

## APLICACIÓN DE LA GEOCRONOLOGIA Y LITOGEOQUIMICA A LA EXPLORACIÓN DE PÓRFIDOS EN EL PALEOCENO

\*Victor Valdivia Álvarez, \*\*Mirian Mamani, \*\*\*Juan Carlos Toro, \*Juan Carlos Terán

\* Anglo American Perú (victor.valdivia@angloamerican.com y juan.teran@angloamerican.com)

\*\* Departamento de Geoquímica, Universidad de Göttingen, Alemania (mmirian@gwdg.de)

\*\*\* EM-Codelco Chile (jtoro025@em-codelco.cl)

Los pórfidos de Cu-Mo de Cerro Verde, Cuajone, Quellaveco y Toquepala están localizados en los Andes Occidentales del Sur del Perú en altitudes entre 2500 y 3700 msnm y se ubican dentro de la franja del Paleoceno - Eoceno Inferior (65-50 Ma, Camus, 2003). Estos pórfidos, con una reserva de ~ 50.4 Mt de Cu contenido más créditos de Mo, representan la mayor reserva y producción de Cu del Perú. Basados en dataciones radiométricas y litogeoquímica, este trabajo pretende mostrar la evolución del emplazamiento de los intrusivos de la Super Unidad Yarabamba, de los pórfidos de Cu-Mo y su aplicación en exploración.

Los pórfidos del Paleoceno están relacionados a intrusivos del segmento Toquepala del Batolito de la Costa (Fig. 1), segmento dividido en las Super-Unidades Punta Coles, Ilo y Yarabamba (Pitcher, 1985). Los intrusivos Yarabamba están espacial y genéticamente asociados los pórfidos de Cu-Mo que se emplazaron entre 62 y 58 Ma (Benavides-Cáceres, 1999; Camus, 2003) y que intruyeron a los volcánicos del Grupo Toquepala (Clark et.al., 1990, Mattos & Valle, 1999; Concha & Valle, 1999) que según Boily et al (1990) tiene una edad de 100 a 58 Ma. Los volcánicos riolíticos de la Fm. Samanape, serie alta del Grupo Toquepala, se consideran comagmáticos de los pórfidos, hipótesis sustentada con edades de  $52.3 \pm 1.6$  Ma;  $52.43 \pm 1.7$  Ma; (Mina Cuajone, Clark, et.al. 1990),  $53.6 \pm 3.0$  Ma;  $55 \pm 1.10$  Ma;  $56.2 \pm 2.10$  Ma (Yacimiento Quellaveco, Zimmermann y Kihien 1983) para esta serie, las cuales son similares a las de los pórfidos del Paleoceno.

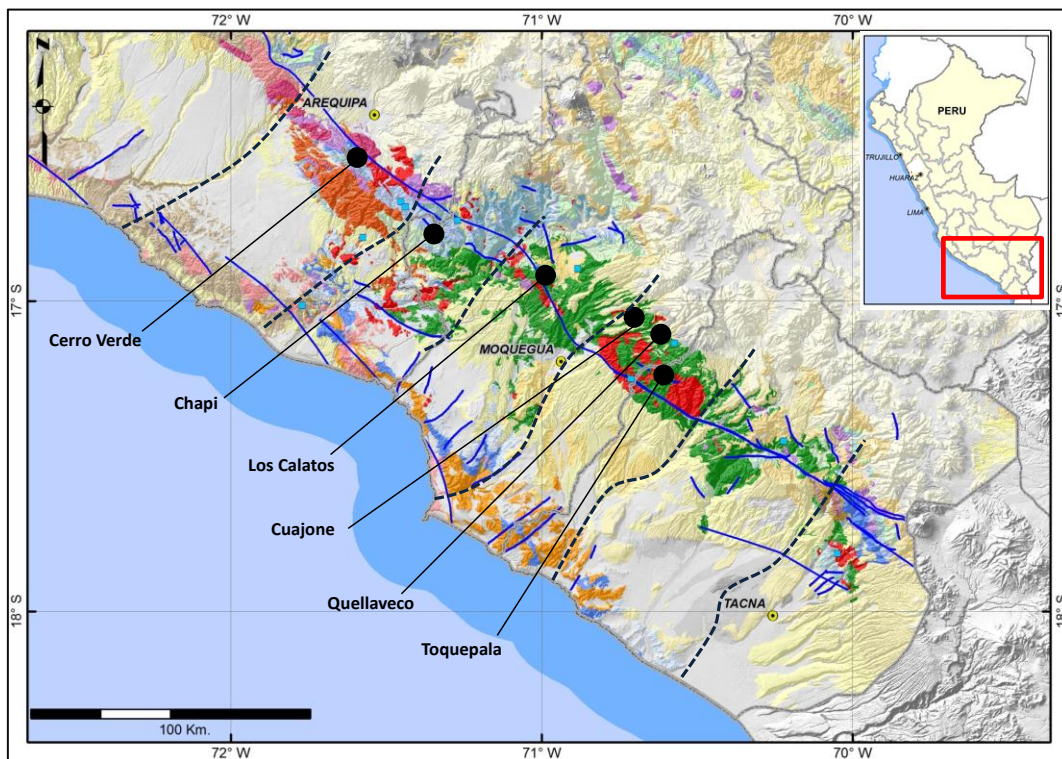


Figura 1. Mostrando la ubicación de los pórfidos del Paleoceno, el Grupo Toquepala (color verde), Super-Unidad Yarabamba (color rojo) y el Grupo Yura (color celeste claro).

\* Anglo American Perú, Calle Esquilache 371 Piso 9, San Isidro, Lima

\*\* Departamento de Geoquímica, Universidad de Göttingen, Alemania

\*\*\* EM-CODELCO, Santiago de Chile

El sistema de fallas Incapuquio fue primordial para el emplazamiento, erosión y/o preservación del Batolito y los intrusivos que generaron los pórfidos de Cu-Mo, el registro de los movimientos está en los sedimentos de la Cuenca Moquegua (Decou et al., 2011). Adicional a las fallas Incapuquio (Jacay et al., 2002) se infiere la existencia de fracturas NE ubicadas entre Tacna y Arequipa (Fig. 1), como propuesto por Richards (2003) para Chile y Valdivia et.al, (1994) para el sur de Perú. Las fallas NE configuran bloques a manera de horst y *grabens* (Fig 1); el soporte para los *grabens* es la predominancia del Grupo Yura entre Arequipa y el río Tambo y el Grupo Toquepala entre el río Tambo y el pórfido Los Calatos, para los horts el sustento está en los mayores niveles de erosión del Batolito Yarabamba en Cerro Verde y Cuajone-Quellaveco-Toquepala. En algunos sectores, la falla Incapuquio controló la preservación de sistemas hidrotermales, un ejemplo es una zona ubicada a 10 km al W de Toquepala, donde hay alunita hipógena, pirofilita, dumortierita sobreponiéndose a alteración sericitica (típico telescoping).

Edades de U/Pb, Ar/Ar, K/Ar y Rb/Sr muestran que en el sector norte de la franja, en el *cluster* Cerro Verde, que integra los sistemas Cerro Verde, Santa Rosa y Cerro Negro, los pórfidos se emplazaron entre  $62.2 \pm 2.9$  Ma,  $57.0 \pm 1.5$  Ma a  $56.0 \pm 2.0$  Ma (Quang et.al., 2003; Bidgood, 1999), en Cuajone de  $57.0 \pm 0$  Ma a  $52.15 \pm 0$  Ma (Simmons, 2013; Concha & Valle, 1999), Quellaveco de  $58.41 \pm 0.53$  Ma a  $53.6 \pm 11.6$  Ma (Simmons, 2013; Sillitoe & Mortensen, 2010) y Toquepala de  $57.1 \pm 0.57$  Ma a  $54.50 \pm 1.5$  Ma (Simmons, 2013, Mattos & Valle, 1999, Clark, 2003). Estas edades coinciden con la edad de la tectónica Incaica I  $\sim 55$ - $59$  Ma (Benavides, 1999, Camus, 2003). En el *clúster* Cerro Verde, inferimos una longevidad del hidrotermalismo en  $\sim 10$  Ma ( $62$  a  $\sim 53$  Ma) y que la mineralización habría ocurrido en dos discretos eventos. En la zona de *telescoping*, en el Batolito Yarabamba, hay una edad K/Ar  $59.3 \pm 0.1$  Ma en alunita.

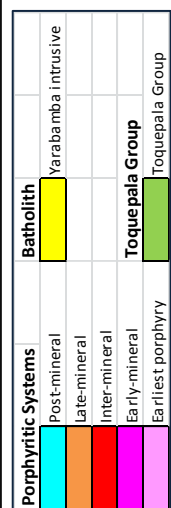
En la figura 2 se muestra que el emplazamiento del Batolito Yarabamba comenzó en Cerro Verde y migró hacia el sur, siendo más joven en los alrededores de Cuajone-Quellaveco-Toquepala. Los intrusivos mineralizados siguen la misma tendencia, los más antiguos se ubican en Cerro Verde-Santa Rosa (62 Ma) y continúa en Cerro Verde y Cerro Negro hasta  $\sim 53$  Ma. El segundo evento, en Cerro Verde-Santa Rosa, tiene edades similares a las observadas en Cuajone-Quellaveco-Toquepala.

Con la finalidad de identificar coincidencias y/o diferencias en la respuesta geoquímica de los intrusivos del Batolito Yarabamba y de los intrusivos productivos de cada yacimiento se compilaron datos de fuentes publicadas, estos datos provienen de Simmons (2013), Beckinsale et.al. (1985); Mukasa (1985); Le Bel (1985), Demoy et.al. (2012) y Steward et.al. (1974). Para la zona de Cerro Verde, adicionalmente se incluyeron datos de la Super-Unidad Linga y Tiabaya publicados por Le Bel (1985).

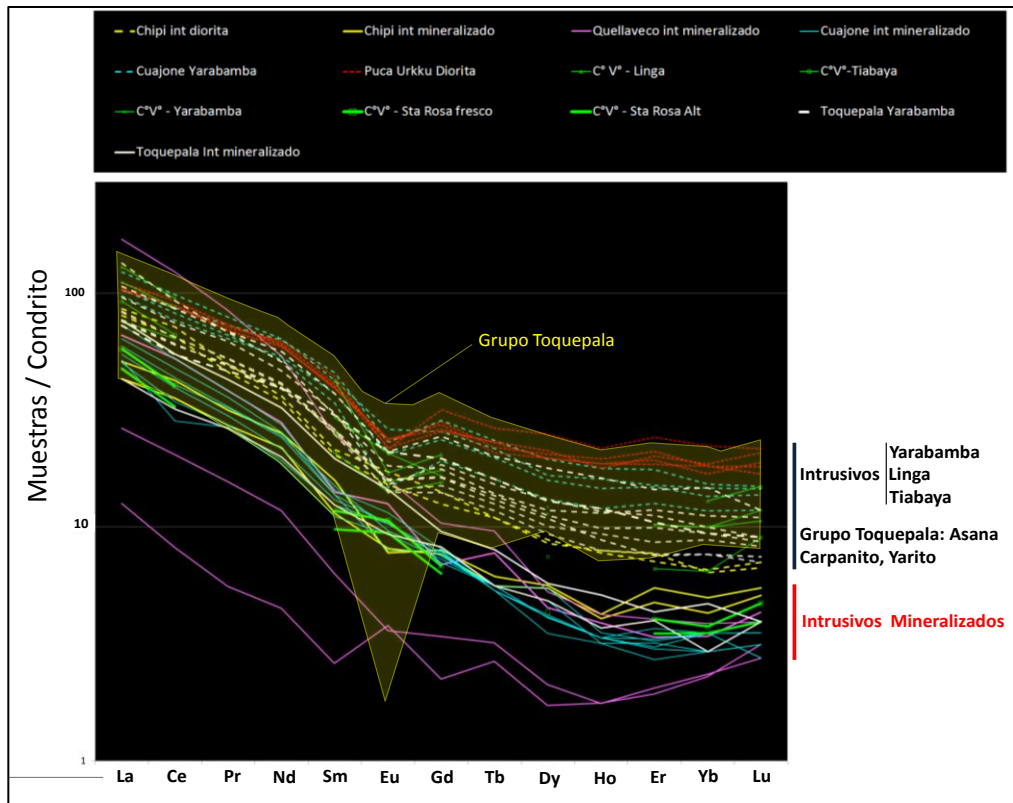
En la figura 3, el perfil de concentraciones de los Elementos de Tierras Raras (REE) muestra claramente la variación de concentraciones de los elementos de tierras raras pesadas (HREE desde Gd a Lu) y medianas (MREE desde Sm a Eu), mientras que las concentraciones de tierras raras ligeras (LREE desde La a Nd) no varía en la pendiente de concentraciones. La variación de las concentraciones de MREE y HREE tiende a formar 2 perfiles de concentraciones: 1) perfiles con pendientes suaves, formado por la mayor concentración de HREE pero con anomalía negativa en Eu, que corresponden a las muestras del Grupo Toquepala y a los intrusivos de Super-Unidades Yarabamba-Linga-Tiabaya. 2) perfiles con pendientes más pronunciadas, sin anomalía de Eu, que corresponden a los intrusivos de los pórfidos del Paleoceno. Para Cerro Verde se tienen dos perfiles que provienen de muestras de intrusivos del sistema Santa Rosa, una muestra de roca alterada y la otra de roca fresca; ambos perfiles, ubicados dentro del grupo de los de intrusivos mineralizados, son perfectamente paralelos. Por otro lado, en el grupo de perfiles de la zona Quellaveco-Toquepala, hay dos muestras que aunque presentan alteraciones que caracterizan a la base de los lithocaps, tienen perfiles similares a los de intrusivos frescos del Yarabamba. La diferencia en los perfiles de concentración entre los intrusivos precursores (e.g. intrusivos Yarabamba, Linga, Tiabaya; y rocas del Grupo Toquepala) y los intrusivos mineralizados se da por la estabilidad o desestabilidad de las fases minerales que fraccionan los MREE (plagioclasa) y HREE (e.g. clinopiroxeno, anfíbol y granate). La estabilidad de la fase mineral es función de la presión, a la cual los magmas se desarrollan, y esta depende de la variación del espesor cortical, principalmente en los Andes.

	CERRO VERDE			CUAJAONE			QUELLAVECO			TOQUEPALA			PUCA URKKU		CHILE
	U/Pb	Ar/Ar	K/Ar	U/Pb	Ar/Ar	K/Ar	U/Pb	Ar/Ar	K/Ar	U/Pb	Ar/Ar	K/Ar	Ar/Ar	K/Ar	
52 Ma					52.28±0.75	52.15±0.0					52.0±0.0				
53 Ma			52.6±1.4 CN		52.8±1.0	52.30±1.6									
54 Ma				53.5±0.5			53.7±0.9	53.6±11.6		53.7±0.0					
55 Ma							54.34±0.63	54.3±2.0		53.7±0.0					
							54.7±0.8*	54.5±0.0		54.3±0.6					
56 Ma							55.4±1.3	54.7±0.0		55.01±0.18					
							55.90±0.31			55.91±0.40					
							56.2±0.5			56.0±1.00					
57 Ma							56.4±0.6			56.8±0.6					
							57.0±1.5 CN			57.0±0.0					
							57.5±1.0*			57.20±1.9					
58 Ma							58.3±2.3 CV			57.4±0.0					
							59.0±2 CV			58.20±0.80					
										58.41±0.53					
59 Ma										59.49±0.24					
										59.70±0.70					
										60.00±0.90					
60 Ma										60.00±1.5					
										61.0±4.0 Rb/Sr					
61 Ma															
62 Ma															
63 Ma															
64 Ma															
65 Ma															
66 Ma															
67 Ma															
68 Ma															

Figura 2 que muestra las diferentes dataciones de U/Pb, Ar/Ar y K/Ar y Rb/Sr para Cerro Verde, Cuaajone, Quellaveco y Toquepala. Note que el Batolito Yarabamba es mas antiguo en Cerro Verde que en Cuaajone-Quellaveco-Toquepala.



La diferencia en los perfiles de concentración entre los intrusivos precursores (e.g. intrusivos Yarabamba, Linga, Tiabaya; y rocas del Grupo Toquepala) y los intrusivos mineralizados se da por la estabilidad o desestabilidad de las fases minerales que fraccionan los MREE (plagioclasa) y HREE (e.g. clinopiroxeno, anfíbol y granate). La estabilidad de la fase mineral es función de la presión, a la cual los magmas se desarrollan, y esta depende de la variación del espesor cortical, principalmente en los Andes.



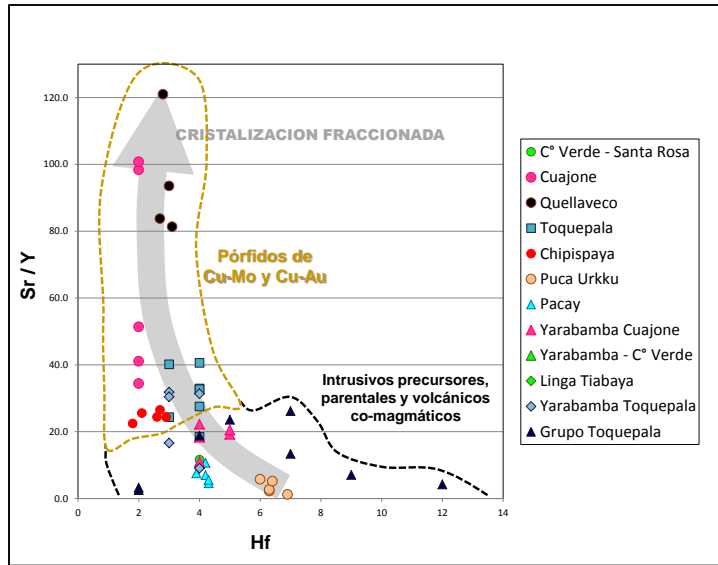
**Figura 3.** Perfiles de concentración de REE, note el grupo de perfiles de los pórfidos de Cu-Mo y el grupo de perfiles de los intrusivos precursores (Super Unidad Yarabamba, Linga y Tiabaya) y rocas volcánicas comagmáticas del Gpo. Toquepala (miembros Asana, Carpanito y Yarito de la Fm Quellaveco).

Los perfiles de REE y los ratios de Sr/Y de los pórfidos del Paleoceno tienen la misma tendencia en los pórfidos del Eoceno-Oligoceno como en Trapiche, Las Bambas, Tintaya y Antapacay (Sáez, 2008 y Casaverde, 2012) y en Toromocho (Bendezú et. al., 2008). Estas mismas observaciones las ha hecho Loucks (2012) para pórfidos de otras partes del mundo y en Chile han sido descritas por Deckart et.al. (2010), Baldwin & Pearce (1982); Muñoz (2011); Richards (2003) y Reich et.al. (2003). Por otro lado, en las muestras de intrusivos alterados e inalterados de Santa Rosa, se tiene 3 muestras con valores >20 en Sr/Y, esto significa que los intrusivos (frescos y alterados) de los sistemas porfíricos podrían tener ratios similares, convirtiendo esta similitud en una herramienta de discriminación.

Por otro lado, en el diagrama de los ratios de Sr/Y versus las concentraciones de Hf (Fig. 4), se observa que los intrusivos mineralizados generalmente tienen valores  $\sim >20$  Sr/Y y concentraciones  $\sim <5$  Hf, estos valores son diferentes a los intrusivos del Batolito Yarabamba y del Grupo Toquepala  $\sim <20$  Sr/Y y  $\sim >5$  Hf. En base a la estabilidad y desestabilidad de las fases de minerales, el fraccionamiento de Sr está controlado por la plagioclasa, el de Y por clinopiroxeno-anfíbol-granate y Hf por zircón. Es conocido que la estabilidad de clinopiroxeno-anfíbol-granate es controlada por el espesor cortical. Para el caso de las variaciones de Hf el control es la cristalización fraccionada ocurrida desde el emplazamiento de los

intrusivos Yarabamba y el Grupo Toquepala, por lo tanto, podemos indicar que los pórfidos mineralizados son la última fase de los sistemas de pórfidos.

Es pertinente destacar que los ratios de Sr/Y de los pórfidos del Paleoceno tienen valores que varían en un rango,  $\sim \geq 20$  y  $\sim \leq 120$  (Fig. 4), el cual es consistente con lo mostrado por Loucks (2012) para pórfidos de todo el mundo. Hay que destacar que si bien no todos los pórfidos tienen esta aparente asociación con altos ratios Sr/Y y el origen es todavía discutido, éstos ratios claramente pueden ser usados como una guía de exploración (Chiaradia et. el., 2012) y en el caso de los Andes peruanos estos ratios están controlados por el espesor cortical (Chiaradia, 2015).



**Figura 4.-** Muestra la relación Sr/Y y Hf, note que los ratios de Sr/Y de los pórfidos generalmente son mayores a 20 y los valores de Hf son bajos.

El gráfico también muestra la evolución de la cristalización fraccionada, permitiendo utilizar estos valores como una herramienta de discriminación.

De acuerdo con Richards (2014, 2015) la común asociación de sistemas porfiríticos de Cu-Mo con valores  $\geq 20$  de Sr/Y es una observación empírica y que estos valores indican la fuerte presencia de agua en el sistema, el cual es un pre-requisito para la formación de sistemas magmático-hidrotermales mineralizados. De este modo, este parámetro puede ser usado para evaluar la prospectividad de una zona.

Con las dataciones de alta resolución y variaciones en las concentraciones de elementos de REE conocidas a la fecha, se puede postular lo siguiente: a) Existencia de una migración, de norte a sur, del magmatismo del Batolito Yarabamba y de los intrusivos mineralizados, b) Posibilidad de que hayan dos eventos de mineralización en la zona de Cerro Verde, el primer evento de  $\sim 62$  a  $\sim 59$  Ma y el segundo de  $\sim 58$  a  $\sim 53$  Ma, similares a los descritos en Chile por Camus (2003). El evento más antiguo, de existir en el distrito Toquepala-Quellaveco-Cuajone, no habría sido detectado, c) La geocronología y litogeoquímica deben ser necesariamente consideradas en la evaluación del potencial de exploración de nuevas zonas, datos que permitirían vectorizar la exploración local y regional. Su aplicación va a tomar relevancia, por ejemplo, en zonas con afloramientos de intrusivos no diferenciados, donde no se identifique la cristalización fraccionada macroscópicamente, d) En un corto tiempo geológico (aprox. 4 Ma), coincidieron varios factores para la formación de pórfidos de Cu-Mo y se focalizaron a lo largo del sistema de fallas Incapuquio, e) La razón de Sr/Y  $\sim \geq 20$ , presentes en la mayoría de pórfidos de Cu-Mo del mundo y en los de la franja del Paleoceno de Perú, permiten sostener que es una herramienta útil para exploración (Camus 2003, Kay & Mpodozis, 2001 y Richards, 2014–2015, Loucks, 2012) y f) La coincidencia de las edades de la tectónica Incaica I (variaciones en el espesor cortical) con las edades de los pórfidos mineralizados, validan la hipótesis de una relación genética entre ambos.

**Agradecimientos:** Este trabajo contó con los valiosos aportes de los Ings. Dave Braxton, Armando Plazoles Valdivia, Javier Salas Tamayo, Manuel Pacheco y Ricardo Gallegos quienes tuvieron críticas constructivas al manuscrito. De manera especial un agradecimiento al Ing Angel Álvarez Angulo por motivar a escribir el artículo.

## BIBLIOGRAFIA

1. **Baldwin J. & Pearce J. (1982).**- Discrimination of Productive and Nonproductive Porphyritic Intrusions in the Chilean Andes. *Economic Geology*. Vol. 77, 1982, pp. 664-674
2. **Beckinsale, R.D., Sanchez-Fernandez, A.W., Brook, M., Cobbing, E.J., Taylor, W.P., and Moore, N.D., (1985).** Rb-Sr whole-rock isochron and K-Ar age determinations for the Coastal Batholith of Peru, in Pitcher, W.S., Atherton, M.P., Cobbing, E.J., and Beckinsale, R.D., eds., *Magmatism at a plate edge: The Peruvian Andes*, Glasgow, Blackie, John Wiley and Sons, p. 177-202.
3. **Benavides-Cáceres, V., (1999).**- Orogenic Evolution of the Peruvian Andes: The Andean Cycle, in Skinner, B.J. ed. *Geology and Ore Deposits of the Central Andes*, Society of Economic Geology Special Publications, no. 7, p. 61-107.
4. **Bendezú A, Catchpole H, Kouzmanov K, Fontboté L, Astorga C (2008).**- Miocene magmatism and related porphyry and polymetallic mineralization in the Morococha district, central Peru. - In: XIII Geological Congress of Peru, Lima, 2008, [CD-ROM]
5. **Bidgood T. (1999).**- Geología del Yacimiento Cerro Negro. in Boletín Primer Volumen de Monografías de Yacimientos Peruanos: Pro Explo 1999, v. 2, p. 227-230.
6. **Boily, M., Ludden, J. N. & Brooks, C. (1990).**- Geochemical constraints on the magmatic evolution of pre- and post-Oligocene volcanic suites of southern Peru: Implications for the tectonic evolution of the Central Volcanic Zone. *Geological Society of America Bulletin* **102**, 1565-1579.
7. **Jacay J., Semperé T., Husson L., et al. (2002).**- Structural characteristics of the Incahuico Fault System, southern Peru. Extended abstract, 5th International Symposium on Andean Geodynamics, Toulouse, 16-18 September 2002, 319-321.
8. **Casaverde, J. (2004).**- Geología y Metalogénesis del Proyecto Pórfido Cuprífero Trapiche. Tesis Ing. Universidad Nacional de Ingeniería. p. 115.
9. **Castillo P. (2006).**- An overview of adakite petrogenesis. *Chinese Science Bulletin* 2006 Vol. 51 No. 3 257—268.
10. **Chiaradia, M., (2015).**- Crustal thickness control on Sr/Y signatures of recent arc magmas: an Earth scale perspective: *Scientific Reports*, v. 5, no. 8115.
11. **Chiaradia, M., Ulianov, A., Kouzmanov, K. & Be, B. (2012).**- Why large porphyry Cu deposits like high Sr/Y magmas? *Sci. Rep.* 2, 685.
12. **Clark, A.H., Farrar, E., Kontak, D.J., Landgridge, R.J., Arenas, M.J., France, L.J., McBride, S.L., Woodman, P.L., Wasteneys, H.A., Sandeman, H.A. and Archibald, D.A., (1990).**- Geologic and geochronologic constraints on the metallogenesis of the Andes of southeastern Peru, *Economic Geology*, v. 85, p. 1521-1583.
13. **Concha, D., and Valle, J., (1999).**- Prospección, Exploración y Desarrollo del Yacimiento Cuajone, in Boletín Primer Volumen de Monografías de Yacimientos Peruanos: Pro Explo 1999, v. 2, p. 117-143.
14. **Deckart K., Godoy E. Berten A. Jerez D- and Saeed A. (2010).**- Barren Miocene granitoids in the Central Andean metallogenic belt, Chile *Geochemistry and Nd-Hf and U-Pb isotope systematics. Andean Geology* 37 (1): 1-31. January, 2010
15. **Camus, F. (2003).**- Geología de los sistemas Porfíricos en los Andes de Chile. SERNAGEOMIN – Chile. 267p.
16. **Demouy S., Paquette L., Saint M., Benoit M., Belousova E., O'Reilly S., García F., Tejada L., Gallegos R., Sempere T. (2012).**- Spatial and temporal evolution of Liassic to Paleocene arc activity in southern Peru unraveled by zircon U–Pb and Hf in-situ data on plutonic rocks. *SciVerse ScienceDirect, Lithos* 155 (2012) 183–200.
17. **Kay, S.M., and Mpodozis, C., (2001).**- Central Andean ore deposits linked to evolving shallow subduction systems and thickening crust: *GSA Today*, v. 11, no. 3, p 4-9.
18. **Le Bel, L.M., (1985).**- Mineralization in the Arequipa segment: the porphyry Cu deposit of Cerro Verde/Santa Rosa, In Pitcher, W.S., Atherton, M.P., Cobbing, E.J., and Beckinsale, R.D., eds., *Magmatism at a plate edge: the Peruvian Andes*, Glasgow and London, Blackie, John Wiley and Sons Ltd., p. 250-260.
19. **Loucks R. (2012).**- Chemical characteristics, geodynamic settings, and petrogenesis of copper ore-forming arc magmas. *CET Quarterly News* 19, 1–10.
20. **Mattos, M., and Valle, J., (1999).**- Prospección, exploración y desarrollo del yacimiento Toquepala, in Boletín Primer Volumen de Monografías de Yacimientos Peruanos, Pro Explo 1999, v. 2, p. 101-116.
21. **Mckee, E.H., and Noble, D.C., (1990).**- Cenozoic tectonic events, magmatic pulses, and base and precious metal mineralization in the central Andes. In *Geology of the Andes and its relation to hydrocarbon and mineral resources* (Erickson, G.E. et al editors). Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources 2009. Earth Science Series, Vol. 11, p. 189-194.
22. **Mukasa, S.B., (1986a).**- Zircon U-Pb ages of super-units in the Coastal Batholith, Peru, *Geological Society of America Bulletin*, v. 97, p. 241-254.
23. **Mukasa, S.B., (1986b).**- Common Pb isotopic compositions of the Lima, Arequipa, and Topqpala segments of the coastal batholith, Peru implications for magmagenesis, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 50, p. 771–782.
24. **Mukasa, S.B., and Tilton, G.R., (1985).**- Zircon U-Pb ages of super-units in the Coastal Batholith, Peru, In Pitcher, W.S., Atherton, M.P., Cobbing, E.J., and Beckinsale, R.D., eds., *Magmatism at a plate*.
25. **Muñoz M. (2011).**- Petrogénesis de rocas intrusivas del yacimiento el teniente y evolución del magmatismo cenozoico de Chile central (33°00'-34°30's). PhD Tesis, Universidad De Chile, 190 pag.
26. **Pitcher (1985).**- A multiple and composite batholith, in Pitcher, W. S, Atherton, M. P., Cobbing, E. J., and Beckinsale, R. D., eds., *Magmatism at a plate edge: The Peruvian Andes*: Glasgow, Scotland, Blackie, p. 93-101.
27. **Quang, C.X., Clark, A.H., Lee, J.K.W., and Guillen, J.B., (2003).**- Ar-40-Ar-39 ages of hypogene and supergene mineralization in the Cerro Verde-Santa Rosa porphyry Cu-Mo cluster, Arequipa, Peru: *Economic Geology*, v. 98, p. 1683-1696.
28. **Reich M., Parada M., Palacios A., Dietrich A., Schultz F., and Lehmann B (2003).**- Adakite-like signature of Late Miocene intrusions at the Los Pelambres giant porphyry copper deposit in the Andes of central Chile: metallogenic implications. *Mineralium Deposita*. October 2003, Volume 38, Issue 7, pp 876-885
29. **Richards, J. (1999).**- Tectonomagmatic controls on localizations of porphyry copper deposits, Chile. *Mineral Deposits: Processes to processing*. in Stanley C.J. et al. (eds). M Joint SGA-IGOD, Meeting London, August 1999, Pp. 425-428.
30. **Richards, J. (2003).**- Tectono-Magmatic Precursors for Porphyry Cu-(Mo-Au) Deposits Formations. *Economic Geology*, Vol. 98. Pp. 1515-1533.
31. **Richards, J. (2004).**- Cumulative factors in the generations of giant calc-alkaline porphyry Cu Deposits. In Porter T.M. (Ed). *Super Porphyry Coipern & Gold Deposits: A Global perspective*; PGC publishing, Adelaide.
32. **Richards, J. (2015).**- Structural geology of gold and copper deposits, with emphasis on ore in continental margin tectonic settings. February 27-28. PDACX Pre-Conference short course.
33. **Richards J. and Kerrich R. (2007).**- Special Paper: Adakite-Like Rocks: Their Diverse Origins and Questionable Role in Metallogenesis. *Economic Geology*, Vol. 102, pp. 537–576
34. **Saez F. (2008).**- Señal Adakítica en el Cinturón Andahuaylas Yauri. Resúmenes Expandidos del XIV Congreso Peruano de Geología y XIII Congreso Latinoamericano de Geología, 6p.
35. **Sillitoe, R.H., and Mortensen, J.K., (2010).**- Longevity of porphyry copper formation at Quellaveco, Peru, *Economic Geology*, v. 105, p. 1157-1162.
36. **Stewart, J. W., Evernden, J. F. Snelling, N. J. (1974).**- Age Determinations from Andean Peru: A Reconnaissance Survey. *Geological Society of America Bulletin*, v. 85, p. 1107-1116.
37. **Valdivia J., Torres A., Montoya C. (1994).**- El Factor Tectono Estructural como Control en la Localización de Depósitos Minerales al Sur de los 14° S, Sector Occidental de los Andes Centrales. Resúmenes Extendidos, VII Congreso Peruano de Geología, pp 44-47.
38. **Wipf M. (2006).**- Evolution of the Western Cordillera and Coastal Margin of Peru: Evidence from low-temperature Thermochronology and Geomorphology: Ph.D. thesis, ETH Zürich, 152 p.
39. **Zimmermann J.L., and Kihien, A., (1983).**- Détermination par la méthode K/Ar de l'âge des intrusions et des minéralisations associées dans le porphyre cuprifère de Quellaveco (sudouest du Pérou), *Mineralium Deposita*, v. 18, p. 207-213.