



Boletín de la Sociedad Geológica del Perú

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

Tectonomagmatismo y Fertilidad de los Depósitos Porfiríticos del Jurásico al Neógeno, Sur de Perú

William Martínez-Valladares¹, Alonso Marchena-Campos¹, Joel Otero-Aguilar¹
& John Cervantes-Garate²

¹Dirección de Recursos Minerales y Energéticos; ²Dirección de Geología Regional

RESUMEN.

Las relaciones entre los controles tectono-magmáticos y la fertilidad de los Depósitos de Pórfidos de Cobre (DPC), nos lleva a sostener que existe una concordancia entre el fraccionamiento de los magmas, su contaminación y los espacios generados por sistemas estructurales para la maduración de un DPC. En el sur peruano, los conocidos pórfidos de edad Paleocena comparten características de emplazamiento y edad muy similares, abarcando una faja estructural asociada al metalotecto Incapuquio-Cincha-Lluta cuyas características, por ser una falla transilitosférica de movimiento dextral, ha creado espacios suficientes, los cuales son expresiones de *jogs* estructurales, para el emplazamiento de los DPCs. Por otro lado, en la misma faja Paleocena al sur en la serranía de Tacna, se emplazó el DPC Chipispaya, cuyas características geoquímicas y en edad más recientes (Miocena), han generado un yacimiento adosado a la faja Paleocena en un contexto magmático asociado a cuerpos intrusivos fraccionados coetáneos con las secuencias de las unidades piroclásticas de Huaylillas-Tacaza.

PALABRAS CLAVE: Depósitos de Pórfidos de Cobre, fertilidad del magma, sistemas transpresivos.

ABSTRACT. The relationships between the tectono-magmatic controls and the fertility of the Porphyry Copper Deposits (PCD), lead us to the

existence of a concordance between the fractionation of the magmas, the contamination and the spaces generated by structural systems for the maturation of a PCD. At southern Peru, the known episodes of Paleocene age shared very similar emplacement and age characteristics, that includes a structural belt associated to the Incapuquio-Cincha-Lluta metalotect, whose characteristics, for being a fault of dextral movement, has created sufficient spaces, which are expressions of structural jogs, for the emplacement of the PCDs. On the other hand, in the same Paleocene belt to the south in the mountain range of Tacna, the Chipispaya PDC was emplaced, whose geochemical characteristics and more recent age (Miocene), have generated a deposit attached to the Paleocene belt in a magmatic context associated to fractionated intrusive bodies contemporaneous with the sequences of the pyroclastic units of Huaylillas-Tacaza.

KEY WORDS: Porphyry Copper Deposits, magma fertility, transpressive systems.

MAGMAGÉNESIS DE LOS SISTEMAS PORFIRÍTICOS

Todos los arcos magmáticos están ligados a procesos tectónicos en una margen convergente (Vigneresse, 1995a). Durante el Jurásico inferior a medio para el sur del Perú, existían fuerzas tensionales que originaron un ambiente de *back-arc* (extensión). Por lo tanto, antes de la convergencia compresional, existía un régimen extensional,

siendo esto negativo para la formación de DPC durante el Jurásico inferior a medio, debido a este sistema permitía que los fluidos y volátiles (sulfuros) magmáticos originados en la zona de MASH sean liberados por el volcanismo, impidiendo una maduración en la cámara magmática, y también se generaron intrusiones ígneas estériles (arco insular). Es por ello que aún no se conoce yacimiento alguno durante ese periodo.

A partir del Jurásico superior, el régimen tectónico de subducción entra en una etapa de convergencia oblicua. Esto origina un sistema de compresión y el cierre de la cuenca back-arc. Es justamente en este lapso de tiempo que se emplazan los cuerpos subvolcánicos tardíos en la faja costanera asociados a la Formación Guaneros y que albergan un DPC. Se interpreta que después del régimen extensional del Jurásico medio (Calloviano) el régimen tectónico fue transpresivo y comenzó a madurar un complejo sistema de MASH en la base de la corteza continental, durante un mínimo de 10 Ma, requiriendo un ángulo y velocidad constante, para generar las condiciones de un DPC.

La alineación de estos cuerpos mineralizantes tardíos en dirección NO-SE, refleja que la zona de MASH ocurría en una franja estrecha y a una profundidad de 100 Km (deshidratación de la transición esquistos azules-eclogita), pero linealmente extensa. Estos fluidos menos densos y diferenciados se emplazaron a lo largo de zonas de debilidad estructural. Para el Cretáceo inferior, la cuenca marina del Calloviano prácticamente no existía, las secuencias superiores de la Formación Guaneros son de ambiente continental (flujos piroclásticos, areniscas volcánicas etc.), el arco magmático naciente se trasladó más de 50 Km en dirección oriental y se emplazó a través del SFI que posiblemente ya era una entidad importante durante la sedimentación del Paleozoico tardío? El nuevo arco en formación no tuvo las características geoquímicas ni las condiciones de estabilidad compresiva necesarias para formar una zona de MASH favorable para un DPC, al contrario, se generó en un ambiente extensivo dado el intenso magmatismo básico que se observa en las regiones de Omate y Tacna.

Este magmatismo de arco es conocido como Formación Matalaque. Es a partir del Cretáceo superior-Paleógeno (100– 50 Ma) que un nuevo arco se sobrepone al anterior y cuyas condiciones tectónicas favorecen la formación de los DPCs

económicos: unas sucesiones de flujos piroclásticos de composiciones dacíticas a riolíticas altamente fraccionadas, poco contaminadas y provenientes de la base de la corteza son generadas en un régimen de subducción con dirección N-S. Se instaló un sistema transpresivo, con subducción y velocidad constante, y que maduró una zona estrecha y alineada de MASH por más de 35 Ma. Los últimos eventos magmáticos (65 Ma) fueron los que trajeron la mineralización final.

Varias de estas zonas de debilidad están asociadas a importantes yacimientos de pórfidos de Cu-Mo como: Cerro verde, Chapi, Los Calatos, Cuajone, Quellaveco, Toquepala, así como a anomalías hidrotermales y prospectos: Huaracane, Yarito, Huacanane Grande, Ilabaya etc. Al parecer los pórfidos de Cu-Mo emplazados en la costa sobre terrenos Jurásicos también están asociados a este tipo de estructuras transcurrentes, justamente los proyectos Tía María y La Tapada se encuentran próximos al fallamiento dextral del Fiscal. Los lineamientos de dirección NO-SE se comportan como debilidades estructurales, desplazando cuerpos anómalos magnéticamente y similares a los movimientos dextrales o siniestrales del SFI. Por otro lado existen lineamientos con dirección N 50-70° (Anti-andinas) que son cortados y desplazados por los primeros y que son aparentemente similares en dirección (N 120-130°) a los estudiados en Chile por Salfity (1985).

FERTILIDAD DE LOS PÓRFIDOS DE COBRE

Entre los parámetros geoquímicos y tectónicos que controlan la fertilidad de un sistema porfirítico están: contenido de agua/volátiles del sistema, estado de oxidación del magma, cuña mantélica astenosférica metasomatizada por fluidos derivados del slab subductante, variaciones del espesor cortical, entre otros. La hidratación del sistema es considerada la característica de mayor importancia (Richards, 2011). El engrosamiento cortical también ha sido propuesto como otro factor crítico en la generación de magmas fértiles. Este engrosamiento cortical no es aplicable para el caso de los pórfidos Jurásicos Tía María y La Tapada. Por ello en este caso la condición crítica para la generación de estos DPC es el alto contenido de agua del magma. Analizamos indirectamente la hidratación del magma para todos los sistemas magmáticos mencionados anteriormente (Figura 1).

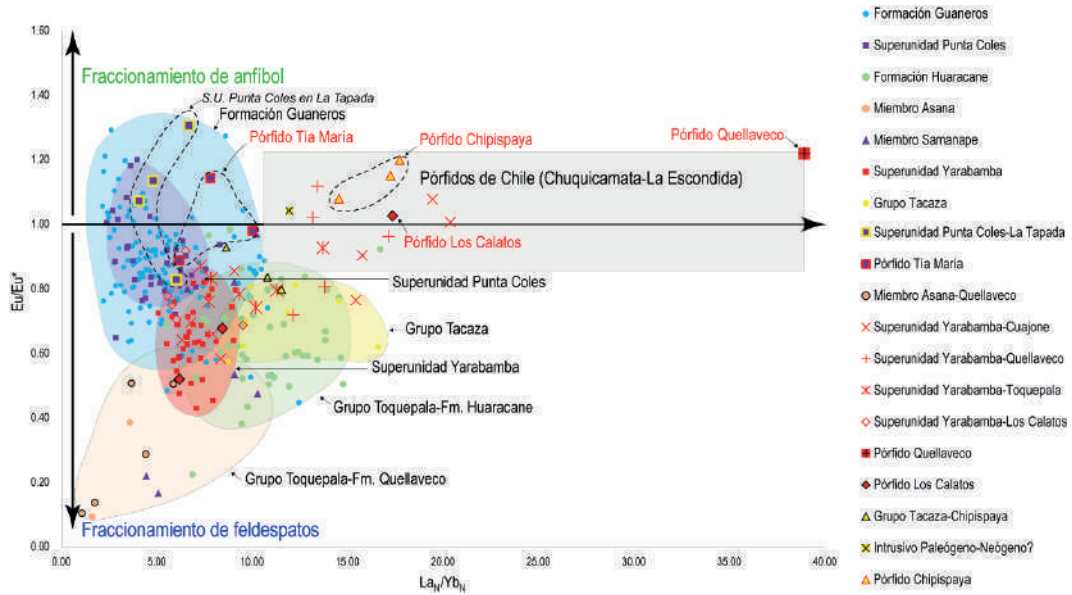


Figura 1.- LaN/YbN vs Eu/Eu^* para las unidades intrusivas y volcánicas relacionadas a mineralización de pórfidos de Cu (-Mo, Au) desde el Jurásico hasta el Mioceno. El rango de anomalía de Eu y LaN/YbN para los pórfidos Paleógenos-Neógenos en Chile corresponde a Richards (1999).

Observamos que la Superunidad Punta Coles está marcadamente más hidratada relativamente a la Superunidad Yarabamba y al Grupo Tacaza, debido al mayor fraccionamiento de anfíbol (fase mineral hidratada). También los pórfidos Tía María-La Tapada se encuentran marcadamente más hidratados que el resto de unidades ígneas para cualquier otro arco, especialmente La Tapada.

En la Figura 2 podemos observar el engrosamiento cortical y las tendencias de fraccionamiento para estos 2 pórfidos, también para las demás unidades ígneas de este estudio.

La Tapada sigue una tendencia de corteza delgada y de magmas provenientes de fusión de anfíbol y cristalización fraccionada.

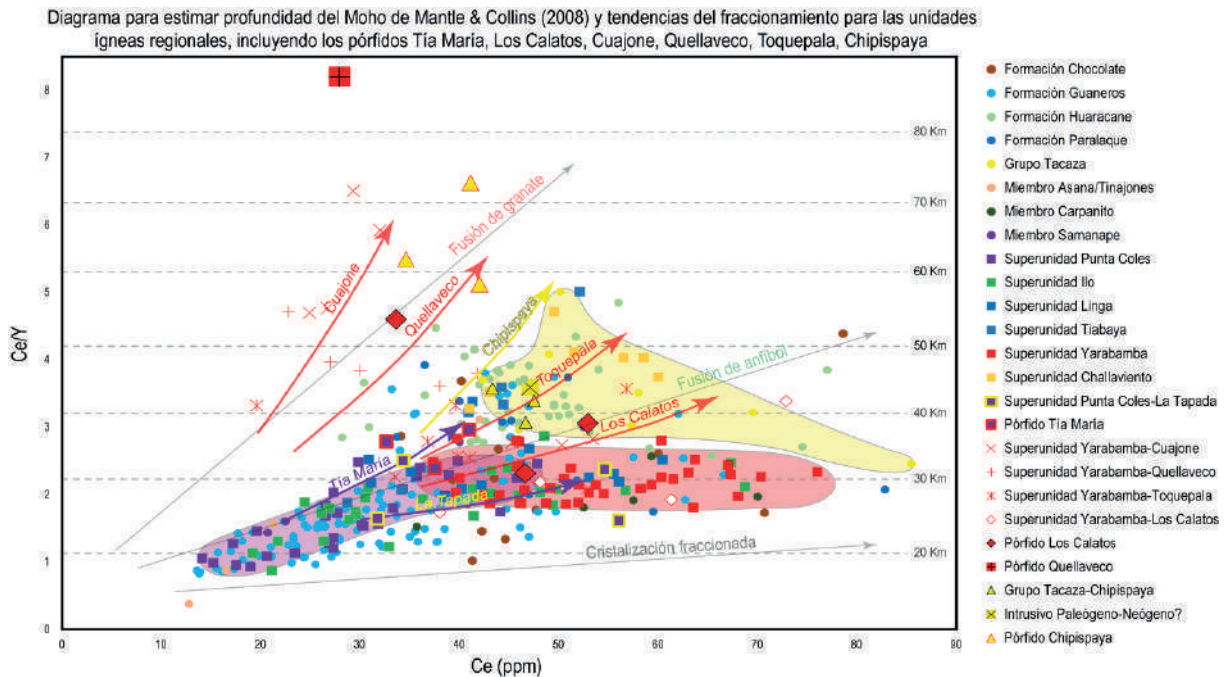


Figura 2.- Diagrama para estimar profundidad del Moho de Mantle y Collins (2008) y tendencias del fraccionamiento para las unidades ígneas regionales, incluyendo los pórfidos Tía María, Los Calatos, Cuajone, Quellaveco, Toquepala, Chipispaya

Los ratios Sr/Y vs Y y LaN/YbN vs YbN también han sido señalados como indicadores de fraccionamiento de fases hidratadas y de granate. Valores altos para estos ratios (>20), entre otras condiciones, generan magmas de composición denominada adakítica. Originalmente se propuso que esta composición se generaba por fusión del slab subductante. Sin embargo, diversos estudios posteriores han demostrado que esta composición puede ser generada por diversos procesos distintos a la fusión del slab. Además, estudios de Dreher et al. (2005), sugieren que la fuente de los metales asociados con rocas adakíticas es el manto y no la fusión del slab.

Las adakitas son exclusivamente generadas en zonas de subducción donde ocurren fenómenos tectónicos inusuales, tales como subducción de corteza oceánica joven, inicio de subducción, colisión, desprendimiento del slab y disminución del ángulo de subducción. En el sur del Perú, el

arco permaneció estacionario desde 90 hasta 52 Ma paralelo a la fosa, actualmente a 150-200 km de la fosa (Noury et al., 2017).

La actividad volcánica disminuyó entre 62 y 52 Ma (Quang et al., 2005), lo que puede interpretarse como el inicio de una subducción casi horizontal (esta transición hacia un régimen más compresivo puede haber generado la mineralización de los pórfidos de cobre conocidos en el sur del Perú), migró alrededor de 150 km hacia el noreste hace 48 Ma generando en profundidad magmas secos y volcanismo menos extenso, y se ensanchó entre 45 y 30 Ma, migrando de regreso hacia el suroeste hace alrededor de 30 Ma y produjo grandes volúmenes de ignimbritas (debido al engrosamiento de la cuña mantélica bajo el arco), indicando aumento del ángulo de subducción (Mamani et al., 2010).

Mediante el siguiente diagrama podemos distinguir estas composiciones:

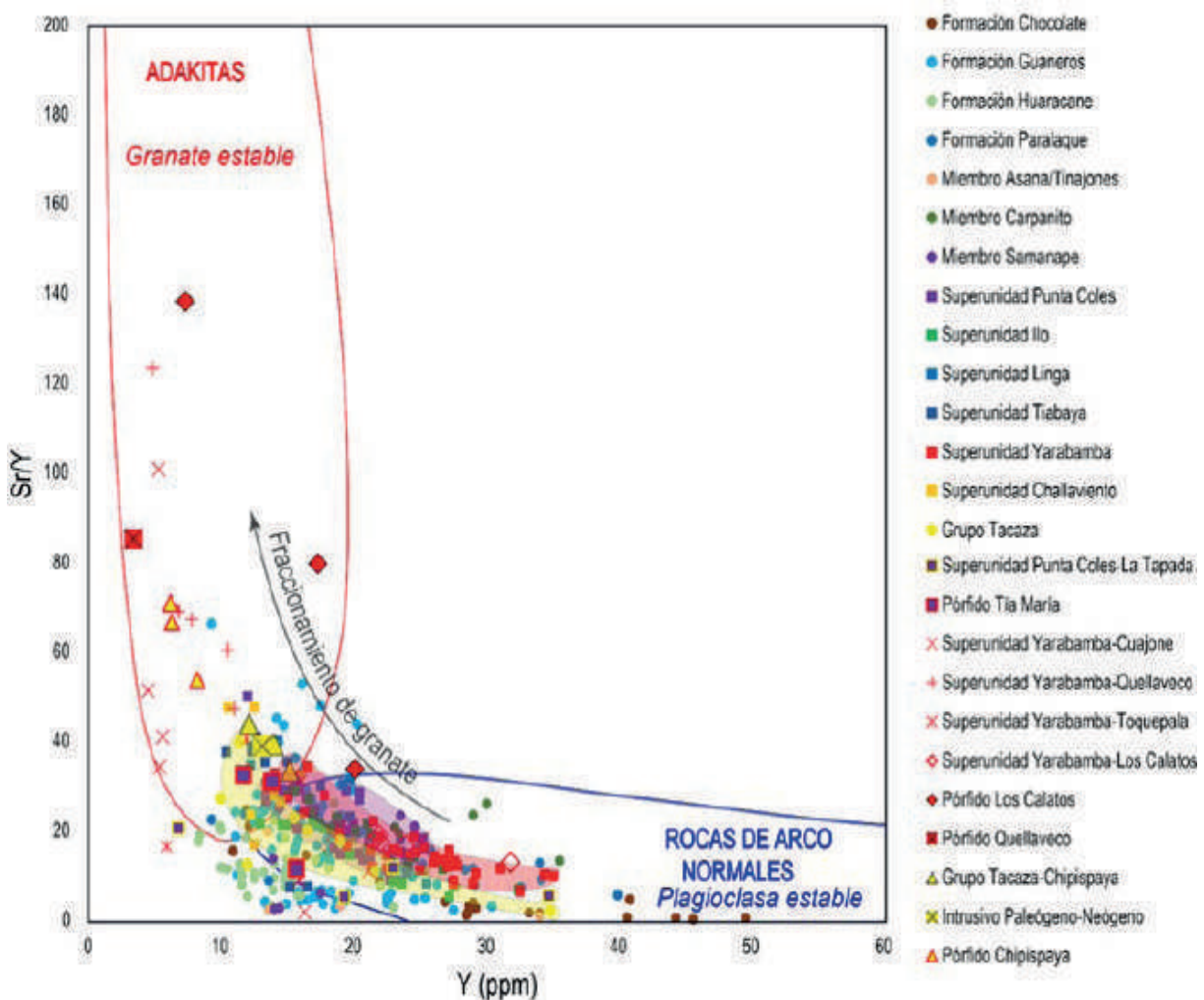


Figura 3.- Diagrama Sr/Y vs Y discriminante de Adakitas/ Rocas de arco normales. Campos de adakita y rocas de arco tomados de Defant et al. (2002) y Richards y Kerrich (2007).

CONCLUSIONES

Los magmas hidratados del arco Jurásico superior permitieron la generación de depósitos en el contexto de corteza delgada.

El metalotecto estructural Incapuquio-Cincha-Lluta ha tenido un rol crítico en el emplazamiento de los pórfidos tanto Paleocenos como Miocénicos (DPC Chipispaya).

La firma geoquímica adakítica es especialmente marcada para los pórfidos Paleocenos, seguida del pórfido Mioceno Chipispaya y de menor intensidad para los pórfidos Jurásicos Tía María y La Tapada.

REFERENCIAS

- Defant, M. J.; Xu, J. F. y Kepezhinskas, P. (2002). Adakites: some variations on a theme. *Acta Petrol. Sinica*, 2002. Vol 18: 129-142.
- Dreher, S. T.; MacPherson, C. G. y Pearson, D. G. (2005). Re-Os isotope studies of Mindanao adakites: implications for sources of metals and melts. *Geology*, Vol 33: 957-960.
- Mamani, M.; Navarro, P.; Carlotto, V.; Acosta, H.; Rodríguez, J.; Jaimes, F.; Santos, A.; Rodríguez, R.; Chávez, L.; Cueva, E. y Cereceda, C. (2010). Arcos magmáticos Meso-Cenozoicos del Perú. XV Congreso Peruano de Geología. Resúmenes extendidos. Sociedad Geológica del Perú. Pub. Esp. N° 9. Cusco, p. 563-570.
- Mantle, G. y Collins, W. (2008). Quantifying crustal thickness variations in evolving orogens: correlations between arc basalt composition and Moho depth. *Geology*, Vol 36. p. 162-182.
- Noury, M.; Philippon, M.; Bernet, M.; Paquette, J y Sempere, T. (2017). Geological record of flat slab-induced extension in the Southern Peruvian forearc. *The Geological Society of America*. June. 2017. 4 p.
- Quang, X. C.; Clark, A. H. y Lee, J. K. W. (2005). Response of Supergene processes to Episodic Cenozoic uplift, pediment erosion, and ignimbrite eruption in the porphyry copper province of southern Peru. *Society of Economic Geology*. Vol 100. p. 87-114.
- Richards, J. (1999). Tectonomagmatic controls on localizations of porphyry copper deposits, Chile. *Mineral Deposits: Processes to processing*. En Stanley C. J. et al. (Eds). M. Joint SGA-IA-GOD, Meeting London, August 1999, p. 425-428.
- Richards, J. (2011). High Sr/Y Arc Magmas and Porphyry Cu ± Mo ± Au Deposits: Just Add Water. *Economic Geology*. Vol 106: 1075-1533.
- Richards, J. y Kerrich, R. (2007). Special paper: Adakite-Like Rocks: Their Diverse Origins and Questionable Role in Metallogenesis. *Economic Geology*. Vol 102. p. 537-576.
- Salfity, J. (1985). Lineamientos transversales al rumbo Andino en el noroeste Argentino. En: Congreso Geológico Chileno, 4. Antofagasta 1984, Actas, Universidad del Norte, Antofagasta, t. 1, parte 2: 119-137.
- Vignerresse, J. L. (1995a). Crustal regime of deformation and ascent of granitic magma. *Tectonophysics*, 249(3-4): 187-202.