



Boletín de la Sociedad Geológica del Perú

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

Aporte del Análisis de la Información Litogeoquímica en la Exploración Geológica Local de un Posible Sulfuro Masivo Volcánico. Perú.

Carlos Javier Collado Medina¹

¹ Southern Perú, Av. Caminos del Inca 171. Urb. Chacarilla del Estanque Santiago de Surco, Lima, Perú (cardok@hotmail.com).

RESUMEN

Rocas máficas y félsicas están presentes en la zona de estudio: características petroquímicas determinan hasta dos subgrupos composicionales de rocas máficas, una de gabro y otra en el rango gabro-diorita, las cuales presentan una geoquímica alcalina a más subalcalina, rango calcoalcalino de bajo a alto K, toleítica-calcoalcalina, índice de saturación en alúmina de 0.8 a 1.5, no presentan cristalización fraccionada, son magmas del tipo I-S, de arco volcánico, con tierras raras no fraccionadas, generadas en una zona de subducción, sin poseer una señal adaquítica y presentan algunos elementos LILE enriquecidos respecto a los HFSE. Para el caso de las rocas más félsicas, la unidad dacita-riolita presenta una geoquímica subalcalina, calcoalcalina de bajo K, calcoalcalina según el FeO-alcalis-MgO, calcoalcalina-transicional según el Zr vs Y, índice de saturación en alúmina de 0.98 a 1.32, presenta una fuerte cristalización fraccionada, son magmas del tipo I-S, proveniente de arco volcánico, con tierras raras no fraccionadas y tierras raras pesadas por encima de 10 y generadas en zonas de subducción, no poseen señal adaquítica y presentan enriquecimiento de algunos LILE respecto a los HFSE.

Las rocas gabro, gabro-diorita y dacita-riolita en el área estudiada poseen una alta similitud de asociación geológica y petroquímica con rocas generadoras de diferentes clases de depósitos tipo Sulfuros Masivos Volcánicos. Además, son generadas en un ambiente tipo rifting con corteza continen-

tal delgada y probable subducción de extensión. En comparación con las características comunes geoquímicas de magmas productivos de Cu de algunos prospectos y unidades de producción tipo pórfido de la región, tales como Quellaveco del Paleoceno-Eoceno, Trapiche del Eoceno-Oligoceno, Yanacocha del Mioceno-Plioceno, entre otros; el análisis litogeoquímico de las rocas en el área de estudio no poseen similitud con estos ejemplares mineralizados, a excepción de la unidad dacita-riolita con una litogeoquímica poco parecida pero no óptima.

La generación de extensos volúmenes de líquido silicificado es originado probablemente por una fuerte diferenciación magmática del tipo cristalización fraccionada de la unidad dacita-riolita.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo muestra algunos de los aportes que puede brindar la información litogeoquímica en la interpretación geológica local de prospección. Los datos geoquímicos de elementos mayores y trazas pueden ser usados para determinar el origen de los procesos geológicos que envuelven estas rocas e identificar el ambiente tectónico, y las características magmáticas que posee la zona de estudio. Para dar énfasis en la utilidad de esta herramienta compararemos la información petroquímica de la zona de estudio con dos parámetros geoquímicos comunes completamente diferentes que dan origen a los depósitos metálicos tipo Sulfuros Masivos Volcánicos y Pórfidos de Cu en la región.

METODOLOGÍA

Se utilizaron los programas IGPET-06 y Petrograph para el tratamiento de la información litogeoquímica a partir de los tipos de análisis ICP95A, IMS95R, FAA313 e ICM40B en el laboratorio SGS del Perú S.A.C. Son un total de 25 muestras de Roca Total. Su localización en el campo son mostrados en el plano geológico de este trabajo (Figura 1).

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

La zona en estudio pertenece a una cuenca rellena por lavas almohadadas, mantos lávicos, hialoclastitas, tobas y subordinados fangos calcáreos y silíceos. Esta secuencia fue más tarde intruída por gabros y diques. Es una cuenca marginal de extensión que se continúa con otras de similar edad hacia el sur. La cuenca es parte de un evento

mayor de rifting que afectó todo el margen occidental de Sudamérica.

GEOLOGÍA LOCAL

La secuencia sedimentaria de la cuenca está asociada a intrusiones subvolcánicas de características máficas, las cuales se manifiestan frecuentemente como sills, diques y lacolitos menores, de los cuales uno puede predominar en diferentes áreas, se pueden formar simultáneamente y gradar vertical y lateralmente de textura ígnea a volcánica o viceversa, uno cortando a otro o envolviéndose y mezclándose entre ellos. Contemporáneamente, existe un cuerpo subvolcánico félsico de dimensiones mayores que se emplaza en la cuenca. Por último, existen rocas ígneas de composición granodiorita de grano medio que afloran en cantidad mínima hacia el Este del área (Figura 1).

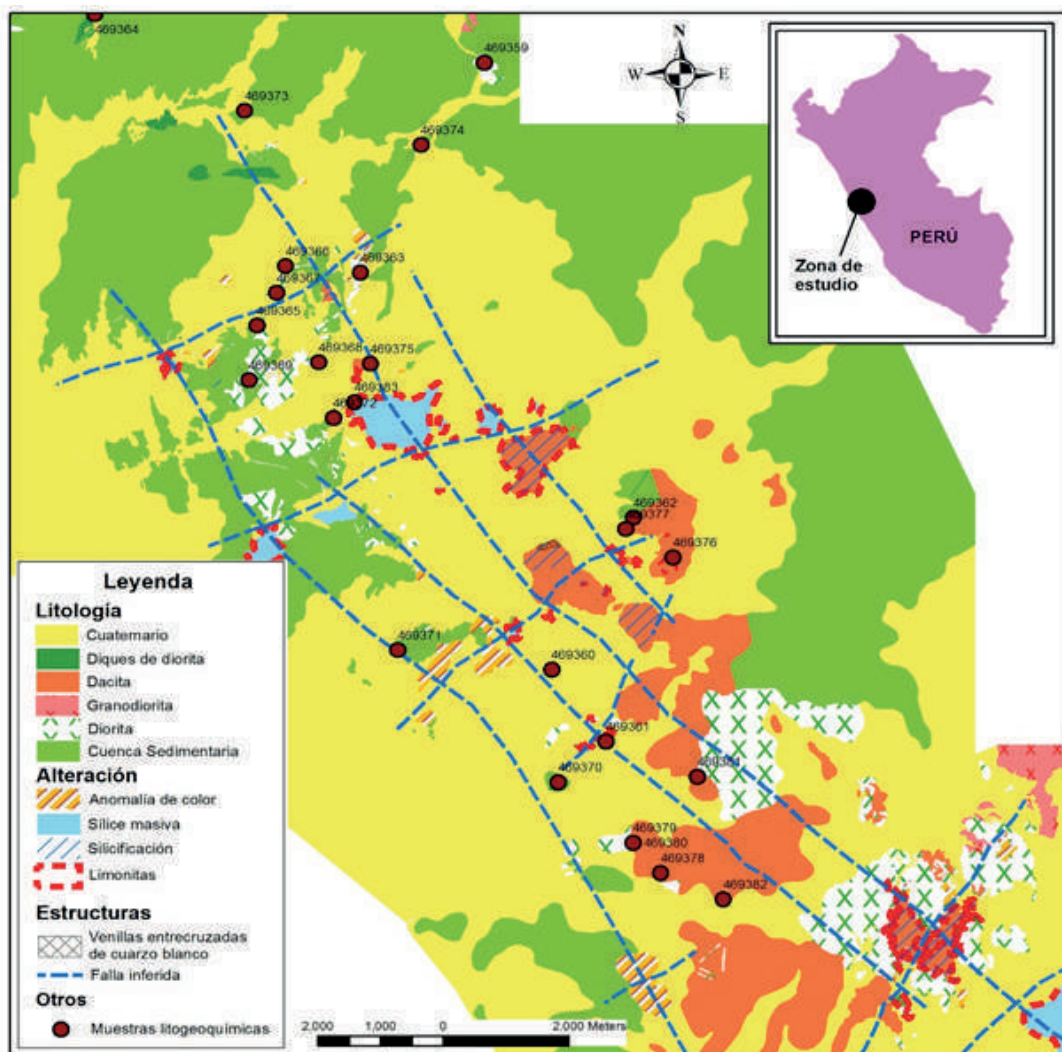


Figura 1. Mapa geológico, estructuras y alteración de la zona de estudio.

LITOGEOQUÍMICA

Figura 2: existe la presencia de hasta dos subgrupos de rocas máficas, una de composición gabro y otra dentro del rango gabro-diorita, los dos subgrupos poseen una tendencia alcalina a más subalcalina según el SiO_2 vs $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$, están dentro del rango calcoalcalino de bajo K a calcoalcalino de alto K según el SiO_2 vs K_2O , una tendencia toleítica-calcoalcalina según el FeO -alcalis-MgO, toleítico-calcoalcalino según el Zr vs Y , presentan un índice de saturación en alúmina de 0.8 a 1.5, no tienen características geoquímicas de cristalización fraccionada, son magmas del tipo I-S, pertenecen al campo de los magmas provenientes de arco volcánico, con tierras raras no fraccionadas (Figura 3A) y características de empobrecimiento del Nb y Ta, indicadores de rocas generadas en zonas de subducción, no poseen señal adaquítica (Figura 4), presentan enriquecimiento de los LILE respecto a los HFSE, entre ellos resaltan el Sr y Ba (Figura 3B).

Figura 2: la litogeoquímica de las rocas félsicas poseen una composición dacita a riolita, y tienen una tendencia subalcalina según el SiO_2 vs $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$, están dentro del rango calcoalcalino de bajo K según el SiO_2 vs K_2O , una tendencia calcoalcalina según el FeO -alcalis-MgO, calcoalcalino-transicional según el Zr vs Y , presentan un índice de saturación en alúmina de 0.98 a 1.32, presentan características geoquímicas de una fuerte cristalización fraccionada, son magmas del tipo I-S, pertenecen al campo de los magmas provenientes de arco volcánico, con tierras raras no fraccionadas y tierras raras pesadas por encima de 10 (Figura 3A), empobrecimiento del Nb, Ta, P y Ti, indicadores de rocas generadas en zonas de subducción, no poseen señal adaquítica (Figura 4), presentan enriquecimiento de los LILE respecto a los HFSE, entre ellos resaltan el Ba, U y K (Figura 3B).

DISCUSIÓN

En la Figura 6 se compara las características litogeoquímicas de diferentes clases de depósitos tipo VMS y las rocas de la zona de estudio. El entorno general geológico de las rocas máficas de gabro y gabro-diorita, félsicas de dacita-riolita, además de las rocas sílico-clásticas de la cuenca, presentan características similares a los ensambles petroquímicos de rocas máficas y félsicas generadoras y asociadas a diferentes clases de depósitos

tipo Sulfuros Masivos Volcánicos (Figura 6).

Los máficos alcalinos y del tipo MORB en el área de estudio están asociados con configuraciones Bimodal félsico y Félsico sílico-clástico (Figura 6), además que en este tipo de ambiente más evolucionado el MORB presente es comúnmente

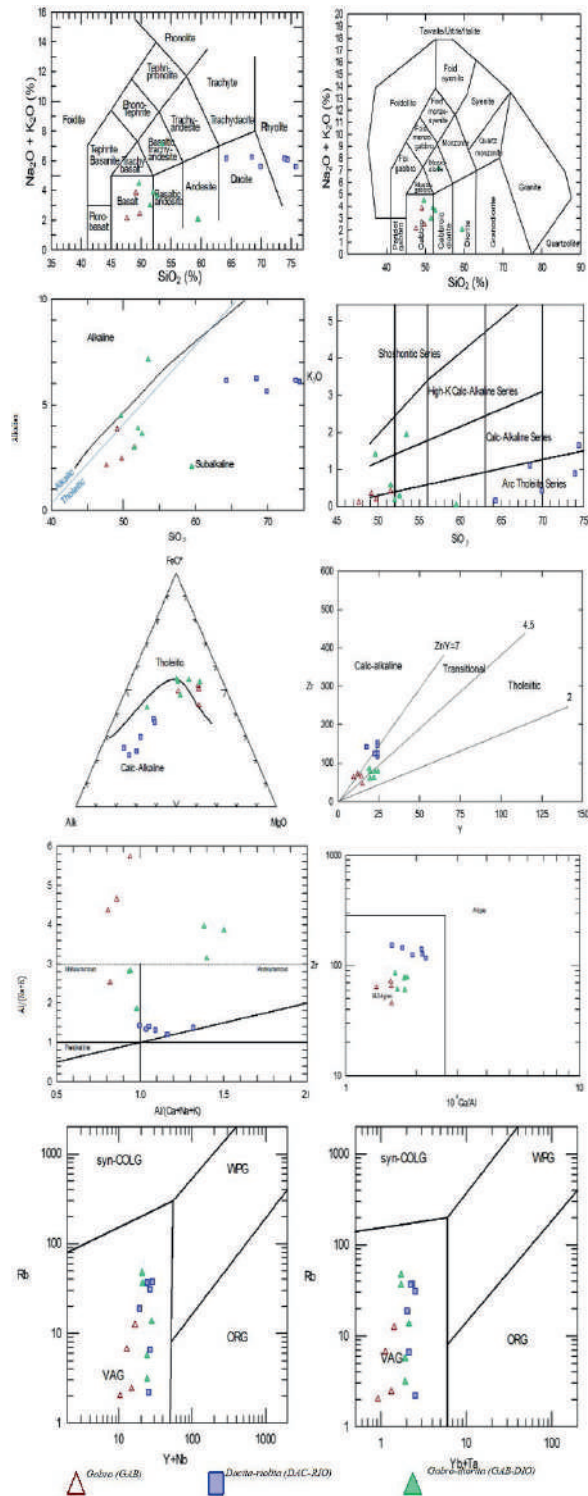


Figura 2. Diagramas de variación litogeoquímica.

de afinidad E-MORB (Figura 3C). Se presenta también una afinidad calcoalcalina en algunas muestras máficas y completamente en las rocas de la dacita-riolita. En el área de estudio las rocas del tipo gabro y gabro-dioritas varían de un rango de rocas máficas de débil elementos incompatibles enriquecidos del MORB, a elementos incompatibles enriquecidos del MORB (Figura 3C); por lo tanto son interpretados como fusiones parciales derivadas del manto litosférico (alcalinos) y del manto astenosférico (MORB); por

lo que es probable indicar que fueron originados en un ambiente tectónico del tipo rifting (alcalinos y MORB) con influencia de fusiones parciales provenientes de una delgada corteza continental (calcoalcalino).

En la Figura 5 se presenta un cuadro para entender con mayor facilidad las comparaciones geoquímicas de magmas productivos de mineralización tipo pórfido en la región con las rocas de la zona de estudio. Estas no poseen una similitud apropiada.

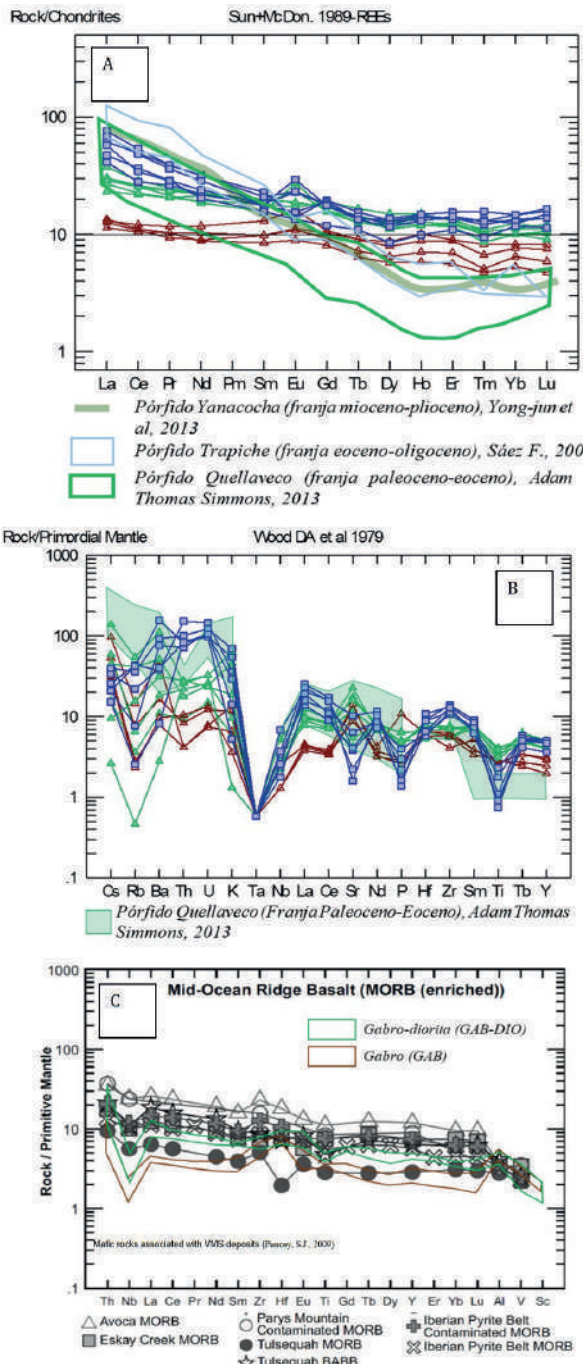


Figura 3. Diagramas de tierras raras y multielementar en la zona de estudio, comparadas con depósitos mineros.

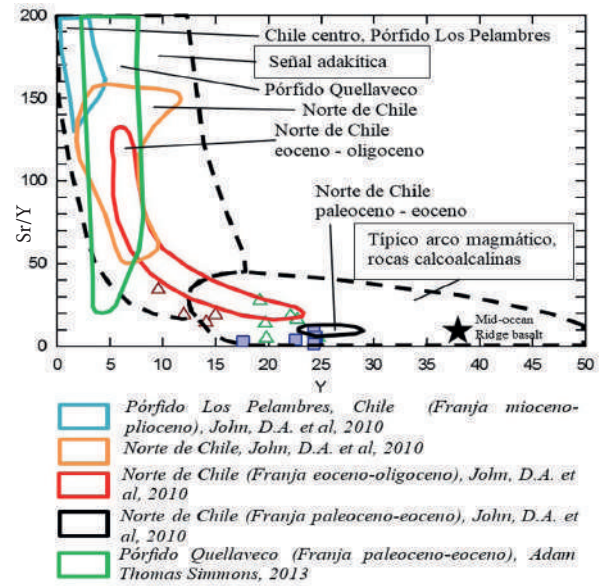


Figura 4. Y comparado con Sr/Y para rocas asociadas a pórfidos de Cu. Diagrama después de Defant y Drummond (1990) y Martin (1999).

Región (Composición de roca)	Diagrama TAS SiO ₂ vs K ₂ O+Na ₂ O (Alcalinas-subalcalinas)	SiO ₂ vs K ₂ O (Subalcalina)	Diagrama AFM Fe, O, alcaik, MgO (Subalcalina)	Zr vs Y (Calcoalcalino-transicional)	Saturación de alúmina (ASD)	Diagrama de Harker	Diagrama de Whalen Y vs 10 ³ Ga/Al (Magmas del tipo I.S.A.)		
Andes	Dacita a cuarzoalcalino-contencuoso hórtil esal y o brota	Subalcalina	Calcoalcalina a calcoalcalina de alto K	Calcoalcalina	Calcoalcalino	~1	Magmas tipo I. por ejemplo Yanac (Cretácico superior)		
Dacita-Riolitas	Dacita a riolita	Subalcalina	Calcoalcalina de bajo K	Calcoalcalina	Calcoalcalino-transicional	0.95-1.2	Diferenciación magmática del tipo cristalización fracciónaria		
Gabro	Gabro	Subalcalina	Calcoalcalina de bajo K	Tolético-calcoalcalino	Tolético a calcoalcalino	0.8-0.95	No cristalización fracciónaria		
Andes-diorita	Gabro, diorita gabraica, diorita monodiorita	Tendencia alcalina a más subalcalina	Calcoalcalina de alto K a calcoalcalina de bajo K	Tolético-calcoalcalino	Tolético con más afinidad transicional	0.95-1.5	No cristalización fracciónaria		
Región Y, Nb, Rb, Yb, Ta (Ambiente tectónico)	Diagrama de Pearce Raras La/Yb	Diagrama de Tierras Raras multielementos	Y vs Sr/Y Presencia señal isotópica	Sr/Y	SiO ₂ (%)	LILE y Elementos móviles	Otros	Referencias	
Andes	Subducción	Fraccionadas Anomalía negativa Nb, Ta, P y Ti	Adaptado	100-300	62-72	Enriquecimiento en Ca, Rb, Ba, U, K, Pb, y Sr	Magmas oxidados de la serie magnética	John, D.A. et al., 2010; Reich et al., 2005; Muñoz et al., 2008	
Dacita-Campo granito de Riolita arco volcánico	3-5	Anomalía negativa Nb, Ta, P y Ti	No	40-60	64-76	Enriquecimiento	Ba, U, K	Este trabajo de investigación	
Gabro	Campo granito de arco volcánico	1-2	Anomalía negativa Nb, Ta	No	10-40	49-51	Enriquecimiento Sr	Deficiencia magnética primaria	Este trabajo de investigación
Gabro-Campo granito de dacita arco volcánico	2-3	Anomalía negativa Nb, Ta	No	5-30	50-60	Enriquecimiento	Ba	Este trabajo de investigación	

Figura 5. Características geoquímicas de depósitos tipo pórfido de Cu, comparadas con las rocas de estudio.

Caso depósito VMS	Máfico	Félsico
Máfico: Asociados a conjunto dominado por máficos, común ofiolita	Boninita, toleita de bajo Ti, MORB	-
Máfico Silico-clástico: Rocas félsicas pueden ser el menor componente; y máficas y ultramáficas son comunes con rocas silico-clásticas	MORB, alcalino, boninita (raro)	-
Bimodal Máfico: Asociados principalmente a máficos, pero con mayor al 25% de rocas félsicas	MORB, boninita, toleita de bajo Ti (calcoalcalino y toleita de arco de isla presente pero raro)	Arqueano - FIII riolita. Proterozoico-Fanerozoico-riolita toleítica, riolita boninitica.
Bimodal Félsico: Rocas félsicas están en mayor abundancia que rocas máficas, presencia menor de rocas sedimentarias	MORB, alcalino	Riolita-HFSE enriquecidos (tipo A), peralcalino y riolita calcoalcalina (rara)
Félsico Silico-clástico: Dominio de rocas silico-clásticas, con abundantes rocas félsicas y menor del 10% de máficos	MORB, alcalino	Riolita-HFSE enriquecidos (Zr<200), peralcalino, y riolita calcoalcalina (rara)
Zona estudiada: sedimentos silico-clásticas > Rocas félsicas (Dacita-riolita) > máficas (Gabro, Gabro-diorita)	MORB, alcalino-calcoalcalino	Dacita-riolita-HFSE empobrecidos (Zr<200), peraluminosa, riolita calcoalcalina

Figura 6. Ensamblajes petroquímicos de rocas máficas y félsicas asociados a diferentes clases de depósitos tipo VMS, *Piercey, S.J., 2009*

CONCLUSIONES

El uso de la geoquímica de investigación, también llamada petroquímica, litogeoquímica, o geoquímica de roca; abarca un campo enorme en el mundo de las geociencias, esta herramienta puede ser aplicada en trabajos de exploración geológica local, y al mismo tiempo ser comparada regionalmente. Se obtiene como resultado un importante aporte de ideas de interpretación en la evaluación geológica de campo. Por ejemplo, en este trabajo de prospección se obtuvieron datos tectónicos y magmáticos.

Las características geoquímicas comunes a la formación de diferentes tipos de depósito en cuanto a su magmatismo y tectónica presentan diferencias considerables, para lo cual, la petroquímica nos ayuda enormemente a diferenciar en qué tipo de geología nos encontramos y qué criterios de prospección adecuados deberíamos tener en cuenta.

El análisis geoquímico de la zona estudiada dio como resultado que estas rocas fueron generadas en un ambiente tectónico de corteza delgada. Probablemente en un ambiente de subducción de extensión.

La comparación petroquímica de los datos obtenidos en este trabajo con las características geoquímicas de rocas generadoras de depósitos tipo VMS son similares. No poseen un parecido óptimo con las rocas de depósitos tipo pórfido de Cu en los Andes.

La acumulación de grandes cantidades de sílice

observadas en el mapa geológico son producto muy probablemente de la diferenciación magmática tipo cristalización fraccionada de la unidad dacita-riolita.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento especial a mi familia: Marcy, Julio y César, a mi querida alma máter la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, a la Universidad de Brasilia y a la empresa Southern Perú.

REFERENCIAS

Adam Thomas Simmons, 2013, Magmatic and Hydrothermal Stratigraphy of Paleocene and Eocene Porphyry Cu-Mo deposits in Southern Peru, The Faculty of Graduate and Postdoctoral Studies, The University of British Columbia, Vancouver.

Defant, M.J., and Drummond, M.S., 1990, Derivation of some modern arc magmas by melting of the subducted lithosphere in a volcanic arc: *Geology*, v. 21, p. 547–550.

John, D.A., Ayuso, R.A., Barton, M.D., Blakeley, R.J., Bodnar, R.J., Dilles, J.H., Gray, Floyd, Graybeal, F.T., Mars, J.C., McPhee, D.K., Seal, R.R., Taylor, R.D., and Vikre, P.G., 2010, Porphyry copper deposit model, chap. B of Mineral deposit models for resource assessment: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5070–B, 169 p.

Martin, Herve, 1999, Adakitic magmas: modern analogues of Archean granitoids: *Lithos*, v. 46, p. 411–429.

Piercey, S.J., 2009, Lithogeochemistry of volcanic rocks associated with volcanogenic massive sulphide deposits and applications to exploration, in *Submarine Volcanism and Mineralization: Modern through Ancient*, (eds.) B. Cousens and S.J. Piercey; Geological Association of Canada, Short Course 29-30 May 2008, Quebec City, Canada, p. 15-40.

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.

Yong-jun Lu, Robert R. Loucks, Marco L. Fior, 2013, Genesis of fertile hydrous adakite-like melts in post-subduction porphyry Cu systems of Tibet, MINERAL DEPOSIT RESEARCH FOR A HIGH-TECH WORLD, Proceedings, Volume 3.