamente descritas en la literatura que las secuencias volcánico-sedimentarias del Grupo Casma fueron formadas en un ambiente de tras-arco, durante el Albiano-Cenomaniano (Atherton & Webb, 1989 y Aguirre et al; 1989). Posteriormente Romero (2007) y Cueva et al., (2010), consideran que existen 2 contextos

tectónicos asociados a los depósitos VMS: un arco volcánico extensivo, durante el Albiano-Cenomaniano y un tras-arco, durante el Maastrichtiano – Daniano, . Por otro lado, Polliand et al., 2005 en el depósito de Perubar interpreta cuencas pull-apart desarrolladas en un ambiente de intra-arco, y más recientemente los trabajos de Fontboté (2019), Farfán et al., (2019) y Picardo et al., (2019) propone también un ambiente de arco volcánico calco-alcalino para María Teresa, Palma y Perubar evidenciados en el diagrama Th, Zr y Nb. Los resultados de esta investigación proveen evidencias geoquímicas adicionales en base a diagramas de La, Y, Nb, Th e Yb, y con análisis de tierras raras, de que las rocas volcánicas asociadas a los depósitos VMS se formaron en un contexto de arco volcánico transicional coincidiendo con las interpretaciones de Fontboté (2019), Farfán et al., (2019) y Picardo et al., (2019) hechas en los depósitos de María Teresa, Palma y Perubar. Adicionalmente en este trabajo y se propone una zona prospectiva regional para la formación de depósitos VMS dentro del área de estudio (Fig. 06).

Agradecimientos

Al profesor Javier Jacay por su asesoramiento en el desarrollo de la investigación y a Jesús Gómez por su colaboración la ejecución de los trabajos de campo.

Referencias

- Aguirre, L., Levi, B. & Nystrom, J. 1989. The link between metamorphism, volcanism and geotectonic setting during the evolution of the Andes. In Daly, J. S., Cliff, R. A. and Yardley, B. W. D. eds., *Evolution of Metamorphic Belts*, Geological Society. Special Publication. No.43, pp. 223-232.
- Atherton, M. P. & Webb, S. 1989. Volcanic facies, structure, and geochemistry of the marginal basin rocks of central Peru. *J. South Am. Earth Sci.* 2, pp. 241–261.
- Cabanis, B. & Lecolle, M. 1989. The La/10-Y/15-Nb/8: diagram: a tool for discriminating volcanic series and evidencing continental crust magmatic mixtures and/or contamination. *Comptes Rendus - Academie des Sciences, Serie II.* 309, pp. 2023-2029.
- Cueva, E., Mamani, M. & Rodríguez, R. 2010. Magmatismo y Geoquímica del Vulcanismo Albiano-Cenomaniano (Grupo Casma) y Maastrichtiano-Daniano entre Pucusana y Chimbote; XV Congreso Peruano de Geología. *Resúmenes Extendidos. Sociedad Geológica del Perú, Pub. Esp. N° 9* (2010), Cusco pp. 921-925.
- Irvine, T. & Baragar, W. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, Vol. 8, pp. 523-548.
- Jara, R., 2019. Controles metalogenéticos de los depósitos de sulfuros masivos volcanogénicos (VMS) en la Cuenca Casma, Subcuenca Cañete, Perú. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú, 85p.
- Farfán, C., Monge, R. & Fontboté, L. 2019. Palma, yacimiento de Zn-Pb tipo VMS en una Cuenca intra-arco del Cretácico Superior en Perú Central: nuevos avances en exploración para un gran potencial. *ProExplo 2019*.
- Fontboté, L. 2019. Volcanogenic Zn-Pb±Cu massive sulfide deposits in the upper cretaceous pluto-novolcanic arc in central Peru. *ProExplo 2019*.
- Mantle, G. & Collins, W. 2008. Quantifying crustal thickness variations in evolving orogens:

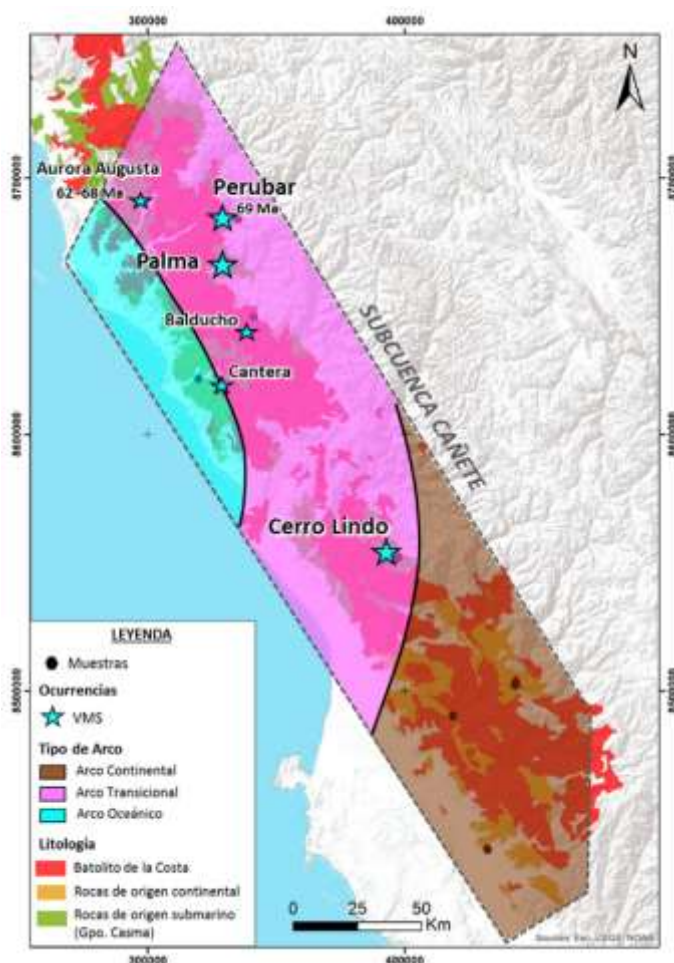


Figura 06. Mapa de los tipos de arco volcánico en la sub-cuenca Cañete.



- Correlation between arc basalt composition and Moho depth. Geological Society of America Bulletin, v. 36, pp. 87–90.
- McDonough, W.F., Sun, S.-S., Ringwood, A.E., Jagoutz, E. & Hofmann, A.W. (1992). Potassium, Rubidium and Cesium in the Earth and Moon and the evolution of the mantle of the Earth. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 56, pp. 1001-1012.
- Pearce, J. 1996. A user's guide to basalt discrimination diagrams. In *Trace Element Geochemistry of Volcanic Rocks; Applications for Massive Sulphide Exploration*. Geological Association of Canada, Volume 12, pp. 79-113.
- Pearce, J. 2014. Immobile Element Fingerprinting of Ophiolites. *Elements* 10, pp. 101-108.
- Picardo, E., Fontboté, L., Mena, T., Chirinos, O. & Halter, W. 2019. El yacimiento de Zn-Pb-Cu-Ag tipo VMS María Teresa, Perú: geología y exploración.
- Piercey, S.J. 2010. An overview of petrochemistry in the regional exploration for volcanogenic massive sulphide (VMS) deposits. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*. V 10; pp. 119-136.
- Polliand, M., Schaltegger, U., Frank, M. & Fontboté, L. 2005. Formation of Intra-arc volcanosedimentary basins in the western flank of the central Peruvian Andes during Late Cretaceous oblique subduction: field evidence and constraints from U-Pb ages and Hf isotopes. *Int. J. Herat Sci. (Geol. Rundsch)* 94: 231 – 242 p.
- Romero, D. 2007. La Cuenca Cretácico Superior-Paleoceno del Perú Central: Un Metalotecto para la exploración de SMV, Ejemplo Mina María Teresa, Tesis de Maestría, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Cusco, p, 100.