

ANÁLISIS DE INCLUSIONES FLUIDAS EN LAS VETAS POLIMETÁLICAS DEL PÓRFIRO DE CU-(MO) SAN PEDRO, MENDOZA

Lidia I. KORZENIEWSKI¹, Nora RUBINSTEIN², Anabel GÓMEZ²

¹ Dirección de Recursos Geológico-Mineros, SEGEMAR. E-mail: ikorze@mecon.gov.ar

² CONICET-Universidad de Buenos Aires.

RESUMEN

El pórfiro de Cu-(Mo) San Pedro, localizado en el cerro homónimo, se ubica en el sector sur del bloque de San Rafael, provincia de Mendoza. Comprende una zona de alteración, con mineralización diseminada, desarrollada en rocas volcánicas pertenecientes al Ciclo Magmático Choiyoi. En sus proximidades, aflora un conjunto de vetas polimetálicas las cuales, basándose en relaciones estratigráficas, han sido genéticamente relacionadas con el pórfiro. Estudios petrográficos y microtermométricos de inclusiones fluidas llevados a cabo en muestras de las vetas permiten confirmar dicha vinculación genética y establecer la existencia de dos etapas en la evolución del sistema hidrotermal. En la primera etapa participan fluidos magmáticos de elevada salinidad (37,5-41 % en peso equivalente NaCl) y temperatura (356-389°C) que dan origen a la alteración potásica y a la mineralización de Cu y en la segunda etapa participan fluidos magmáticos de bajas temperaturas (176-276°C) y salinidades (0,35-8,68 % en peso equivalente NaCl) los cuales dan lugar a la alteración filica.

Palabras clave: *Inclusiones fluidas, condiciones de los fluidos mineralizantes, vetas polimetálicas, pórfiro de Cu-(Mo) San Pedro, bloque de San Rafael.*

ABSTRACT

Fluid inclusion analyses in polymetallic veins linked to the San Pedro porphyry copper deposit, Mendoza province, Argentina.

The San Pedro porphyry copper deposit, located in the southern part of the San Rafael, Massif, Mendoza province, Argentina, develops an alteration halo in volcanic rocks of the Choiyoi Magmatic Cycle. Close to this alteration halo a group of polymetallic veins that were genetically linked to the disseminated deposit based on stratigraphic data crops out. Fluid inclusions petrographic and microthermometric studies carried on in samples from these veins confirm this genetic link and allow establishing two stages in the evolution of this hydrothermal system. The first stage with high salinity (37.5-41%) and temperature (356-389°C) magmatic fluids produce potassic alteration and Cu mineralization. During the second stage diluted magmatic fluids with low temperatures (176-276°C) and salinities (0.35-8.68%) led to phyllic alteration.

Keywords: *Fluid inclusions, mineralizing fluids conditions, polymetallic veins, San Pedro porphyry copper, San Rafael Massif.*

INTRODUCCIÓN

El pórfiro de Cu-(Mo) San Pedro (35°21' 58,6" S; 68°23'22" O) está localizado en el sector sur del bloque de San Rafael, provincia de Mendoza, Argentina (Fig. 1). Comprende una zona de alteración que se emplaza en rocas volcánicas gondwánicas pertenecientes al Ciclo Magmático Choiyoi.

En el bloque de San Rafael, el Ciclo Magmático Choiyoi está conformado por una sección inferior y una superior. La inferior está compuesta por lavas andesíticas,

brechas e ignimbritas de composición andesítica a dacítica con características geoquímicas de ambiente de subducción. La sección superior está integrada por ignimbritas, lavas y cuerpos subvolcánicos riolíticos con características geoquímicas transicionales entre un ambiente de subducción y uno de intraplaca continental (Llambías *et al.* 1993, Kleiman y Japas 2009 y referencias allí citadas).

Sobre la base de los controles estratigráficos, los principales depósitos minerales en el bloque de San Rafael han sido genéticamente relacionados con el Ciclo Mag-

mático Choiyoi. En la sección inferior se hospeda un conjunto de mineralizaciones que han sido interpretadas como pórfiros de Cu-(Mo) (Delpino *et al.* 1993, Rubinstein *et al.* 2000, 2002 a y b). En tanto que en la sección superior se encuentran depósitos definidos como pórfiros de Mo (Delpino, 1997; Carpio *et al.* 2001) y sistemas epitermales de baja sulfuración (Rubinstein y Gargiulo 2005 y Gargiulo *et al.* 2007). Carpio *et al.* (2001) sugieren que los diferentes estilos de mineralización están vinculados al cambio de ambiente tectónico durante la evolu-

ción del Ciclo Magmático Choiyoi. Análisis de isótopos de Pb realizados en muestras provenientes de diferentes áreas mineralizadas del bloque de San Rafael arrojaron una edad modelo de 279 Ma, con una composición isotópica que refleja la participación de un componente derivado del manto y uno de corteza superior, lo cual confirma que estos depósitos se emplazaron durante la evolución del arco gondwánico que dio origen al Ciclo Magmático Choiyoi (Rubinstein *et al.* 2004).

En base a las relaciones estratigráficas, las vetas polimetálicas aflorantes en las cercanías del pórfiro San Pedro fueron vinculadas con el depósito diseminado (Carpio *et al.* 2001, Delpino *et al.* 1993, Rubinstein *et al.* 2002a).

El objetivo del presente trabajo es establecer las condiciones físico-químicas de los fluidos mineralizantes que dieron origen a estas vetas y confirmar su vinculación genética con el pórfiro San Pedro sobre la base de estudios petrográficos y termométricos de inclusiones fluidas.

GEOLOGÍA DEL ÁREA

En el área de estudio aflora la sección inferior del Ciclo Magmático Choiyoi que incluye brechas andesíticas, ignimbritas dacíticas, un cuerpo subvolcánico de composición cuarzo-diorítica (cerro San Pedro), diques andesíticos e ignimbritas riolíticas (Fig. 1). La secuencia volcanoclastica comienza con ignimbritas masivas de composición dacítica que hacia el techo desarrollan una estructura laminar. El cerro San Pedro corresponde a un cuerpo hipabisal elongado en sentido NO-SE que intruye a las ignimbritas. Tiene textura granosa a porfirica y está compuesto por plagioclasa, clinopiroxeno, en forma subordinada biotita y anfíbol y muy escasos cuarzo y feldespato potásico como intercrecimiento gráfico. Los diques andesíticos intruyen al cuerpo subvolcánico y tienen textura porfirica con fenocristales de plagioclasa y subordinadamente feldespato potásico, cuarzo, biotita y anfíbol inmersos en una pasta felsítica con

abundante plagioclasa. Las brechas andesíticas afloran en el sector noroccidental del área de estudio (Fig. 1) y están constituidas por clastos de andesitas inmersos en una matriz fina de similar composición. En el sector sur de la zona de estudio se reconocen ignimbritas riolíticas con cristaloclastos de plagioclasa, cuarzo, biotita y anfíbol en una matriz de textura felsítica y esferulítica con líticos, trizas y vitroclastos aplastados. Finalmente, el área está parcialmente cubierta por vulcanismo básico de edad plioceno-pleistocena.

Pórfiro de Cu-(Mo) y vetas polimetálicas

En la zona central del cerro San Pedro y coincidente con un mínimo de Th/K y U/K y un alto magnetométrico relativo (Johannis 2003) se reconoce una fuerte alteración potásica penetrante compuesta por feldespato potásico-(biotita)-cuarzo. En el techo del cuerpo subvolcánico y asociadas a la alteración potásica se reconocen venillas paralelas de feldespato potásico (*sheeted veins*), de cuarzo-magnetita y de cuarzo (con o sin mineralización de pirita) con halos de feldespato potásico (Gómez 2010). Rodeando esta zona, se observa una moderada propilitización penetrante conformada por clorita-epidoto-carbonato-tremolita-sericita-(albita) con ocasionales venillas de epidoto-clorita-carbonato (Fig. 1).

La alteración filica es suave y tiene una distribución errática. Afecta tanto a las ignimbritas dacíticas como al cuerpo cuarzo-diorítico (Fig. 1) y se superpone parcialmente a la alteración potásica. En el cerro San Pedro se desarrolla principalmente como fajas de rumbo 110° y 60° y de hasta 10 metros de potencia, en tanto que en las vetas polimetálicas, la alteración filica se desarrolla en forma paralela y simétrica a las mismas, alcanzando hasta 5 metros de potencia. La asociación de los minerales de alteración está compuesta por illita (determinada por espectrometría de reflectancia SWIR) -cuarzo-pirita. Localmente, se reconocen estructuras de tipo *stockwork* con rumbo predominante 65°-110° conformadas por

cuarzo-pirita en ocasiones con impregnación de jarosita. Finalmente, sobreimpuesta a la alteración filica se reconoce una moderada carbonatación con subordinada silicificación y oxidación penetrante y en venillas.

Al SE del cerro San Pedro, aflora un pequeño asomo del cuerpo-diorítico (sector La Totorá, Fig. 1) que exhibe una alteración potásica penetrante muy fuerte compuesta por feldespato potásico-cuarzo-(biotita) y un *stockwork* constituido por venillas de cuarzo-calcopirita-pirita con halos de biotita y venillas de cuarzo-molibdenita-calcopirita-pirita (Gómez 2010).

Las vetas mayores aflorantes en el área denominadas La Julia, La Margarita, San Pedro, Santo Tomás, Sin Nombre, San Eduardo y La Salvadora (Fig. 1) siguen, en forma general, los principales lineamientos estructurales de la región (N-S, NO-SO y NO-SE) y tienen potencias de hasta 1 metro y corridas que no superan los 200 metros. Sus principales características se resumen en el cuadro 1.

INCLUSIONES FLUIDAS

El estudio de inclusiones fluidas se realizó en muestras de cuarzo de las vetas La Julia, La Salvadora, Sin Nombre y San Eduardo. Para tal fin se confeccionaron cortes doblemente pulidos de 90 a 100 micrones de espesor que fueron analizados utilizando un microscopio Olympus BX60 con técnicas convencionales de petrografía. Los datos microtermométricos se tomaron utilizando una platina de calentamiento/enfriamiento *Fluid Inc.* que trabaja con $\pm 0,3^\circ$ y $\pm 0,2^\circ$ de exactitud para temperaturas de homogeneización y fusión del hielo, respectivamente.

Petrografía

En las muestras analizadas se identificaron dos tipos de cuarzo en base a su textura. Los tipos reconocidos corresponden a cuarzo anhedral con textura en mosaico asociado con sulfuros de cobre y óxidos de hierro y cuarzo euhedral a subhedral con textura en mosaico asociado

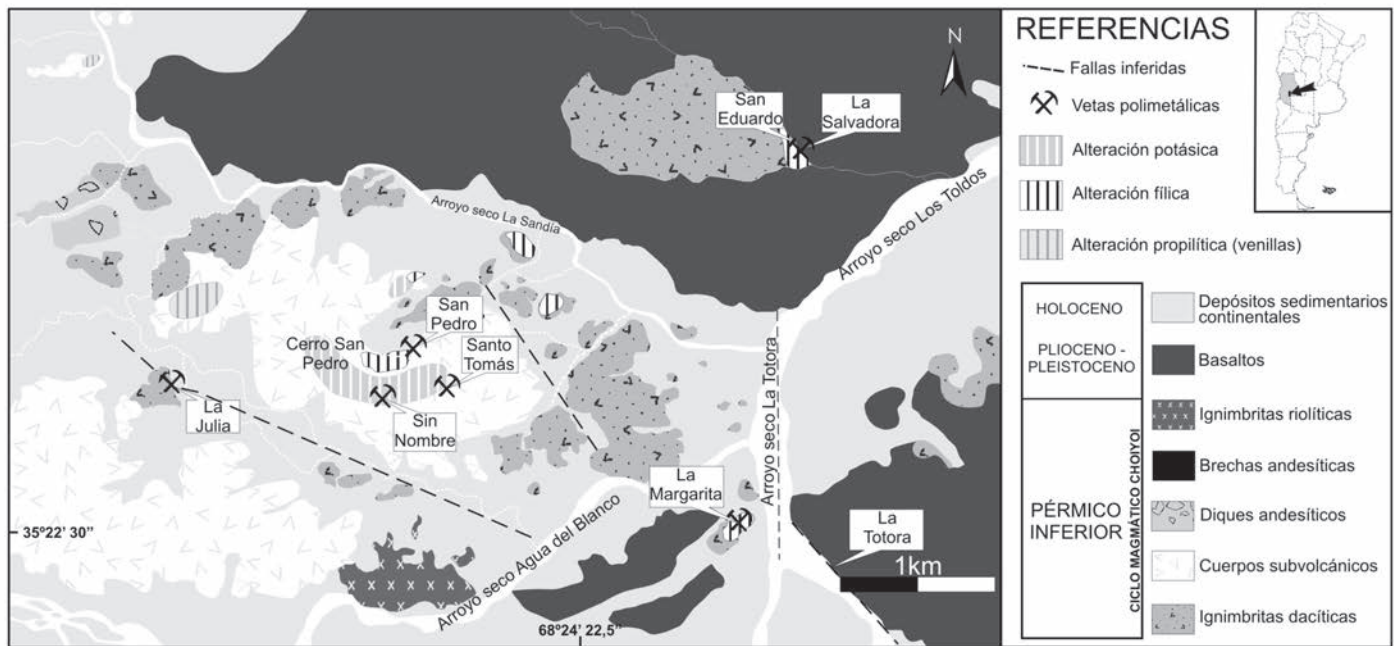


Figura 1: Geología del área del pórfiro de San Pedro y ubicación de las vetas polimetálicas.

con sulfuros de cobre y clorita. Ambos tipos son identificados en todas las muestras y particularmente en la veta La Julia el cuarzo euhedral se presenta rellenando venillas de cuarzo anhedral reactivadas.

Las observaciones petrográficas permitieron diferenciar tres tipos principales de inclusiones fluidas de acuerdo con su arreglo textural, forma, relación líquido/vapor y tamaño. La nomenclatura utilizada es una modificación de la clasificación de Nash (1976) basada en las fases observadas a temperatura ambiente.

Inclusiones tipo I: Son inclusiones acuosas que contienen una fase líquida predominante y otra gaseosa que puede ocupar hasta el 50% del volumen total de la inclusión. Presentan morfologías variadas desde regulares alargadas hasta irregulares con tamaños entre 2 y 15 micrones. Se las considera de origen primario cuando se encuentran en el núcleo de los cristales de cuarzo o en anillos de crecimiento y de origen secundario cuando aparecen en planos y fracturas que cortan el cristal de cuarzo (Fig. 2a).

Inclusiones tipo II: Son inclusiones ricas en fase vapor que ocupa más del 90% del volumen total de la inclusión. En general presentan formas regulares y hasta de

CUADRO 1: Actitud, mineralización hipogénica y supergénica, ganga y alteración hidrotermal de las vetas del área de cerro San Pedro*.

Veta	Rumbo y actitud	Paragénesis de mena	Ganga	Paragénesis supergénica	Alteración hidrotermal
La Julia	R N25°E/ 72° SE; R N35°O/ vertical; N70°O/ vertical; R N42°O/ 72°SO	py-ccp-gn-mol-bn	qtz	cv-cct-lm-mlc	fk-qtz; ser (ill)-qtz- (ru-ap-chl)
La Margarita	R N74°O/ vertical	py-sp-ccp-(gn)	qtz-cb	lm-gy-mlc- az-cl-chal	fk-qz; ser (ill)-qtz (ru-ap); cb-qtz
San Pedro	R N70°E/ 80°SE R N80° E/ vertical; R 75°	No se observa	qtz	lm-az-mlc	ser-qtz
Santo Tomás	SE/ vertical; R N51°E/ ver- tical; R N75°O/ vertical	py	qtz	lm-mlc	ser (ill)-qtz
Sin Nombre	R 65°/ subvertical	hem-py-(ccp)	qtz	No se observa	qtz-ser-(chl)
San Eduardo	R N75°E	gn-(sp-ccp-py)	qtz	No se observa	ser (ill)-qtz cb-(qtz)
La Salvadora	R N13°E; R N25°O/ 47°SO	gn-cct-(ag-cpp-bn- str-tnt-sl-hem)	cb	lm-mlc-cer	ser-qtz cb-qtz

ag: plata; ap: apatito; az: azurita; bn: bornita; cb: carbonatos; cer: cerusita; cct: calcocina; ccp: calcopirita; chal: calcantita; cl: crisocola; cv: covelina; fk: feldespato potásico; gn: galena; gy: yeso; hem: hematite; ill: illita; lm: limonitas; mlc: malaquita; mol: molibdenita; py: pirita; qtz: cuarzo; ru: rutilo; ser: sericita; str: stromeyerita; sp: esfalerita; tnt: tenantita. * Modificado de Rubinstein *et al.* 2000.

cristal negativo y los tamaños varían entre 2 y 10 micrones. Se ubican en planos o en grupos (Fig. 2b) distribuidas heterogéneamente en ambos tipos de cuarzo y se las considera de origen secundario.

Inclusiones tipo III: Son inclusiones que contienen una fase líquida, una gaseosa y una o más fases sólidas. Tienen formas

moderadamente irregulares hasta de cristal negativo y tamaños entre 4 y 10 micrones. Son de origen secundario y se diferencian dos subtipos:

IIIa: son inclusiones que tienen dos cristales transparentes y un opaco como minerales hijos. Los minerales transparentes son halita y probablemente silvita de

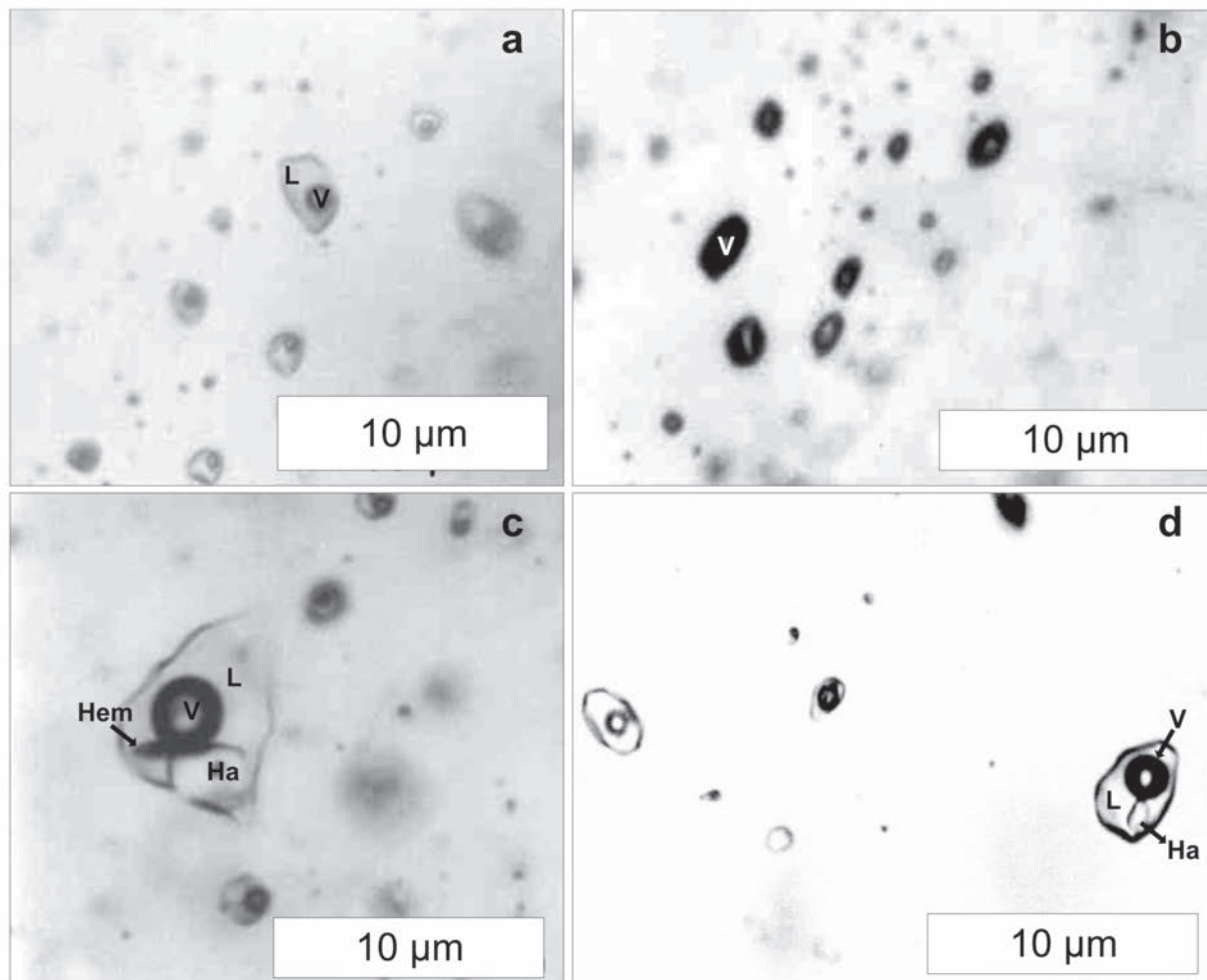


Figura 2: Microfotografías de los diferentes tipos de inclusiones fluidas halladas en las muestras. a) Inclusiones de tipo I. b) Inclusiones de tipo II. c) Inclusiones de tipo IIIa. d) Inclusiones de tipo IIIb. Hem: hematita, Ha: halita, V: vapor, L: líquido.

acuerdo con sus características ópticas. El mineral opaco puede corresponder a hematita, calcopirita o un mineral no identificado (Fig. 2c).

IIIb: son inclusiones con un solo cristal de halita (Fig. 2d).

Microtermometría

Los resultados de las determinaciones microtermométricas se presentan en el cuadro 2. Todas las inclusiones fluidas de tipo I homogeneizan a líquido. La temperatura de la primera fusión de hielo (temperatura eutéctica) pudo ser observada en muy pocas inclusiones fluidas registrándose valores entre -25 y -21°C que indican la presencia de ClK, además de NaCl, como sales disueltas en el fluido. Las inclusiones fluidas de tipo I de origen

primario tienen una temperatura final de fusión del hielo (T_{fh}) que varía entre $-5,6$ y $-0,2^{\circ}\text{C}$, lo que corresponde a salinidades entre 8,68 y 0,35 % en peso equivalente NaCl (Bodnar 1992), y homogeneizan a líquido entre 176 y 276°C . Las inclusiones de tipo I de origen secundario presentan una T_{fh} entre $-0,2$ y $-12,6^{\circ}\text{C}$, lo que indica salinidades de 0,35 a 16,53 % en peso equivalente NaCl, y homogeneizan a líquido, entre los 171 y 299°C .

Las inclusiones de tipo III (a y b) fueron reconocidas únicamente en las muestras de la veta La Julia. En las inclusiones de tipo IIIa la burbuja de vapor pasa a fase líquida entre los 387 a 389°C , la disolución de halita tiene lugar a los 345° mientras que el otro mineral transparente (probablemente silvita) se disuelve a los 296°C .

En las inclusiones de tipo IIIb la homogeneización por desaparición de la burbuja de vapor fue observada entre los 356 a 385°C y la de disolución de halita entre los 320 y 331°C . Las salinidades en este tipo de inclusiones fueron calculadas a partir de la temperatura de disolución de la halita (Sternner *et al.* 1988) por lo tanto en las inclusiones de tipo IIIa se considera una salinidad mínima de 41,9 % en peso equivalente NaCl y en las de tipo IIIb la salinidad varía entre 37,5 a 41 % en peso equivalente NaCl.

DISCUSIÓN

En la figura 3 (temperatura de homogeneización vs. salinidad) la distribución de los datos termométricos sugiere una evo-

CUADRO 2: Rangos de temperatura y profundidad de las vetas estudiadas.

Vetas	Tipo de IF	Rango de Th	Rango de Tfh	Rango de salinidad	Profundidad mínima
La Julia	Is	278 a 299	-7,3 a -12,6	10,86 a 16,53	800
	IIIa	387 a 389	345*	41,9	
	IIIb	356 a 385	320 a 331*	37,5 a 41	
Sin Nombre	Ip	245 a 275	-2,1 a -4	3,55 a 6,45	650
	Is	185 a 248	-1,7 a -2,1	2,9 a 3,55	
San Eduardo	Ip	214 a 276	-3,1 a -5,6	5,11 a 8,68	600
	Is	193 a 210	-2,4 a -2,6	4,03 a 4,34	
La Salvadora	Ip	176 a 211	-2,9 a -0,2	0,35 a 4,8	200
	Is	171 a 206	-2,3 a -0,2	0,35 a 3,87	

Ip: inclusión tipo I primaria; Is: inclusión tipo I secundaria; Th: temperatura de homogeneización en °C; Tfh: temperatura final de fusión de hielo en °C; salinidad en % en peso equivalente NaCl; *: temperatura de disolución de halita. Profundidad en metros calculada utilizando el diagrama de Haas (1971) considerando presión hidrostática.

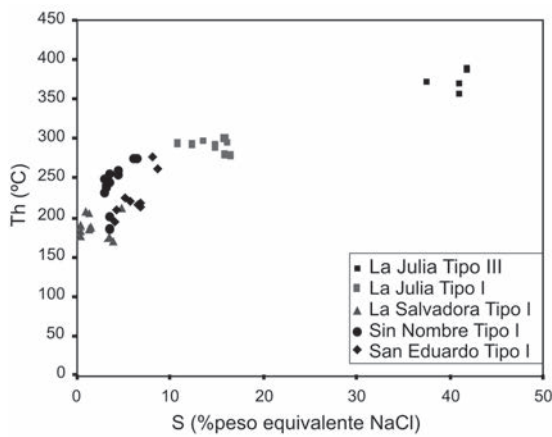


Figura 3: Correlación entre la temperatura de homogeneización (Th) y salinidad.

CUADRO 3: Relación entre los diferentes tipos de inclusiones y las paragénesis de alteración hidrotermal en las vetas estudiadas.

Vetas	Tipos de IF	Abundancia	Minerales hijo	Tipo de cuarzo	Alteración hidrotermal	Etapas de alteración
La Julia	Tipo II	Abundantes	---			
	Tipo IIIa	Abundantes	Halita, silvita (?), hematita, calcopirita, mineral opaco no identificado	Cuarzo euهدral	Alteración potásica	Primera
	Tipo I	Comunes	---			
	Tipo II	Comunes	---	Cuarzo euهدral	Alteración fílica	Segunda
	Tipo IIIb	Escasas	Halita			
Sin Nombre	Tipo I	Abundantes	---	Cuarzo anهدral		
	Tipo II	Comunes	---			
San Eduardo	Tipo I	Abundantes	---	Cuarzo anهدral y euهدral	Alteración fílica	Segunda
	Tipo II	Comunes	---	Cuarzo euهدral		
La Salvadora	Tipo I	Comunes	---	Cuarzo anهدral		
	Tipo II	Escasas	---	Cuarzo anهدral y euهدral		

lución de fluidos de alta temperatura y salinidad hacia fluidos de menor temperatura y salinidad lo que permite suponer

la existencia de al menos dos etapas en la evolución del sistema hidrotermal. En la primera etapa predominan fluidos con

una clara vinculación magmática mientras que en la segunda etapa participan fluidos menos salinos.

En la primera etapa, los fluidos hidrotermales alcanzan temperaturas moderadas (387-389°C) y salinidades altas (37,5-41%) que se encuentran representadas en las inclusiones fluidas de tipo IIIa del cuarzo anهدral de la veta La Julia en donde coexisten con las inclusiones fluidas de tipo II. Estos fluidos se encuentran genéticamente vinculados con la mineralización de Cu y generan la alteración potásica que está caracterizada por la asociación de feldespato potásico-cuarzo-magnetita (biotita) (Cuadro 3).

En la segunda etapa, los fluidos hidrotermales alcanzan temperaturas moderadas (176-276°C) y salinidades moderadas a bajas (0,35-8,68%) representadas en las inclusiones fluidas de tipo I en cuarzo euهدral de las vetas San Eduardo, La Salvadora y Sin Nombre. Estos fluidos corresponderían a salmueras de baja salinidad (menos del 10% en peso equivalente NaCl) y origen magmático con participación de agua meteórica o de formación (Hedenquist *et al.* 1998, Bodnar 1995). Esta segunda etapa se correlaciona con la alteración fílica caracterizada por una asociación de cuarzo-sericita-pirita y en forma subordinada clorita-apatita-rutilo (Cuadro 3).

Por otra parte, en la veta La Julia hay evidencias de reapertura de venas -que se asocian con esta segunda etapa hidrotermal- en las cuales se observa el crecimiento de cuarzo euهدral (con inclusiones fluidas de tipos I, II y IIIb) sobre cuarzo anهدral (con inclusiones fluidas de tipo I, II y IIIa) (Cuadro 3, Fig. 4).

La presencia de inclusiones fluidas de tipo II (ricas en fase vapor) en coexistencia con las de tipo I (líquido+vapor) permitió estimar una profundidad mínima de emplazamiento de las vetas entre 200 y 800 metros (Haas 1971).

CONCLUSIONES

Los estudios petro-mineralógicos y de inclusiones fluidas realizados en las vetas

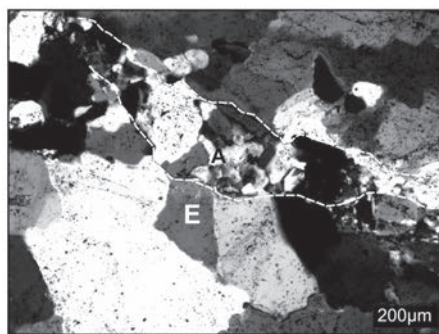


Figura 4: Veta La Julia. Microfotografía que muestra las dos generaciones de cuarzo: anhedral (A) y euhedral (E).

polimetálicas permitieron confirmar su vinculación genética con el pórfiro cuprífero San Pedro y establecer la existencia de dos etapas en la evolución del sistema hidrotermal. En la primera etapa participan fluidos magmáticos de elevada salinidad y temperatura que dan origen a la mineralización de Cu y a la alteración potásica (La Julia y La Margarita) en tanto que en la segunda etapa intervienen fluidos magmáticos diluidos, caracterizados por bajas salinidades y temperaturas que dan lugar a la alteración filica.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue realizada en el marco de los programas de investigación geológico-mineras del Servicio Geológico Minero Argentino (Proyecto PASMA), cofinanciado por el BANCO MUNDIAL y parcialmente financiada por los proyectos UBACyT 20020090100182 y PIP-CONICET 11220090100589. Las autoras agradecen a las doctoras Graciela Mas y Teresita Montenegro por las sugerencias brindadas que ayudaron a mejorar la calidad del trabajo.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Bodnar, R.J., 1992. The system H₂O-NaCl. PACCROFI IV (Fourth Biennial Pan-American Conference on Research on Fluid Inclusions), Actas 1: 108-111, California, USA.

Bodnar, R. J., 1995. Fluid-inclusion evidence for a magmatic source for metals in porphyry copper deposits. En Thompson, J.F.H. (ed.)

- Magmas, fluids, and ore deposits, Mineralogical Association of Canada 23: 139-153.
- Carpio, F. Mallimacci, H, Rubinstein, N., Salvarredi, J., Sepúlveda, E., Centeno, R., Rosas, M. y Vargas, D., 2001. Metalogenia del Bloque de San Rafael, Mendoza. Serie Contribuciones Técnicas, Recursos Minerales, N°20, Servicio Geológico Minero Argentino, 109 p., Buenos Aires.
- Delpino, D., 1997. Geología regional y petrología del Complejo Los Corrales paleozoico superior-triásico, provincia de Mendoza. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de La Plata (inédita), 297 p., La Plata.
- Delpino, D., Pezzutti, N., Godeas, M., Donnari, E., Carullo, M. y Núñez, E., 1993. Un cobre porfirico paleozoico superior en el centro volcánico San Pedro, distrito minero El Nevado, Provincia de Mendoza. Comptes Rendus XII ICC-P (1): 477-490.
- Gargiulo, M., Rubinstein, N., Carpio, F. y Salvarredi, J., 2007. Caracterización de la zona de alteración Central II, Bloque San Rafael, provincia de Mendoza. Revista de la Asociación Geológica Argentina 62: 387-395.
- Gómez, A., 2010. Paragénesis de las venillas del pórfiro de Cu-(Mo) San Pedro, Bloque de San Rafael, Mendoza. 10° Congreso de Mineralogía y Metalogenia, Actas 1: 193-196, Río Cuarto, Córdoba.
- Haas, J.L., 1971. The Effect of Salinity on the Maximum Thermal Gradient of a Hydrothermal System at Hydrostatic Pressure. Economic Geology 66: 940-946.
- Hedenquist, J.W., Arribas Jr., A, y Reynolds, T.J., 1998. Evolution of an Intrusión-Centers Hydrothermal System: Far Southeast-Lepanto Porphyry and Epithermal Cu-Au deposits, Philippines. Economic Geology 93: 373-404.
- Johanis, P., 2003. Informe geofísico San Pedro-Las Chilcas. Servicio Geológico Minero Argentino (inédita), 3p., Buenos Aires.
- Kleiman, L.E. y Japas, M.S., 2009. The Choiyoi volcanic province at 34°S-36°S (San Rafael, Mendoza, Argentina): Implications for the Late Palaeozoic evolution of the southwestern margin of Gondwana. Tectonophysics 473: 283-299.
- Llambías, E. J., Kleiman, L. E. y Salvarredi, J. A., 1993. El magmatismo gondwánico. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de hidrocarburos. Geología y recursos naturales de Mendoza. (Ed. V.A.Ramos), Relatorio 1 (6): 53-64.
- Nash, J.T., 1976. Fluid Inclusion petrology-data from porphyry copper deposits and applications to exploration. U.S.G.S. Professional Paper 907D, 16 p.
- Rubinstein, N. y Gargiulo M.F., 2005. Análisis textural de cuarzo hidrotermal del depósito El Pantanito, provincia de Mendoza: nuevos aportes sobre su génesis. Revista de la Asociación Geológica Argentina 60: 96-103.
- Rubinstein, N., Carpio, F. y Mallimacci, H., 2000. La zona de alteración Las Chilcas, provincia de Mendoza. 5° Congreso de Mineralogía y Metalogenia, Actas 1: 454-456, La Plata.
- Rubinstein, N., Carpio, F. y Mallimacci, H., 2002 a. Las vetas polimetálicas del área del Cerro San Pedro, provincia de Mendoza, Argentina. 15° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 263-266, El Calafate.
- Rubinstein, N., Carpio, F. y Mallimacci, H., 2002 b. La zona de alteración del cerro Tres Hermanos, Mendoza, Argentina. 6° Congreso de Mineralogía y Metalogenia, Actas 1:419-420, Buenos Aires.
- Rubinstein, N.A., Ostera, H., Mallimacci, H. y Carpio, F., 2004. Lead isotopes from gondwanan ore polymetallic vein deposits, San Rafael Massif, Argentina. Journal of South America Earth Sciences 16: 595-602.
- Sterner, S. M., Hall, D.L. y Bodnar, R.J., 1988. Synthetic fluid inclusions V. Solubility relations in the system NaCl-KCl-H₂O under vapor-saturated conditions. Geochimica et Cosmochimica Acta 52: 989-1006.

Recibido: 3 de junio, 2011.

Aceptado: 4 de marzo, 2012.