

SEÑAL ADAKÍTICA EN EL CINTURON ANDAHUAYLAS YAURI

Fernando Sáez¹

¹ Jr. Jorge Castro 320, Lima 32

RESUMEN

En el Cinturón Andahuaylas Yauri del Eoceno al Oligoceno (Perelló et al. 2003) donde se ubican los yacimientos Cu-Skarn de Tintaya, Coroccohuayco, Las Bambas, etc. (Saez 1996, Luethe & Chirre 2007) y los Pórfidos Cupríferos de Antapaccay, Trapiche, Chancas, etc. (Corrales 2001, Casaverde 2004, Xstrata Copper 2008), se ubican dos estadios de magmatismo (Diferenciación Magmática): 1) Magma básico calcoalcalino del Eoceno Medio (Perelló et al. 2003) donde predominan las Dioritas y Gabros con mineralización de Fe (IOCG?). 2) Magma Intermedio calcoalcalino del Eoceno tardío a Oligoceno (Perelló et al. 2003) donde predominan las Monzodioritas, Monzonitas y Granodioritas con mineralización de Cu – (Ag-Au-Mo). Esta diferencia se observa en los modelos geológicos de los diferentes yacimientos (Saez 1996, Luethe & Chirre 2007) y correlacionables con las Orogenias Inca (I, II, III) (Maldonado 2006).

El primer evento Eoceno medio (Diorita) no tiene una señal adakítica clara pero da una tendencia (Figura N°3: Sr/Y vs Y, y Figuras N°4 y N°5) de ir al sector de las adakititas, mientras el segundo evento Oligoceno (Monzonitas) tiene una clara señal adakítica del tipo de alta sílice (Castillo 2006) (Figuras N°6 y N°7: SiO₂ vs MgO y CaO+Na₂O vs Sr), aparte nos indica que es una adakita formada a alta presión (Ramos 2007) (Figura N°8: diagrama Spider (Rock/Chondrite) de Trapiche).

INTRODUCCIÓN

El Cinturón de Andahuaylas Yauri ubicado al sur del Perú (Figura N°1), y ubicado políticamente en los departamentos de Apurímac y Cusco, limitado al norte por la deflexión de Abancay (Perelló et al. 2003) y limitado al sur por el Altiplano.

La geología regional (Figura N°1) de esta franja consiste de una gruesa secuencia sedimentaria cretácica plegada durante las deformaciones andinas (Perelló et al. 2003), La roca sedimentaria más antigua en el área consiste de areniscas cuarzosas de grano grueso a fino de la Formación Hualhuani (Soraya), suprayace concordantemente a la Formación Murco (Mara) constituida por limolitas y/o lutitas calcáreas y estas subyacen concordantemente a las calizas oscuras con pocas limolitas calcáreas de la Formación Arcurquina (Ferrobamba), estas formaciones han sufrido la tectónica Peruana (Santoniano), posteriormente, sobreyaciendo en discordancia erosional, se tiene a la formación Anta constituida por limonitas y lutitas rojizas (Capas Rojas Post Orogenia Peruana), luego se tiene una Orogenia Inca I y II (Eoceno) e Inca III (Oligoceno) (Figura N°2) (Maldonado 2006 y Luethe 2007).

La secuencia sedimentaria está intruída por el Batolito de Andahuaylas Yauri, constituido por cuerpos, stocks, sills y diques de composición básica a intermedia; serie calcoalcalina (Saez 1996, Casaverde 2004); datados entre el Eoceno y el Oligoceno (Figura N°2) (Perelló et al. 2003). Discordante a este paquete sedimentario cretácico se encuentran la Formación Yauri (Mioceno inf-med?), constituida por sedimentos lacustres, y las rocas volcánicas del Grupo Barroso (Mioceno sup.- Pleistoceno) ubicados al oeste del cinturón (Figura N°2).

Los Principales Yacimientos de la Franja (Figura N°1) son: Tintaya (130 MTON @ 1.33% Cu), Ferrobamba y Chalcobamba (Las Bambas) (860 MTON @ 0.93% Cu), Coroccohuayco (92 MTON @ 3.10% Cu), Antapaccay (520 MTON @ 0.72% Cu) (de www.xstrata.com), Los Chancas (200 MTON @ 1% Cu) (Corrales 2001) y Quechua (300 MTON @ 0.68% Cu) (Perelló et al. 2003).

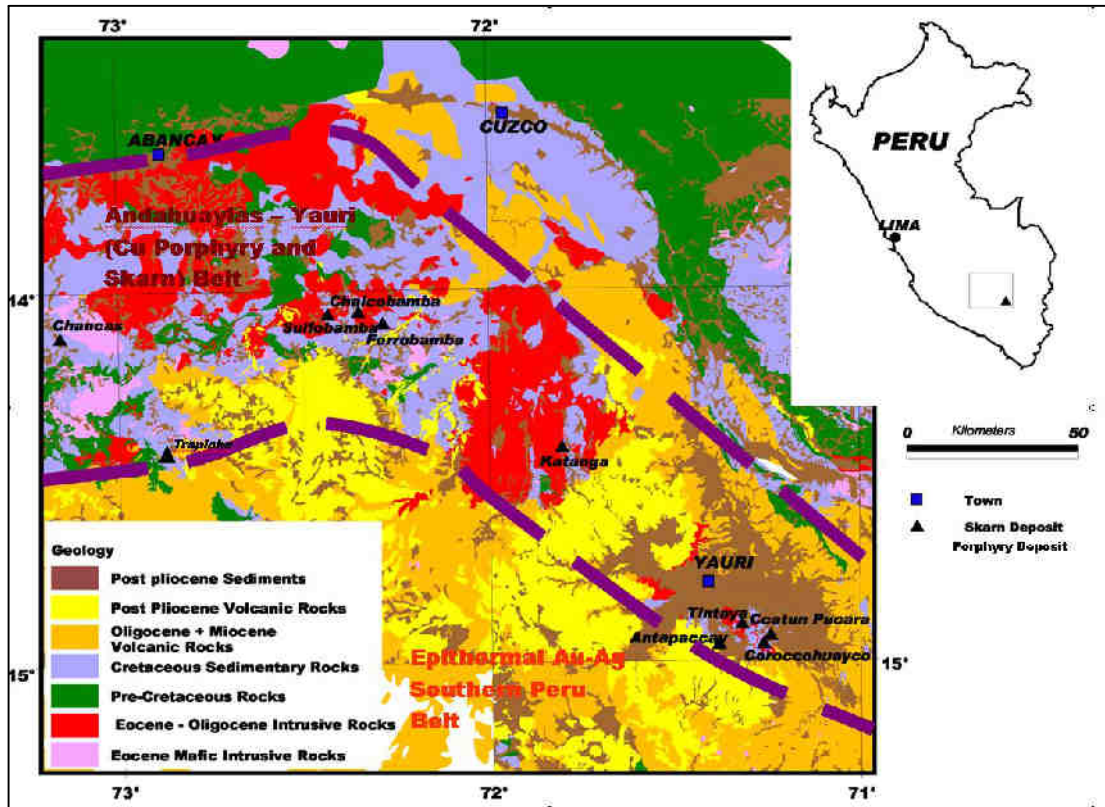


Figura N° 1. Planos de ubicación, Geología Regional y Metalogénico del Cinturón de Andahuaylas Yauri (modificado a partir de Perelló et al. 2003 y adición de la Metalogenia de Cardozo 2006).

(a)

ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS	MAGMATISMO	MINERALIZACION	OROGENA	
CENOZOICO	CUATERNARIO	Reciente	30 - 50 m	Morenas, aluvial		Quechua 4	
		Pleistoceno	Gpo Barroso, Val. Vicarini	100 m	Tufos dacíticos		1.5 Ma
	TERCIARIO	Plioceno					Quechua 3
		Mioceno					Quechua 1, 2
		Oligoceno					Incaica 3, 4
		Eoceno					36 - 22 Ma
Paleoceno						Incaica 2	
						43 - 42 Ma	
MESOZOICO	CRETACEO	Superior	Fm Anta	50 - 150 m	Limo-arcillas rojas	Fernana	
						84 - 79 Ma	
	Medio	Fm Ferrobamba	300 - 500 m	Calizas masivas, oolíticas, bioclasticas, chert			
	Inferior	Fm Yura					
	Gpo Yura	Fm Soraya	200 - 300 m	Areniscas			

(b)

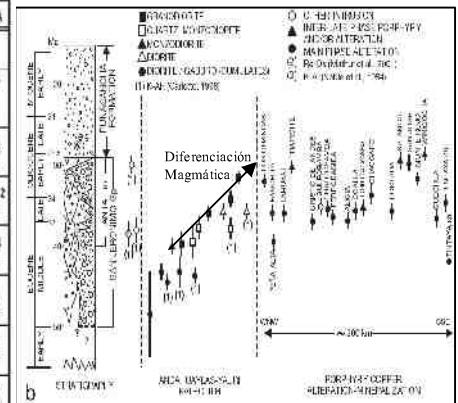


Figura N° 2. Estratigrafía y Geocronología del Cinturón de Andahuaylas Yauri (Modificado de (a) Luethe 2007 y (b) Perelló et al. 2003)

CARACTERÍSTICAS DE LA SEÑAL ADAKITICA

El término adakita fue introducido por Kay 1978 refiriéndose a una roca volcánica con características geoquímicas particulares la cual se habría generado por fusión de corteza oceánica. Posteriormente Defant & Drummond 1990 definieron el mismo término para un fundido de la corteza oceánica formada a altas presiones en la fuente, en equilibrio con un fundido eclogítico y con altos valores de estroncio. Se encontraron varias adakitas en muchos arcos magmáticos y oceánicos (Kay 1978, Oyarzún et al. 2001, Reich et al. 2003, Ramos et al. 2004 y Ramos 2007) con algunas asociaciones interesantes entre esta señal adakítica y Pórfidos de Cobre y Epitermales (Thieblemont et al. 1997, Oyarzún et al. 2001 y Reich et al. 2003). Tanto Ramos 2007, Castillo 2006 y Richards & Kerrich 2007 dieron las diferencias entre diferentes clases de adakitas encontradas, para remarcar la importancia de cuales son las que se asocian a yacimientos económicos y cuales no.

En la Tabla N°1 se ven las principales características de la señal adakítica comparadas con los diferentes yacimientos en el cinturón Andahuaylas-Yauri, allí se observa que las rocas dioríticas no tienen señal geoquímica adakítica, o están al límite, mientras que todas las otras rocas más jóvenes tienen una clara señal geoquímica adakítica.

Características Señal Adakítica	Monzodioritas, Monzonitas, Granodioritas (Eoceno tardío-Oligoceno)						Dioritas (Eoceno medio)		
	Ferrobamba Promedio	Chalcobamba Promedio	Sulfobamba Promedio	Tintaya Promedio	Trapiche Promedio	Antapaccay Promedio	Chalcobamba Promedio	Antapaccay Promedio	Tintaya Promedio
Alto SiO₂ (≥ 56 wt%)	64.72	65.90	65.97	65.10	67.90	-	57.67	-	57.69
Alto Al₂O₃ (≥ 15 wt%)	16.02	15.96	15.72	17.10	15.12	-	18.12	-	18.02
bajo MgO (< 3 wt%)	1.69	1.65	1.49	1.44	1.24	-	2.57	-	2.91
Alto Sr (> 300 ppm)	807.91	806.57	820.14	732	669.54	436.13	427.5	268.42	308.5
Bajo Y (< 15 ppm)	12.27	11.43	11.32	7.25	12.12	4.56	17.00	7.84	-
Alto Sr / Y (≥ 20)	70.72	71.47	74.40	101.21	55.53	99.58	26.50	34.89	-
Bajo Yb (< 1.9 ppm)	-	-	-	-	1.07	-	-	-	-
Alto La / Yb (> 20)	-	-	-	-	36.93	-	-	-	-

Tabla N° 1. Principales características geoquímicas de la Señal Adakítica (modificado de Ramos 2004 y Castillo 2006), comparadas con la geoquímica de Yacimientos en el Cinturón Andahuaylas-Yauri (Parr 2005, Saez 1996, Casaverde 2004).

SEÑAL ADAKITICA EN CINTURON ANDAHUAYLAS-YAURI

El principal gráfico utilizado por Defant & Drummond (1990) es Sr/Y versus Y (Figura 3) el cual indica el exclusivo rol de fraccionamiento del granate para formar un fundido de alta presión por fusión de corteza. Se tiene que las rocas intrusivas más antiguas (Dioritas-Eoceno Medio) tienen baja o nula señal adakítica mientras las rocas posteriores a éstas (Eoceno Tardío a Oligoceno) muestran señal adakítica, siendo éstas las rocas que poseen alteración hidrotermal y que formaron los Yacimientos económicos.

Otros gráficos para determinar la señal adakítica son los utilizados por Richards & Kerrich 2007 (Figura N°4 y Figura N°5) donde se observa como al aumentar la diferenciación magmática (de Diorita a Monzonita) se pasa al campo de la señal adakítica; el comportamiento es muy parecido entre estos tres gráficos.

Una última característica de la señal adakítica formada a partir de una fusión parcial de la corteza a altas presiones, se tiene en la figura N°8 (Ramos 2007) que muestra el diagrama Rock/Chondrite del yacimiento Trapiche que posee un enriquecimiento de tierras raras livianas, un empobrecimiento de tierras raras pesadas y una pobre a nula anomalía de Europio.

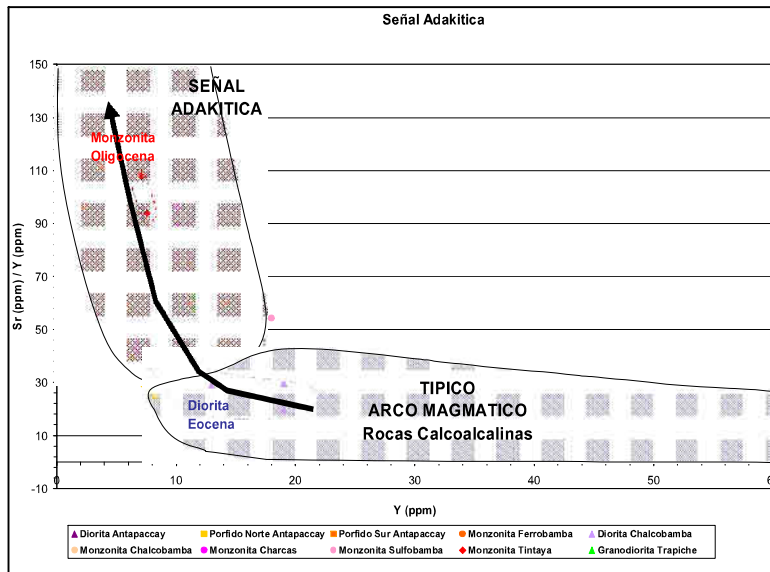


Figura N° 3: Diagrama Sr/Y vs Y (ppm) (modificado de Castillo 2006 y Defant & Drummond 1990). Se observa la señal Adakítica de los Intrusivos que forman yacimientos económicos en el cinturón de Andahuaylas Yauri.

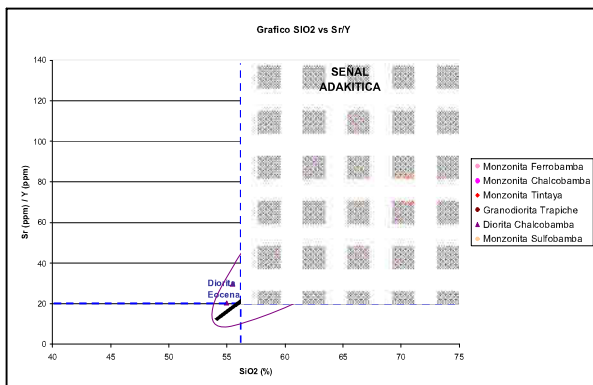


Figura N° 4: Diagrama SiO₂ (%) vs Sr/Y (modificado de Richards & Kerrich 2007)

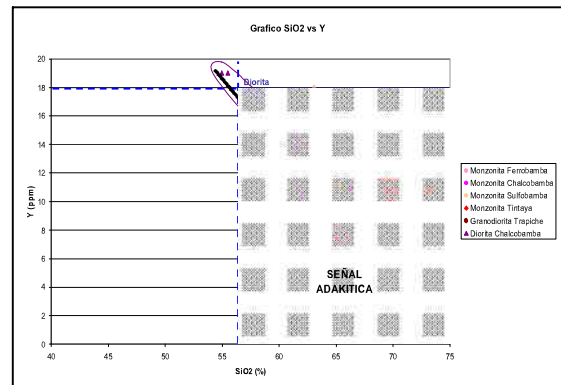


Figura N° 5: Diagrama SiO₂ (%) vs Y (ppm) (modificado de Richards & Kerrich 2007)

TIPOS DE ADAKITAS: ADAKITAS ALTA SILICE Y BAJA SILICE

Los tipos de Adakitas fueron tomados a partir de las diferencias expuestas por Castillo 2006, donde se tienen dos tipos de adakitas: una de alta sílice (formada en cortezas continentales, ejemplo pórfidos chilenos) y otra de baja sílice (formada en corteza oceánica, ejemplo isla Adak); las Figuras N°6 y N°7 muestran que los intrusivos que formaron los principales yacimientos son del tipo de adakitas de alta sílice parecido a los principales Pórfidos chilenos Eocénicos (Castillo 2006).

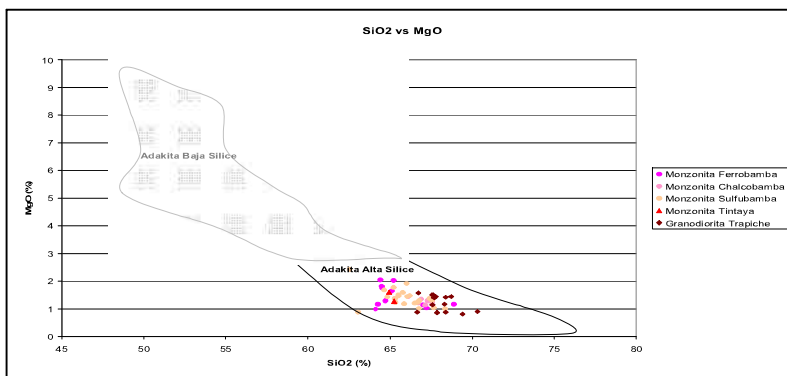


Figura N° 6: Diagrama SiO₂ (%) vs MgO (%) (modificado de Castillo 2006) diferenciar Adakitas de alta sílice y baja sílice.

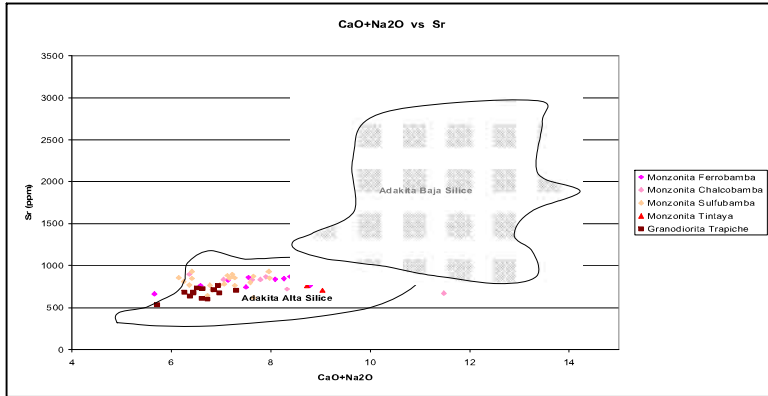
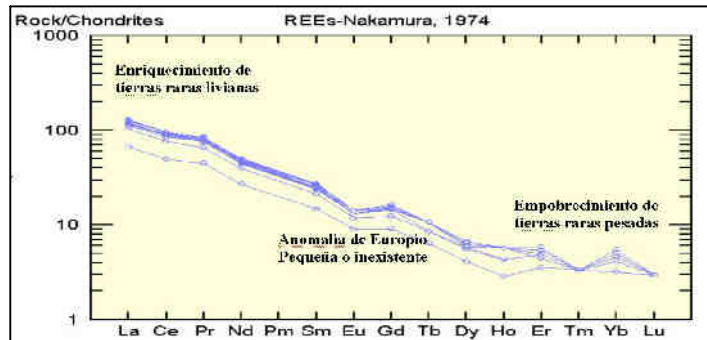


Figura N° 7: Diagrama CaO+Na₂O (%) vs Sr (ppm) (modificado de Castillo 2006) diferencia Adakita de alta sílice y baja sílice.

Figura N° 8: Diagrama Spider Rock/Normalized Chondrite del Yacimiento de Trapiche (Casaverde 2004). Se observa las principales características de una adakita formada a altas presiones (Ramos 2007)



DISCUSION Y COMENTARIOS

Se tiene que los intrusivos del Cinturón Andahuaylas-Yauri tienen una diferenciación Magmática de Dioritas a Monzonita-Granodioritas en el tiempo (de Eoceno a Oligoceno), teniendo estas últimas una señal adakítica (que son las relacionadas a los Intrusivos que forman Porfidos y Skarn económicos (Figura N°9); éstas tienen una señal adakítica del tipo de alta sílice y formada a altas presiones; se presume que del Eoceno al Oligoceno se tiene un engrosamiento de la Corteza Continental de 40 km (anfíbolita) a otra de > 50 km (eclogitas-granate) donde se forman fundidos con mayor cantidad volumen en peso de H₂O, por lo que estos intrusivos forman los yacimientos económicos. Por otro lado se presume la ocurrencia de una subducción plana (Flat Subduction), también responsable de la formación de yacimientos económicos (Perelló et al. 2003). Una última consideración es el cambio de migración del frente volcánico (arco magmático) que iba de oeste a este (del arco Paleoceno a arco Eoceno), éste cambia hacia el oeste (arco Mioceno al arco Actual).

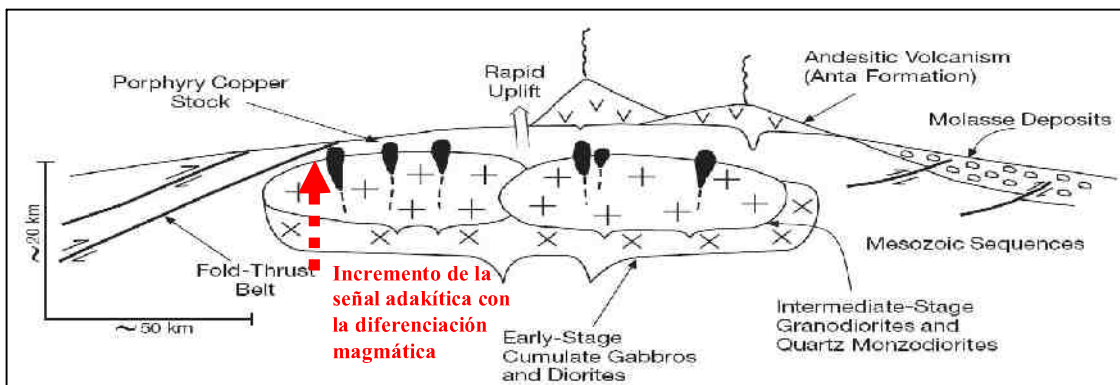


Figura N° 9: Esquema de la relación de los principales eventos Magmáticos (Dioritas-Granodioritas-Porfidos de Cobre) e incremento de la señal adakítica con la diferenciación magmática (modificado de Perelló et al. 2003).

REFERENCIAS

- Cardozo, M. 2006. Peruvian Andes: Geology & Mineral Potencial. PDAC Convention. p. 1-39.
- Casaverde, J. 2004. Geología y Metalogénesis del Proyecto Pórfido Cuprífero Trapiche. Tesis Ing. Universidad Nacional de Ingeniería. p. 115.
- Castillo, R. 2006. An overview of adakite petrogenesis. Chinese Science Bulletin, Volume 51, Issue 3, February
- Corrales, E. 2001. Proyecto Los Chancas: II Congreso Internacional de Prospectores y Exploradores, ProExplo 2001, Lima, Perú, Abril 24-27, 2001. Instituto de Ingenieros de Minas del Perú, p. 9.
- Defant, M. Drummond, M. 1990. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere. Nature 347, p. 662-665.
- Kay, R. 1978. Aleutian magnesian andesites: melts from subducted Pacific ocean crust. Journal of Volcanology and Geothermal Research 4: p. 497-522.
- Luethe, R., Chirre, A. 2007. Las Bambas – A developing porphyry/Skarn District, Perú, Informe Xstrata Perú Setiembre 2007, en (www.xstrata.com), p. 1-18.
- Maldonado, A. 2006. Caracterização das estruturais geológicas e estimativa da resistência ao cisalhamento das discontinuidades na migração de cobre de Tintaya, Perú, Dissertação de Mestrado em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Brasília, p. 13-105.
- Oyarzun, R. Marquez, A. Lillo, J. Lopez, I Rivera, S. 2001. Giant vs small porphyry copper deposits of Cenozoic age in northern Chile: adakitic vs normal calc-alkaline magmatism. Mineralium Deposita 36, p. 794-798.
- Parr, M. 2005. Intrusives, Las Bambas Project, 2005 Report, Informe Interno Xstrata Perú, p. 1-54.
- Perelló, J., Carlotto, V., Zarate, A., Ramos, P., Posso, H., Neyra, C., Caballero, A., Fuster, N., Muhr, R., 2003. Porphyry-style Alteration and mineralization of the Middle Eocene-Early – Oligocene Andahuaylas-Yauri Belt, Cuzco Region, Peru. Economic Geology, V98, 2003, p. 1575-1605.
- Ramos, V. 2007. Metalogénesis y Tectónica Andina (La señal adakítica en la metalogénesis andina), Congreso Internacional de Prospectores and Exploradores, ProExplo 2007, Lima, Perú, 2007. Instituto de Ingenieros de Minas del Perú, p. 1-73.
- Ramos, V. Kay, S. Singer, B., 2004. Las Adakitas de la Cordillera Patagónica: Nuevas Evidencias Geoquímicas y Geocronológicas. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 59 (4): 693-706.
- Reich, M. Parada, M. Palacios, C. Dietrich, A. Schultz, F. 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, v. 38, p. 876-885.
- Richards, J. Kerrich, R. 2007. Special Paper: Adakite-Like Rocks: Their Diverse Origins and Questionable Role in Metallogenesis, V102, p. 537-576.
- Saez, J. 1996. Skarn and ore parageneses in the Cu (-Fe) Tintaya deposit, southern Peru: Unpublished Ph.D. dissertation, Ruprecht-Karls Universität, Heidelberg, p. 205.
- Thieblemont, D. Stein, G. Lescuyer, J. 1997. Epithermal and porphyry deposits: the adakite connection. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences 325, p. 103-109.
- XSTRATA COPPER 2008. Copper Mineral Resources Increase in Southern Peru by almost 400 Million Tonnes to a total of over 1.6 Billion Tonnes, New release, March 2008, (www.xstrata.com). p. 1-4.