

CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ALTERACIÓN CENTRAL II, BLOQUE SAN RAFAEL, PROVINCIA DE MENDOZA

María Florencia GARGIULO¹, Nora RUBINSTEIN², Francisco CARPIO³ y Julio SALVARREDI⁴

¹ CONICET (INGEOSUR) - Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geología. San Juan 670, C.P. B8000ICN, Bahía Blanca, Argentina. E-mail: mfgargiulo@uns.edu.ar

² CONICET - Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias Geológicas. Ciudad Universitaria, Pab.2, C.P. 1428 Núñez, Buenos Aires, Argentina. E-mail: nora@gl.fcen.uba.ar

³ Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), Delegación Mendoza, España 1419, 5500 Mendoza.

⁴ Comisión Nacional de Energía Atómica, Regional Cuyo, Godoy Cruz, 5500 Mendoza.

RESUMEN

Se presenta el estudio petrográfico de las muestras de superficie correspondientes a la zona de alteración Central II, localizada en el Bloque San Rafael, provincia de Mendoza (34°54'56" S; 68°37'02" O). La misma está relacionada a la intrusión de un cuerpo hipabisal de composición riolítica alojado en una sucesión de rocas volcánicas y volcanoclasticas de la sección superior del Grupo Choiyoi. La zona de alteración está representada por sericitización generalizada a la que se superponen brechas y venas silíceas, ocasionalmente con textura druiforme y con bandas tapizadas por agregados diseminados de pirita y calcopirita subordinada, a las que acompaña escasa arsenopirita. Las brechas y venas silíceas conforman una faja de dirección ONO (azimut 290° - 300°) e inclinación vertical, en las que se han reconocido texturas de cuarzo hidrotermal de crecimiento primario, de recristalización y de reemplazo. Entre estas texturas se destacan las crustificaciones complejas, el bandeamiento coliforme y los pseudomorfos de cuarzo según calcita en enrejado, a las que se asocia la presencia de adularia con morfologías sub-rómbica, rómbica y pseudo-acicular. Este conjunto de texturas y morfologías permite establecer que se trata de un sistema epitermal de baja sulfuración con paleozonas de ebullición ascendente.

Palabras clave: *Sistema epitermal de baja sulfuración, ebullición ascendente, adularia, cuarzo hidrotermal, sección superior del Grupo Choiyoi.*

ABSTRACT: *Characteristics of Central II alteration zone, San Rafael Massif, province of Mendoza.* The goal of this paper is to present the petrographic study from outcrop samples of the Central II alteration zone. This area is located in the San Rafael Massif, province of Mendoza (34°54'56" S; 68°37'02" O) and is related to hypoabyssal rhyolitic bodies that intrude a volcanic-volcanoclastic sequence corresponding to the upper section of Choiyoi Group. The alteration zone is represented by pervasive sericitization overprinted by silicic breccias and veins with WNW trend (Az 290° - 300°) and vertical dip. Hydrothermal veins are mainly composed by quartz with primary growth, recrystallization and replacement textures with minor pyrite, chalcopyrite and scarce arsenopyrite. The combination of crustiform - colloform silica banding, quartz pseudomorphs of bladed calcite and adularia with different morphologies (sub-rhombic, rhombic and pseudo-acicular) is a clear evidence of a low-sulfidation epithermal system with paleozones of upflow boiling.

Keywords: *Low-sulfidation epithermal system, boiling upflow, adularia, hydrothermal quartz, upper section of Choiyoi Group.*

INTRODUCCIÓN

El Bloque de San Rafael se caracteriza por la presencia de extensos afloramientos de rocas ígneas permo - triásicas correspondientes al ciclo magmático Choiyoi (Llambías *et al.* 1993) conformado por dos secciones que indican un cambio en el ambiente tectónico. La sección inferior (pérmica inferior) representa un magmatismo típico de arco continental en un margen convergente, mientras que la sección superior (pérmica superior - triásica inferior) indica la transición hacia un ambiente extensional de intraplaca continental (Llambías *et al.* 1993,

Kleiman 1999, Kleiman 2002).

Sobre la base de los controles estratigráficos, los principales depósitos minerales en el Bloque de San Rafael han sido genéticamente relacionados al ciclo magmático gondwánico (Pérmico inferior-Triásico inferior, Carpio *et al.* 2001). Estudios de isótopos de Pb realizados sobre diferentes depósitos polimetálicos vetiformes confirmaron dicha vinculación genética (Rubinstein *et al.* 2004).

En la sección inferior predominan los depósitos de tipo pórfiro de Cu-(Mo) asociados con vetas polimetálicas. Algunos ejemplos de este tipo son Infiernillo, La Chilca,

San Pedro y Cerro Tres Hermanos (Fuschini 1968, Delpino *et al.* 1993, Rubinstein *et al.* 2000, 2002 a y b). Mientras que, relacionados a la sección superior, se encuentran depósitos de pórfiro de Mo, como los de Germán y Elsiren (Delpino 1997, Carpio *et al.* 2001). Por otra parte, también hospedado en rocas de la sección superior se encuentra el depósito epitermal de baja sulfuración El Pantanito, que constituye el primer hallazgo de este tipo de mineralización en el Bloque San Rafael (Rubinstein *et al.* 2001, Rubinstein y Gargiulo 2005). Carpio *et al.* (2001) sugieren que los diferentes estilos de mineralización están vinculados al

cambio de ambiente tectónico registrado durante la evolución del ciclo magmático Choiyoi.

La manifestación Central II (Fig. 1) se localiza en el sector central del Bloque de San Rafael (34°54'56" S; 68°37'02" O) y conforma una zona de alteración desarrollada dentro de la sección superior del ciclo magmático Choiyoi (Gr. Choiyoi). El objetivo del presente trabajo es dar a conocer los primeros resultados del estudio petro-mineralógico de la alteración hidrotermal llevado a cabo en muestras de superficie, con el fin de contribuir al conocimiento de su génesis.

METODOLOGÍA

Para el estudio petrográfico y mineralógico se tomaron muestras correspondientes a la zona de alteración y a la roca de caja de la manifestación Central II y sobre este material se hicieron secciones delgadas y pulidos calcográficos para realizar el estudio óptico con microscopio de polarización y reflexión Zeiss Pol 450910, que permitió identificar y

describir las diferentes texturas y asociaciones de minerales presentes (Cuadro 1). La ubicación geográfica de los sitios muestreados se realizó con un sistema de posicionamiento satelital (GPS) Garming ETREX. Se eligieron tres muestras representativas a las que se les efectuaron análisis químicos multielementales para individualizar las anomalías metálicas presentes en la manifestación (Cuadro 2). Dichos análisis químicos fueron llevados a cabo en el Instituto de Tecnología Minera (INTEMIN - SEGEMAR), utilizando la metodología analítica de digestión por agua regia y posterior lectura por espectrometría de emisión atómica por plasma inductivo (ICP), salvo la plata, el oro y el mercurio. La plata se determinó por digestión multiácida y lectura por espectrometría de absorción atómica (EAA). El oro se determinó por digestión con agua regia, extracción por disobutylcetona y lectura por (EAA) y el mercurio se determinó por digestión con agua regia y posterior lectura por (EAA). Las arcillas fueron determinadas con espectrometría de reflectancia SWIR portátil (SEGEMAR).

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

En la región, la sección inferior del ciclo magmático Choiyoi está representada por tobas dacíticas a riolíticas, brechas andesíticas, areniscas y conglomerados del Grupo Cochicó (Dessanti 1956). Las volcanitas son calcoalcalinas, metaluminosas a peraluminosas y poseen contenidos de potasio medios a altos (Kleiman 1993, 1999, 2002). Esta sección se caracteriza por la presencia de estructuras compresivas de orientación NNO a N-S (Moreno Peral y Salvarredí, 1984). De acuerdo con Japas y Kleiman (2004) el alineamiento de los pliegues define dos zonas de cizalla, una de orientación NNO (dextral) y otra ONO (sinistral). Estas estructuras de cizalla presentan evidencias de reactivaciones transtensionales con una cinemática que concuerda con la de las estructuras de la sección superior (Japas y Kleiman 2004). Las características geoquímicas permiten vincular al magmatismo de la sección inferior con el desarrollo de un arco continental en un ambiente de subducción (Lambías *et al.* 1993, Kleiman 1999), mientras que sus estructuras se relacionan a la etapa orogénica tardía de la transpresión sanrafaélica NNO dextral regional (Japas y Kleiman 2004).

La sección superior está representada por el Gr. Choiyoi (Sepúlveda *et al.* 2001) equivalente a las Formaciones Agua de los Burros, Quebrada del Pimiento y Cerro Carrizalito de González Díaz (1972) y está constituida por ignimbritas, lavas y cuerpos subvolcánicos de alta sílice, principalmente de composición riolítica, que se intercalan con diques andesíticos. Las andesitas son calcoalcalinas, en tanto que las riolitas tienen mayor índice de alcalinidad que el correspondiente a rocas de la sección inferior y son predominantemente peraluminosas (Kleiman 1993, 1999). Las estructuras que afectan a la F. Agua de los Burros (nivel inferior de la sección superior del Ciclo Choiyoi) son equivalentes a las de la sección inferior, mientras que en el resto de la sección superior se desarrollan zonas de cizalla de dilatación positiva, con orientación NO (sinistral) y E-O (dextral). Estas fajas de cizalla son coetáneas con las reactivaciones transtensionales observadas en la sección infe-

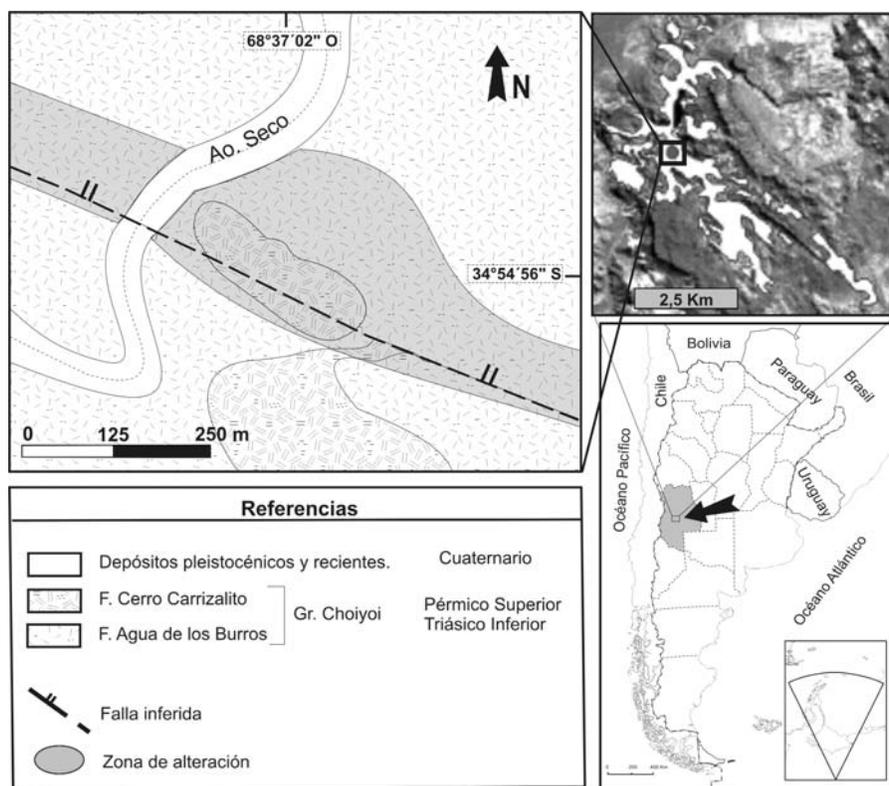


Figura 1: Ubicación (Imagen Landsat TM) y geología de la zona de alteración Central II. En la imagen satelital se destaca la anomalía de color dentro de la que se encuentra el área de estudio

rior (Japas y Kleiman 2004). Las rocas de la sección superior constituyen, entonces, una sucesión que evidencia la transición entre un ambiente de arco continental y uno discontinuo consecuencia de la relajación mecánica posterior a la orogenia sanrafaélica, en el que se genera magmatismo de intraplaca (Malvicini y Delpino 1989, Ramos 1993, Llambías *et al.* 1993, Kleiman 1999, Japas y Kleiman 2004, entre otros), que culmina con el desarrollo de un *rift* durante el Triásico, dando lugar a la Formación Puesto Viejo (Ramos 1993, Llambías *et al.* 1993, Kleiman 1999, Kleiman y Salvarredi 1999 y 2001).

GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

En el área de estudio (Fig. 1), afloran niveles de tobas blanco-amarillentas correspondientes a la F. Agua de los Burros. Dichos niveles están intruidos por cuerpos hipabisales grisáceas de composición riolítica pertenecientes a la F. Cerro Carrizalito. Estos cuerpos hipabisales riolíticos poseen textura porfírica a glomeroporfírica relicta con aproximadamente 50% de fenocristales de feldespato potásico, cuarzo y plagioclasa y, subordinadamente, biotita y anfíbol euhedrales totalmente reemplazados por agregados fibrosos de sericita y grumos intersticia-

les de óxidos de hierro. El 50% restante corresponde a la pasta de textura microgranular a granofírica relicta. Son comunes los procesos de alteración deutérica evidenciados principalmente por crecimientos secundarios en fenocristales de cuarzo y feldespato potásico, como así también, por el desarrollo de parches de silicificación en mosaico asociados a cribas en fenocristales de feldespatos. En menor medida, la presencia de venillas muy delgadas, discontinuas y de distribución errática, también se han vinculado a este proceso.

La sucesión estratigráfica local culmina con niveles de lavas riolíticas pertenecientes también a la Formación Cerro Carrizalito,

CUADRO 1: Tipos de alteración presentes en las muestras más representativas tomadas en el área de estudio.

Ubicación de las Muestras	LITOLOGÍA	TIPOS DE ALTERACIÓN
86709 34°54'56" S 68°37'02" O	Pórfiro ácido alterado	Silicificación muy fuerte y penetrativa como alteración de la pasta y subordinada como relleno de venillas con textura masiva o en peine. Argilización moderada (caolinita) localizada como reemplazo de fenocristales y como nidos intersticiales o subordinada en las venillas silíceas.
86710 34°54'56" S 68°37'02" O	Brecha silícea	Silicificación fuerte generalizada, como desnaturalización la matriz vítrea de los litoclastos tobáceos, como parches de silicificación en dicha matriz y como cemento de la brecha (texturas crustificada, masiva, en peine, flameante y plumosa). Limonitización suave a moderada como nidos (que incluyen jarosita) diseminados en toda la roca. Argilitización suave (montmorillonita) como reemplazo del material vítrea de los litoclastos tobáceos y como nidos intersticiales (que incluyen rutilo) en el cemento silíceo. Feldespatización insipiente dada por cristales idiomorfos de adularia rómbica diseminados en el cemento silíceo.
86785 34°55'02" S 68°37'09" O	Pórfiro riolítico alterado	Argilización fuerte y selectiva (caolinita) como reemplazo total o parcial de fenocristales y pasta formando nidos diseminados que incluyen rutilo o como impregnaciones pulverulentas que afectan a los feldespatos alcalinos de la pasta. Propilitización moderada y selectiva como reemplazo de fenocristales (con motas de carbonatos y agregados granulares de albita o cuarzo) o como venillas masivas rellenas de clinozoisita y cuarzo. Limonitización suave a moderada como reemplazo subordinado de fenocristales y pasta o localizada en venillas.
86787 34°55'00" S 68°37'09" O	Pórfiro fenoriolítico alterado	Silicificación fuerte y penetrativa como reemplazo de la pasta y subordinadamente como relleno de venillas con textura masiva. Sericitización muy fuerte como grumos o agregados fibrosos finos localizados como reemplazo de fenocristales y subordinada en la pasta (donde incluye rutilo). Argilización fuerte a moderada (caolinita 80%, illita 20%) en nidos intersticiales e invasivos que reemplazan fenocristales y pasta. Limonitización suave a moderada como grumos diseminados (que incluyen jarosita), que reemplazan fenocristales y pasta y como relleno de venillas. Agregados escasos y finos de malaquita.
86790 34°55'00" S 68°37'09" O	Brecha silícea	Silicificación muy fuerte y penetrativa como cemento de la brecha (textura masiva, crustificada, en peine y en mosaico), como relleno de venillas (textura en mosaico) y en menor medida como reemplazo parcial de fenocristales y pasta de los litoclastos brechados. Sericitización fuerte localizada como reemplazo de fenocristales o subordinada en el cemento silíceo y reemplazando la pasta de los litoclastos con nidos fibrosos-radiales (que incluyen rutilo). Argilización fuerte y localizada (caolinita 80%, illita 20%) como reemplazo de los fenocristales y pasta de los líticos y subordinada como agregados intersticiales en el cemento silíceo de la brecha. Limonitización (incluye jarosita) suave a moderada como reemplazo de fenocristales y pasta de los litoclastos. Propilitización suave como agregados granulares de albita y cuarzo y como motas de carbonatos que reemplazan fenocristales de los fragmentos líticos.
86791 34°55'00" S 68°37'09" O	Pórfiro riolítico alterado	Silicificación fuerte y penetrativa como reemplazo de la pasta y subordinadamente como relleno de venillas con textura masiva. Sericitización muy fuerte como grumos o agregados fibrosos finos localizados como reemplazo de fenocristales y subordinada en la pasta (donde incluye rutilo). Argilización fuerte a moderada (caolinita 80% illita 20%) en nidos intersticiales y como reemplazo de fenocristales y pasta. Limonitización suave a moderada como grumos diseminados (que incluyen jarosita), que reemplazan fenocristales y pasta o como relleno de venillas.
86792 34°54'59" S 68°37'10" O	Vena silícea	Silicificación muy fuerte y generalizada con texturas de relleno, de reemplazo pseudomórfico de calcita y de recristalización, como relleno de venillas posteriores y como reemplazo de fenocristales y pasta de los fragmentos de la roca de caja y brechas. Argilización (caolinita e illita) y sericitización localizadas como reemplazo parcial de fenocristales y pasta de los fragmentos de la brecha y en los intersticios del relleno silíceo. Feldespatización suave dada por agregados de adularia sub-rómbica en las paredes de la vena, por agregados pseudo-aciculares y cristales idiomorfos de adularia rómbica, diseminados en los agregados silíceos.

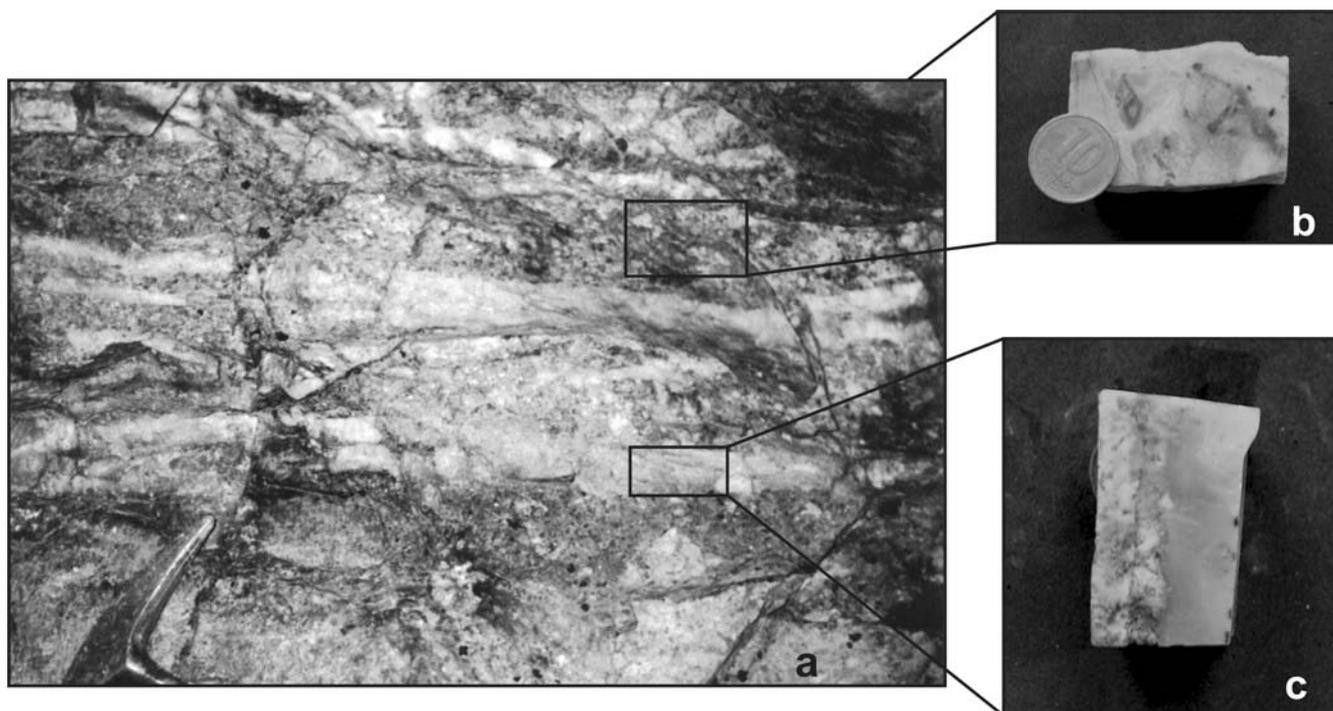


Figura 2: Zona de alteración Central II: a) Afloramiento de la zona de brechamiento hidrotermal atravesado por venas y venillas posteriores. b) Detalle de las brechas silíceas hidrotermales. c) Detalle de las venas silíceas mostrando el contacto con la roca de caja donde se observa un borde con adularia sub-rómbica y cuarzo en peine. Hacia el centro de la vena, el agregado silíceo desarrolla aspecto opalino.

CUADRO 2: Análisis químicos de muestras de la zona de alteración (en ppm, excepto Au en ppb). Las muestras 86786 y 86789 corresponden a la roca de caja alterada y con pirita diseminada. La muestra 86788 corresponde a las venas silíceas de aspecto opalino.

	86786	86788	86789
Cr	<2	<2	<2
Ba	125	45	228
Cu	4	4	4
As	37	20	21
Cd	1	--	--
Pb	44	40	32
Mo	4	20	7
Ni	<1	6	<1
Se	<3	<3	<3
Zn	77	16	52
Sb	<3	<3	<3
Mn	299	16	155
Fe	15800	1470	1~105
Co	62	239	82
Hg	<0,04	<0,04	<0,04
Ag	1,7	2,6	2,3
Au	0,09	0,08	0,10

los que se apoyan sobre las tobas de la Formación Agua de los Burros conformando un conjunto de lomas de paredones abruptos.

ALTERACIÓN HIDROTERMAL

El área de alteración Central II (Fig. 1) se manifiesta principalmente por su tonalidad amarillenta que difiere del color grisáceo de la roca de caja fresca. Esta anomalía de color se desarrolla tanto en las tobas de la F. Agua de los Burros como en los cuerpos hipabisales de la F. Cerro Carrizalito que las intruyen. Comprende una faja de silicificación de dirección ONO (Az. 290° - 300°), coincidente con lineamientos regionales y abarca aproximadamente 260 m de ancho y unos 800 m de largo. En ella, se observa intenso brechamiento hidráulico atravesado, a su vez, por venas y venillas silíceas (Fig. 2a, b y c). La zona está caracterizada por una fuerte silicificación a la que se asocia adularia subordinada, que se superpone a la alteración sericítico - arcillosa. Localmente, se evidencian procesos de propilitización (Cuadro 1).

La alteración sericítico - arcillosa, a pesar de su intensidad moderada, es la que produce la anomalía de color que caracteriza a la manifestación. Es de tipo penetrante, distri-

bución generalizada y se desarrolla tanto como reemplazo de los fenocristales de feldspatos, biotita y anfíbol, como también formando nidos en la pasta. Microscópicamente, los agregados de sericita suelen ser fibroso-radiales y a ellos se asocian agregados grumosos de rutilo.

La silicificación es el proceso más conspicuo y genera zonas de reemplazo, brechas, venas y venillas generalmente con estructura de tipo stockwork. En las zonas de reemplazo, la silicificación afecta a la roca de caja en forma penetrante, desarrollando agregados granulares de cuarzo masivo, que pueden tener aspecto sucio. Microscópicamente, se observa que dicho rasgo es otorgado por impregnaciones de material arcilloso pulverulento. Las venas suelen ser discontinuas y por lo general no superan los siete centímetros de potencia. Tienen textura masiva y drusiforme y se encuentran atravesadas, a su vez, por al menos otras dos generaciones de venillas de distribución caótica. Las brechas están conformadas por fragmentos de roca de caja y fragmentos de venas silíceas cementadas por cuarzo granular masivo, crustiforme o en mosaico con nidos subordinados e intersticiales de arci-

llas en agregados muy finos, de baja birrefringencia (colores grises), ocasionalmente con formas de libritos (caolinita).

La feldespaticación se encuentra en las venas y en el cemento de las brechas silíceas. El feldespato está representado por cristales milimétricos de adularia de morfología sub-rómbica, por cristales microscópicos de morfología rómbica o pseudo-acicular o por agregados grumosos intercrecidos con esmectitas. Los cristales de morfologías rómbicas y pseudo-aciculares pueden estar alterados a sericita o esmectitas.

La propilitización es moderada y se desarrolla como reemplazo de los fenocristales de feldespato por albita, cuarzo y carbonatos o concentrada en venillas de clinozoisita y cuarzo.

TEXTURAS DE CUARZO Y ADULARIA HIDROTHERMAL

A partir del estudio petrográfico fue posible reconocer diferentes texturas de cuarzo hidrotermal, denominadas de acuerdo a la clasificación de Dong *et al.* (1995). Éstas comprenden texturas de crecimiento primario (masiva, crustificada, coliforme, en escarpela (o cocarda) y en peine); de recristalización (llameante, plumosa y en mosaico) y de reemplazo (reemplazo pseudomórfico de cuarzo según calcita en enrejado, *lattice bladed calcite*). Asociados a la silicificación, se han identificado, a su vez, tres tipos diferentes de morfologías de cristales de adularia que fueron clasificadas de acuerdo a Dong y Morrison (1995) como sub-rómbica, rómbica y pseudo-acicular.

Brechas silíceas

Estas brechas (Fig. 2a y b) están constituidas por fragmentos líticos principalmente de tobas vítreas y volcanitas alteradas que corresponden a las rocas de caja. El material ligante es penetrante y está representado por cemento silíceo microcristalino de estructura muy compleja, dada por sectores con diferentes colores y texturas. Los sectores del cemento silíceo de color gris a blanco lechoso y aspecto opalino, poseen textura en mosaico y en enrejado (*lattice bladed calcite*) en sección delgada; mientras que las zonas de color gris más claro y aspecto hialino poseen textura en peine. También, se distinguen sectores con textura crustificada asimétrica representada por láminas de color blanco y aspecto opalino, que alternan con láminas de color gris y aspecto hialino. En sección delgada se observa que las láminas de aspecto opalino poseen textura en mosaico, mientras que las láminas de aspecto hialino tienen textura masiva o plumosa. Además, se distinguen sitios con textura crustificada simétrica caracterizados por un borde con textura en mosaico y, hacia el centro de dicha crustificación, el agregado silíceo aumenta progresivamente de tamaño desarrollando textura en peine o masiva (Fig. 3a), eventualmente, llameante o plumosa (Fig. 3b). En los intersticios de estos agregados se reconocen nidos de arcillas castañas e isotropas (caolinita), sericita, grumos de rutilo y sulfuros, asociados a circón y jarosita. En el cemento se identifican, también, cristales idiomorfos de adularia de morfología rómbica que se encuentran parcial o fuertemente argilizados (Fig. 3c). Ca-

be destacar que hay evidencias de, al menos, otro pulso de brechamiento indicado por la presencia de fragmentos de partes del cemento silíceo con textura masiva, cementados a su vez por sílice con textura en mosaico.

Venas y venillas silíceas

Se observan, al menos, tres generaciones de venas y venillas. La primera, corresponde a venas de potencias variables entre cinco y siete centímetros y estructura compleja debido a la diversidad de texturas que se reconocen en ella. Entre las texturas identificadas se destaca la crustificación simétrica, dada por un borde con cristales de adularia sub-rómbica y cuarzo en peine, mientras que hacia el centro, el relleno presenta aspecto opalino y color gris-verdoso (Fig. 2c), en el que se distinguen por su tono más claro, cristales prismáticos de cuarzo según calcita de hasta siete milímetros de largo, orientados al azar o en enrejado. Microscópicamente, se observa que este relleno opalino corresponde a un agregado silíceo con textura en mosaico y nidos intersticiales de arcillas (caolinita e illita), además de grumos diseminados de rutilo asociados a circón y apatita. Los cristales prismáticos mencionados anteriormente corresponden a pseudomorfos de cuarzo según calcita, que dan lugar a la textura en enrejado (*lattice bladed calcite*) (Fig. 4a). A su vez, dentro de estas venas se reconocen escasos fragmentos de roca de caja y de calcedonia coliforme de color blanco. Ambos tipos de fragmentos poseen textura en escarpela o cocarda constituida por un contorno con bandea-

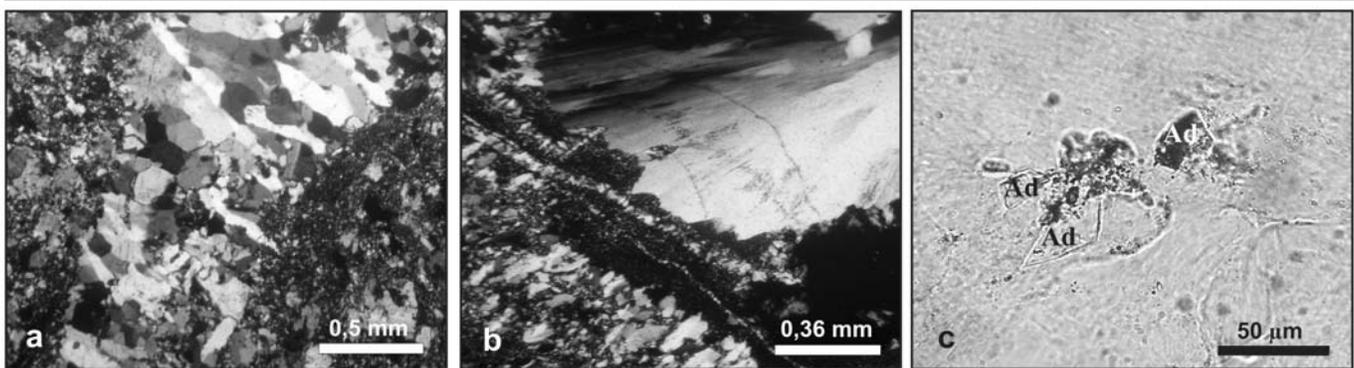


Figura 3: Microfotografías de las brechas silíceas: a) Textura crustificada simétrica caracterizada por un borde con textura en mosaico y, hacia el centro, agregado silíceo con textura en peine o masiva (con polarizador intercalado). b) Agregados de sílice con textura plumosa (con polarizador intercalado). c) Cristales ideomorfos de adularia (Ad) con morfología rómbica, que se encuentran parcial o fuertemente argilizados (sin polarizador intercalado).

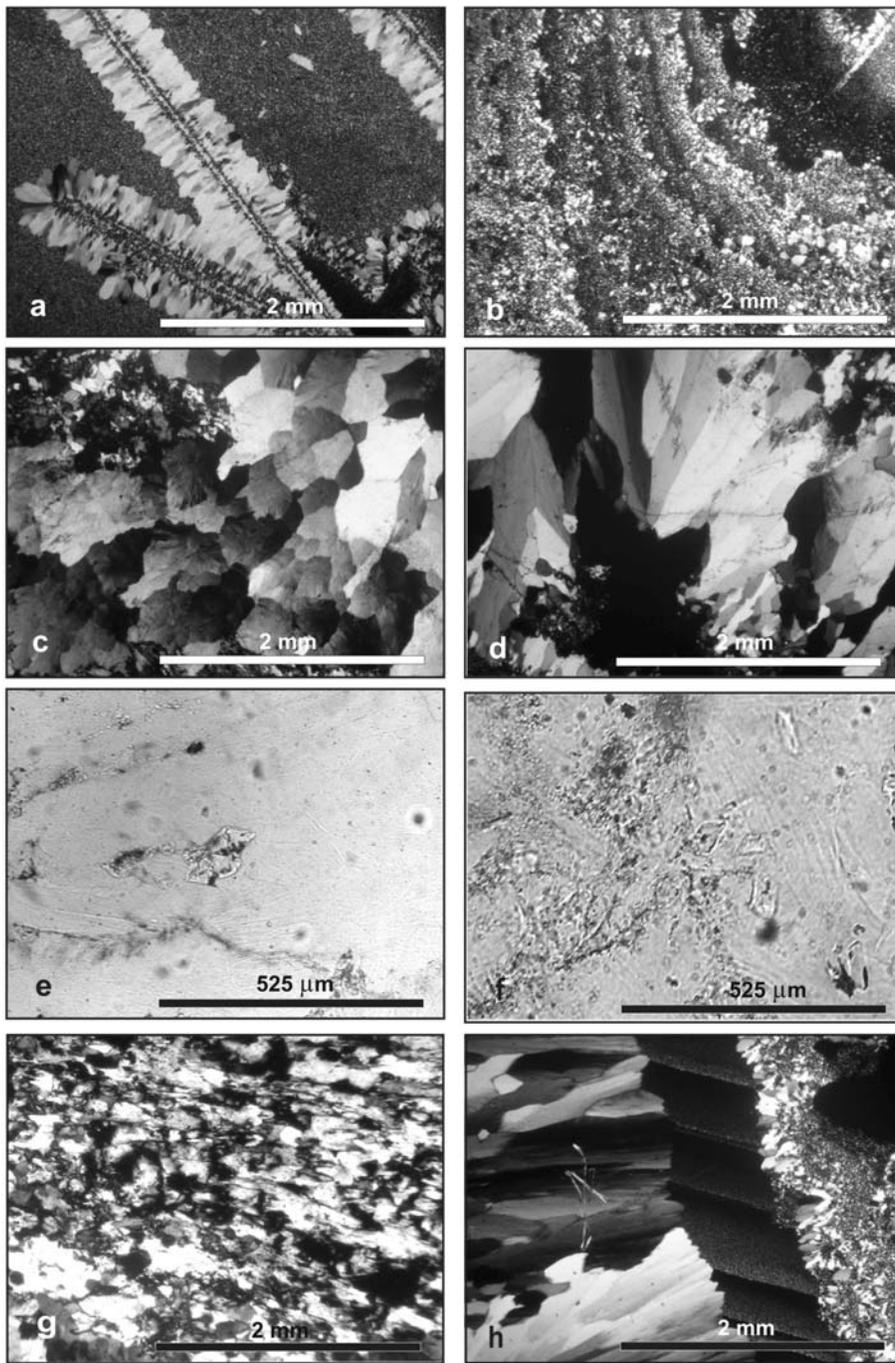


Figura 4: Microfotografías de texturas en venas y venillas: a) Pseudomorfos de sílice según calcita que dan lugar a la textura en enrejado (*lattice bladed calcite*) (con polarizador intercalado). b) Bandeamiento coloforme (con polarizador intercalado). c) Textura llameante (con polarizador intercalado). d) Textura plumosa (con polarizador intercalado). e) Adularia con morfología rómbica (sin polarizador intercalado). f) Adularia con morfología rómbica intercrecida con agregados de esmectitas (sin polarizador intercalado). g) Agregados de adularia con morfología pseudo-acicular (con polarizador intercalado). h) Venilla de cuarzo con crustificación asimétrica dada por textura plumosa con elongación de los individuos orientados hacia el centro de la cavidad y bandeamiento coloforme.

miento coloforme de calcedonia y/o agregados cristalinos de adularia rosada y subrómbica con sílice de textura plumosa. En

otros sectores de estas venas existe crustificación compleja representada por bandeamiento coloforme (Fig. 4b), textura llame-

ante (Fig. 4c) y textura plumosa (Fig. 4d). Los cristales euhedrales generalmente frescos de adularia con morfología rómbica (Fig. 4e) o grumosos y asociados a esmectitas (Fig. 4f), como así también aquellos de morfología pseudo-acicular (Fig. 4g), se encuentran en los sectores con textura en enrejado o plumosa. Esta generación de venas atraviesa tanto a la roca de caja como a las brechas silíceas.

La segunda generación corresponde a escasas venillas de cuarzo con crustificación asimétrica dada por textura plumosa con elongación de los individuos orientados hacia el centro de la cavidad y bandeamiento coloforme (Fig. 4h). Estas venillas solo atraviesan a las venas de la primera generación.

La tercera generación está representada por venillas mucho más delgadas (menos de un milímetro de potencia), cuyos bordes son más netos y rectos y atraviesan tanto a la roca de caja como a las brechas y venas silíceas anteriores. Son de color gris oscuro a claro, aspecto hialino y textura en peine o en mosaico. No presentan mineralización y parecen generar deformación tanto en los fenocristales de la roca de caja como en los agregados de sílice de los fragmentos líticos de calcedonia o en los individuos de cuarzo de mayor desarrollo del cemento silíceo de las brechas. La deformación queda evidenciada por la presencia de trenes anastomosados de inclusiones fluidas y por la extinción ondulosa de los agregados de cuarzo. Cabe destacar además, que en el sector de intersección entre estas venillas y las venas de la primera generación es común observar una zona muy caótica, de aspecto brechoso con fragmentos de diferentes tamaños de agregados de calcedonia con textura plumosa correspondientes al relleno de la vena principal; mientras que la "pseudo-matriz" corresponde a un agregado muy fino de sericita, montmorillonita y sílice en mosaico. Ocasionalmente, se observa que este arreglo presenta disposición groseramente laminar y gradado. Estos fragmentos brechados, eventualmente, pueden estar totalmente argilizados o silicificados.

MINERALIZACIÓN

Los minerales de mena conforman grumos

milimétricos principalmente de pirita (frecuentemente junto con escasa calcopirita y arsenopirita). Dichos grumos están diseminados en la roca de caja silicificada o en las brechas y venas síliceas de la primera generación, pero siempre espacialmente asociados a la alteración sericitico - arcillosa. Su proporción, en ocasiones, puede superar el 10% del total de la roca concentrándose principalmente en el cemento síliceo de las brechas.

Los procesos de oxidación son póstumos y están caracterizados por suave limonitización (que incluye jarosita), desarrollada en forma de grumos terrosos espacialmente asociados a agregados de rutilo y minerales de mena o se concentra, también, en venillas discontinuas de menos de un milímetro de potencia. En ellas, se reconoce escasa malaquita.

Los análisis químicos de muestras del depósito (Cuadro 2), sólo evidencian valores anómalos de Mo y Co y prácticamente no registran anomalías significativas en metales nobles ni en metales base.

DISCUSIÓN

El estudio petrográfico realizado permitió reconocer la siguiente secuencia de eventos de alteración:

1. Alteración sericitico - arcillosa y propilitica (en la roca de caja).

2. Brechamiento y cementación sílicea (se reconocen al menos dos eventos en base a la presencia de fragmentos del cemento síliceo como parte de los litoclastos de la brecha). Presencia de texturas de cuarzo hidrotermal junto con adularia de morfologías sub-rómbica, rómbica y pseudo-acicular.

3. Venas de sílice (primera generación). Presencia de texturas de cuarzo hidrotermal junto con adularia de morfología sub-rómbica, rómbica y pseudo-acicular.

4. Venillas de sílice (segunda generación). Con crustificación asimétrica dada por textura plumosa y bandeamiento coloforme.

5. Venillas de sílice y arcillas (tercera generación) / Deformación.

Consideraciones genéticas sobre las morfologías de adularia hidrotermal

Con respecto a las condiciones de formación de estas morfologías de adularia, Dong y Morrison (1995) explican, que la primera ebullición de un fluido se genera a una profundidad donde la permeabilidad de la roca de caja es baja y, por lo tanto, muy poco gas puede escaparse del sistema. Sin embargo, a medida que el fluido se enfría lentamente, empieza a saturarse ligeramente en adularia y cuarzo, precipitando adularia sub-rómbica y agregados de cuarzo con textura en peine. Esta posición profunda dentro del sistema de venas es la que permite que las condicio-

nes del ambiente cambien lentamente, dando lugar a una distribución ordenada en la estructura interna de la adularia (morfología sub-rómbica) y a la ausencia de alteración sericitica en sus cristales. A medida que el fluido asciende, encuentra un ambiente de mayor permeabilidad en la roca de caja, lo cual permite la remoción más efectiva de los gases y por lo tanto una ebullición más violenta. Si este proceso es sostenido, se genera la precipitación de adularia con morfología rómbica. Los cambios rápidos en las condiciones del sistema y la temperatura relativamente mayor del sistema son los factores responsables de su estructura interna más desordenada. Cuando el proceso de ebullición violenta se mantiene durante algún tiempo, la temperatura del sistema va descendiendo y permite la precipitación de adularia con morfología rómbica (Dong y Morrison 1995).

El carbonato precipita durante el estadio inicial de ebullición, como consecuencia de la rápida pérdida de CO₂ pero a medida que la ebullición se sostiene en el tiempo, el efecto de la caída de la temperatura se vuelve dominante respecto de la pérdida de CO₂, por lo cual el carbonato es posteriormente reemplazado por adularia y cuarzo. La adularia de morfología pseudo-acicular es considerada como pseudomorfo del carbonato precursor y se cree que las condiciones de formación son más o menos simila-

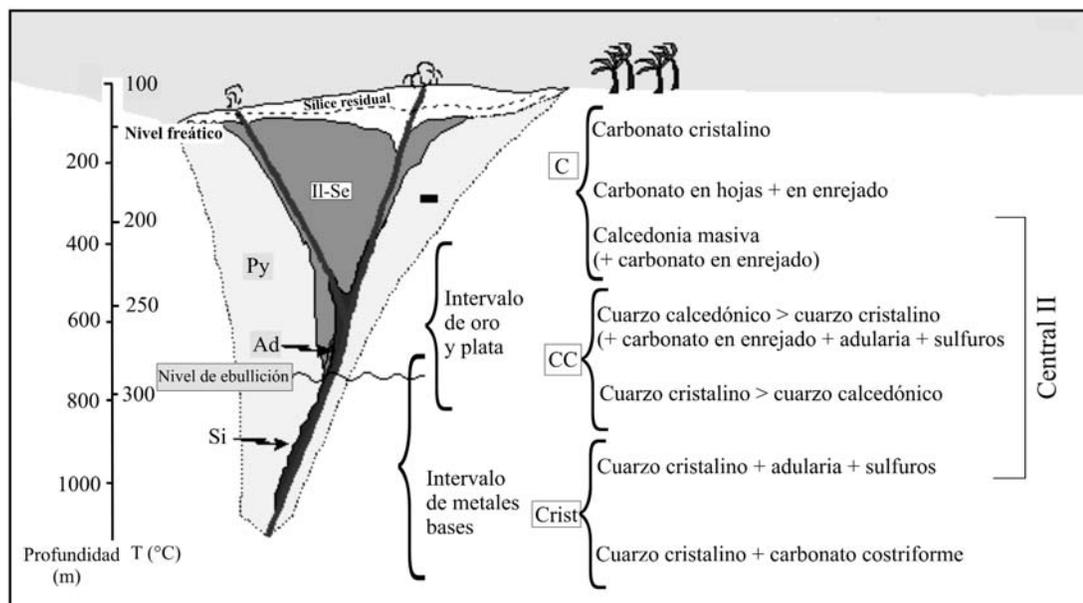


Figura 5: Ubicación de la zona de alteración Central II dentro del esquema teórico de un sistema epitermal de baja sulfuración (Buchanan 1981).

res a las de adularia rómbica, mientras que el cuarzo adquiere textura en enrejado (también considerada como pseudomorfo del carbonato precursor) (Dong *et al.* 1995; Dong y Morrison 1995).

Si luego del proceso de ebullición queda fluido remanente y éste se sigue enfriando, es probable que las condiciones imperantes en ese momento vuelvan a estar dentro del campo de estabilidad de las micas potásicas; lo cual explica que las adularias con morfologías rómbicas y pseudo-aciculares puedan estar comúnmente alteradas por sericita (Dong y Morrison 1995).

Texturas de cuarzo hidrotermal

Las texturas de cuarzo reconocidas son de tipo masiva, plumosa y en enrejado (*lattice bladed calcite*). Dichas texturas junto con la presencia de adularia de morfología rómbica y pseudo-acicular y la presencia de sulfuros evidencian el desarrollo de una zona de ebullición ascendente, correspondiente a un sistema epidermal de baja sulfuración (Dong *et al.* 1995; Dong y Morrison 1995). De esta manera, las características mineralógicas y texturales halladas en la manifestación Central II, sugieren que existió un proceso de ebullición ascendente, al que se asocia generalmente el intervalo de precipitación de metales preciosos de estos sistemas. A su vez, se han distinguido otras texturas como ser: crustiforme y en peine, asociadas a adularia de morfología sub-rómbica. También, texturas en mosaico, coliforme y llameante. Todas ellas indican diferentes niveles dentro del sistema epidermal (Buchanan 1981) (Fig. 5), por lo cual, la presencia en un mismo nivel de exposición de tales texturas permite proponer, en principio, el desarrollo de un fenómeno de tipo telescópico producto de la propagación del frente de ebullición hacia zonas de mayor profundidad, durante episodios de alta permeabilidad vertical e importante flujo de fluidos (Simmons y Browne 2000).

Por último, la complejidad de las relaciones texturales encontradas en las muestras estudiadas puede interpretarse de acuerdo a lo expresado por Buchanan (1981) como consecuencia de la caída episódica de la presión debida a los reiterados pulsos de fracturamiento y a los procesos de ebullición den-

tro del sistema hidrotermal.

Relación entre la estructura regional y la mineralización

La actitud ONO de faja de alteración Central II es coincidente con las estructuras transtensivas vinculadas a la relajación postorogénica sanrafaélica que caracterizan a la sección superior del Grupo Choiyoi (Japas y Kleiman 2004). Si bien no existen edades radiométricas de esta mineralización, es posible, en base al control estructural y a su estrecha relación espacial con la Formación Cerro Carrizalito, atribuirla al Pérmico superior - Triásico. Por esta razón, consideramos que la manifestación Central II es comparable en edad y génesis con el depósito epidermal de baja sulfuración El Pantanito (Rubinstein *et al.* 2001, Rubinstein y Gargiulo 2005).

CONCLUSIONES

El análisis textural y mineralógico de la zona de alteración Central II permite establecer la existencia de un sistema epidermal de baja sulfuración de tipo adularia-sericita cuyo nivel de exposición actual se encuentra dentro de la paleozona de ebullición ascendente.

Por otro lado, las diferentes morfologías de adularia reconocidas en las venas sugieren que se formaron como respuesta a distintas condiciones de cristalización. Así, la adularia sub-rómbica, de estructura interna relativamente ordenada, refleja que se ha formado en condiciones de cristalización lenta y durante la primera ebullición en sectores más profundos del sistema epidermal, donde la permeabilidad de la roca de caja era baja. En contraste con esto, la adularia rómbica, de estructura interna más desordenada, implica condiciones de cristalización mucho más rápidas, en un ambiente más somero, donde la mayor permeabilidad de la roca de caja facilita la ebullición violenta que da lugar a cambios rápidos en las condiciones del sistema. La adularia pseudo-acicular ha sido inferida como producto de reemplazo pseudomórfico de carbonato, proceso que también se genera durante la ebullición violenta y sostenida de los fluidos ascendentes dentro del sistema epidermal.

A su vez, el desarrollo de adularia con morfologías rómbica y pseudo-acicular vinculadas a diferentes texturas de cuarzo hidrotermal son buenos indicadores de mineralizaciones auríferas, por lo cual, si bien las anomalías de metales preciosos obtenidas en el análisis químico no son significativas, no se descarta que puedan encontrarse en estudios futuros.

De esta manera, el hallazgo de esta nueva manifestación epidermal de baja sulfuración, Central II, junto con el depósito El Pantanito confirman el carácter favorable de la sección superior del ciclo magmático Choiyoi como objetivo de exploración para este tipo de mineralizaciones epidermales en el ámbito del Bloque de San Rafael.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Dra. Marta Godeas por las determinaciones efectuadas con espectrometría de reflectancia SWIR en las muestras con arcillas. También agradecemos a los árbitros, Dra. Laura Kleiman por sus constructivos aportes sobre la geología regional y la Dra. Magdalena Koukharsky por sus acertadas sugerencias. Este trabajo fue realizado dentro del marco del programa de investigación geológico-minero del Servicio Geológico Minero Argentino, financiado conjuntamente con el Banco Mundial (Proyecto PASMA).

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Buchanan, L. J. 1981. Precious metal deposits associated with volcanic environments in the Southwest. En Dickinson, W. R. and Payne, W.D. (Eds.) Relations of tectonics to the ore deposits in the South Cordillera. Arizona Geological Society Digest 14: 237-262.
- Carpio, F., Mallimacci, H., Rubinstein, N., Salvarredi, J., Sepúlveda, E., Centeno, R., Rosas, M. y Vargas, D. 2001. Metalogía del Bloque de San Rafael, Mendoza. Servicio Geológico Minero Argentino, Serie Contribuciones Técnicas 20, 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 (inédito) 297 p., La Plata.

- Delpino, D., Pezzutti, N., Godeas, M., Donnari, E., Carullo, M y Núñez, E. 1993. Un cobre porfírico paleozoico superior en el centro volcánico San Pedro, distrito minero El Nevado, Provincia de Mendoza. *Comptes Rendus XII ICC-P 1*: 477-490, Buenos Aires.
- Dessanti, R. N. 1956. Descripción geológica de la Hoja 27c, Cerro Diamante, provincia de Mendoza. *Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 85*, 79p., Buenos Aires.
- Dong, G., Morrison, G. W. y Jaireth, S. 1995. Quartz textures in epithermal veins, Queensland - Classification, origin and implications. *Economic Geology* 90 (6): 1841-1856.
- Dong, G. y Morrison, G. W. 1995. Adularia in epithermal veins, Queensland: morphology, structural state and origin. *Mineralium Deposita* 30: 11-19.
- Fuschini, M. 1968. Informe último Área de Reserva N°26. Zona: Infiernillo. Plan Cordillerano, Dirección General de Fabricaciones Militares.
- González Díaz, E. F. 1972. Descripción de la Hoja geológica 27d, San Rafael, provincia de Mendoza. *Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 132*, 127p., Buenos Aires.
- Japas, M. S. y Kleiman, L. E. 2004. El ciclo Choiyoi en el bloque San Rafael (Mendoza): de la orogénesis tardía a la relajación mecánica. *Revista de la Asociación Geológica Argentina, Serie D, Publicaciones Especiales* 7: 89-100.
- Kleiman, L. E. 1993. El volcanismo permo-triásico y triásico del Bloque San Rafael (provincia de Mendoza): su potencial uranífero. *12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas* 5: 284-293. Mendoza.
- Kleiman, L. E. 1999. Mineralogía y petrología del volcanismo permo-triásico y triásico del Bloque de San Rafael en el área de Sierra Pintada, provincia de Mendoza, y su relación con las mineralizaciones de uranio. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires (inédito) 286 p., Buenos Aires.
- Kleiman, L. E. 2002. Magmatism and tectonic evolution of the Choiyoi and Puesto Viejo volcanics (Late Paleozoic-Early Mesozoic) at 34-35°S Latitude, San Rafael, Mendoza Argentina. *15° Congreso Geológico Argentino (Santa Cruz), Actas* 1: 15-16.
- Kleiman, L. E. y Salvarredi, J. A. 1999. Triassic bimodal volcanism in the San Rafael Massif, Mendoza: The Puesto Viejo Formation. *14° Congreso Geológico Argentino (Salta), Actas* 1: 101.
- Kleiman, L. E. y Salvarredi, J. A. 2001. Petrología, geoquímica e implicancias tectónicas del volcanismo triásico (Formación Puesto Viejo), Bloque San Rafael, Mendoza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 56: 559-570.
- Llambías, E. J., Kleiman, L. E. y Salvarredi, J. A. 1993. El magmatismo gondwánico. En: *Geología y Recursos Naturales de Mendoza. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos (Mendoza), Relatorio* 53-64.
- Malvicini, L. y Delpino, D. 1989. Metalogénesis de los complejos riolíticos de la provincia geológica sanrafaelino pampeana y la comarca norpatagónica, Argentina. *Procesos metalogénicos. Publicación de la Universidad Nacional de Tucumán, Serie Correlación Geológica* 3: 63-82.
- Moreno Peral, C. A. y Salvarredi, J. A. 1984. Interpretación del origen de las estructuras anticlinales del Pérmico inferior en el Bloque de San Rafael, provincia de Mendoza. *9° Congreso Geológico Argentino (Río Negro), Actas* 2: 396-413.
- Núñez, E. 1979. Descripción geológica de la Hoja 28d, Estación Soitué, provincia de Mendoza. *Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín* 166, 67p., Buenos Aires.
- Ramos, V. A. 1993. Interpretación tectónica. En: *Geología y Recursos Naturales de Mendoza. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos (Mendoza), Relatorio* 257-266.
- Rubinstein, N., Carpio, F. y Mallimacci, H. 2000. La zona de alteración Las Chilcas, provincia de Mendoza. En Schalamuck, I., Brodtkorb, M. y Etcheverry, R. (Eds.) *Mineralogía y Metalogénia*: 454-456.
- Rubinstein, N., Carpio, F. y Mallimacci, H. 2001. El depósito epitermal de El Pantanito, provincia de Mendoza, Argentina. *Revista del Instituto de Geología y Minería, Universidad Nacional de Jujuy*, 14 (1): 59-61.
- 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 (Santa Cruz), Actas* 2: 263-266.
- Rubinstein, N., Carpio, F. y Mallimacci, H. 2002 b. La zona de alteración del Cerro Tres Hermanos, Mendoza, Argentina. En Brodtkorb, M., Koukharsky, M. y Leal, P. R. (Eds.) *Mineralogía y Metalogénia*: 419-420.
- 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 (1): 96-103.
- Rubinstein, N., Ostera, H., Mallimacci, H. y Carpio, F. 2004. Lead isotopes from gondwanic ore polymetallic vein deposits, San Rafael Massif, Argentina. *Journal of South American Earth Science* 16 (7): 595-602.
- Sepúlveda, E., Carpio, F., Zanettini, J.C., Regairaz, M. y Zarate, M. 2001. Hoja Geológica 3569-II, San Rafael. *Servicio Geológico Minero Argentino. Buenos Aires. En prensa.*
- Simmons, S. F. y Browne, P. R. L. 2000. Hydrothermal Minerals and Precious Metals in the Broadlands-Ohaaki Geothermal System: Implications for understanding Low-Sulfidation Epithermal Environment. *Economic Geology* 95 (5): 971-999.

Recibido: 19 de octubre, 2006

Aceptado: 01 de junio, 2007