

Geología del Pórfido Aurífero Verde, Proyecto Refugio, Tercera Región, Chile

Román Flores

Bema Gold (Chile) Ltda., Av. 11 de Septiembre 2250, Santiago, Chile

RESUMEN

El yacimiento Verde se ubica en el proyecto Refugio, dentro de la Franja de Maricunga y corresponde a un pórfido aurífero del Mioceno inferior en el cual la mineralización de oro de baja ley está relacionada con silicificación. La litología del depósito incluye un pórfido dacítico de grano grueso, un pórfido diorítico de grano fino y una brecha intrusiva formada en el contacto entre ambos. Pórfidos dacíticos posminerales intruyen a la zona mineralizada. Estas rocas intrusivas están cubiertas por flujos piroclásticos del Mioceno medio asociados al volcán La Laguna. La alteración hipógena incluye una etapa **temprana**, tardimagnética y de alta temperatura, caracterizada por clorita-pirita-magnetita y mineralización de cobre, la cual puede corresponder, en parte, a una alteración potásica débil. A ésta sucede una etapa de **silicificación**, ocurrida en varios pulsos, con desarrollo de vetillas de cuarzo superpuestas y que afectaron, moderadamente, a la roca huésped. Presenta una relación directa con la mineralización aurífera. Finalmente, en forma tardía, se produjo **alteración argílica**, marginal al núcleo silicificado y no relacionada con mineralización aurífera. Se caracteriza por la alteración total o parcial de la roca la que se transformó en un agregado de arcilla-pirita. La exploración y cálculo de reservas permitieron realizar una evaluación económica del yacimiento, la que resultó técnica y económicamente positiva. Fueron identificadas reservas geológicas ascendentes a 216 millones de toneladas con una ley de 0,88 g Au/t, con un contenido de 190 toneladas de oro y una ley de corte de 0,5 Au/t, de las cuales 166 son explotables. El proyecto se encuentra, en la actualidad, en una etapa de pre-construcción.

Palabras claves: Franja de Maricunga, Proyecto Refugio, Mioceno, Oro, Copiapó, Andes, Chile.

ABSTRACT

Geology of the gold-bearing porphyry of the Verde Refugio project, northern Chile. The Verde deposit is an early Miocene gold-bearing porphyry located in the Refugio property within the Maricunga Belt. Lithological types within the deposit include a coarse-grained dacitic porphyry, a fine-grained dioritic porphyry and an intrusive breccia formed at the interface between both. There are other dacitic porphyries with post-mineralization intrusion. These intrusive rocks are covered by middle Miocene dacitic flows and pyroclastics of La Laguna volcano. The hypogene alteration includes an **early phase**: (high temperature, late magmatic) characterized by a chlorite-pyrite-magnetite assemblage and weak copper mineralization. **Silicification** occurred afterwards in many discrete, gold bearing episodes, the principal one being the development of massive silica with later superimposed quartz veining events. **Argillic alteration**, marginal to the silicified core, unrelated to gold mineralization and characterized by partial to total alteration of the rock to a clay-pyrite assemblage, occurred at the end of the alteration sequence. Exploration and subsequent evaluation of reserves have concluded in a positive economic feasibility. Geological reserves of 216 million tons at a grade of 0,88 grams per ton containing 190 tons of gold at a cut-off rate of 0,5 grams were identified, of which 166 tons of gold are exploitable.

Key words: Maricunga Belt, Refugio project, Miocene, Gold, Copiapó, Andes, Chile.

INTRODUCCION

El yacimiento Verde es uno de los pórfidos de oro diseminados en el proyecto Refugio, ubicado en la Franja de Maricunga, 120 km al este de la ciudad de Copiapó y ca. 800 km al norte de la ciudad de Santiago (Fig. 1). La elevación está comprendida entre 4.200 y 4.500 m sobre el nivel del mar y sus coordenadas geográficas son 27°33'S y 69°17'W. Los trabajos geológicos realizados recientemente

en el proyecto Refugio, específicamente en el Yacimiento Verde, son de reconocimiento y evaluación de sus reservas auríferas. Las especiales características geológicas de este yacimiento motivaron al autor a escribir el presente artículo, en el estado de conocimiento en que se encuentra, con la intención de entregar información útil para la exploración de nuevos yacimientos de oro.

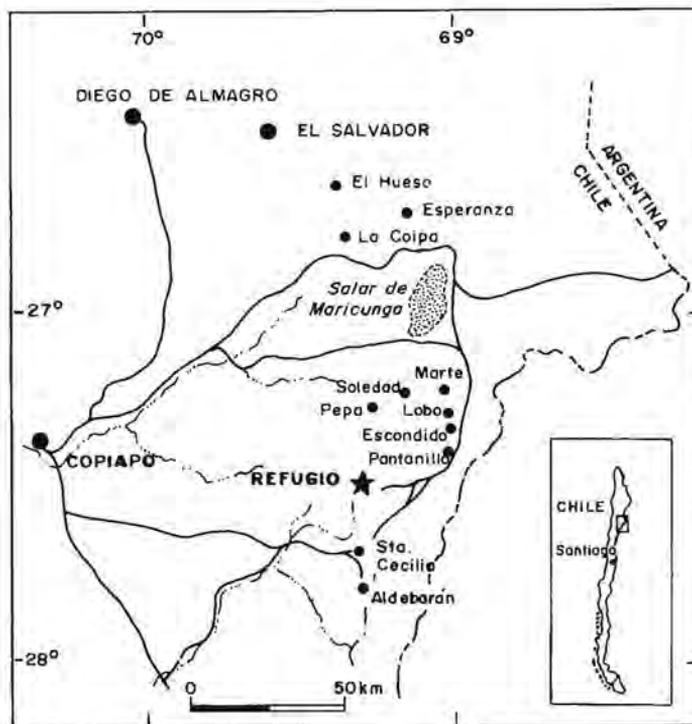


FIG.1. Ubicación del proyecto Refugio en la Franja de Maricunga.

HISTORIA DE LA EXPLORACION

La propiedad fue legalizada en 1984 por la Compañía Minera Refugio (CMR), quien realizó trabajos de exploración preliminar. En 1985, Minera Anglo American Chile Ltda. (Anglo) adquirió de CMR una opción por 3 años, realizando, en los yacimientos Verde, Pancho y Guanaco, dentro de una zona de alteración argílica de 3 x 2 km, una exploración geoquímica detallada, geología de la superficie en caminos y trincheras, una campaña de sondajes de polvo y diamantina de 50-100 m de profundidad exploración

geofísica magnetométrica. Con estos resultados, y también por razones de prioridades, Anglo decidió no hacer uso de la opción en 1987 y CMR ofreció a otras empresas esta zona de interés, firmando Bema Gold (Chile) Ltda. una Carta de Intención por el 50% de la propiedad en Septiembre de 1989. Esta última empresa realizó 56.800 m de sondajes de circulación inversa en el Pórfido Aurífero Verde, 4.100 m de diamantina y numerosas pruebas metalúrgicas en columnas, en Copiapó y en

Refugio, definiendo reservas explotables de 166 toneladas de oro; además, realizó 5.200 m de sondajes de circulación inversa en el yacimiento Pancho, evaluando en forma preliminar alrededor de 81 toneladas de oro.

El estudio de prefactibilidad y de factibilidad final del yacimiento, realizado por Mineral Resources Development Inc. en 1991 (Brown y Rayment, 1991),

resultaron económica y técnicamente factibles para desarrollar el depósito aurífero a tajo abierto a un ritmo de 30.000 toneladas por día de mineral y alrededor de 30.000 toneladas de estéril, con lixiviación en pilas, recuperación con carbón activado y fundición, para producir siete toneladas de oro por año, con una vida mínima de 17 años.

MARCO GEOLOGICO

La zona de alteración y mineralización de Refugio se ubica en el segmento sur de la Franja de Maricunga (Sillitoe *et al.*, 1991; Davidson y Mpodozis, 1991), cinturón volcánico oligoceno-mioceno de alrededor de 150 km de longitud, que forma el límite occidental del Altiplano de Copiapó e incluye numerosos yacimientos y zonas de alteración como Esperanza, La Coipa, Marte, Lobo, Soledad, La Pepa, Escondido, Pantanillo, Refugio, Cacique, Amalia, Santa Cecilia y Aldebarán (Fig.1).

En la cadena de cerros ubicada inmediatamente al oeste del proyecto Refugio (extremo sur de Sierra Monardes) afloran rocas volcánicas riolíticas, andesíticas y basálticas asignadas por Bruce (1988) a las formaciones Pantanoso y La Ternera del Paleozoico Superior y Triásico Superior. Hacia el este, en contacto por falla, se dispone una secuencia de areniscas y conglomerados atribuidos por Bruce (1988) a la Formación Quebrada Monardes del Jurásico Superior-Cretácico Inferior (Muzzio, 1980). Sobre ellas se reconocen rocas volcánicas andesíticas depositadas concordantemente y asignadas a la Formación Quebrada Seca, atribuida al Cretácico (Muzzio, 1980). Estas rocas constituyen la roca de caja de los pórfidos y domos de Refugio y sus depósitos piroclásticos asociados, descritos como 'formación' Quebrada del Carrizo (Bruce, 1988) y datados por el método K-Ar en alrededor de 23 Ma

(Sillitoe *et al.*, 1991; Davidson y Mpodozis, 1991; Moscoso *et al.*, 1993). Tanto la Formación Quebrada Monardes como el complejo subvolcánico y piroclástico y la zona de alteración hidrotermal de Refugio están cubiertos, hacia el este, por lavas y flujos piroclásticos provenientes del volcán La Laguna, atribuidos al Mioceno medio (edades K-Ar de 14 Ma, Davidson y Mpodozis, 1991; Moscoso *et al.*, 1993).

Los intrusivos reconocidos en el área del proyecto Refugio corresponden a cuerpos subvolcánicos que contienen, en algunos sectores, concentraciones económicas de oro y se encuentran, en parte, asociados a una fuerte argilización de la roca caja por la circulación de fluidos termales y/o supérgenos, generando grandes anomalías de color (zonas Verde, Pancho y Guanaco). Otras rocas, probablemente domos dacíticos, denominadas Refugio Subvolcanic Complex (RSC), afloran al oeste del sistema de alteración del proyecto Refugio. Las estructuras más notables en las cercanías del proyecto son fallas regionales descritas como fallas inversas por numerosos autores (Mercado, 1982; Bruce, 1988; Davidson y Mpodozis, 1991), que colocan en contacto rocas del basamento con rocas mesozoicas y terciarias. En la zona de Refugio se observan fallas de tipo normal de rumbo norte, noreste, noroeste y este, las últimas estrechamente ligadas a la intrusión de pórfidos.

DEPOSITOS MINERALES

Las concentraciones económicas de metales en el proyecto Refugio corresponden a depósitos de oro, diseminados en intrusivos subvolcánicos relacionados con concentraciones de oro de baja ley y alto tonelaje, característicos de la Franja de Maricunga

(Fig. 1), de Las Filipinas y del Pacífico suroeste (como Panguna en Papúa, Nueva Guinea y Dizon, Atlas y Santo Tomás II en Las Filipinas, entre otros). En el proyecto Refugio se han reconocido los depósitos auríferos Verde, Pancho y Guanaco en un área de 3

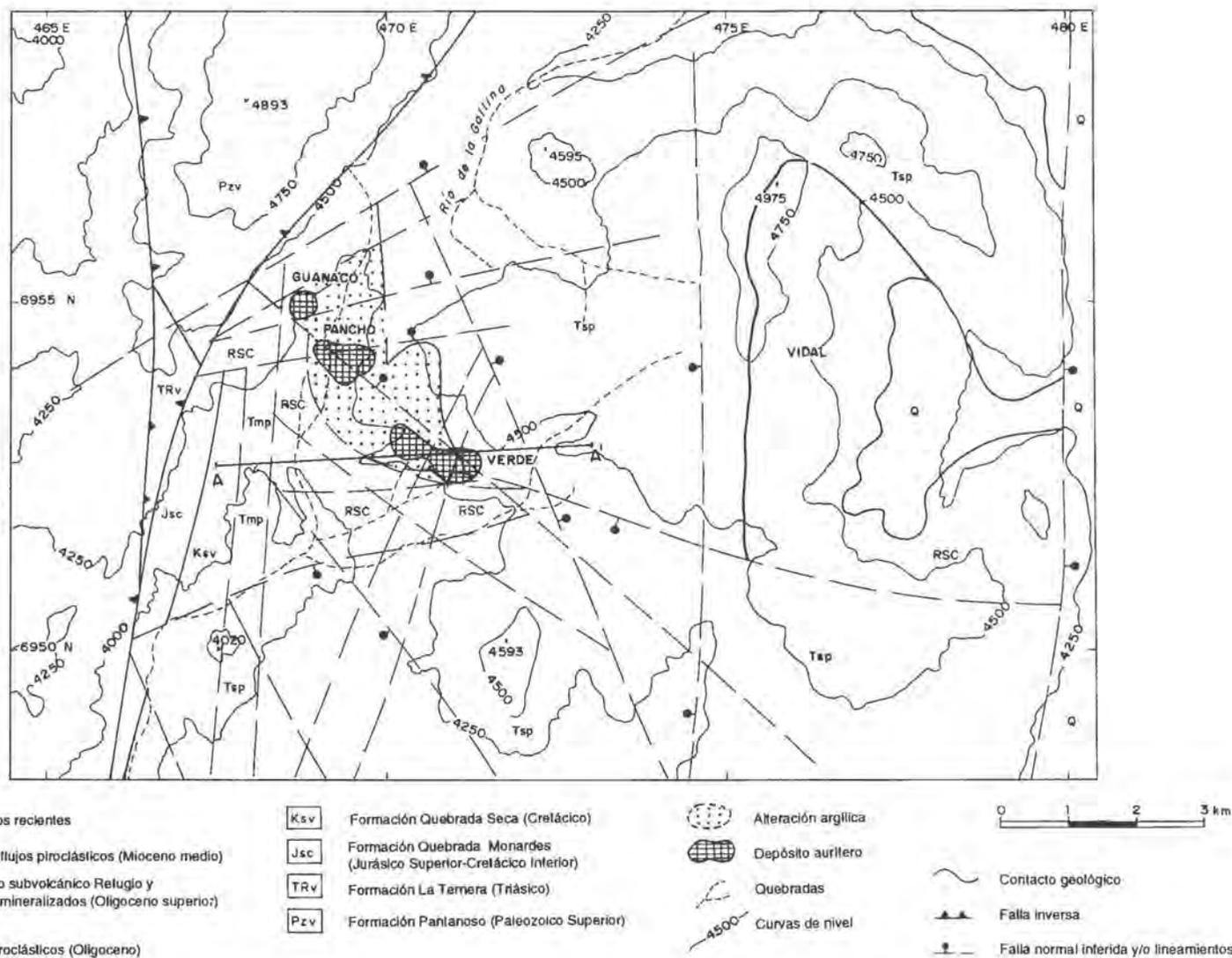


FIG. 2. Mapa geológico del área de estudio.

por 3 km siguiendo una tendencia noroeste (Fig. 2). Las características geológicas principales de cada uno son las siguientes:

VERDE

Siendo el depósito con más reconocimiento, ha sido totalmente limitado en sus extensiones laterales en un área de 1.400 m este-oeste, por 600 m norte-sur; permanece abierto en profundidad, con mineral no oxidado (sulfuros). Se caracteriza por su gran tonelaje y baja ley de oro diseminado de grano muy fino, relacionado con intrusivos subvolcánicos y brecha de intrusión aflorantes con una variable intensidad de silicificación maciza y en vetillas, rodeado por una fuerte alteración argílica que es tardía a la mineralización.

PANCHO

Se ubica a 1 km al noroeste de Verde. Es un pórfido diorítico silicificado que aflora en la ladera

norte del cerro Pancho, bajo 250 m de roca con alteración argílica y, en la parte más alta, roca lixiviada y silicificada con vetas de cuarzo-limonita-jarosita y alunita subordinada y cuerpos lenticulares de brechas silíceas. Aun cuando sus reservas son preliminares, éstas alcanzan a 81 millones de toneladas con 0,85 g Au/t y ley media de cobre del orden de 0,1%. Su potencial real no ha sido totalmente definido.

GUANACO

Corresponde al depósito aurífero ubicado más al norte del proyecto Refugio y está en un nivel de exploración preliminar, con 5 soncajes de circulación inversa. En esta área aflora, también, un pórfido silicificado y brechas de intrusión relacionadas, aparentemente de menores dimensiones que los otros yacimientos; está limitado, por el norte, por una falla noreste que lo pone en contacto con rocas del tipo RSC y por roca argilizada hacia el sur, este y oeste.

GEOLOGIA DEL YACIMIENTO VERDE

El yacimiento Verde incluye rocas intrusivas del Oligoceno-Mioceno (22,8 Ma según Sillitoe *et al.*, 1991), rodeadas por un amplio halo de alteración argílica. La roca huésped de la mineralización incluye las siguientes unidades petrográficas (Figs. 3, 4):

PORFIDO DACITICO (cd)

Se distribuye en Verde este y en los bordes oriental y sur de Verde oeste. Presenta color gris verdoso en sus afloramientos, los que se encuentran cubiertos por depósitos piroclásticos hacia el este y están intruidos por cuerpos tardíos de similar composición (posmineralización). Es una roca de grano grueso, con textura fanerítica; compuesta por fenocristales no orientados de plagioclasa (An 30-50) y, en forma subordinada, por cuarzo, biotita, hornblenda y opacos, en una masa fundamental con plagioclasa y feldespato potásico, alterados levemente a sericita con cuarzo, clorita y algo de magnetita, zircón, esfeno y apatito. Las numerosas vetillas de orientación este-noreste y subverticales que se

observan en esta roca ('stockwork') están formadas, en su mayor parte, por cuarzo, y contienen, en forma subordinada, calcita, hematita y sulfuros (pirita).

PORFIDO DIORITICO (fd)

Aflora en el sector occidental de Verde oeste. Sus afloramientos presentan color verde pardusco y se encuentran intruidos por cuerpos tardíos granodioríticos (posmineralización). Es una roca de grano fino, con textura afanítica a porfídica; la relación masa fundamental/fenocristales es variable, aunque el volumen de la primera es siempre dominante sobre el de los fenocristales, mostrando sectores con variaciones de textura a nive de muestras de mano y tomando el aspecto de roca brechosa. El mineral dominante como fenocristal es plagioclasa (An 40-50) y, en forma muy subordinada, cuarzo, hornblenda, biotita y opacos, mientras que la masa fundamental contiene microcristalitos de plagioclasa y feldespato potásico, levemente sericitizados, con menores cantidades de cuarzo, clorita, ilmenita-rutilo,

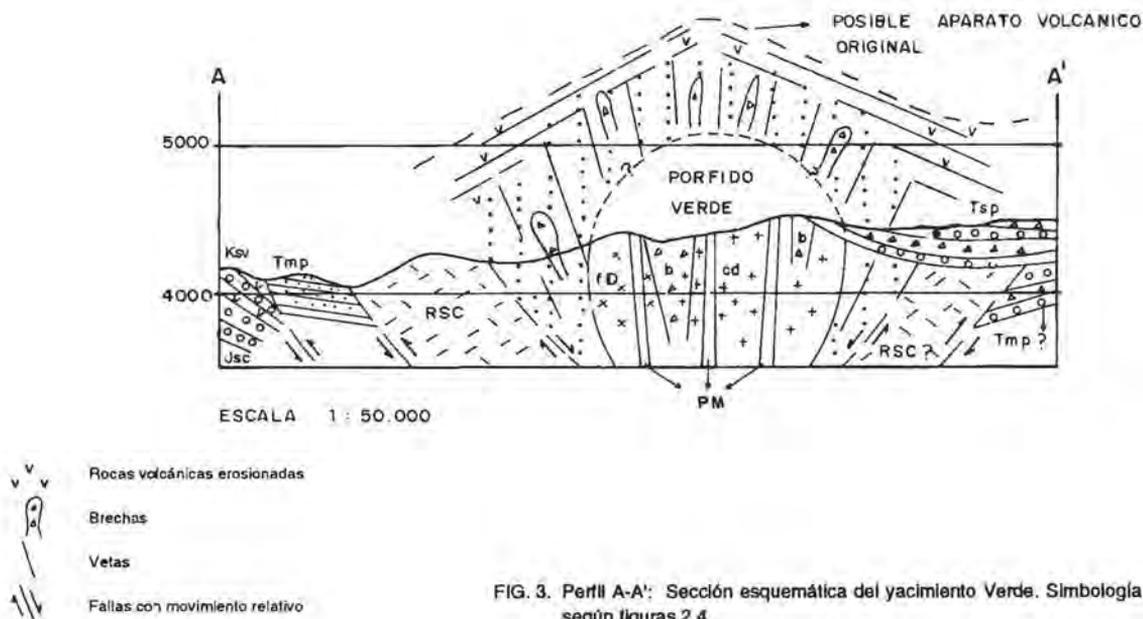


FIG. 3. Perfil A-A': Sección esquemática del yacimiento Verde. Simbología según figuras 2,4.

magnetita, hematita, zircón, y opacos (pirita). En este pórfido, las vetillas de cuarzo, con muy fina magnetita-hematita-sulfuros, son menos frecuentes y más delgadas que en el pórfido dacítico y se distribuyen en forma polidireccional y con inclinación dominante subvertical.

BRECHA INTRUSIVA (b)

Sus afloramientos se distribuyen ampliamente en el sector oriental de Verde oeste. Es una roca de carácter híbrido, de color gris a verde, desarrollada en la zona de contacto entre pórfidos dioríticos y dacíticos, en la cual coexisten fragmentos de ambas litologías en cantidades similares (caso en el que se denomina 'brecha b') o dominando claramente uno de ellos, fDb o cdb, respectivamente). Está afectada por silicificación penetrativa, reconociéndose, además de las vetillas típicas, algunas microvetillas polidireccionales de escasa longitud, con cuarzo, magnetita y sulfuros. Al microscopio, se observa calcita subordinada en las vetillas.

GRANODIORITA POSMINERALIZACION (PM)

Cortando la roca silicificada y mineralizada, afloran cuerpos intrusivos tardíos, de composición

granodiorítica (con plagioclasa, cuarzo, ortoclasa, biotita y hornblenda), de forma semicilíndrica y pequeño diámetro (100-200 m), con escasa silicificación y sin vetillas de cuarzo; es característico su aspecto fresco con cristales de biotita y anfíbola. Afloramientos de este tipo se encuentran, también, entre Verde este y Verde oeste, en una zona de baja ley (Fig. 5).

ESTRUCTURA

El yacimiento Verde está asociado a un sistema de fallas subverticales con orientación dominante este-oeste y secundarias norte-sur, vinculadas con zonas de brechas y bandas de roca fracturada de espesor variable entre 0,1 m hasta 20 m de espesor, rellenas por roca alterada (arcillas y óxido de Fe). Las fallas más importantes del yacimiento corresponden a dos sistemas de orientación este-oeste que limitan la zona mineralizada por el sur, poniéndola en contacto con rocas estériles del Complejo Subvolcánico Refugio (Fig. 4). Otras estructuras de importancia en el yacimiento corresponden a una intensa red de vetillas y microvetillas subverticales de cuarzo ('stockwork') de espesor promedio variable entre 1 y 2 mm y máximo no mayor que 5 mm, las que se disponen en forma subvertical y con orientaciones variadas, en Verde oeste, mientras en Verde

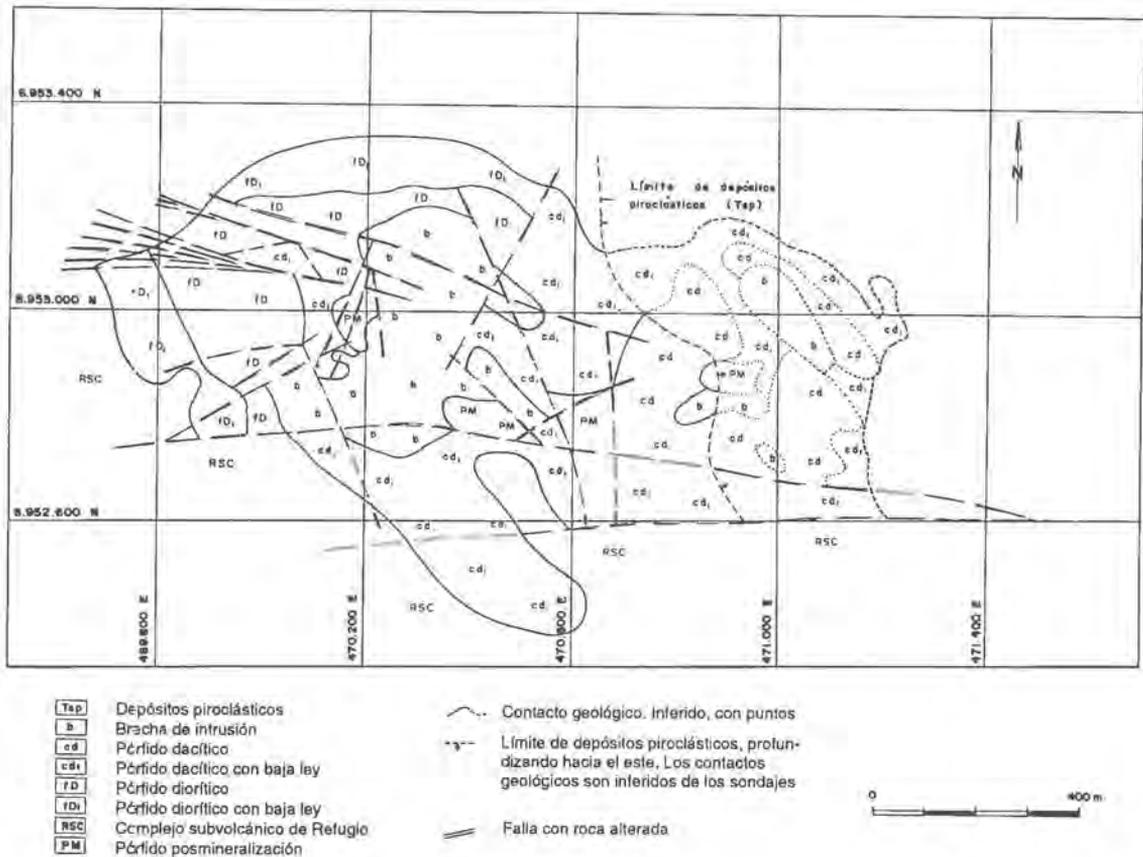


FIG. 4. Mapa geológico del yacimiento Verde.

este son de tendencia este-noreste. Un sistema subordinado de microvetillas subhorizontales se reconoce en todo el yacimiento.

ALTERACION Y MINERALIZACION

La mineralización de oro corresponde a oro nativo libre depositado en cavidades cristalinas de los minerales de la roca y en vetillas de cuarzo, con tamaños de 5-10 μ y, como máximo, de 50 μ . El oro aparece estrechamente relacionado con el pórfido y brecha moderadamente silicificados, encontrándose importantes cuerpos de ley homogénea localizados, principalmente, en dos núcleos, denominados Verde este y Verde oeste, los que son interrumpidos en su continuidad por zonas sin ley de oro, relacionadas con los intrusivos posmineralización (Fig. 5). Los

tipos de alteración y mineralización asociados en secuencia temporal son los siguientes:

FASE TEMPRANA

Similar a la alteración propilítica de los pórfidos cupríferos, se caracteriza por la presencia de clorita con mineralización de pirita y magnetita. La escasa mineralización de cobre presente en el yacimiento bajo la forma de calcopirita y bornita, en pocas cantidades y de grano muy fino, parece estar relacionada con esta fase de alteración. La concentración de clorita es variable y se encuentra diseminada o reemplazando a minerales ferromagnesianos y plagioclasa y, probablemente, a biotita de origen primario o relacionada con alteración potásica original. Vila y Sillitoe (1991) describieron la presencia de

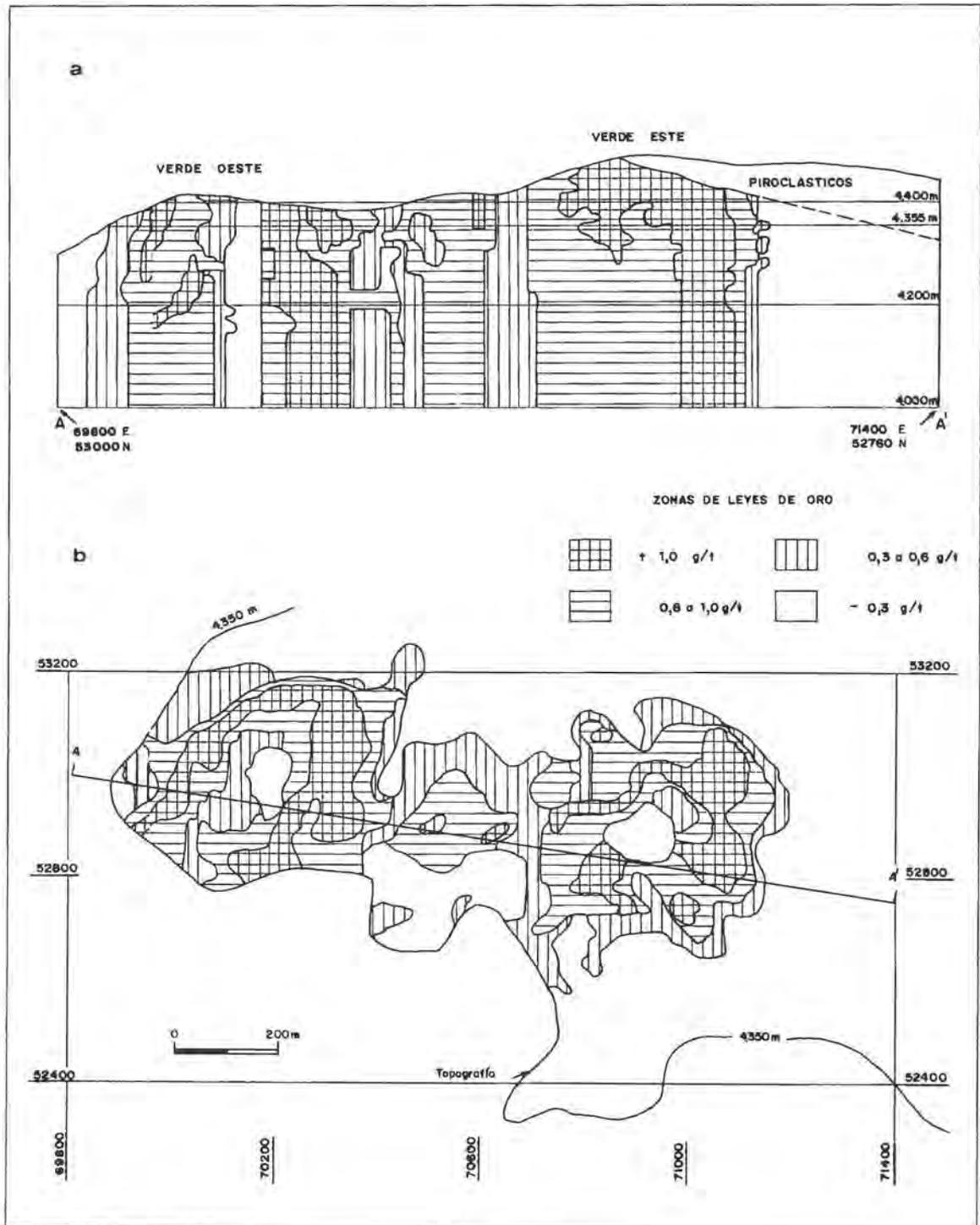


FIG. 5. Distribución de las leyes de oro en el Yacimiento Verde: a -sección generalizada del Yacimiento Verde; b- planta nivel 4.350.

alteración potásica con biotita secundaria en el proyecto Refugio, pero esto corresponde localmente al yacimiento Pancho, donde se reconoce una variedad de pórfido con leyes altas de cobre (0,1-0,3% de cobre total). La mayoría de los depósitos auríferos estudiados en la Franja de Maricunga presentan puntualmente alguna variedad de pórfido con alteración potásica biotítica y, asociadas a ella, leyes de cobre con contenidos iguales o superiores a 0,1%. Minerales como esfalerita, galena, arsenopirita, acantita y otros que se han observado en pequeño volumen al microscopio, parecen también estar relacionados con esta fase de alteración, por su asociación paragenética común con los minerales de cobre y los minerales de carácter hidrotermal temprano. Esta fase de alteración se habría producido a temperaturas moderadas en condiciones levemente alcalinas, y con bajas actividades de S_2 , Fe y Cu, debido a la generación de escasas cantidades de sulfuros y magnetita.

SILICIFICACION

Afecta en forma moderada a las rocas del yacimiento y corresponde a la alteración principal del depósito. Incluye dos subfases:

- **Subfase principal o de silificación maciza:** se desarrolla en forma generalizada dando como resultado pórfidos parcialmente silicificados, según un agregado de microcristalitos de cuarzo o sílice amorfa. Sólo puntualmente es posible encontrar una silificación penetrativa en la roca, que no permite reconocer su petrografía original. La mineralización asociada, de grano fino, corresponde a pirita y a parte de la mineralización de oro y magnetita presentes en el yacimiento.

- **Subfase de silificación en vetillas:** se desarrolla en la zona de silificación maciza e incluye, por lo menos, tres pulsos superpuestos, que generan vetillas de diferentes características y composición. El componente principal de las vetillas es cuarzo de grano fino y/o sílice amorfa, con carbonatos muy subordinados (calcita, rodocrosita y dolomita) y algunos opacos (pirita, magnetita). A esta subfase de silificación se asocia, también, parte de la mineralización de oro encontrada en el yacimiento. La silificación parece haberse producido a menores temperaturas que la fase temprana, en condiciones levemente ácidas y con bajas actividades de S_2 y Fe,

produciendo escasas concentraciones de sulfuros y magnetita.

ALTERACION ARGILICA

Es de amplia distribución en el sistema hidrotermal de Refugio, principalmente alrededor de los núcleos porfídicos que se relacionan con la mineralización aurífera, excepto en el sector norte de Verde oeste donde se sobrepone a rocas moderadamente silicificadas. Consiste en la argilización de los minerales formadores de la roca (principalmente feldspatos), invadiendo a la roca silicificada cuando ambos coexisten. Las arcillas corresponden, aparentemente, a caolín y montmorillonita, acompañadas, subordinadamente, de sericita y con cantidades en trazas de halloysita-esmectita y pirofillita. El principal mineral opaco asociado corresponde a pirita de grano fino diseminada, en general, en bajas concentraciones (menor que 2% en volumen) y sólo en partes en gran cantidad (sobre 5% en volumen). No hay mineralización de oro ni cobre asociada a esta fase y la magnetita sólo se encuentra débilmente distribuida. Esta fase de alteración se habría generado en la interfase aguas superficiales-aguas subterráneas con fluidos magmáticos, presentando características mixtas de hipógena y supérgena y es, fundamentalmente, de carácter posmineralización, por carecer de contenidos de oro de interés y por presentar contactos definidos con las rocas mineralizadas. Se desarrolló en un ambiente ácido cercano a la superficie, generando, en la parte alta del sistema (sobre el nivel de los pórfidos silicificados y de la roca arcillizada, como se observa en el yacimiento Pancho), un ambiente epitermal tipo ácido-sulfato, con lixiviación de la roca de caja y deposición de sílice porosa, arcilla, limonita y, en forma subordinada, jarosita, alunita y baritina, especialmente en estructuras brechosas, sin contenidos de oro.

ALTERACION SUPERGENA

De carácter superficial, esta alteración se superpone a las descritas anteriormente hasta profundidades variables entre 50 y 200 m en Verde oeste y Verde este, respectivamente, variando en intensidad según el grado de silicificación y/o fracturamiento que presenten las rocas afectadas. La alteración

supérgena consiste en un agregado de arcilla, limonita, óxido de manganeso (especialmente cercanos a la superficie) y, en las zonas de alteración argílica, algo de jarosita y yeso. Las rocas afectadas por alteración supérgena han perdido, parcial a to-

talmente, sus características originales, aumentando su porosidad y grado de fragmentación. Los efectos de la alteración supérgena sobre la roca mineralizada no producen un enriquecimiento supérgeno en oro, manteniéndose los valores originales.

EVOLUCION GEOLOGICA (MODELO GENETICO) DEL YACIMIENTO VERDE

De acuerdo con el conocimiento geológico obtenido durante la exploración del proyecto, se desarrolló un modelo conceptual de la mineralización de oro (Figs. 3, 6), el cual implica la superposición de 6 etapas sucesivas en el tiempo, cuya descripción es la siguiente (Nordin y Flores, 1991):

- Intrusión contemporánea de diversas fases de pórfidos en el núcleo de un centro volcánico y desarrollo de la brecha de intrusión en la zona de contacto entre ellos. El pórfido diorítico domina en Verde oeste y el pórfido dacítico en Verde este.
- Alteración hidrotermal temprana con la deposición de clorita, pirita, magnetita, sulfuros de cobre y otros.
- Silicificación moderada de los pórfidos y, posteriormente, generación de vetillas de cuarzo (carbonatos subordinados), con deposición de pirita y oro y cantidades menores de sulfuros de cobre y magnetita.
- Intrusión posmineral de granodioritas tardías, posmineralización, aproximadamente en la zona central de los cuerpos mineralizados de Verde este y Verde oeste (Figs. 4, 5).
- Alteración argílica alrededor y sobre los pórfidos silicificados, con alteración parcial a total de los minerales formadores de roca, y desarrollo de un esquema epitermal en la zona alta del sistema hidrotermal. Esta fase no aporta mineralización de oro o de cobre.
- Finalmente, erosión de las rocas del entorno, las que son cubiertas por rocas piroclásticas posteriores, y producción de alteración supérgena superficial, evolucionando el paisaje a la situación observada actualmente en los yacimientos del proyecto Refugio.

EVALUACION DE RESERVAS

Para el reconocimiento y evaluación del yacimiento Verde se perforaron 276 sondajes de circulación inversa, inclinados 65°, de 5³/₄ pulgadas de diámetro y con martillo, que totalizaron 56.800 m en una matriz rómbica de 50 m en el área del yacimiento y 100 y 200 m hacia la periferia. Con el propósito de validar la información entregada para estos sondajes, se perforaron 28 sondajes duplicados de diamantina (con un máximo de 2 m de distancia del original, enviándose a análisis químico el 90% del testigo y dejando sólo un delgado corte lateral para observación posterior) y 3 sondajes para verificar contactos geológicos, todos en diámetro HQ, que totalizaron 4.100 m. Además, se perforaron 12 sondajes de circulación inversa, también duplicados, con una recuperación de polvo más alta que los

originales. Otro sistema de validación fue perforar en 3 puntos del yacimiento un total de 22 sondajes en cruz, a menor distancia que la matriz de reconocimiento, con el objeto de detectar variaciones o confirmar los parámetros geológicos y geoestadísticos entregados por los sondajes utilizados para la evaluación del yacimiento.

Las muestras fueron tomadas cada 2 m, preparadas en Copiapó (Munizaga Mining Line) y analizadas en los Estados Unidos (Monitor Lab., Elko, Nevada) para evaluar los contenidos de Au, Ag, y Cu. Se intercalaron a ellas un total cercano al 10% de muestras estándares y duplicadas para comprobar el muestreo y la preparación de las mismas en el laboratorio. Para observar la distribución de Au, Ag y Cu en los diferentes tamaños de grano, se hicieron,

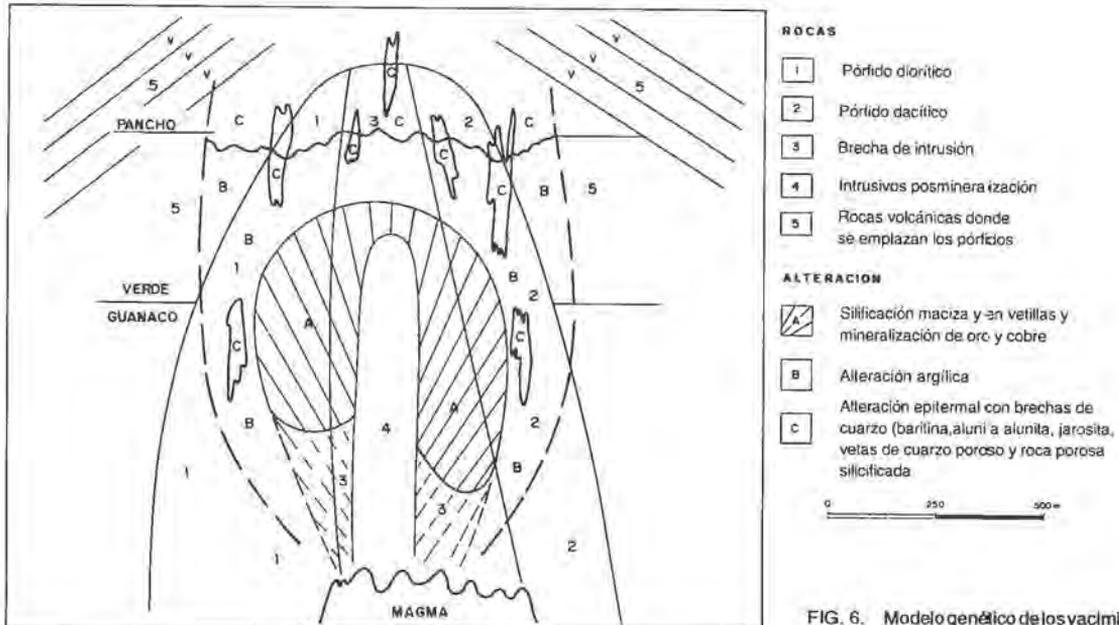


FIG. 6. Modelo genético de los yacimientos del proyecto Refugio.

desde el comienzo del proyecto, numerosos ensayos granulométricos, tanto en muestras secas como húmedas. Con los resultados de los sondajes, se procedió a interpretar en secciones noroeste-sureste y noreste-suroeste (Fig. 5a), la distribución de los tipos litológicos, las leyes de oro, la alteración argílica y los grados de oxidación (oxidados, mixtos y no oxidados). Los resultados de estas interpretaciones fueron traspasados a secciones horizontales cada 10 m (Fig. 5b), las que fueron digitalizadas y utilizadas para la evaluación de reservas, usando el método de Kriging dentro de las 'zonas de ley de oro' (0,3-0,6 g/t; 0,6-1,0 g/t; >1,0 g/t), con el programa Datamine. La clasificación de reservas considera Reservas Probada-Probables, para el mineral reconocido por sondajes hasta una distancia de 25 m de la muestra terminal y, Reservas Posibles, al mineral ubicado hasta 75 m alrededor de las anteriores (los primeros 25 m como Reservas Posibles Mineras y los siguientes 50 m como Reservas Posibles Remanentes). Un tipo especial de análisis se realizó con posterioridad a la interpretación de secciones, programando 10 sondajes de circulación inversa en lugares con escasa información o en áreas complicadas para la interpretación. Estos sondajes se perforaron en dirección contraria a todos los sondajes de la sección, cortándolos y entregando información adicional que ratificó

la interpretación geológica original en secciones.

El estudio de factibilidad del yacimiento Verde estableció reservas geológicas de 216 millones de toneladas de 0,88 g Au/t, con una ley de corte de 0,5 g Au/t (6,2 millones de onzas 'troy'). Las reservas explotables para el Proyecto Base ('Base Case') alcanzan a 101 millones con 1,02 g Au/t y en el Proyecto Base Expandido ('Extended Base Case') a 185 millones de toneladas de 0,9 g Au/t, con una razón lastre: mineral= 1:1 (Brown y Rayment, 1991). Reservas auríferas adicionales pueden agregarse a las descritas después de reconocer y evaluar los otros prospectos del proyecto Refugio (Pancho, Guanaco, Vidal y otras áreas cubiertas).

En el yacimiento Verde, las leyes de plata alcanzan valores muy bajos (probablemente similares o inferiores a los de oro, ya que sus valores están normalmente bajo el límite de detección de 1,71 g/t) mientras que las de cobre presentan un promedio del orden de los 300 ppm sobre un universo de alrededor de 30.000 análisis, variando entre 100-300 ppm en Verde oeste a 300-800 ppm en Verde este. Las leyes de cobre superiores a 0,1% en este yacimiento son de carácter puntual y, por lo tanto, poco significativas desde el punto de vista operacional.

METALURGIA

La evaluación de reservas del yacimiento Verde fue complementada con la ejecución de numerosas pruebas metalúrgicas, tanto en botellas como en columnas, en Copiapó y en Refugio, a partir del polvo recuperado de los sondajes de circulación inversa, de muestras de piques superficiales (hasta 10 m de profundidad) y de sondajes de diamantina. Se decidió no realizar pruebas de lixiviación a nivel 'piloto' o semi-industrial debido al gran tamaño del yacimiento, a la variabilidad vertical del mineral y a la poco confiable ley de 'cabeza' que se obtiene del mineral a lixiviar, resultando, por lo tanto, recuperaciones no bien definidas. Las pruebas en botellas se realizaron al comienzo de la exploración para proyectar expectativas del yacimiento y, posteriormente, para estimar los consumos de cianuro y de cal y para evaluar la cinética de lixiviación en los diferentes tipos de mineral, midiendo continuamente la concentración de cianuro, Au, Ag, Cu y pH.

Definidos los tipos de roca del yacimiento y su relación con la metalurgia, se programó la perforación de sondajes de diamantina, duplicados con sondajes de circulación inversa, perforados previamente, utilizándolos para comprobar las leyes entregadas por aquellos sondajes anteriores, y para pruebas metalúrgicas en columnas desarrolladas en Copiapó y Refugio, a diferentes granulometrías

(entre 1 y 1/4 de pulgada) y concentraciones de las soluciones y con recuperación de soluciones cada 48 ó 96 horas, las cuales fueron analizadas para estudiar los contenidos de Au, Ag, Cu, pH y NaCN, al igual que las soluciones estériles resultantes. La lixiviación continuaba hasta que la solución mantenía, por lo menos por una semana, concentraciones de oro de 0,05 g/t. Se realizaron análisis químicos y estudios granulométricos de cada 'cola' y de las muestras originales.

Las columnas realizadas en Refugio no muestran diferencias en las velocidades de lixiviación y las recuperaciones de oro respecto a las realizadas en Copiapó, pero sí una clara disminución en los consumos de cianuro.

Para el análisis económico del proyecto se utilizaron los siguientes parámetros metalúrgicos, considerados como promedios:

Oxidos	72% de recuperación y molienda a 1/2 pulgada
Mixtos	67% de recuperación y molienda a 1/4 pulgada
No oxidados	58% de recuperación y molienda a 1/4 pulgada
Consumo de cianuro de sodio	0,8 kg/t de mineral
Consumo de cal	1,9 kg/t de mineral

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a los ejecutivos y colegas de Bema Gold Co. y Bema Gold (Chile) Ltda. por el apoyo prestado y la autorización para la publicación del presente artículo y a los evaluadores de la

Revista, por las correcciones efectuadas. Especial reconocimiento a la Srta. Alejandra Araya y al Sr. Walter Cicardini, secretaria y dibujante, respectivamente, de Bema Gold (Chile) Ltda.

REFERENCIAS

- Brown, A.J.; Rayment, B. 1991. Refugio Gold Project, Chile. *Mining Magazine*, Vol. 165, No. 5, p. 306-312.
- Bruce, M. 1988. Geología de la Alta Cordillera de Copiapó al suroeste de la Laguna del Negro Francisco. Memoria de Título (Inédito), *Universidad de Chile, Departamento de Geología y Geofísica*, 143 p. Santiago.
- Davidson, J.; Mpodozis, C. 1991. Regional Geologic Setting of Epithermal Gold Deposits, Chile. *Economic Geology*, Vol. 86, No. 6, p. 1174-1186.
- Mercado, M. 1982. Hoja Laguna del Negro Francisco. *Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile*, No.56, 73 p. Santiago.

- Moscoso, R.; Maksiyev, V.; Cuitiño, L.; Díaz, F.; Koepfen, R.P.; Tosdal, R.M.; Cunningham, C.G.; McKee, E.H.; Rytuba, J.J. 1993. El Complejo Volcánico Cerros Bravos, región de Maricunga, Chile: Geología, Alteración Hidrotérmica y Mineralización. *In Investigación de Metales Preciosos en el complejo Volcánico Neógeno-cuaternario de los Andes Centrales. Proyecto BID/TC-88-02-32-5. Publicidad, Arte, Producciones*, 195 p. La Paz.
- Muzzio, G. 1980. Geología de la región comprendida entre Cordón El Vanillar y Sierra Vizcachas, PreCORDILLERA de Atacama, Chile. Memoria de Título (Inédito). *Universidad de Chile, Departamento de Geología*, 234 p. Santiago.
- Nordin, G.; Flores, R. 1991. The Geology of The Verde Gold Deposit, Refugio Project, Chile. *In Canadian Institute of Mining and Metallurgy Annual Convention, Vancouver*, 9 p.
- Sillitoe, R.H.; McKee, E.H.; Vila, T. 1991. Reconnaissance K-Ar geochronology of the Maricunga gold-silver belt, northern Chile. *Economic Geology*, Vol. 86, No. 6. p.1261-1270.
- Vila, T.; Sillitoe, R.H. 1991. Gold-rich porphyry systems in the Maricunga belt, northern Chile. *Economic Geology*, Vol. 86, No. 6, p. 1238-1260.