

# Alteraciones hidrotermales superpuestas: Producto de fluidos de pH neutro y ácido en el cerro Guanaco, macizo del Deseado, Santa Cruz

Karina MYKIETIUK<sup>1</sup>, Raúl FERNÁNDEZ<sup>2</sup> y Francisco AZEVEDO<sup>3</sup>

1: CONICET-Instituto de Recursos Minerales, F.C.N. y M., U.N.L.P. 64 y 120, La Plata (CP 1900). Fax: (0221) 4225648.

E-mail: mykietiuk@yahoo.com

2: Instituto de Recursos Minerales, F.C.N. y M., U.N.L.P., C.I.C.B.A., 64 y 120, La Plata. E-mail: rfernand@inremi.unlp.edu.ar

3: IAMGOLD S.A., Julio A. Roca N°234, Mendoza. E-mail: fazevedo@iamgold.com.ar

**RESUMEN.** Relacionadas a las mineralizaciones epitermales de metales preciosos de la zona Cerro Guanaco, macizo del Deseado, se reconocieron alteraciones producidas por fluidos de pH neutro sobre las que se superpuso una alteración producto de fluidos de pH ácido. Los fluidos de pH neutro generaron una alteración argílica caracterizada principalmente por illita con algunos interestratificados de illita-montmorillonita y una propilítica con epidoto, calcita y clorita. Los fluidos de pH ácido generaron una zona de cuarzo poroso y una alteración argílica avanzada con la asociación mineralógica de diásporo, pirofilita, dickita, illita, illita-montmorillonita, caolinita y cuarzo. Teniendo en cuenta la morfología mantiforme de los cuerpos alterados por aguas ácidas junto con sus relaciones de corte con las alteraciones producto de aguas neutras, es posible interpretar a la alteración argílica avanzada como resultado de la circulación de aguas ácidas calentadas por vapor. La presencia de minerales que indican temperaturas del orden de los 250°C se atribuye a una actividad magmática tardía en el área.

Palabras claves: *Argílica, Propilítica, Argílica avanzada, Aguas calentadas por vapor.*

**ABSTRACT.** *Superposed hydrothermal alterations: Result of neutral and acidic pH fluids in Cerro Guanaco, Deseado Massif, Santa Cruz.* Epithermal precious metal mineralization is well developed in the Cerro Guanaco area, Deseado Massif. Two different suites of alteration have been recognized, one product of neutral fluids and the other of acid fluids. The neutral suite is characterized by the presence of argillic and propylitic alteration; while the acid suite is formed by advanced argillic alteration with diaspore, pyrophyllite, dickite, illite, illite-montmorillonite and quartz. Coupled with the evidence for the relatively shallow level of erosion in the area, and the alteration body of these zones of advanced argillic alteration, there is a relationship to steam-heated fluids descending fractures below a perched water table.

Key words: Steam-heated waters, Argillic, Propylitic, Advanced argillic alteration

## Introducción

En la región de la Patagonia extrandina conocida como macizo del Deseado, se desarrolla un extenso plateau de rocas volcanogénicas de edad Jurásica media a superior, donde se localizan numerosas manifestaciones epitermales, una de las cuales, Cerro Vanguardia, ha resultado un yacimiento de clase mundial (Schalamuk *et al.* 1997). Los depósitos se presentan en forma de vetas y enjambres de vetas de cuarzo portadoras de Au y Ag relacionadas a distintos tipos de alteración hidrotermal, entre las que predomina la silicificación y en menor proporción las alteraciones argílica (caolinita, esmectitas e illita), sericítica y propilítica. Las zonas alteradas se extienden desde unos pocos metros a unas decenas de metros adyacentes a las vetas de cuarzo (Schalamuk *et al.* 1997).

Una de las comarcas de interés por su potencialidad para albergar depósitos como los señalados lo constituye el área La Esperanza, en exploración por la empresa IAMGOLD, donde se encuentra el cerro Guanaco. Dicha área está situada en la porción central del macizo del Deseado y cubre una super-

ficie de 61 km<sup>2</sup>. En ella se han hallado diversas mineralizaciones de metales preciosos que, tanto por su localización como por sus características geológicas, fueron agrupadas por Mykietiuk *et al.* (2002a) en tres zonas denominadas: Cerro Tornillo, Vetas del Sur y Cerro Guanaco (Fig. 1).

En la zona del cerro Guanaco fueron definidas alteraciones argílica y propilítica asociadas, sobre las cuales se desarrolla una alteración argílica avanzada, que constituyen el motivo de esta comunicación. Aunque hasta la fecha no se han realizado dataciones radimétricas de la alteración hidrotermal, se la interpreta cronológicamente asociada al volcanismo activo durante el Jurásico medio a superior.

Sillitoe (2001) interpretó a la alteración argílica avanzada del cerro Guanaco como hipogénica asociada a un sistema de alta sulfuración con vetas de cuarzo marginales al sistema. Por el contrario, Hedenquist (2002) interpretó, sobre la base de evidencias que indican un nivel relativamente somero de erosión en el área, que estas zonas arrosariadas de alteración argílica avanzada están relacionadas a fluidos calentados por vapor que descendieron por fracturas debajo del nivel freático.

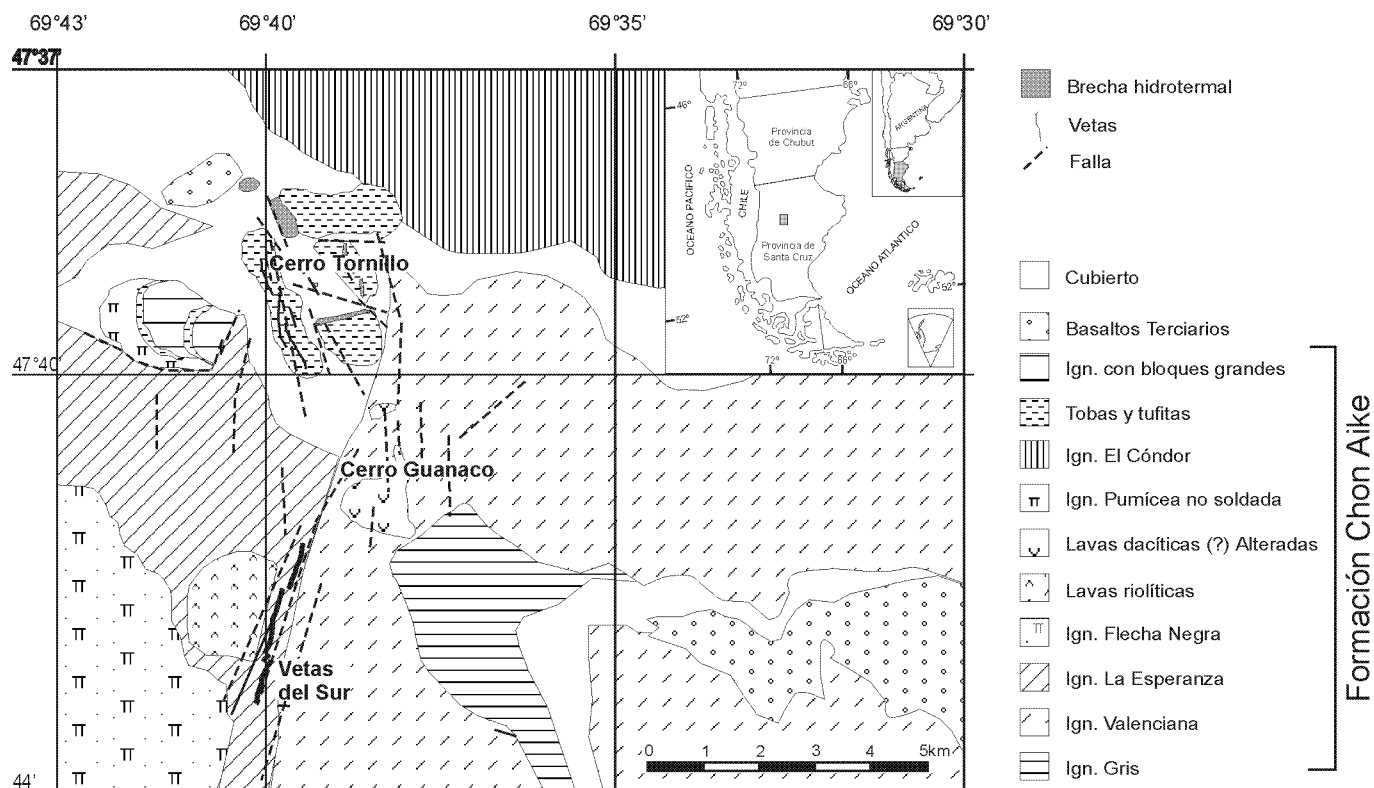


Figura 1: Ubicación y geología regional del área de estudio.

La comprensión del origen de las alteraciones por fluidos hidrotermales en los yacimientos epitermales es de vital importancia en los trabajos de exploración minera, debido a que los mecanismos que las generan están relacionados genética y espacialmente con la depositación de metales nobles.

El objetivo principal de esta contribución es determinar la génesis de los procesos hidrotermales en la zona Cerro Guanaco, a partir del relevamiento geológico de detalle y de la investigación de los productos de las alteraciones y las relaciones entre ellas. Este trabajo forma parte de la tesis doctoral de uno de los autores (KM) que abarca el análisis de la actividad hidrotermal y volcanismo de la zona de la Estancia La Esperanza.

### Marco geológico regional

En la región central del macizo del Deseado el basamento metamórfico aflora en las estancias La Josefina y La Modesta al sudeste del sector de estudio, representado por asomos aislados de metamorfitas de bajo grado de la Formación La Modesta, asignada al Precámbrico por Di Persia (1960) y posteriormente considerada de edad paleozoica inferior (Ugarte 1966, Lesta y Ferello 1969).

Las rocas predominantes en la región son las volcanitas de la Formación Bajo Pobre del Jurásico medio y el Grupo Bahía Laura integrado por las Formaciones Chon Aike y La Matilde del Jurásico medio a superior que conforman un complejo volcano-piro-sedimentario de carácter ácido a mesosilícico. En

la Formación Bajo Pobre predominan lavas y aglomerados volcánicos de naturaleza andesítica, mientras que la Formación Chon Aike está esencialmente constituida por ignimbritas y en menor medida lavas ácidas y tobas, y la Formación La Matilde presenta un neto dominio de tobas de caída y tufitas. Estas rocas conforman un gran plateau ignimbrítico (de Barrio 1993, Pankhurst *et al.* 1993) que ocupa casi la mitad de la superficie del macizo del Deseado. En la región que comprende este estudio existen basaltos fisurales cuaternarios que ocupan zonas bajas y amplios valles.

### Geología del área La Esperanza y zona del Cerro Guanaco

El área La Esperanza se encuentra integrada principalmente por diferentes depósitos volcanoclásticos pertenecientes a la Formación Chon Aike. En la zona afloran depósitos ignimbríticos de variadas características, desde ignimbritas no soldadas hasta un alto grado de soldamiento, que como unidades de mapeo informales han sido definidas mediante trabajos de campo y análisis petrográficos. Se han determinado diferentes facies volcanoclásticas (Fig.1), donde las relaciones estratigráficas entre ellas no siempre son claras. Sin base expuesta la primera facies denominada Ignimbrita gris aflora únicamente en el sudeste del área; lleva abundantes cristaloclastos de biotita, cuarzo y sanidina. Sobre esta se dispone la Ignimbrita Valenciana (Echeveste *et al.* 1999) de composición dacítica; en esta unidad es notable la alta proporción de cristaloclastos de plagioclasas (oligoclasa-andesina), cuarzo, sanidina y biotita. La Ignimbrita La Esperanza, presenta abun-

dante matriz, cristaloclastos de cuarzo ahumado, sanidina y biotita y su relación temporal con la Ignimbrita Valenciana no ha podido ser definida. Por encima de la Ignimbrita La Esperanza hacia el sur aflora la Ignimbrita Flecha Negra. En el valle desarrollado al este del cerro Tornillo aflora una Ignimbrita pumicea no soldada con escasos cristaloclastos de cuarzo y sanidina y pómez de gran tamaño (2 cm). Sobre este depósito se observa material piroclástico de caída y material retrabajado, depositado en un ambiente lacustre, que además constituye los principales depósitos del cerro Tornillo. En un área reducida, se observan pequeños afloramientos de la Ignimbrita con bloques grandes, de hasta 1 m<sup>3</sup>, pertenecientes a la Ignimbrita La Esperanza, indicando proximidad a la zona de salida de material volcanoclástico. Al norte del sector sin relación evidente con los depósitos ignimbriticos descriptos, aflora la Ignimbrita El Cóndor con inclinaciones moderadas hacia el norte, mientras que la secuencia detallada previamente presenta inclinaciones suaves hacia el sur. Teniendo en cuenta esta variación de inclinaciones y las diferentes litologías, además de los análisis de lineamientos para esta zona (Mykietiuk *et al.* 2002b), se interpreta este gran lineamiento de orientación este-oeste como una zona de salida de material volcanoclástico coincidiendo con Echeveste *et al.* (1999). Los únicos asomos de lava se encuentran en el cerro Guanaco y alrededores, donde siempre se presentan alteradas y, en el sur, intruyendo a la Ignimbrita La Esperanza formando un cuerpo semicircular conformado por lavas riolíticas de marcada fluidalidad, interpretado como conducto de efusión de material (Echeveste *et al.* 1999).

El cerro Guanaco (Fig. 2) es una elevación que se destaca en la zona con un resalto del orden de los 90 m respecto a los terrenos circundantes (especialmente en los flancos E y SE); este desnivel se debe a la mayor resistencia a la erosión debido a la abundancia de rocas silicificadas presentes en su porción superior. La mayor parte del cerro está constituida por la Ignimbrita Valenciana.

En la ladera sur, con extensión hacia el sudoeste en unos 500 m, afloran lavas conformando una estructura cómica. Si bien estas rocas se presentan alteradas hidrotermalmente, al microscopio fue posible determinar su carácter lávico al reconocerse la fluidalidad de flujo. Esta roca, de probable composición andesítica a dacítica, posee fenocristales de plagioclasa (oligoclasa) con textura glomeroporfirica, sanidina, biotita y un mineral máfico alterado (¿anfíbol?). En distintos afloramientos puede observarse una fluidalidad vertical, pasando hacia arriba a una autobrecha con clastos de lava de hasta un metro. Además se halló un pequeño afloramiento de una brecha piroclástica cuyos clastos se encuentran completamente alterados a arcilla (illita) y la matriz silicificada, probablemente asociada con la intrusión del domo lávico.

El cerro Guanaco constituye el remanente de un centro de alteración hidrotermal, donde los fluidos mineralizantes se canalizaron a través de múltiples fisuras. La actividad hidrotermal generó un importante número de brechas, craquelamiento y fracturas. En asociación con el domo, aflora una brecha con clastos subredondeados y angulosos de lava, ignimbrita y cuarzo de veta. Posee granulometría muy gruesa y textura clasto sostén en sus partes centrales y pasa lateralmente a una granulometría fina y textura matriz sostén.

Existen además brechas estructurales de falla, de rumbo norte - sur, intensamente alteradas que afectan a las ignimbritas. Gran parte del área La Esperanza se ve afectada por una serie de fracturas de orientación predominante norte-sur y noroeste, las que ejercieron un control importante en la circulación de los fluidos hidrotermales (Mykietiuk *et al.* 2002b).

#### *Alteración hidrotermal en la zona del cerro Guanaco*

El estudio de la alteración hidrotermal se inició con un relevamiento detallado (escala 1:1.000) y un muestro sistemático de las distintas alteraciones y sus variaciones laterales y verticales y posteriormente una revisión de los fragmentos de las perforaciones realizadas, seleccionándose algunos tramos para estudios de laboratorio. Las muestras de minerales y rocas, tanto de superficie como de perforaciones, luego de un reconocimiento sistemático con lupa binocular, han sido analizadas por difracción de rayos X y microscopía óptica.

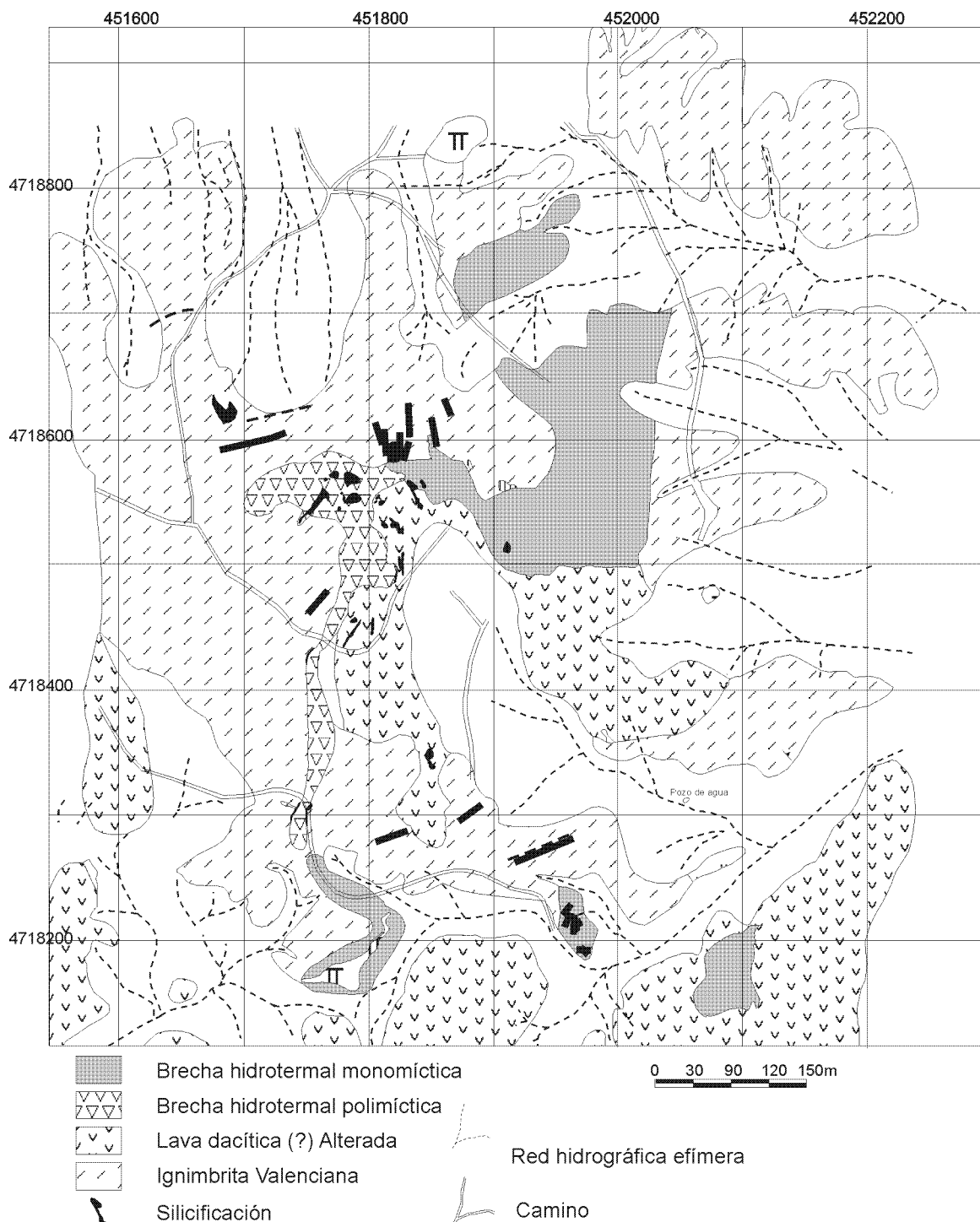
La alteración del cerro Guanaco disminuye progresivamente su intensidad hacia la periferia, hasta unirse con otras zonas de alteración hidrotermal presentes en el área. Al SSO las evidencias de actividad hidrotermal se prolongan por unos 8 km en un sistema de vetas y vetillas dispuesto en una faja elongada norte - sur; este sector fue denominado "vetas del Sur". El cerro Tornillo, ubicado a unos 200 m del anterior, está compuesto esencialmente por tobas y tufitas laminadas, con reemplazos silíceos tabulares y en donde se hallaron restos de niveles estromatolíticos silicificados.

A partir de las asociaciones minerales se han definido diferentes tipos de alteración hidrotermal que por sus estrechas relaciones de campo fueron divididas en dos grupos. El primero está representado por las alteraciones argílica y propilítica y por silicificaciones, que generalmente se presentan de forma penetrativa o masiva afectando a diferentes litologías. El segundo grupo corresponde a una alteración argílica avanzada y a una zona de sílice porosa, que presentan un mayor control de fracturas en su desarrollo.

Dentro del primer grupo la alteración predominante está representada por la asociación illita + cuarzo ± pirita, con algunos sectores donde se han identificado interestratificados de illita-montmorillonita. Esta alteración pasa gradualmente a propilítica hacia la periferia hasta superponerse con otros sectores alterados. La silicificación se dispone a modo de parches afectando a diferentes litologías, está englobada por la alteración argílica y afecta a lavas, ignimbritas y a los distintos tipos de brechas (Fig. 3).

*Alteración argílica:* El mineral preponderante es la illita acompañada por cuarzo, con algunos interestratificados de illita-montmorillonita. Si bien no se ha hecho una cuantificación detallada, a partir de las observaciones de campo es posible señalar que la abundancia de arcillas es mayor en la zona central.

Muchas veces la illita se encuentra reemplazando tanto las plagioclasas como a la pasta o matriz en su totalidad. En otros casos, la illita reemplaza solamente a los cristales con escasa o nula participación en la pasta. También se observa en relieves de fracturas indicando una depositación directa a partir



**Figura 2:** Mapa geológico del cerro Guanaco.

del fluido.

En algunas de las perforaciones en el cerro se han determinado niveles con la presencia de interestratificados de illita-montmorillonita intercalados entre los de illita pura.

*Alteración propilitica:* La alteración propilitica ha sido identificada rodeando, al menos parcialmente, las zonas con alteración argílica. En las perforaciones situadas al sur-sudeste del cerro Guanaco se la ha detectado también a profundida-

des del orden de los 100 metros (Fig. 4).

Está representada por la asociación epidoto + calcita + clorita, que afecta a diferentes litologías. Las cloritas se presentan como una fase típica de reemplazo de biotita y anfíboles. La calcita reemplaza fenocristales de plagioclasa o está intercrecida en la matriz junto con epidoto y sericita. El epidoto se encuentra en oquedades de cristales lixiviados o en la matriz junto con la calcita. Además se observó illita/sericita compartiendo contactos con cuarzo y calcita, o dise-

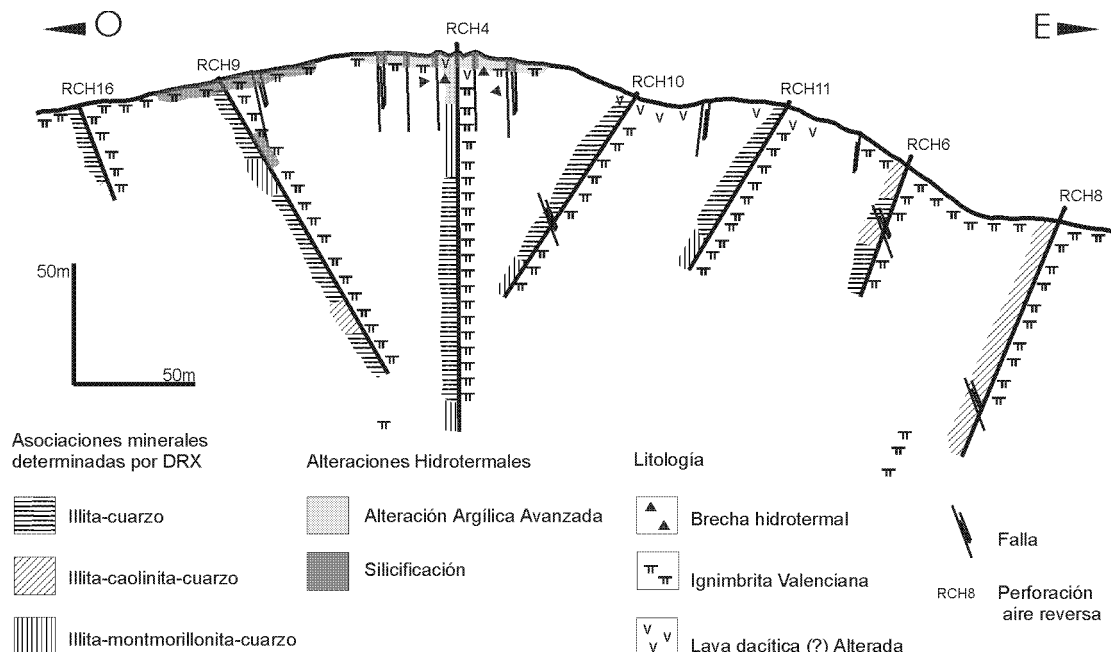


Figura 3: Perfil oeste-este del Cerro Guanaco

minada en la matriz.

**Silicificación:** Existen diferentes grados de silicificación; las rocas con mayor intensidad de alteración se encuentran completamente reemplazadas a excepción de algunos fenocristales alterados a illita. Otras rocas con grados menores de silicificación se ven afectadas solamente en la matriz donde frecuentemente el cuarzo, con textura en mosaico, se halla intercrecido con illita.

El segundo grupo de alteraciones se manifiesta como una intensa lixiviación de las rocas que afecta (sílice porosa residual) y una alteración argílica avanzada asociada. Se desarrolló a partir de diferentes fracturas que atraviesan la zona del cerro Guanaco y está limitada a los niveles superficiales, ya que no ha sido hallada en ninguna de las perforaciones revisadas (Fig. 3). Por su morfología, es evidente que constituye un manto de posición subhorizontal en la parte más elevada del cerro.

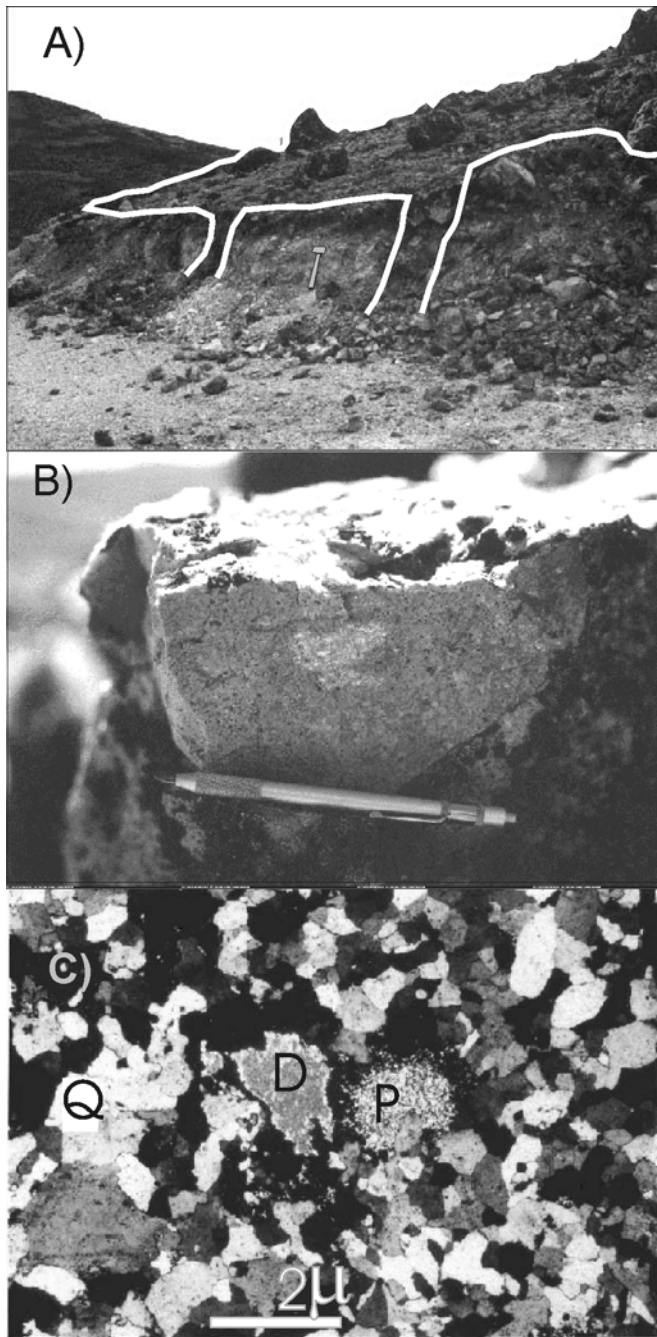
**Sílice porosa residual:** Los niveles superiores del cerro muestran un intenso reemplazo silíceo. Esta silicificación fue producida por una fuerte lixiviación de ignimbritas y brechas estructurales con clastos de ignimbritas, que ha eliminado a casi todos los componentes originales de estas rocas, quedando solamente escasos relictos de cristales (y/o líticos) argilizados (Figs. 4 a y b). La silicificación es masiva y está dada por cuarzo sacaroide de color blanquecino a gris claro con pequeñas y abundantes cavidades proporcionándole a la roca aspecto poroso; dichas cavidades fueron tapizadas tardíamente por pequeños cristales de cuarzo. Esta silicificación, compuesta por cuarzo poroso residual (similar al llamado *vuggy silica*) conforma afloramientos mantiformes discontinuos, extendidos con orientación norte-sur y en unos 3-4 metros de ancho. En la base de estos mantos la sílice es

masiva y sin oquedades, y se dispone siguiendo fracturas verticales (Fig. 4).

**Alteración argílica avanzada:** se distribuye a partir de fracturas verticales y en forma adyacente a la sílice porosa residual, también con un desarrollo mantiforme. Las observaciones microscópicas, apoyadas con difractogramas de rayos X, permitieron identificar la siguiente asociación mineralógica: cuarzo (predominante), pirofilita, diásporo, dickita, illita, interestratificado illita-montmorillonita y caolinita. La presencia de diásporo es escasa y se encuentra asociado a la pirofilita. Ambos minerales se disponen como pátinas y rellenando oquedades de fenocristales lixivados (Fig. 4 c), próximos a fracturas. La dickita no fue hallada con los minerales mencionados previamente sino que se la encuentra más alejada de la fractura (Fig. 5); se dispone también como pátinas dentro de fisuras de roca y fenocristales lixivados. La caolinita está asociada sobre todo a los cuerpos de sílice en las fracturas verticales de la base del manto silíceo, como reemplazo de la roca encajante.

#### Mineralización

Las zonas de alteración hidrotermal fueron un blanco atractivo para las empresas mineras que exploraron o exploran el distrito, y las que ejecutaron diversas campañas de perforación. Pegasus concentró sus pozos en las inmediaciones del cerro Guanaco propiamente dicho, y buscó la confirmación de valores anómalos de oro obtenidos en brechas muestreadas en superficie. IAMGOLD realizó una serie de perforaciones con el objetivo de examinar brechas y zonas silicificadas controladas por una estructura aproximadamente norte - sur, que se extiende desde el cerro Guanaco hasta 1,5 km al norte. Los resultados más significativos de las perforaciones realizadas



**Figura 4:** a) Manto de cuarzo poroso residual. En la base se observa sílice masiva siguiendo fracturas verticales. b) Cuarzo poroso residual con relictos de cristales argilizados. c) Microfotografía de alteración argílica avanzada, donde se observan la pirofilita (P) y el diásporo (D) relleno huecos, en una matriz de cuarzo (Q) en mosaico.

por Pegasus y IAMGOLD se exponen en el cuadro 1.

*Vetas:* Son rellenos de fracturas con cuarzo en peine que forma cristales euhedrales de hasta 5 cm de longitud, y un segundo evento de relleno con calcedonia gris y desarrollo de brechas. En los hastiales hay reemplazos de calcita por cuarzo y algunas texturas brechosas. Las vetas se alojan principal-

mente en las rocas con alteración argílica, aprovechando zonas transtensivas sigmoidales en las fracturas de orientación norte-sur y normalmente tienen menos de 10 m de corrida. Un fino enrejado de guías (hasta 1-2 mm) de cuarzo recorre la zona, presentando texturas en mosaico o en peine.

*Piritización:* La pirita se presenta diseminada sin estar asociada a ninguna alteración en particular. Además conforma venillas observadas en las perforaciones. En superficie se la encuentra oxidada o alterada a jarosita. Otros sulfuros que se han encontrado, en menor cantidad, son arsenopirita y antimonita.

*Cemento de brechas:* Las brechas hidrotermales con fuerte control estructural generalmente exhiben cemento de cuarzo con textura en mosaico y contenidos variables de óxidos de hierro. El cemento de la brecha hidrotermal que acompaña el emplazamiento del domo es hematítico, con algo de sílice y algunos huecos tapizados por cristales de cuarzo.

#### *Oxidación y alteración supergénica*

El área ha sufrido procesos supergénicos que afectaron a las alteraciones señaladas precedentemente. La oxidación y alteración supergénica es más moderna que las alteraciones hidrotermales, aunque su edad exacta no ha podido ser determinada hasta el momento. De esta manera las alteraciones descriptas están enmascaradas por esta alteración supergénica.

Como minerales de alteración supergénica se han determinado por difracción de rayos X, jarosita, alunita, caolinita, variscita y sarmientita. La alunita, de color amarillento con aspecto porcelanáceo, forma vetillas irregulares y reemplaza fenocristales, estando asociada a jarosita y caolinita. Sillitoe (1997) señaló que la ocurrencia de alunita en vetillas irregulares es característica de un origen supergénico. Por otra parte la variscita se vincularía a la acción de soluciones supergénicas fosfatadas con minerales aluminosos. La jarosita sería producto de alteración de pirita, y en presencia de arsenopirita se generaría sarmientita diseminada como pequeñas motas.

#### **Discusión e interpretación**

La alteración argílica avanzada y la formación de cuarzo poroso indican condiciones ácidas a extremadamente ácidas de los fluidos, respectivamente. Su presencia en el sistema hidrotermal que afectó a las rocas de la zona del cerro Guanaco, junto a alteraciones argílica intermedia y propilítica, pueden conducir a interpretaciones distintas de los procesos que produjeron estas transformaciones de las rocas volcánicas originales. La naturaleza de este problema hace necesaria una revisión, aunque no sea más que rápida, de los depósitos minerales y de los sistemas geotermales en donde se muestran estas características.

Dentro de los sistemas epitermales existen dos estilos principales de mineralización en ambientes volcánicos: baja sulfuración y alta sulfuración. Estos términos fueron sugeridos sobre la base del estado de oxidación del azufre en el flui-

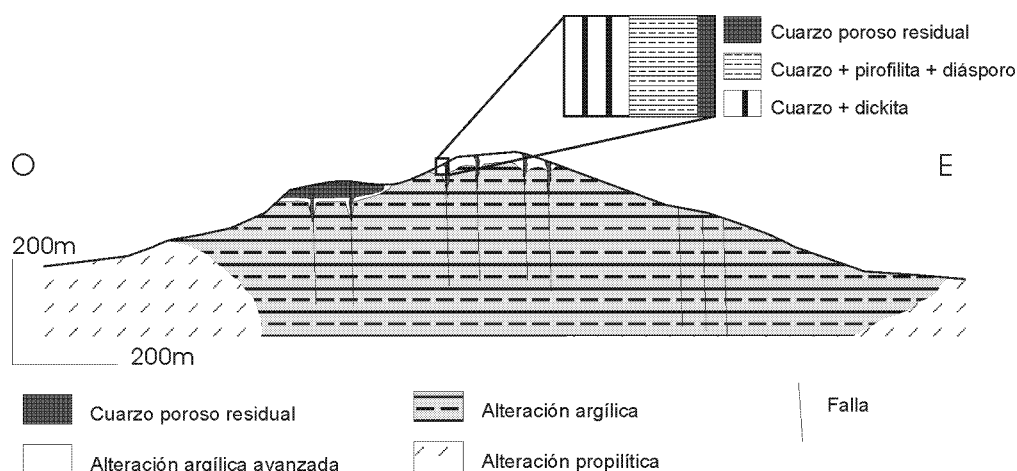


Figura 5: Esquema de un perfil oeste-este.

do (Hedenquist 1987); baja sulfuración se refiere a la predominancia de especies reducidas de azufre ( $\text{HS}^-$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ), mientras que alta sulfuración a la presencia de componentes de azufre oxidado ( $\text{HSO}_4^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{SO}_2$ ). Asimismo fueron reconocidos depósitos con características intermedias entre estos dos estilos de depósitos epitermales (Sillitoe 1997; John 1999) denominados sulfuración intermedia por Hedenquist *et al.* (2000). Los dos estilos principales se distinguen entre sí por presentar una disparidad química notable en el fluido mineralizante que produce diferente mineralogía de alteración y distinta localización de la mineralización económica dentro de cada sistema. En los del tipo baja sulfuración el oro se encuentra en depósitos que van desde vetas a *stockwork* o diseminado; mientras que en los sistemas de alta sulfuración el principal hospedante es un centro de alteración de sílice porosa residual (*vuggy silica*).

Para la formación de fluidos ácidos en los sistemas epitermales Hedenquist *et al.* (2000) propusieron tres fuentes principales: condensados magmáticos hipogénicos, oxidación de aguas calentadas por vapor y oxidación supergénica. Estos autores postularon que la primera es responsable de la formación de alteración argílica avanzada en *lithocaps* estériles y en depósitos epitermales de alta sulfuración, mientras que las otras dos pueden crear mantos de alteración argílica avanzada normalmente estériles sobre depósitos tanto de alta como de baja sulfuración (Fig. 6).

Arribas (1995) sintetizó un modelo genético de dos etapas, basado en el modelo previo de White (1991), para la alteración por fluidos ácidos (condensados magmáticos hipogénicos) en los depósitos de tipo alta sulfuración. En el primer estadio, los gases magmáticos provocan una intensa lixiviación generando una zona residual de *vuggy silica* y el desarrollo de una alteración argílica avanzada, existiendo un pronunciado contraste de permeabilidad entre el cuarzo poroso y la alteración argílica avanzada (Cooke y Simmons 2000). En el segundo estadio los fluidos aprovechan esta porosidad secundaria y permeabilidad creada por el evento de lixiviación ácida y precipitan los minerales de mena.

Por el contrario, en los sistemas de baja sulfuración la ma-

yor parte de los fluidos son de pH neutro conteniendo  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{S}$ , pero al disminuir la presión en zonas superficiales se puede producir una separación de la fase vapor (Henley 1993) la que al alcanzar los niveles superiores de las aguas subterráneas dan lugar a las llamadas aguas calentadas por vapor (*steam-heated waters*). La oxidación resultante de  $\text{H}_2\text{S}$  a  $\text{H}_2\text{SO}_4$  lleva a condiciones de pH bajo (del orden de pH 2) y a una consecuente alteración argílica avanzada (Henley 1993). Estas aguas calentadas por vapor se forman en la zona vadosa y la distribución de la alteración está controlada por el nivel freático, aunque localmente puede descender por fracturas (Hedenquist *et al.* 2000).

Reyes (1990) describió dos regímenes hidrotermales yuxtapuestos para el sistema geotermal de Tiwi, Filipinas. Esta autora describió una alteración por aguas ácidas calentadas por vapor con una asociación mineralógica compuesta por: caolinita, dickita, pirofilita, pirofilita+illita, diásporo, cuarzo, ópalo, cristobalita, tridimita, natroalunita, alunita, anhidrita, pirita y azufre nativo, dependiendo de la temperatura y la distancia desde la fractura. Para la asociación producida por fluidos ácidos hipogénicos mencionó la presencia de topacio, lazulita, andalucita y zunyita, asociados con diásporo, pirofilita, cuarzo, alunita, anhidrita, pirita y a veces azufre nativo.

En Baguio, Filipinas, Aoki *et al.* (1993) refirieron una alteración ácida caracterizada por la asociación de pirofilita, diásporo y dickita, vinculada a una zona de sílice residual ahora recristalizada a cuarzo. Relacionada a esta alteración describieron una serie de vetas con cuarzo, sericita y calcita con adularia minoritaria. Proponen una actividad hidrotermal acompañada de la formación de fracturas regionales, por donde se canalizaron los fluidos de pH neutro, con esporádicos ascensos de componentes magmáticos ácidos a niveles someros que formaron las sobreimpresiones locales de alteración ácida.

El principal obstáculo para definir la alteración ácida de esta zona con los minerales aluminosos pirofilita, dickita y diásporo como producida por aguas calentadas por vapor, sería las altas temperaturas necesarias para formación de esos minerales.

**Cuadro 1:** Resultados de las perforaciones realizadas por Pegasus (RCH) y IAMGOLD (LERC).

Pozo	Desde (m)	Hasta (m)	Longitud intersectada (m)	Oro (g/t)
RCH 2	101	133	32	0,83
RCH3	26	28	2	5,01
RCH4	6	10	4	2,48
RCH 4	18	50	32	0,4
RCH7	2	10	8	0,97
RCH7	20	38	18	0,78
RCH14	169	180	11	1,18
RCH14	169	171	2	4,6
RCH17	40	60	20	0,64
LERC1	17	26	9	0,9
LERC2	14	16	2	4,5
LERC3	17	27	10	0,6
LERC4	13	24	11	0,8
LERC5	0	21	21	1,5
LERC8	3	5	2	1,3
LERC8	41	45	4	1,7
LERC10	22	25	3	2,5
LERC11	0	16	16	0,6
LERC12	20	32	0,7	1,3

La pirofilita puede formarse a temperaturas de hasta 150°C en equilibrio con sílice amorfa, pero la coexistencia con dickita y diásporo indica mayores temperaturas, al menos 230°C (Reyes 1990) y a 280°C (Hemley *et al.* 1980). Es difícil imaginar estas temperaturas en un ambiente superficial a subsuperficial. Sin embargo, es probable que esta zona haya estado bajo un mayor gradiente geotérmico, por ser una zona de extrusión de material volcánico. En coincidencia con los minerales señalados en el cerro Guanaco, Reyes (1990) citó la existencia de estos minerales aluminosos en niveles someros de un ambiente geotermal.

La alteración argílica avanzada en el cerro Guanaco se limita a los niveles superficiales en forma de “capa” y no ha sido hallada en partes más profundas ya que no se registró en ninguna de las perforaciones efectuadas (Fig. 3). Se interpreta que esta morfología responde a un control por el paleonivel freático, lo cual es asiduamente descrito en la alteración argílica avanzada producto de aguas calentadas por vapor.

Por otra parte, dentro de estos mantos de alteración, existe una zonación mineralógica (Fig. 5) probablemente debida al gradiente de temperatura, ya que en la parte central de las fracturas se observa sílice residual porosa y en los laterales se presenta cuarzo+pirofilita±diásporo, que externamente pasa a cuarzo+dickita o a cuarzo+caolinita. Esto sugiere un descenso de las aguas calentadas por vapor a través de las fisuras.

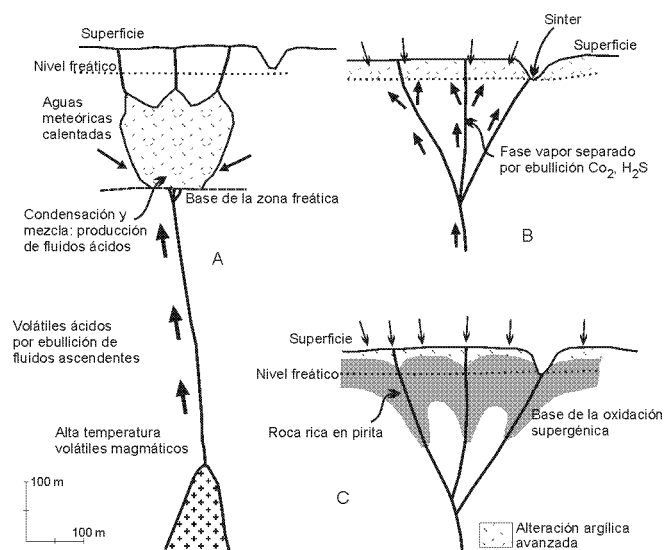
La distinción entre los cuerpos de alteración argílica avanzada formados por derivados de aguas superficiales descendentes versus fluidos hipogénicos ascendentes es difícil debido a las características comunes como control de fracturas, conexión con la superficie y asociación mineralógica. Sin embargo, las relaciones en el campo pueden ofrecer datos

significativos para la interpretación de la génesis de estas alteraciones. En este caso es notable como la argilización y silicificación producidas por fluidos de pH neutro son cortadas por la alteración argílica avanzada y la sílice residual productos de fluidos de pH ácido.

## Conclusiones

Debido a la topografía existente en el área Cerro Guanaco, la superposición de los dos tipos de alteración hidrotermal descriptos parece bastante clara. En otros sectores del macizo del Deseado también han sido citados rasgos semejantes. Rolando y Fernández (1996) propusieron para el sector oriental del prospecto epitermal La Josefina (a unos 30 km al SE del cerro Guanaco) una alteración producto de aguas sulfatadas ácidas calentadas por vapor en un sistema epitermal de tipo baja sulfuración. Por otra parte Tessone y Etcheverry (1998) señalaron también minerales que pueden formarse bajo condiciones de aguas ácidas calentadas por vapor, en reemplazos silíceos del área de La Manchuria. Es posible, por lo tanto, que estos procesos hayan sido más comunes en la región del macizo del Deseado, que lo señalado hasta el presente.

La morfología de los cuerpos alterados por aguas ácidas, junto con sus relaciones de corte con las alteraciones producto de aguas neutras, admitirían interpretar a la alteración argílica avanzada como resultado de la circulación de aguas ácidas sulfatadas calentadas por vapor. Los fluidos hidrotermales hipogénicos sufrieron una pérdida de presión lo que permitió la separación de la fase vapor (ebullición), y estos gases alcanzaron la zona vadosa oxidando y disminuyendo el pH produciendo las “aguas ácidas calentadas por vapor”. Estos fluidos lograron descender a lo largo de las fracturas, consiguiendo elevadas temperaturas. Las temperaturas del orden de los 250°C que pudieron obtener se atribuyen a una actividad magmática tardía del volcanismo jurásico que ocu-



**Figura 6:** Ilustración esquemática de los tres ambientes de formación de aguas ácidas: a) hipogénica, b) aguas calentadas por vapor y c) alteración supergénica. (basado en Sillitoe 1993).



rió en el área, evidenciado por la formación del domo.

La discriminación del origen de estas alteraciones tiene importantes consecuencias en la exploración, ya que si se trata de una asociación hipogénica de alteración argílica avanzada y *vuggy silica* y estas resultaran estériles en superficie, no cabría esperar una mineralización de importancia en las zonas profundas. Sin embargo, en este caso puede suponerse una mineralización Au-Ag más profunda relacionada a las típicas alteraciones de depósitos de baja sulfuración, mientras que la sílice residual y la alteración argílica avanzada, constituye una sobreposición tardía, producto de aguas calentadas por vapor.

Considerando que el tipo de alteración encontrado en el cerro Guanaco indica un nivel de erosión poco profundo, se puede afirmar que el potencial para exploración de metales preciosos en la zona sigue abierto. El control estructural de los cuerpos mineralizados es muy evidente; las principales estructuras son las fracturas norte-sur, donde se alojan las vetas de cuarzo y niveles silicificados.

#### TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Aoki, M., Comsti, E., Lazo, F.B. y Matsuhisa, Y., 1993. Advanced Argilic Alteration and Geochemistry of Alunite in an Evolving Hydrothermal System at Bagoio, Northern Luzon, Philippines. *Resource Geology*, 43(3): 155-164.
- Arribas, A. Jr., 1995. Characteristics of high-sulfidation epithermal deposits, and their relation to magmatic fluid: Mineralogical Association of Canada Short Course Notes, 2: 419-454.
- Cooke, D. y Simmons, S., 2000. Characteristics and genesis of epithermal gold deposits. *Reviews of Economic Geologists*, 13: 221-224.
- de Barrio, R., 1993. El vulcanismo ácido jurásico en el noroeste de Santa Cruz, Argentina. 12° Congreso Geológico Argentino (Mendoza), Actas 4: 189-198, Buenos Aires.
- Di Persia, C. A., 1960. Acerca del descubrimiento del Precámbrico en la Patagonia Extraandina (provincia de Santa Cruz). 1° Jornadas Geológicas Argentinas, Actas 2: 65-68.
- Echeveste, H., Fernández, R., Lambías, E., Tessone, M., Schalamuk, I., Bellieni, G., Piccirillo, E. y De Min, A., 1999. Ignimbritas tardías de alto grado en la Formación Chon Aike (Jurásico). Macizo del Deseado, Santa Cruz. 15° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 182-185.
- Hedenquist, J.W. 1987. Mineralization associated with volcanic-related hydrothermal systems in the Circum Pacific. Energy and Mineral Resources Conference, 4<sup>th</sup>, Singapore, August 1986, Transactions: 513-524.
- Hedenquist, J.W., 2002. Observations on epithermal gold prospects in Patagonia, Argentina. IAMGOLD (informe inédito).
- Hedenquist, J.W., Arribas, A. R., y Gonzalez-Urien, E., 2000. Exploration for Epithermal Gold Deposits. Review in Economic Geology, Special Issue on Gold Deposits, 7: 33 p.
- Hemley, J.J., Montoya, J.W., Marinenko, J.W. y Luce, R.W., 1980. Equilibria in the system  $Al_2O_3$ - $SiO_2$ - $H_2O$  and some general implications for alteration/mineralization precesses: *Economic Geology*, 75: 210-228.
- Henley, R.W., 1993. Epithermal gold deposits in volcanic terranes. En: R. P. Foster (ed.) *Gold Metallogeny and Exploration*, 5: 133-164.
- John, D.A., 1999. Magmatic influence on characteristics of Miocene low-sulfidation Au-Ag deposits in the northern Great Basin (abs.): Geological Society of America, Annual Meeting, Denver Colorado, October 24-28, 1999, Abstract with Programs, 30: 405.
- Lesta, P. J. y Ferello, R. 1969. Informe preliminar sobre las posibilidades petrolíferas de la porción occidental de las provincias Chubut y Santa Cruz (zona norte). Yacimiento Petrolíferos Fiscales (inédito), Buenos Aires.
- Mykietiuik, K., Fernández, R. y Lastra, F., 2002a. Alteraciones hidrotermales en el área de la Estancia la Esperanza, Macizo del Deseado, Santa Cruz. Cabaleri N., Cingolani, C.A., Linares, E., López de Luchi, M.G., Ostera, H.A. y Panarello, H.O. (eds.). Actas del 15° Congreso Geológico Argentino CD-ROM. Artículo 245, 6 p.
- Mykietiuik, K., Gobbo, E.J. y Fernández, R., 2002b. Análisis Estructural vinculado a la alteración hidrotermal de la Estancia la Esperanza, Macizo del Deseado, Santa Cruz. 6° Congreso de Mineralogía y Metalogenia 2002. M.K. de Brodtkorb, M. Koukharsky y P.R. Leal (eds.), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (U.B.A.), Artículo: 295-300.
- Pankhurst, R., Sruoga, P., y Rapela, C., 1993. Estudio geocronológico Rb-Sr de los Complejos Chon Aike y El Quemado a los 47° 30' L.S. 12° Congreso Geológico Argentino (Mendoza), Actas 4: 171-178, Buenos Aires.
- Reyes, A.G., 1990. Petrology of Philippine geothermal systems and the application of alteration mineralogy to their assessment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 43: 279-309.
- Rolando, A.P. y Fernández, R., 1996. Alteración hidrotermal del sector nor-oriental del prospecto epitermal La Josefina, Santa Cruz. 3° Reunión de Mineralogía y Metalogenia. Universidad Nacional de La Plata, 5: 209-216.
- Schalamuk, I., Zubia, M., Genini, A. y Fernández, R., 1997. Jurassic epithermal Au-Ag deposits of Patagonia, Argentina. *Ore Geological Reviews*, 12: 173-186.
- Sillitoe, R.H., 1993. Epithermal Models: Genetic types, geometrical controls and shallow features. En: Kirkham, Sinclair, Thorpe and Duke (eds.), *Mineral Deposits Modelling: Geological Association of Canada, Special Paper 40: 403-417*.
- Sillitoe, R.H., 1997. Epithermal models: Genetic types, geometrical controls and shallow features, en Kirkham, R.V., Sinclair, W.D., Thorpe, R.I. y Duke, J.M. (eds.), *Mineral Deposit Modelling: Geological Association of Canada, Special Paper 40: 403-417*. Second print.
- Sillitoe, R. H., 2001. Comments on geology and gold potential of the Esperanza Prospect, Santa Cruz, Argentina. IAMGOLD (informe inédito).
- Tessone, M. y Etcheverry, R.O., 1998. Alteraciones hidrotermales asociadas a algunos prospectos epitermales del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz, Argentina. 4° Reunión de Mineralogía y Metalogenia. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca: 267-274.
- Ugarte, F., 1966. La cuenca compuesta Carbonífero-Jurásica de la Patagonia Meridional. *Anales Universidad Nacional de la Patagonia "San Juan Bosco" 2*, Ciencias Geológicas, 1: 37-68, Comodoro Rivadavia.
- White, N.C., 1991. High sulfidation epithermal gold deposits: Characteristics, and model for their origin. *Japan geological Survey Report*, 277: 9-20.

Recibido: 04/06/03

Aceptado: 06/04/04