

CARACTERÍSTICAS DE UN YACIMIENTO EPITERMAL SOMERO EN EL MACIZO DEL DESEADO, PATAGONIA

Miguel Del BLANCO¹, Ricardo ETCHEVERRY^{1,3}, Daniela MARCHIONNI¹, Mario TESSONE¹ y Clemente RECIO²

¹ Instituto de Recursos Minerales, FCNYM, Universidad Nacional de La Plata, La Plata. Email: mdlblanco@inremi.unlp.edu.ar.

² Servicio General de Análisis de Isótopos Estables, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca, España

³ CONICET

RESUMEN

En este trabajo se exponen las principales características de un área portadora de mineralización epitermal, localizada en el sector de las estancias San Pedro y La Evelina, porción central del macizo del Deseado. Estas concentraciones minerales, constituidas por venas y vetillas de cuarzo con altos contenidos de Mn, Fe, Sb, Tl, Hg y As, representan una tipología de depósitos con escasos precedentes en esta provincia geológica. Los estudios geoquímicos, microtermométricos, mineralógicos y de isótopos estables indican para estos depósitos una posición estructuralmente alta dentro del sistema epitermal.

Palabras clave: *Mineralización, Epitermal, Inclusiones fluidas, Isótopos estables.*

ABSTRACT: *Characteristics of a shallow epithermal mineralization in the Deseado Massif, Patagonia.* In this contribution we present the principal characteristics of an area with epithermal mineralization located near Estancias San Pedro and La Evelina, in the central portion of the Deseado Massif. These mineral concentrations, constituted by quartz veins and veinlets, and with high amounts of Mn, Fe, Sb, Tl, Hg y As, represent an ore type with only a few precedents in this geological province. The geochemical, microthermometrical, stables isotopes and mineralogical studies revealed for these deposits a structurally high position inside the epithermal system.

Keywords: *Epithermal mineralization, Fluid inclusions, Stable isotopes.*

INTRODUCCIÓN

El macizo del Deseado, en el sector austral de Argentina, ha sido objeto en los últimos años de estudios orientados a la prospección y exploración de depósitos cuarzo-auríferos de tipo epitermal. Actualmente, las áreas de Cerro Vanguardia, Manantial Espejo, Mina Marta y San José (Huevos Verdes) son importantes yacimientos en explotación, que contribuyen sustancialmente a la producción de oro-plata del país. Durante los últimos años el personal del Instituto de Recursos Minerales de la UNLP y distintas empresas mineras han efectuado relevamientos geológico-mineros en distintos sectores del macizo del Deseado, que permitieron definir los prospectos La Josefina, La Manchuria, El Dorado-Monserrat, Manantial Espejo, etc. (Del Blanco *et al.* 1994, Schalamuk *et al.* 1995 y 1997, Tessone y Del Blanco 1998, entre otros). Estudios de detalle realizados en estas áreas permitieron caracterizarlas y definir a esta comarca como una provincia auro-ar-

gentífera (Schalamuk *et al.* 1999a), integrada por depósitos de tipo adularia-sericita (Heald *et al.* 1987) o de baja sulfuración (Hedenquist 1987).

En el área de las Estancias San Pedro - La Evelina (*SP-LEv*), localizada entre las coordenadas 2.461.000 a 2.470.000 este y 5.648.000 a 5.653.000 norte, faja 2, se han hallado mineralizaciones metalíferas vetiformes, con texturas bandeada y coliforme, generadas por la alternancia de minerales de Fe y Mn, junto a calcedonia y ópalo, que indican una tipología de depósito poco frecuente en el macizo del Deseado. Se realizaron estudios mineralógicos, microtermométricos, isotópicos y análisis geoquímicos sobre muestras de las vetas y rocas encajantes. Los resultados de los análisis químicos revelaron la presencia de anomalías en elementos rastreadores como As, Sb, Tl y Hg.

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

El macizo del Deseado (De Giusto *et al.*

1980) es una región morfoestructural localizada en la porción central de la provincia de Santa Cruz. Comprende un área de unos 60.000 km², en donde el volcanismo jurásico, de tipo calcoalcalino y bi-modal, representa el episodio de mayor envergadura dentro de la historia geológica de la comarca. Esta actividad magmática se asocia a fenómenos extensionales vinculados al *rifting* que se originó con la apertura del océano Atlántico (Uliana *et al.* 1985). Esta tectónica persiste durante todo el Jurásico generando inicialmente eventos epi-piroclásticos de la Formación Roca Blanca, seguidos por la formación de un amplio campo volcánico de composición intermedia a básica correspondiente a la Formación Bajo Po-bre. Este último está estrechamente relacionado a un complejo volcánico-piroclástico-sedimentario de naturaleza ácida a mesosilícica denominado Grupo Bahía Laura (Formaciones Chon Aike y La Matilde, Lesta y Ferello 1972) o Complejo Chon Aike (Pankhurst *et al.* 1993).

Las manifestaciones de este volcanismo

se encuentran en gran parte enmascaradas por derrames basálticos más modernos y afectados por fenómenos de fallamiento y erosión, lo que dificulta la interpretación de la evolución geológica de esta comarca. Resulta complejo, con la información existente, reconstruir las formas volcánicas originales; sin embargo, en algunos sectores, se ha podido reconocer la presencia de domos lávicos ácidos y cuerpos subvolcánicos (Tessone y Del Blanco 1998). Vinculados a estos episodios póstumos se desarrollaron sistemas hidrotermales que han generado las alteraciones y mineralizaciones reconocidas. Estas mineralizaciones se alojan principalmente en terrenos de edad jurásica de las Formaciones Bajo Pobre y Chon Aike. Sin embargo están presentes también en sedimentitas pérmicas y en granitoides liásicos de la Formación La Leona.

La mineralización epitermal de Au y Ag, se presenta generalmente en vetas y *stockworks*, acompañada de cuarzo, calcedonia, ópalo, baritina, calcita, adularia y piritita, subordinados. Los metales preciosos se distribuyen en forma irregular y ocasionalmente a modo de clavos y están acompañados por una escasa proporción de metales base (Schalamuk *et al.* 1999a). Entre las alteraciones hidrotermales se destaca la presencia de silicificación, sericitización, piritización, adularización, argilización y propilitización, sobreimpuestas a las rocas encajantes, en proximidad a los sectores mineralizados. La fracturación de las rocas efusivas-piroclásticas generó zonas de excelente permeabilidad, que favorecieron el desarrollo de circuitos hidrotermales, con la formación de concentraciones de metales preciosos. De acuerdo a Ríos *et al.* 1999 (en Schalamuk *et al.* 1999a) los datos de inclusiones fluidas, relaciones isotópicas y observaciones mineralógicas sugieren que las soluciones hidrotermales tienen una importante componente meteórica, con temperaturas $\leq 300^{\circ}\text{C}$ y salinidades bajas. Sobre la base de la interpretación de datos radimétricos efectuados sobre illitas y adularias parcialmente argilizadas

(Arribas *et al.* 1996) se postuló una edad jurásica (142 a 152,4 Ma) para la mineralización. Más recientemente Fernández *et al.* (1999) realizan en "Josefina" nuevas dataciones Rb/Sr en rocas ignimbríticas alteradas hidrotermalmente y registran una edad de 156+2 Ma, vinculándose la mena a episodios tardíos del volcanismo de la comarca y postulándose además que ambos procesos tuvieron lugar en un intervalo relativamente corto.

GEOLOGÍA LOCAL

En la zona de estudio (Fig. 1) fueron reconocidas las siguientes unidades: La Formación Bajo Pobre (Lesta y Ferello 1972) aflora en la franja centro meridional del área. La coloración predominante es castaña oscura a negruzca en superficie de erosión y castaña a rosada en corte fresco, presentando abundantes oquedades en gran parte de los afloramientos. Su textura es porfirica, con presencia de fenocristales de plagioclasas y mafitos muy desferriados (ex anfíboles) en una matriz feldespática de grano fino, con textura pilotáxica. Esta facies es de composición intermedia (dacítica). La fluidalidad de esta unidad sólo se manifiesta en forma mesoscópica en unos pocos afloramientos del sector sudoeste. En algunos sitios esta unidad presenta una textura brechosa monolítica, compuesta por clastos angulosos a subangulosos de hasta 30 cm de diámetro, inmersos en una matriz tobácea.

La Formación Chon Aike (Stipanovic y Reig 1957) aparece en el sector central y noroccidental del área, con facies lávicas y piroclástico-sedimentarias, de composición riolítica. Las lavas, de tonalidades rosadas, grisáceas en corte fresco, exhiben fluidalidad muy marcada, con escasos fenocristales de cuarzo y feldespato alcalino, inmersos en una matriz vítrea, con un conspicuo desarrollo de texturas esferulíticas. En algunas zonas esta unidad es prácticamente afírica, e incluso vitrofírica. En el sector nororiental se destaca la presencia de un domo lávico (Fig. 2) de unos 300 metros de diámetro, con un flu-

jo vertical marcado y frecuentes facies autobrechadas. Dicho cuerpo está limitado al norte y al este por brechas polimícticas, unos 300 metros al oeste del grupo de vetas Yanina. Estas vetas se alojan en lavas autobrechadas y brechas con rumbo general noroeste, posiblemente relacionadas con la irrupción del domo.

Las unidades piroclástico-sedimentarias se categorizaron informalmente como I, II y III. La primera de ellas presenta mayor grado de soldamiento, aflora sólo en el extremo noreste del área (Fig.1).

La ignimbrita II se caracteriza por el desarrollo conspicuo de texturas esferulíticas y ocasionales geodas de cuarzo, conformando bancos muy bien definidos, con inclinación suave al sudeste. En determinados sectores se la observa cubriendo a la Formación Bajo Pobre.

La ignimbrita III es de carácter pumíceo, siendo además receptora de silicificaciones muy intensas, a veces casi totales, de forma y distribución irregulares, emplazadas principalmente al oriente de la zona en estudio.

Por otra parte, en el sector sudoriental se destaca la presencia de unidades piroclástico-sedimentarias representadas por tobas y tufitas asignables a la Formación La Matilde (Stipanovic y Reig 1957), que se intercalan y/o interdigitan con mantos ignimbríticos de la Formación Chon Aike. Las unidades superiores de estas formaciones tienen una inclinación de unos 10° al sudeste.

Por encima, en aparente discordancia erosiva a angular de pocos grados, se desarrolla un conglomerado fluvial polimíctico, con clastos subredondeados a redondeados de material principalmente ignimbrítico y lávico, en menor medida de la Formación Bajo Pobre, que podría tentativamente asignarse al conglomerado de base de la Formación Bajo Grande de edad jurásico tardía a cretácica temprana (Fig. 3). En el centro-norte del área considerada se identificaron coladas basálticas de edad cuaternaria asignadas al Basalto La Angelita, que cubren a las unidades anteriormente descriptas y conforman un relieve mesetiforme.

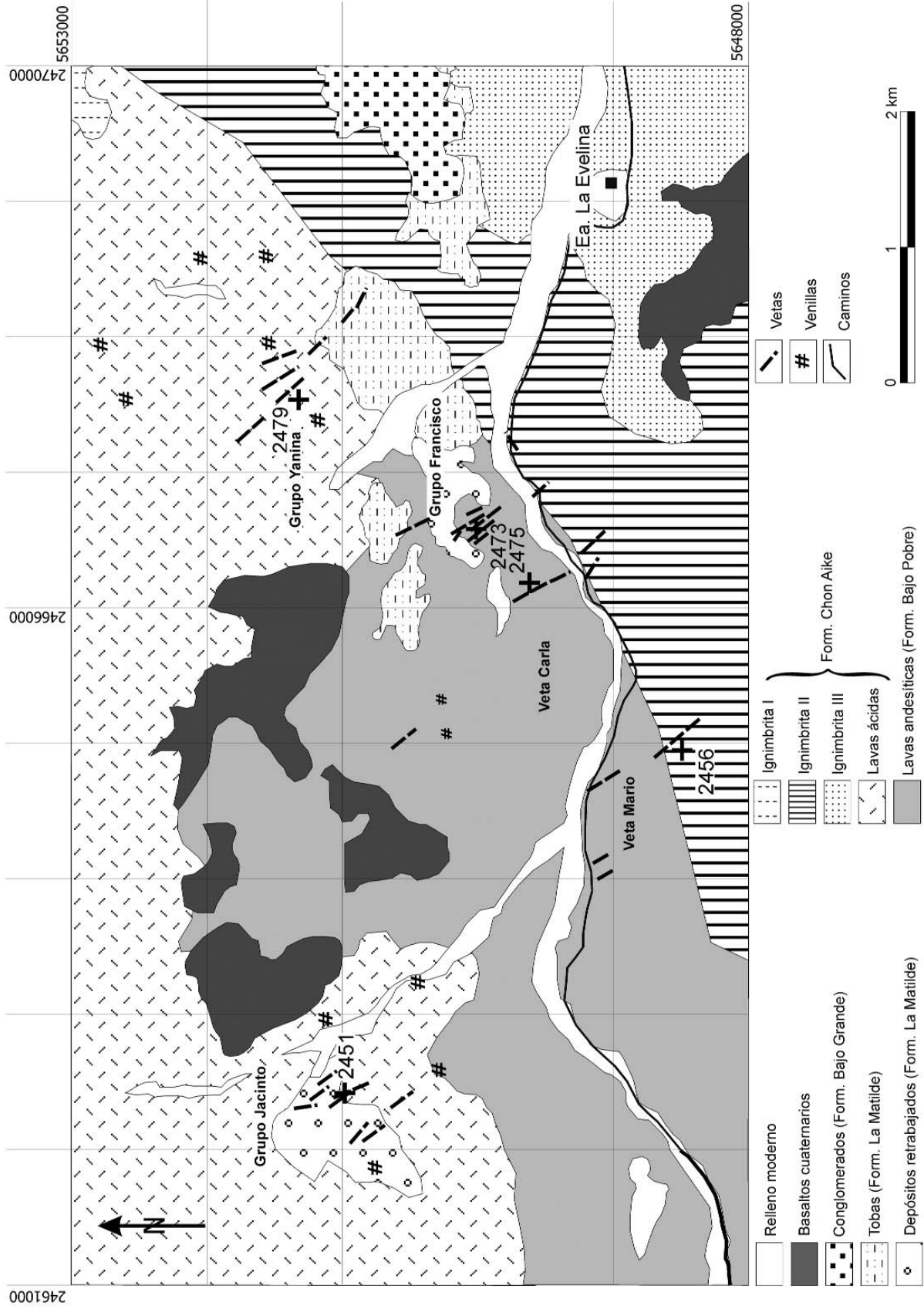


Figura 1: Mapa geológico simplificado del área de San Pedro-La Evelina, macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz.



Figura 2: Domo riolítico, visto desde el norte. Las vetas y vetillas afloran en sus laterales y tienen una corrida general nor-oeste



Figura 3: Conglomerado de base de la Formación Bajo Grande. Se observan clastos de composición polimítica, muy redondeados, con escasa matriz. Suprayacen a tobas de la Formación La Matilde.

ALTERACIONES

Métodos de estudio

La aplicación del análisis de imágenes multispectrales TM de LANDSAT-5 y ETM+ de LANDSAT-7, a través de la aplicación de metodologías específicas de tratamiento digital, reveló la existencia, en varios sectores del área, de anomalías espectrales, que se consideraron indicativas de la presencia de alteraciones hidrotermales. Estas anomalías fueron confirmadas durante los trabajos de campo y mediante las determinaciones mineralógicas realizadas mediante estudios microscópicos y de difracción de rayos X,

como áreas de alteración hidrotermal, a veces vinculadas a estructuras mineralizadas.

Los estudios de rayos X se realizaron sobre muestra total y fracción arcilla; los mismos fueron analizados en un equipo Phillips Pw 1710 provisto de tubo de cobre $K\alpha$, filtro de níquel y a 40 Kv y 20 mA de tensión.

Las alteraciones reconocidas fueron de distinto tipo: silicificación, presente bajo la forma vetillas y reemplazos masivos; argilización y propilitización.

a) *Silicificación:* Cabe mencionar la presencia de reemplazos masivos, que afectan a niveles ignimbríticos o a horizontes tobá-

ceos finamente laminados, en el sector centro-este del área.

b) *Argilización-propilitización:* Los argilominerales fueron estudiados a partir de la preparación de muestras de roca total y orientadas (fracción menor a 2μ) con ejecución de preparados normales, glicolados y calcinados.

Las alteraciones de las rocas de caja de estas estructuras son moderadas, con presencia de esmectitas, derivadas de la alteración de feldespatos de la Formación Bajo Pobre (Tessone y Etcheverry 1998) y cuarzo-adularia en las proximidades de las estructuras vetiformes. En el cuerpo dómico de la Formación Chon Aike ha sido reconocida caolinita (Cuadro 1).

La alteración de tipo propilitico es la de mayor alcance, ya que no sólo se limita a pocos metros de las estructuras vetiformes.

MINERALIZACIONES

Las estructuras observadas en la imagen satelital marcan una orientación preferencial en el rango de $N330-360^\circ$ coincidiendo con las estructuras mineralizadas medidas en el campo que presentan orientaciones en el mismo intervalo. La mayoría de los valles presentan asimismo una alineación en este sentido. Estas orientaciones se encuadran dentro del conjunto principal de fracturación del Sistema El Tranquilo (Panza 1982) y del Sistema Río Pinturas (de Barrio 1989).

En general la orientación de estas estructuras es noroeste, localmente adquieren una orientación meridional. Sus inclinaciones varían desde subverticales hasta 65° tanto al este como al oeste, que inclusive se hacen evidentes en una misma estructura. Asimismo, en algunos sectores se observa que a partir de una estructura central (principal) se desprenden ramificaciones de poca continuidad, como acontece en particular en el grupo de vetas Francisco.

En el sector se han reconocido varias estructuras silicificadas, que de oeste a este son (Fig. 1): Grupo Jacinto (4 vetas principales y otras menores), Veta Gabriel,

Veta Carla (y estructuras menores subparalelas emplazadas al este), Grupo Francisco (10 vetas principales y menores subparalelas), Veta Mario (Figs. 4 y 5) y Grupo Yanina (4 vetas principales y otras menores).

El total de la longitud de las estructuras es de 4.150 m en su sector principal, las que sumadas a fajas de vetillas y estructuras menores superan los 6.000 metros. Individualmente presentan longitudes de entre 100 y 300 m, con máximos de 800 metros. Sus potencias están frecuentemente comprendidas en un rango de 1 a 2,50 m, con máximos de cinco metros.

Estas estructuras se emplazan mayoritariamente en la Formación Bajo Pobre, en menor medida se incluyen en unidades lávicas de la Formación Chon Aike y sus brechas y también, en caso de aquellas correspondientes al grupo Yanina y Jacinto, varias de ellas se alojan en unidades piroclástico-sedimentarias que corresponden a facies retrabajadas, de variada granulometría, predominando litoclastos de la Formación Bajo Pobre (Formación La Matilde).

Observaciones meso y microscópicas, complementadas por análisis de rayos X permitieron identificar en las vetas descritas las siguientes especies minerales: cuarzo, que aparece con distintas texturas: esencialmente macizas, brechosas, y en raras ocasiones coliformes, pirolusita (polianita) y criptomelano (Figs. 4 y 5), entre las especies de manganeso, además de escasa pirita, hematita y limonitas. Asimismo, se identificó baritina y pseudomorfo de calcita (Fig. 6). Ocasionalmente se reconoció calcita, asociada a estructuras de cuarzo, con desarrollo de formas escalenoédricas, siendo en este caso un mineral póstumo en la paragénesis.

Se ha reconocido también la presencia de venillas discontinuas, con potencias individuales que van desde pocos milímetros hasta 2,5 centímetros. Las venillas se alojan en lavas de la Formación Chon Aike y en el cuerpo dómico citado anteriormente.

Las venillas están compuestas por cuarzo microcristalino (calcedonia) e incluso ópa-

CUADRO 1: Tipos de alteraciones identificadas en las distintas estructuras mineralizadas (V) y rocas de caja (RC) próximas a las mineralizaciones.

Muestra	DRX = Muestra total en polvo / Muestra orientada (normal, glicolada, calcinada)
5 (RC)	Sericita/illita > esmectita > qz y feldspato, impurezas de caolinita
7(RC)	Qz > feldspato
9 (RC)	Caolinita > sericita/illita > qz, impurezas feldspato
2488 (V)	Caolinita > feldspato, impurezas de qz
2405 (V)	Esmectita >> caolinita > feldspato, impurezas de qz
122 (V)	Caolinita > Interstratificado Sm - Cl > feldspato, impurezas qz e illita
2437 (RC)	Clorita (Fe) > Interstratificado Sm-Cl > Material illítico (Sm - l) > feldspato y qz
2474 (V)	Feldspato > Interstratificado Sm-Cl > caolinita > qz, impurezas de illita
2421	Feldspato, qz
2464 (V)	Caolinita > feldspato > qz, impurezas de illita
2452 (V)	Caolinita > feldspato > qz

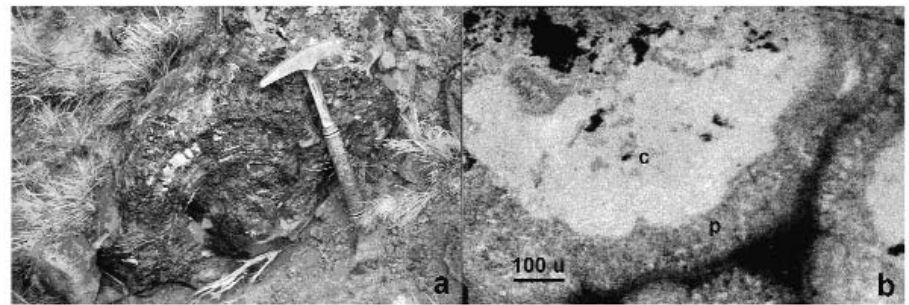


Figura 4: Texturas: a) bandeada (calcedonia-ópalo) y b) coliforme (c-criptomelano; p-pirolusita).



Figura 5: Afloramiento de veta Mario, sector central. Crestones silicificados resistentes a la erosión.

lo. En ocasiones se observa cuarzo de grano grueso, con textura en peine. En menor medida se identificó adularia rómbrica (Fig. 6), la cual aparece rellenando oquedades de la roca de caja de las vetas de la región central y en venillas, asociada con cuarzo sacaroide, en el grupo de vetas ubicadas al noreste del área estudiada (grupo Yanina).

GEOQUÍMICA

Métodos de estudio

El análisis geoquímico del área se realizó sobre un total de 117 muestras de mineralizaciones y 13 de rocas alteradas que conforman las cajas de las vetas portadoras de venillas de cuarzo más óxidos de Mn y Fe. Todos los muestreos fueron

efectuados en esquistos superficiales y se analizaron en los laboratorios ACME (Vancouver, Canadá) por el método ICP y Digestión por Agua Regia.

El tratamiento estadístico se realizó para dos poblaciones muestrales: P1 (muestras de veta) y P2 (muestras de roca alterada). Los elementos considerados para realizar una interpretación del comportamiento geoquímico del área son: Au, Ag, As, Sb, Hg, Tl, W, Fe, Mn, Cu, Pb, Zn, Co, Ni, Mo y V (Cuadros 2 y 3).

Aplicando en P1 y P2 el test de Kolmogorov-Smirnov y Coeficiente de Asimetría, se determinó que la distribución de los elementos considerados era de tipo log-normal, obteniéndose para cada uno de los elementos mencionados los estadísticos básicos y coeficientes de correlación.

Resultados

Los valores resultantes en los elementos de metales base (Pb, Zn y Cu) fueron normales para rocas ácidas, tanto para P1 como P2. Sólo en algunas muestras puntuales se establecieron anomalías en Zn y Pb.

Dada la conspicua presencia de óxidos de Mn en las áreas mineralizadas y, considerando a la geoquímica como una herramienta fundamental en la determinación genética de estos óxidos (Hewett y Fleischer 1960, Nicholson 1992), se efectuaron estudios para determinar el origen, relación y rol que juegan los minerales de Mn detectados con la señal geoquímica obtenida en la zona.

Para la determinación del origen de los óxidos de Mn se procedió a plotear, siguiendo el diagrama de Nicholson (1992), los contenidos en Co + Ni versus As + Cu + Mo + Pb + V + Zn en porcentaje en peso (Fig. 7), lo cual posibilita diferenciar el campo hidrotermal de otras génesis.

Para los mismos fines se determinó el coeficiente de correlación entre el As y Mn, de acuerdo a lo postulado por el autor citado, observándose una alta correlación entre ambos, para un nivel del 1% y confirmando entonces el origen hidroter-

CUADRO 2: Contenido de elementos indicadores de mineralización epitermal, en mineralizaciones de San Pedro-La Evelina y Hasbrouck Mountain.

Elementos evaluados	Alteración Cuarzo-Adularia			Hasbrouck Mountain	
	San Pedro (P1)			Mín. (ppm)	Máx. (ppm)
	Mín. (ppm)	Máx. (ppm)	Media (ppm)		
Au	0,0005	0,070	0,003	0,05	6,2
Hg	0,01	3,55	0,70	0,06	7,0
As	6,70	960	291,72	3,8	550
Sb	2,70	1070	123,6	1	280
Ag	0,01	15,6	2,44		
Tl	0,10	73,20	7,52	1,4	8,4
W	2,70	434,70	89,76	1	270
Mn	249	89.725,00	31.565,38	100	>5000

mal de los mismos.

Asimismo cabe destacar que la correlación existente entre el Mn y los elementos Ag, Sb, Hg, Tl, W, Mo, Cu, Zn y Co, es significativa para el mismo nivel considerado.

Los contenidos medios, máximos y mínimos en As, Sb, Hg, W, Tl, Ag y Au de P1 se presentan en el cuadro 2. En el mismo se comparan muestras de las zonas de alteración cuarzo-adularia de Hasbrouck Mountain (Berger y Silberman 1985) y las reconocidas en San Pedro-La Evelina. El primero de ellos consiste en un depósito vetiforme de Au-Ag en ganga silícea, de tipo *hot spring*, de emplazamiento somero con señal geoquímica similar a SPLev, con múltiples episodios de brechamiento hidrotermal, y genéticamente vinculado al emplazamiento de domos ácidos, de edad terciaria.

Cabe aclarar que en el cuadro precedente, las muestras de Hasbrouck Mountain incluyen materiales provenientes de sondeos mientras que en San Pedro-La Evelina son sólo de superficie, a lo que se podría atribuir las diferencias en los contenidos de Au. Es para destacar que los valores en oro de Hasbrouck Mountain se hacen significativos a profundidades de entre 60 y 70 metros (Berger y Silberman 1985).

Asimismo los valores de P2 también han tenido una distribución log-normal, exceptuando Sb y W. Si bien en la suite de elementos mencionados, los valores medios son sustancialmente menores, los mismos son considerados anómalos según se muestra en el cuadro 3.

CUADRO 3: Contenido en algunos elementos de las muestras de roca de caja.

Elementos evaluados	San Pedro (P2)		
	Mín. (ppm)	Máx. (ppm)	Media (ppm)
Au	0,001	0,018	0,008
Hg	0,03	2,53	0,18
As	11	174	59,89
Sb	10	93	50,07
Tl	0,1	1,9	0,34
W	3,8	36,4	14,88
Mn	47	5.031	1.443,33

Los valores de metales base (Pb y Zn) son elevados para el contenido normal de rocas ácidas, si bien éstos están ligeramente por debajo o por encima de las 100 ppm, respectivamente. Los de Cu, por el contrario, se presentan claramente empobrecidos, con un promedio inferior a las 25 ppm.

Notables son también los contenidos de Fe, de hasta 15,36%. Son significativos los tenores máximo y promedio en: As (hasta 960 ppm y 235 ppm), Sb (1070 ppm y 165 ppm), Hg (2,9 ppm y 0,70 ppm) y Tl (73,2 ppm y 6,16 ppm), que caracterizan a las porciones más someras de un sistema epitermal. En pocos casos se detectaron anomalías menores en metales base, que alcanzan a 900 ppm de Zn y 945 ppm en Pb (Cuadro 4).

INCLUSIONES FLUIDAS

Métodos de estudio

Se realizaron estudios de inclusiones fluidas sobre muestras de cuarzo provenientes de vetas y venillas. El estudio petrográfico y microtermométrico de inclusiones fluidas se practicó sobre pastillas do-

blemente pulidas (Goldstein y Reynolds 1994) utilizando un microscopio Nikon y una platina de calentamiento-enfriamiento Linkam THMS 600, que permite operar en un rango comprendido entre -180 °C y +600 °C, por una combinación de un sistema de circulación de nitrógeno líquido y una resistencia para calentamiento.

Análisis petrográfico: El estudio de las secciones pulidas reveló la existencia de in-

clusiones fluidas primarias, pseudo-secundarias y secundarias, siguiendo el criterio de Roedder (1984). De las mismas fueron seleccionadas para el análisis mi-

crotermométrico los dos primeros tipos. Las inclusiones fluidas primarias aparecen aisladas, dispuestas al azar (Fig. 8) o conformando arreglos tridimensionales

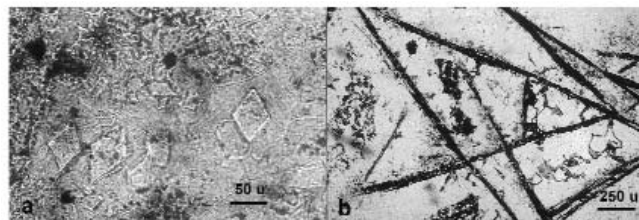


Figura 6: a) Adularia rómbica en base de cuarzo y b) pseudo-morfos de cuarzo sobre calcita lamelar. Ambas texturas evidencian procesos de ebullición.

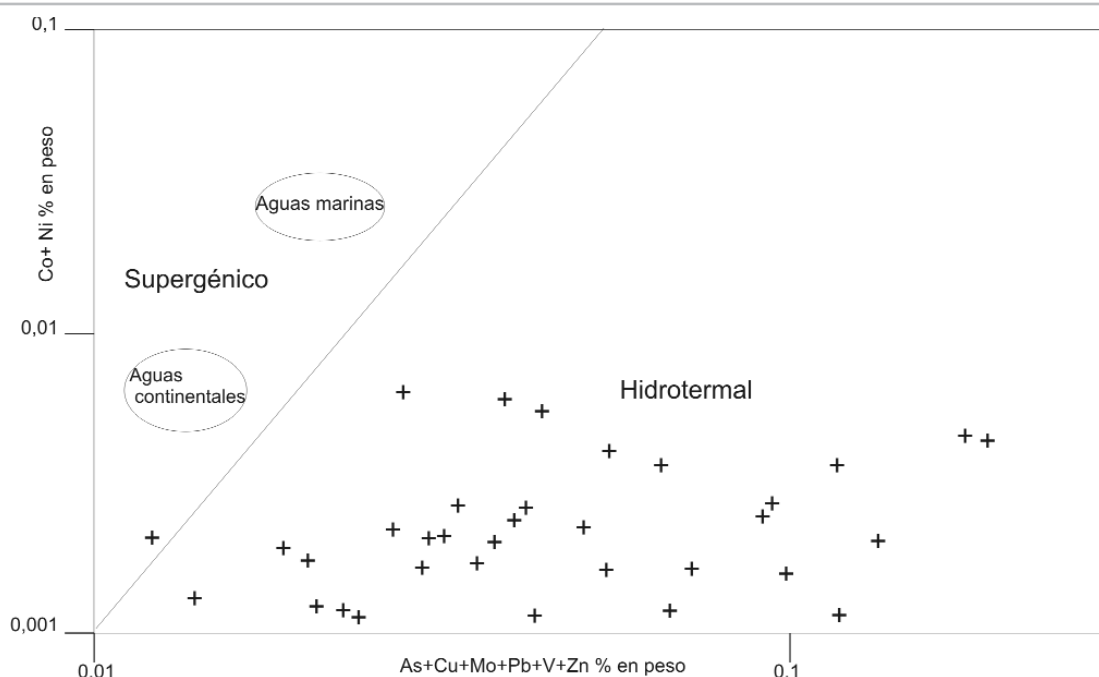


Figura 7: Origen de los ambientes de formación de los óxidos de manganeso, basado en relaciones de elementos metálicos (según Nicholson 1992).

CUADRO 4: Contenido de elementos indicadores de mineralización epitermal, en veta del área San Pedro*.

Sector	Au (ppb)	Ag ppm	As ppm	Cu ppm	Fe %	Mn %	Pb ppm	Sb ppm	Zn ppm	Hg ppm	Tl ppm	Co ppm	Ni ppm	Mo ppm	V ppm
Gr. Francisco															
Promedio (n=24)	1,2	1,5	136,5	35,8	2,0	2,0	42,3	147,9	105,2	0,8	0,7	10,3	8,1	6,2	42,8
máximo	2,6	9,3	960,9	70,8	5,2	5,5	81,7	303,0	290,0	2,9	1,8	28,8	9,8	13,1	116
Grupo Yanina															
Promedio															
(n= 23)	3,0	2,9	367,9	15,8	2,1	3,4	111,7	101,9	368,6	0,8	7,1	37,5	7,7	8,2	24,5
máximo	45,0	15,6	929,0	81,0	9,6	9,0	328,0	309,0	901,0	2,7	14,7	430	9,8	19,0	70
Veta Carla															
Promedio (n=18)															
máx	70,0	15,1	663,0	90,2	13,7	9,9	126,0	1070,0	628,0	1,1	7,9	38	13,4	27,5	328
Grupo Jacinto															
Promedio (n= 33)															
máx	27,8	8,7	837,0	54,0	10,3	3,4	945,0	784,0	423,0	3,6	73,2	83	11,5	7,6	84,1
Veta Mario															
Promedio															
(n= 19)	1,3	3,0	192,02	23,2	4,0	5,2	37,2	168,30	143,2	0,5	1,0	20,8	9,8	8,0	48,8
máx	6,0	10,6	371,00	52,7	15,4	8,2	116,5	658,00	248,0	2,3	3,4	32	16,4	10,4	92

*La Evelina (n= 117). Au en ppb, Fe y Mn en %, resto de los elementos en ppm.

aleatorios. En su mayoría son de formas irregulares, algunas semi-elongadas y, ocasionalmente, en forma de cristal negativo. El tamaño oscila entre 10 y 50 μm , llegando, en ocasiones, a medir hasta 150 μm . De acuerdo al número de fases presentes a temperatura ambiente, se determinaron dos tipos de inclusiones primarias: bifásicas (L+V) y monofásicas (L). Las inclusiones que predominan son las bifásicas, en las cuales la fase vapor se mantiene constante y en el orden del 5-10% del volumen total de la inclusión. No obstante hubo sectores en donde fueron observadas inclusiones bifásicas con diferentes porcentajes de fase vapor, producto de fenómenos de estrangulamiento.

Las inclusiones pseudo-secundarias están asociadas a planos de microfisuras que se originan conjuntamente al crecimiento cristalino. Se identificaron inclusiones bifásicas (L+V) y monofásicas líquidas. Presentan formas elongadas, globosas y tamaños que oscilan entre 5 y 15 μm . Aquí los fenómenos de estrangulamiento son más marcados, dando origen a una mayor cantidad de inclusiones líquidas.

Análisis microtermométrico: Durante la etapa de criometría las muestras fueron congeladas por debajo de los $-100\text{ }^\circ\text{C}$, no observándose ningún cambio característico de fase que revele la existencia de CO_2 . No obstante, Bodnar *et al.* (1985) y Hedenquist y Henley (1985), señalan que los fluidos presentes en este tipo de ambientes epitermales pueden contener peque-

ñas cantidades de gases ($<0,1\text{ m}$), no detectables por estudios petrográficos o microtermométricos.

Las temperaturas obtenidas a partir de la temperatura de fusión final de los cristales de hielo (T_{hielo}) oscilan entre $-0,5$ y $-1,5\text{ }^\circ\text{C}$, indicando salinidades comprendidas entre 0,88 y 2,0 % en peso equivalente de NaCl (Bodnar 1993). Las temperaturas de homogeneización obtenidas durante la etapa de calentamiento, varían entre 135 y $180\text{ }^\circ\text{C}$, con una media de $150\text{ }^\circ\text{C}$. En ninguna de las muestras analizadas han podido determinarse evidencias de ebullición.

ISÓTOPOS

Métodos de estudio

La extracción de oxígeno se efectuó en una línea de fluorinación convencional, según la metodología de Clayton y Mazyda (1963), utilizando una técnica de carga según Friedman y Gleason (1973) y empleando ClF_3 como reactivo (Borthwick y Harmon 1982). Las relaciones isotópicas $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ fueron determinadas en un espectrómetro de masas de fuente ga-

seosa, modelo SIRA-II, fabricado por VG-Isotech, equipado con "dedo frío", para análisis de muestras pequeñas y sistema múltiple de admisión de muestras. Las mediciones fueron realizadas en el Laboratorio de Isótopos Estables, Facultad de Ciencias, Salamanca, España.

Resultados obtenidos

Las determinaciones de isótopos de oxígeno se realizaron sobre muestras cuarzo, procedentes de los distintos grupos vetiformes reconocidos en el área San Pedro-La Evelina. Los valores obtenidos están expresados en la notación δ convencional respecto a SMOW y se exponen en el cuadro 5.

Para el cálculo del valor de oxígeno del fluido en equilibrio con el cuarzo se utilizó la ecuación de Matsuhisa *et al.* (1979). De los resultados surge un valor promedio de $\delta^{18}\text{O}$ (H_2O) de $-1,22$, compatible con las características de un fluido meteórico, perfectamente concordante con el contexto geológico de estas mineralizaciones.

CUADRO 5: Valores de $\delta^{18}\text{O}$ en cuarzo de distintas vetas del área SP-Lev y cálculo del valor de oxígeno del fluido, sobre la base de temperatura de inclusiones fluidas de las vetas y vetillas.

Muestra	Procedencia	$\delta^{18}\text{O}$	$T^\circ\text{ IF (media)}$	$\delta^{18}\text{O smow (H}_2\text{O)}$
2451	Gr. Jacinto	15,8	150	0,34
2456	V. Mario	18,9	150	3,33
2473	V. Carla	11,8	150	-3,59
2475	Gr. Francisco	13,2	150	-2,24
2479	Gr. Yanina	11,5	150	-3,96

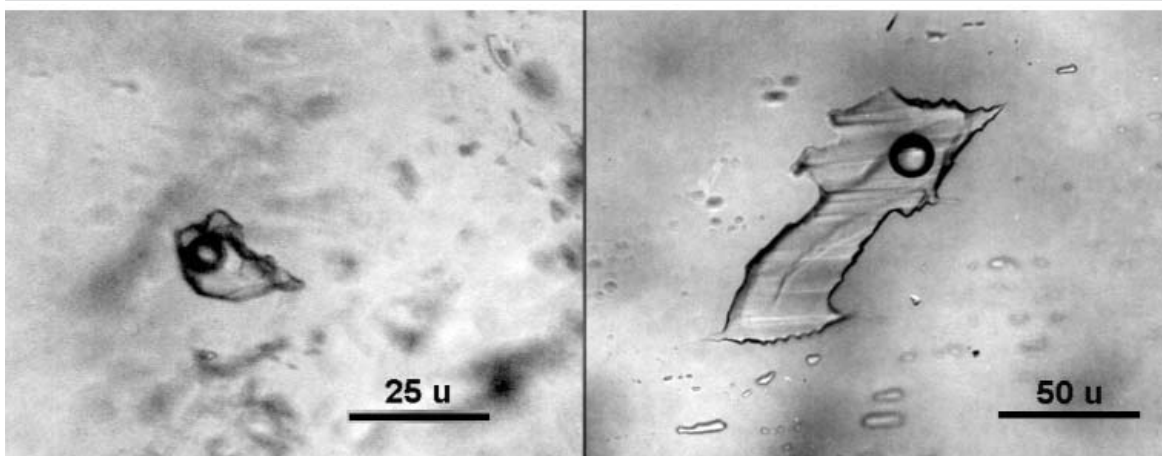


Figura 8: Microfotografías de inclusiones fluidas bifásicas en cuarzo procedentes de vetillas y cavidades en sector central de vetas.

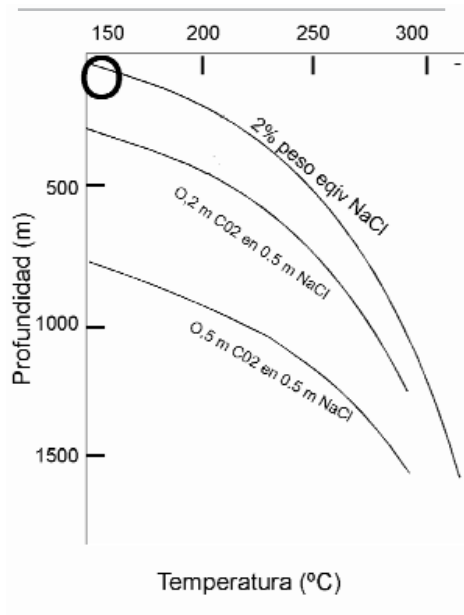


Figura 9: Relación entre temperatura y profundidad de ebullición para distintas concentraciones de CO_2 (Bodnar *et al.* 1985). El círculo indica el campo determinado en los estudios de San Pedro-La Evelina.

DISCUSIÓN

Las abundancia de calcedonia y ópalo formando texturas bandeadas y coloformes (White 2000 en Gemmell 2002), asociada a una alteración hidrotermal constituida por interestratificados clorita-esmectita, así como la presencia de escasa adularia, son indicativos de ambientes someros de depósitos epitermales tipo *hot spring* (Giles y Nelson 1982) y condiciones de fluidos neutras o alcalinas, con temperaturas del orden de los 150 grados (Hedenquist *et al.* 2000).

La alta correlación existente entre la suite de elementos rastreadores (As, Sb, Hg, Tl) y los óxidos de Mn es atribuida a la capacidad de absorción de cationes que tienen algunos minerales de Mn, bajo condiciones de precipitación neutras a alcalinas (Crerar *et al.* 1980). La ausencia de otras fases minerales portadoras de As, Sb, Hg, Tl confirma esta apreciación.

La anomalía geoquímica detectada en el área es significativa para As, Sb, Hg, Tl, W, Fe, Mn y en menor medida para Au y Ag. Los bajos tenores en metales base contribuyen a confirmar la posición estructuralmente alta dentro del sistema epi-

termal (Nash 1994). La baja correlación entre el Mn y el Fe, se atribuye a que entre los pH 3 a 8, el Mn^{++} y Fe^{+3} pueden separarse con un alto potencial redox (Hariya 1980), condiciones que se relacionan con la presencia de carbonato de calcio, como lo prueban los pseudomorfismos de minerales de Mn según calcita en el área de estudio.

Los datos aportados por los estudios microtermométricos (Marchionni *et al.* 2002), indicarían un sistema formado por H_2O y NaCl y temperaturas medias del orden de los 150°C, que marcarían una profundidad de inicio de la ebullición entre 40 y 50 metros (Fig. 9). Siguiendo a Bodnar *et al.* (1985) y Hedenquist y Henley (1985) las salinidades determinadas (0,88 a 2,0 % NaCl equivalente), no excluirían la posibilidad de que el sistema contenga pequeñas cantidades de CO_2 . Las bajas salinidades de las IF, así como los resultados de los isótopos $\delta^{18}\text{O}_{(\text{H}_2\text{O})}$ son compatibles con las características de un fluido meteórico, que se supone ha tenido fundamental importancia en el desarrollo del sistema hidrotermal desarrollado en SP-Lev.

CONCLUSIONES

En San Pedro-La Evelina se han identificado mineralizaciones con altos contenidos de manganeso que se ajustan a una posición estructuralmente alta dentro del sistema epitermal, al igual que en otras áreas del mundo: Hasbrouck Mountain, Estados Unidos, Berger y Silberman 1985; Wau Papua, Nueva Guinea, Webster y Mann 1984; Mina Martha, Nueva Zelanda, Nicholson (inédito); La Marcelina, (Fernández *et al.* 2000) y El Macanudo-El Mirasol, (Schalamuk *et al.* 1999b). Varios son los elementos que apoyan esta afirmación: a) las texturas reconocidas: bandeadas, coloformes y brechosas; b) la presencia de calcedonia y ópalo; c) la señal geoquímica: altas concentraciones de Tl, Hg, Sb y As y bajos contenidos de metales base y d) el tipo de alteración argílica presente (clorita-esmectítica). Todas estas evidencias son refor-

zadas por los resultados de los análisis microtermométricos e isotópicos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la empresa FOMICRUZ S.E. por la colaboración en los trabajos de campo y ejecución de análisis químicos de elementos minoritarios y traza del área en estudio.

A los árbitros, E. Domínguez y J. Ávila, por los comentarios y sugerencias brindadas, que contribuyeron a mejorar la calidad del manuscrito.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Arribas Jr., A., Schalamuk, I., de Barrio, R., Fernández, R. y Itaya, T. 1996. Edades radimétricas de mineralizaciones epitermales auríferas del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz, Argentina. 39° Congreso Brasileiro de Geología, Anales 7: 254-257, Salvador de Bahía.
- Berger, B. y Silberman, M. 1985. Relationships of trace elements patterns to geology in hot-spring-type precious-metal deposits. *Geology and Geochemistry of Epithermal Systems. Reviews in Economic Geology* 2: 233-247.
- Bodnar, R.J. 1993. Revised Equation and table for determining the freezing point depression of H_2O -NaCl solution. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 57: 683-684.
- Bodnar, R., Reynolds, T. y Kuhen, C. 1985. Fluids inclusions systematics in epithermal systems. *Reviews in Mineralogy* 2: 73-97.
- Crerar, D.A., Cormick, R.K. y Barnes, H.L. 1980. Geochemistry of manganese. An overview. En Varentsov, I.M. y Graselly, G. (eds.) *Geology and geochemistry of manganese*, Schweizerbart'sche Verlag 1: 293-334, Stuttgart.
- de Barrio R. 1989. Aspectos geológicos y geoquímicos de la Formación Chon Aike (Grupo Bahía Laura) en el noroeste de la provincia de Santa Cruz. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, (inédita), 173 p., La Plata.
- Del Blanco, M., Echavarría, L., Echeveste, H., Etcheverry, R., Tessone, M. y Mondelo, R. 1994. Estancia La Josefina, un nuevo prospecto aurífero en el Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz, Argentina. Encuentro In-

- ternacional de Minería, Secretaría de Minería de la Nación, Actas: 93-99, Buenos Aires.
- De Giusto, J.M., Di Persia, C.A. y Pezzi, E. 1980. Nesocratón del Deseado. En Turner, J.C.M. (ed.) Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias, 2: 1389-1430, Córdoba.
- Fernández, R., Andrada, P. y Alperín, M. 2000. Características geoquímicas de la manifestación tipo "hot-spring" La Marcelina, provincia de Santa Cruz. *Mineralogía y Metalogénia* 2000, INREMI, Publicación N°6: 121-128, La Plata.
- Fernández, R.R., Echeveste, H.J., Tassinari, C.C. G. y Schalamuk, I.B.A. 1999. Rb-Sr age of the La Josefina epithermal mineralization and its relation with host volcanic rocks, Macizo del Deseado, Santa Cruz province, Argentina. 2° South American Symposium on Isotope Geology, Servicio Geológico Minero Argentino, Anales 34: 462-465, Córdoba.
- Gemmell, J.B. 2002. Low and high sulfidation epithermal deposits: characteristics, genesis and exploration implications. 15° Congreso Geológico Argentino, Short Course, 125 p., El Calafate.
- Giles, D.L. y Nelson, C.E. 1982. Epithermal lode gold deposits of the circum-Pacific rim. American Association Petroleum Geologists, 3rd Circum-Pacific Energy Mineral Resources Conference (Honolulu), Transactions: 273-278.
- Goldstein, R. y Reynolds, T.J. 1994. Systematic of fluid inclusions in diagenetic minerals: Society for Sedimentary Geology (SEPM), Short-course 31, 199 p.
- Hariya, Y. 1980. On the geochemistry and formation of manganese oxide deposits. En Varentsov, I.M. y Graselly, G. (eds.) *Geology and geochemistry of manganese*, Schweizerbart'sche Verlag 1: 353-365, Stuttgart.
- Heald, P., Foley, N.K. y Hayba, D.O. 1987. Comparative anatomy of volcanic hosted epithermal deposits: acid-sulfate and adularia-sericite types. *Economic Geology* 82: 1-26.
- Hedenquist, J.W. 1987. Mineralization associated with volcanic-related hydrothermal systems in the Circum Pacific basin. 4th Circum-Pacific Energy and Mineral Resources Conference (Singapore, August 1986), Transactions: 513-524.
- Hedenquist, J. y Henley, R. 1985. The importance of CO₂ on freezing point measurements of fluids inclusions: Evidence from active geothermal systems and implications for epithermal ore deposition. *Economic Geology* 80: 1379-1406.
- Hedenquist, J.W., Arribas, A. y Gonzalez-Urien, E. 2000. Exploration for epithermal gold deposits. *Reviews in Economic Geology* 13: 245-278.
- Hewett, D.F. y Fleischer, M. 1960. Deposits of the manganese oxides. *Economic Geology* 55: 1-55.
- Lesta, P. y Ferello, R. 1972. Región extraandina de Chubut y norte de Santa Cruz. En Leanza, A. F. (ed.) *Geología Regional Argentina*, Academia Nacional de Ciencias: 601-653, Córdoba.
- Marchionni, D., Tessone, M., Del Blanco, M., Curci, M. y Etcheverry, R. 2002. Estudio de inclusiones fluidas de la mineralización epitermal de San Pedro-La Evelina, Macizo del Deseado, Santa Cruz. Reunión de Mineralogía y Metalogénia, Actas: 247-252, Buenos Aires.
- Matsuhisa, Y., Goldsmith, J. y Clayton, R. 1979. Oxygen isotopic fractionation in the system quartz-albite-anorthite-water. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 43: 1131-1140.
- Nash, J.T. 1994. Geochemical signatures of silver and gold deposits. Tonopah 1° x 2° Quadrangle, Nevada. Description and applications to exploration. U. S. Geological Survey Bulletin 2077: 1-46.
- Nicholson, K. 1992. Contrasting Mineralogical-Geochemical Signatures of Manganese Oxides: Guides to Metallogenesis. *Economic Geology* 87: 1253-1264.
- Pankhurst, R.J., Sruoga, P. y Rapela, C. 1993. Estudio geocronológico Rb-Sr de los Complejos Chon Aike y El Quemado a los 47°20' L. S. 12° Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 171-178, Mendoza.
- Panza, J. 1982. Descripción geológica de las Hojas 53e, Gobernador Moyano y 54e, Cerro Vanguardia, Provincia de Santa Cruz. Servicio Geológico Nacional, Secretaría de Minería (inédito), Buenos Aires.
- Roedder, E. 1984. Fluids Inclusions. Mineralogical Society of America. *Reviews in Mineralogy* 12, 644 pp.
- Schalamuk, I., Fernández, R. y Etcheverry, R. 1995. Gold-silver epithermal veins in the Macizo del Deseado, Argentina. Mineral Deposits, Third Biennial SGA Meeting, Proceedings: 385-388, Praga.
- Schalamuk, I., Zubia, M., Genini, A. y Fernández, R. 1997. Jurassic epithermal Au-Ag deposits of Patagonia, Argentina. *Ore Geology Reviews* 12: 173-186.
- Schalamuk, I.B., de Barrio, R.E., Zubia, M., Genini, A. y Echeveste, H. 1999a. Provincia au-roargentífera del Deseado, Santa Cruz. En Zappettini, E. (ed.) *Recursos Minerales de la República Argentina*, Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Anales 35 (2): 1178-1188, Buenos Aires.
- Schalamuk, I., Guido, D., de Barrio, R. y Fernández, R. 1999b. Hot-spring structures from El Macanudo-El Mirasol area, Deseado Massif, Argentina. En Standley C. *et al.* (eds.) *Mineral Deposits: Processes to Processing*, Balkema, 577-580, Rotterdam.
- Stipanovic, P. y Reig, A. 1957. El Complejo Porfirico de la Patagonia Extraandina y su fauna de anuros. *Acta Geológica Lilloana* 1: 185-297.
- Tessone, M. y Etcheverry, R. 1998. Alteraciones hidrotermales asociadas a algunos prospectos epitermales del Macizo del Deseado, Provincia de Santa Cruz, Argentina. 4° Reunión de Mineralogía y Metalogénia, Actas: 267-274, Bahía Blanca.
- Tessone, M. y Del Blanco, M. 1998. Mineralización epitermal en domos riolíticos de la Formación Chon Aike, Sector Central del Macizo del Deseado, Santa Cruz, Argentina. 10° Congreso Latinoamericano de Geología y 6° Congreso Nacional de Geología Económica, Actas 3: 94-99, Buenos Aires.
- Uliana, M., Biddle, K., Phelps, D. y Gust, A. 1985. Significado del Vulcanismo y extensión mesojurásicos en el extremo meridional de Sudamérica. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 40: 231-253.
- Webster, J.G. y Mann, A.W. 1984. The influence of climate geomorphology and primary geology on the supergene migration of gold and silver. *Journal Geochemistry Exploration* 22: 21-42.

Recibido: 12 de septiembre, 2008

Aceptado: 1 de marzo, 2009