

PORFIDOS CUPRIFEROS RICOS EN ORO; UNA REVISION

JOSE PERELLO

BHP-Utah International Inc., P.O. Box 15479, Salt Lake City, Utah, 84115, U.S.A.

JOSE CABELLO

BHP-Utah International Inc. 550 California St., San Francisco, California. 9410.

RESUMEN

El análisis de 47 depósitos tipo pórfido cuprífero, considerados anómalos en oro (leyes $\geq 0,3$ ppm Au) revela que sus reservas son variables entre los 3 mil millones de toneladas con leyes de 0,8% Cu; 0,31 ppm Au y 5 millones de toneladas con leyes de 0,7% Cu; 0,6 ppm Au. Los depósitos más ricos poseen leyes promedio de 0,93 ppm Au. Las leyes de Cu y Au se correlacionan positivamente. La edad de estos depósitos está comprendida entre el Precámbrico (2.700 Ma) y el Plio-Pleistoceno (1,1-1,2 Ma), pudiendo encontrarse tanto en márgenes continentales de tipo andino, como en arcos de islas edificados sobre corteza oceánica. Si bien los intrusivos asociados corresponden, en general, a diorita y diorita cuarcifera, también se encuentran adamelitas, riolitas y latitas calcoalcalinas, cuerpos de afinidad shoshonítica y sienitas. Las rocas de caja incluyen secuencias volcánicas y volcanoclásticas comagmáticas con el sistema porfídico; esquistos, anfíbolitas y turbiditas de bajo grado de metamorfismo; toleítas de Fe-Mg, basaltos y sedimentitas marinas y/o continentales. El oro se encuentra principalmente en estado nativo, libre o como inclusiones en calcopirita y/o bornita. En algunos casos aparece en forma de electrum, o junto a pirita y molibdenita. El oro se asocia, especialmente, a zonas de alteración potásica con biotita, cuarzo, abundante magnetita y, en algunos casos, actinolita y feldespato potásico. Su transporte se realizaría esencialmente mediante complejos clorurados, introducidos en el sistema a través de fluidos de alta salinidad ($\geq 40\%$ peso NaCl) y temperatura ($\geq 500^\circ\text{C}$), compatibles con un origen magmático. A la fecha, no existen antecedentes definitivos en favor de un enriquecimiento en oro de los fluidos hidrotermales mediante procesos de lixiviación hipógena de las rocas encajantes. Se verifica que estos depósitos no están estrictamente restringidos a una época geológica o determinado ambiente geotectónico (arcos de islas *versus* márgenes continentales), como tampoco presentan una asociación exclusiva con algún tipo especial de intrusivo ni roca de caja. En forma similar, aunque ciertas asociaciones de alteración hidrotermal son características, quedan en evidencia algunas excepciones.

Palabras claves: Pórfidos cupríferos, Pórfidos de oro, Metalogénesis, Alteración hidrotermal.

ABSTRACT

The analysis of 47 gold-bearing porphyry copper ores (≥ 0.3 ppm Au) has shown that total reserves can vary from 3 thousand million tons 0.80% Cu; 0.30 ppm Au down to 5 million tons 0.7% Cu; 0.6 ppm Au; with the richest deposits having head grades of 0.93 ppm Au. Most deposits show a positive correlation between Cu and Au grades. The deposits range in age from Archean (2,700 Ma) to Plio-Pleistocene (1.1-1.2 Ma); they are associated with either Andean-type continental margins, or island arc-type settings with oceanic foundation. Although generally associated with calc-alkaline diorite and quartz-diorite intrusives, they are also related to adamellite, rhyolite and latite porphyries, as well as shoshonitic intrusives and syenites. Wallrocks to the orebodies include coeval volcanic and volcanoclastic sequences; schists, amphibolites and metamorphosed turbidites; Fe-Mg tholeiites, basalts and sedimentary rocks. Gold typically occurs in the native form, either as free, micron-sized particles; or as inclusions within chalcopyrite and/or bornite. Gold (as copper) tends to be present within K-silicate alteration zones with biotite, quartz, abundant magnetite and minor actinolite and K-feldspar. It is currently thought that gold would have been introduced into the system by high-salinity ($\geq 40\%$ weight NaCl), high-temperature ($\geq 500^\circ\text{C}$) juvenile fluids of magmatic affinity, and transported as chloride complexes. To date there is no direct evidence to support an enrichment in gold of the hydrothermal fluids through hypogene leaching of the wallrocks of the orebodies. The present review supports and further extends previous work by showing that gold-rich copper porphyries are not strictly dependent on the composition, petrologic suite and age of the intrusives and wallrocks, nor are they confined to a particular geotectonic setting (island arcs *versus* continental margins).

Key words: Porphyry coppers, Gold porphyries, Metallogenesi, Hydrothermal alteration.

INTRODUCCION

Con alrededor del 65% de la producción mundial de Cu y Mo, los depósitos tipo pórfido cuprífero han sido considerados, tradicionalmente, como las principales fuentes de estos dos metales. Sin embargo, en las últimas décadas ha quedado en evidencia que otros metales, no convencionales, tales como Au, Ag, Pb, Zn, Sn, W y Re, se encuentran íntimamente asociados a sistemas porfídicos y pueden ser económicamente recuperados, de acuerdo con las condiciones del mercado (Sillitoe, 1982). En particular, el Au ha sido reconocido como un importante subproducto (y, en algunos casos, coproducto) de la minería de pórfidos cupríferos, especialmente en algunos de los depósitos terciarios del Pacífico suroccidental (Papúa-Nueva Guinea y Filipinas) y del Triásico-Jurásico de Columbia Británica, en Canadá.

El incentivo económico para obtener un mejor conocimiento sobre el papel del oro en pórfidos cupríferos es, por lo tanto, considerable. Se ha estimado, por ejemplo, que el metal precioso constituye más del 21% del valor total promedio (Cu + Au) de algunos depósitos de la Cordillera Canadiense, elevándose hasta un 36% en casos como Bell Copper (Cuddy y Kesler, 1982) y posiblemente aún más en el reciente descubierto Mount Milligan, que posee leyes de oro entre 0,3 y 4,5 ppm (Rebagliati, 1989).

La producción de oro como subproducto de la minería de pórfidos cupríferos representaba, hasta

hace algunos años, alrededor del 5% del total de oro generado por países con economías no centralizadas (Sillitoe, 1982). Depósitos como Bingham, Utah y los yacimientos del Pacífico suroccidental (Filipinas y Papúa-Nueva Guinea) se encuentran entre los más grandes y más ricos del mundo. Si las condiciones del mercado lo permitieran, algunos depósitos de Cu-Au con zonas de alta ley podrían ser explotados solamente debido a su contenido de oro, lo cual sería el caso de Santo Tomás II y Dizon, en Filipinas (Fig. 9), cada uno con reservas de alrededor de 10 millones de toneladas con ley promedio de 2 ppm Au. Lo mismo es válido para Panguna, en Papúa-Nueva Guinea, donde, inicialmente, se cubieron cerca de 50 millones de toneladas con similares leyes de oro (Sillitoe y Gappe, 1984; Sillitoe, 1988a).

Este trabajo, versión más completa de aquél presentado por los autores (Perelló y Cabello, 1988), describe, brevemente, las principales características geológicas de 47 pórfidos cupríferos con contenido de oro superior o igual a 0,3 ppm Au distribuidos en Argentina, Australia, Brasil, Canadá, Estados Unidos, Filipinas, Finlandia, Indonesia, Malasia, Pakistán, Papúa-Nueva Guinea y Puerto Rico (Fig. 1, Tabla 1). Veinticuatro de estos depósitos poseen una ley media de oro superior o igual a 0,4 ppm Au y pueden ser clasificados como pórfidos de cobre ricos en oro en el sentido de Sillitoe (1979) o como pórfidos de Cu-Au, de acuer-

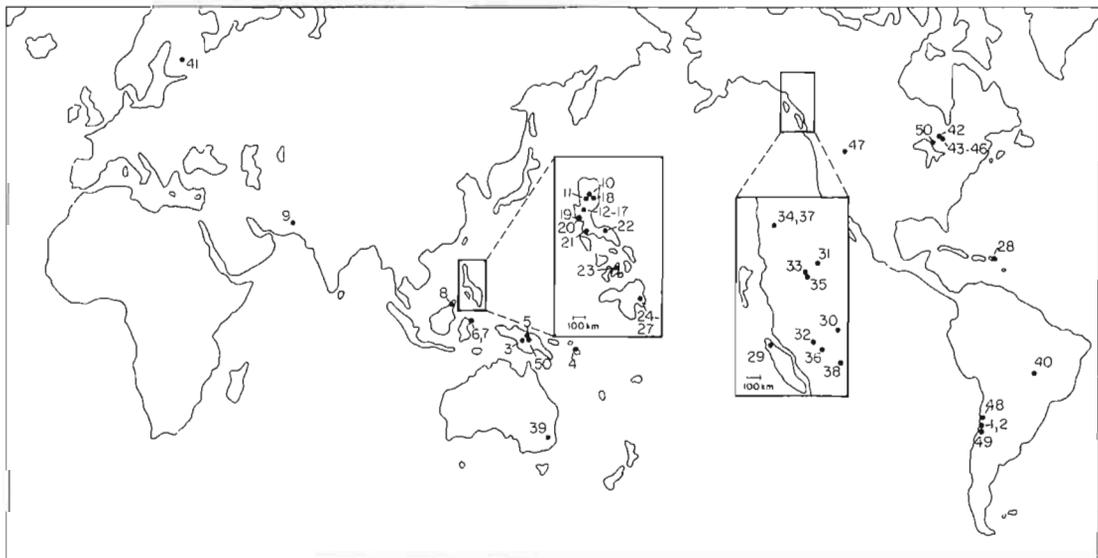


FIG. 1. Mapa de ubicación de los depósitos descritos en el texto. Números 1-47, según Tabla 1; números: 48 = El Salvador y Potrerillos; 49 = Andacollo; 49 = Porgera; 50 = Hemlo.

do con la nomenclatura de Singer y Cox (1986) y Cox y Singer (1988).

La presente contribución comienza con una evaluación de los pórfidos cupríferos ricos en oro, de acuerdo con el tonelaje y ley de oro, continuando con una síntesis de sus características geológicas. Finalmente, se discuten los intentos de clasificación de los pórfidos según su contenido de oro. Como objetivo general, se destaca la importancia económica y geológica del oro en los sistemas de pórfidos, a la vez que se comenta la literatura sobre el tema, cuya difusión ha sido aparentemente escasa en el país.

FUENTE Y VALOR DE LA INFORMACION

En el presente trabajo se analiza, exclusivamente, la mineralización de oro dentro del sistema porfídico (cf. Sillitoe, 1988a) sin incluir aquellos depósitos de metales preciosos, asociados externamente a pórfidos cupríferos o intrusivos con escasa mineralización de Cu-Mo. Estos también pueden alcanzar importancia económica como los 'skarns' de Ertsberg, Indonesia (0,85 ppm Au; Titley, 1978), Copper Canyon, Nevada ($\pm 0,8$ ppm Au; Theodore y Blake, 1978), Ok Tedi, Papúa-Nueva Guinea (1,6 ppm Au; Sillitoe, 1988a), La Luz (Siuna), Nicaragua (4,1 ppm Au; Sillitoe, 1988a) y Bingham, Utah ($\pm 1,6$ ppm Au; Wilkins, 1984).

Para preparar la base de datos, se utilizó la información contenida en Sutherland Brown (1976) y Sinclair *et al.* (1982) para los depósitos de la Cordillera Canadiense; Saegart y Lewis (1977) y Sillitoe y Gappe (1984) en el caso de los yacimientos filipinos; y Sinclair (1982), Franklin y Thorpe (1982) y Ayres y Cerni (1982) para los principales depósitos y algunas manifestaciones menores en el Escudo Canadiense, entre otros. Esta revisión bibliográfica se complementó con visitas y observaciones propias, efectuadas por los autores en varios de los yacimientos.

La calidad de la información que se presenta en este trabajo se encuentra limitada por la exactitud de las publicaciones. Factores tan diversos tales como políticas empresariales, número de sondajes, y otros, influyen en el anuncio público de la cantidad de oro en un yacimiento (ver, por ejemplo, Sillitoe, 1982; Guilmour, 1982; Sinclair *et al.*, 1982; Wilkins, 1984). Esto es aún más importante cuando el oro es un subproducto, lo cual sucede

en la mayoría de los casos, con la posible excepción de Santo Tomás II, Filipinas (Sillitoe y Gappe, 1984). Por otro lado, las estimaciones de tonelaje y ley se basan en una ley de corte variable, la que no se suele mencionar en las publicaciones. En muchos casos, no se hacen diferencias entre mineralización hipógena y/o supérgena. En las minas en producción, es importante considerar los mecanismos de extracción utilizados y la cantidad de oro recuperado. Por ejemplo, como lo han señalado Gabelman y Hanusiak (1986), la producción de oro como subproducto puede ser informada, pero es posible que parte de la mineralización de oro se encuentre asociada con sulfuros, silicatos y otros minerales no recuperados en los diversos procesos metalúrgicos (Island Copper, Canadá; Perelló, 1987; Perelló *et al.*, 1989).

Sin embargo, a pesar de estas limitaciones, los autores piensan que la información recopilada constituye una apreciación aceptable del tonelaje

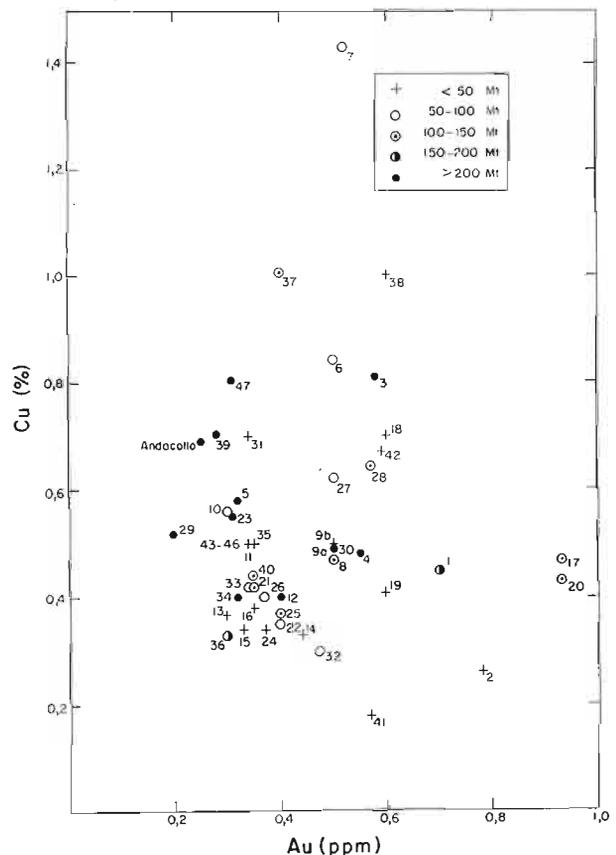


FIG. 2. Leyes de Cu-Au de los depósitos descritos en el texto. Numeración según Tabla 1. En el caso de Saindak, Pakistán (9a, 9b), corresponden a los cuerpos sur y norte, respectivamente. Mt millones de toneladas.

y leyes de pórfidos de Cu-Au. Las leyes entregadas se refieren, casi exclusivamente, a mineralización hipógena. Cuando ha sido posible se ha distinguido, además, entre varias categorías de reservas, especialmente entre probadas y probables.

TONELAJE Y LEYES

La información acerca de tonelajes y leyes se resume en la tabla 1 y figura 2. En esta última, los valores de Au se presentan junto a los de Cu, omitiéndose las leyes de Mo. La compilación también incluye algunos depósitos con ley media inferior a 0,3 ppm Au, debido a que se sabe que ellos poseen un volumen menor, aunque considerable, con leyes sobre los 0,3 ppm Au, como sucede en Island Copper (Perelló *et al.*, 1989), Goonumbra (Jones, 1985) y Marian (Sillitoe y Gappe, 1984).

Como se desprende de la tabla 1, los pórfidos cupríferos anómalos en oro varían en tamaño desde los 3 mil millones de toneladas con ley de 0,8% Cu; 0,31 ppm Au de Bingham, Estados Unidos (Guilmour, 1982; Wilkins, 1984) y los 5 millones de toneladas con 0,7% Cu; 0,6 ppm Au de Marian, Filipinas (Sillitoe y Gappe, 1984). La ley de oro promedio de estos yacimientos es de aproximadamente 0,45 ppm Au, la que aumenta a 0,56 ppm Au si se considera solamente aquellos depósitos con

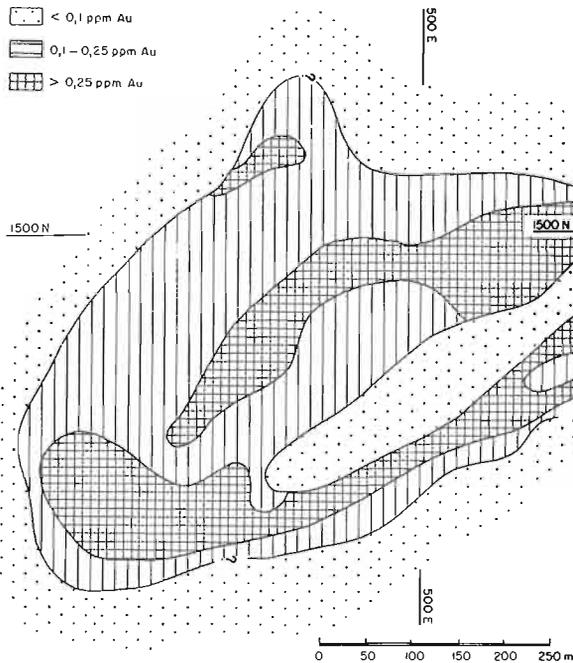


FIG. 3. Distribución generalizada de las leyes de Au en el nivel Las Vegas, mina Potrerillos, Chile. Tomado de Parra (1983).

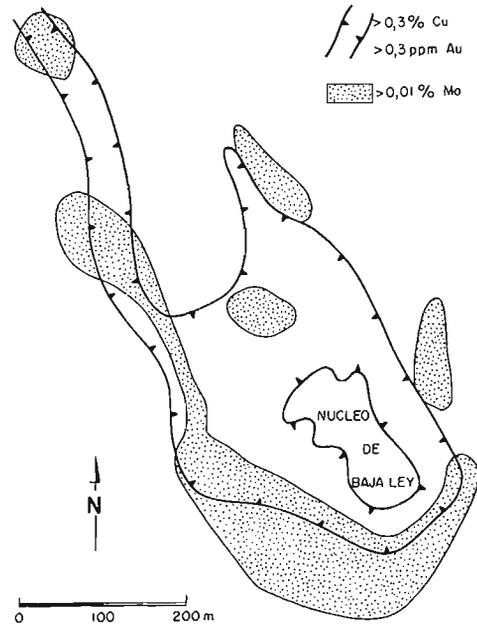


FIG. 4. Relación entre la mineralización de Cu, Au y Mo en el pórfido de Cu-Au Saindak, Pakistán. Tomado de Sillitoe (1982).

ley media superior o igual a 0,4 ppm Au (pórfidos ricos en oro, en el sentido de Sillitoe 1979). Los depósitos con más alta ley cabeza de oro son los filipinos Santo Tomás II y Dizon, con alrededor de 0,93 ppm Au (Sillitoe y Gappe, 1984; Sillitoe, 1988a, b).

A modo de comparación, en la figura 2 se incluye también a Andacollo, el más rico en oro de los pórfidos cupríferos chilenos (Sillitoe, 1981), cuyas reservas alcanzan 300 millones de toneladas de mineral con 0,69% Cu; 0,01% Mo; 0,25 ppm Au (Llaumet *et al.*, 1975). Aunque pobremente documentada, la ley media de oro de los pórfidos cupríferos de los Andes Centrales, es, en general, baja, con valores inferiores a 0,2 ppm Au (Sillitoe, 1981). Quebrada Blanca, por ejemplo, posee una ley media inferior a 0,1 ppm Au (Hunt *et al.*, 1983), mientras que la ley hipógena media en El Salvador es de alrededor de 0,1 ppm Au (Roeschmann, 1979) y posiblemente la mitad de este valor poseen Chuquicamata, El Teniente y Andina (E. Tidy; comun. personal, 1987). De modo similar, recientes estudios en Los Bronces (Disputada) indican que su ley media es de alrededor de 0,035 ppm Au (C. Holmgren; comun. personal, 1988) mientras que en Los Pelambres ésta sería <0,1 ppm Au con algunos sectores ricos en biotita con leyes entre 0,2 y 0,4 ppm Au (R. Muhr; comun. personal,

1988). Sin embargo, Andacollo y Potrerillos poseen valores más altos, este último con extensas zonas con promedio superior a 0,25 ppm Au (Parrá, 1983; Fig. 3). Los depósitos Bajo de La Alumbrera y Bajo El Durazno, en el noroeste argentino, alcanzan leyes mayores o iguales a 0,7 ppm Au (Sillitoe, 1979; Allison, 1986) y algunos depósitos menores en los Andes de Colombia (Sillitoe *et al.*, 1982), superiores o iguales a 0,4 ppm Au.

De los 47 depósitos resumidos en la tabla 1, doce poseen mineralización de Mo, que puede ser considerada como importante, con leyes mayores que 0,010% Mo. Aunque varios depósitos de ambiente continental poseen halos con mineralización de Mo alrededor de núcleos de Cu-Au como Bajo de La Alumbrera (Sillitoe, 1979) y Saindak

(Sillitoe y Khan, 1977; Sillitoe, 1982; Fig. 4), el Mo es también abundante en algunos yacimientos emplazados en arcos de islas como Schaft Creek (Fox *et al.*, 1976) e Island Copper (Perelló, 1987; Perelló *et al.*, 1989) en Canadá; Chapada, Brasil (Richardson *et al.*, 1986) y Kenon, Larap y Luto-pán (Atlas) en Filipinas (Sillitoe y Gappe, 1984). Aún más, algunos de los pórfidos cupríferos más ricos en oro, como Santo Tomás II y Dizon, Filipinas, poseen aureolas enriquecidas en Mo, como lo han demostrado Sillitoe y Gappe (1984). La ley promedio de Mo de los 12 depósitos aludidos es de 0,02%, valor comparable con el contenido de Mo de algunos yacimientos que tipifican la categoría Cu-Mo (Cox y Singer, 1988), como Chuquicamata ($\pm 0,22\%$ Mo) y El Teniente ($\pm 0,022\%$ Mo).

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS DE LOS PORFIDOS CUPRIFEROS RICOS EN ORO

En este capítulo, y aprovechando la base de datos compilada, se da a conocer una revisión de las variables geológicas que pudieran condicionar la presencia de oro en los sistemas de pórfidos. Entre éstas hay que considerar tanto factores regionales (edad de los depósitos, ambiente geotectónico) como específicos (rocas de caja, tipo de intrusivos, afinidades petrológicas y alteración hidrotermal). Finalmente, se indica la forma en que se presenta el oro (mineralogía), su posición al interior del sistema porfídico y su relación con los diferentes tipos de alteración hidrotermal.

EDAD

La recopilación efectuada indica que el intervalo de edad de los pórfidos cupríferos con leyes $\geq 0,3$ ppm Au está comprendido entre el Precámbrico, como es el caso del depósito de McIntyre, en el Escudo Canadiense, datado por el método U-Pb en 2.688 Ma (Mason y Melnik, 1986a, b; Wood *et al.*, 1986) hasta el Plio-Pleistoceno (Ok Tedi, en Papúa-Nueva Guinea, edad K-Ar = 1,1-1,2 Ma, Page y McDougall, 1972a). Según se desprende de la tabla 1, seis depósitos son de edad precámbrica (incluyendo las minas del distrito Matachewan, en Ontario); dos son paleozoicos; ocho, mesozoicos; y, por lo menos 25, cenozoicos. La mayoría de las edades está respaldada por métodos radiométricos, excepto en los ejemplos filipinos (Sillitoe y Gappe, 1984).

Los depósitos precámbricos (cinco arqueanos;

uno proterozoico) son especialmente interesantes, debido a que, hasta hace poco, la mineralización tipo pórfido de Cu-Mo-Au no era considerada importante en estos terrenos. En efecto, además de los ejemplos citados en la tabla 1, otros prospectos tipo pórfido cuprífero con mineralización de oro asociada se han reconocido en intrusiones trondjemíticas en Baydelman Bay, Ontario (Poulsen y Franklin, 1981) y, posiblemente, en varias otras localidades del Escudo Canadiense (Colvine y Marmont, 1981; Franklin y Thorpe, 1982). En este sentido, conviene mencionar que el recientemente descubierto Hemlo (72 millones de toneladas con ley de 7,2 ppm Au; 0,09% Mo) posee ciertas afinidades, particularmente en el estilo de alteración, con yacimientos tipo pórfido (Khuns, 1986; R. Khuns, comun. personal, 1988; ver Figura 5).

AMBIENTE GEOTECTONICO

Con relación al ambiente geotectónico, la compilación muestra que por lo menos 32 depósitos fueron generados en arcos de islas edificadas, probablemente, sobre corteza 'oceánica'; 19 de éstos poseen leyes de $\geq 0,4$ ppm Au, pudiendo ser clasificados como 'pórfidos ricos en oro', en el sentido de Sillitoe (1979). Dentro de este grupo se incluye uno de los yacimientos más grandes (Parguna) así como los más ricos en oro (Santo Tomás II, Dizon; Tabla 1). Otros 10 depósitos fueron generados en ambiente tipo margen continental, de los cuales Bajo de La Alumbrera, Bajo El Durazno, Ok

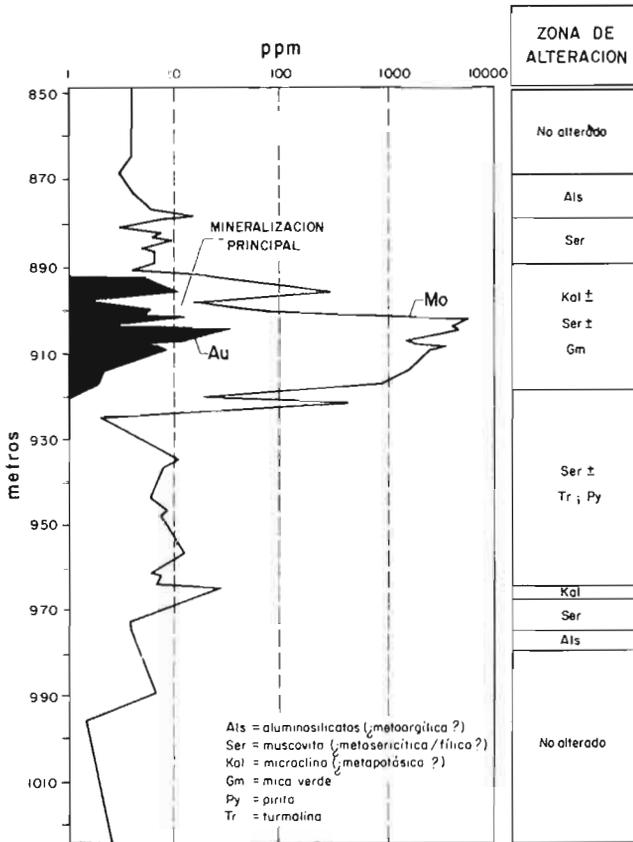


FIG. 5. Distribución de las leyes de Cu y Mo y zonación de la alteración en el sondaje NGG 14 (Mina Golden Giant), en el megayacimiento Hemlo, Ontario, Canadá. Simplificado de Khuns (1986).

Tedi, Saindak y Fish Lake poseen leyes promedio >0,4 ppm Au. Los depósitos del Escudo Canadiense pueden ser considerados, según algunos autores (ver Ayres y Thurston, 1985), como emplazados en un ambiente de 'rift' continental similar al 'Basin and Range' del oeste norteamericano o bien, según otros, en un ambiente de arco de islas (por ejemplo, Mason y Melnik, 1986a; Sylvester *et al.*, 1987).

ROCAS DE CAJA

Las rocas de caja de los pórfidos cupríferos ricos en oro muestran un amplio intervalo de edad y composición. Pueden incluir:

- a. Secuencias volcánicas y volcano-sedimentarias contemporáneas con el emplazamiento del pórfido cuprífero, como en los depósitos mioce-

nos de Bajo de La Alumbraera (Fig. 6) y Bajo El Durazno en el noroeste argentino (Sillitoe, 1979; Allison, 1986) y Frieda River, en Papúa-Nueva Guinea (Whalen *et al.*, 1982); algunos depósitos del Cretácico y Terciario de Filipinas (Lutopan, Dizon, Pisumpan y San Antonio (Sillitoe y Gappe, 1984); en los depósitos del Triásico-Jurásico Inferior de la Cordillera Canadiense (Ney *et al.*, 1976; Barr *et al.*, 1976) y, en los depósitos paleozoicos del este australiano (Goonumbla; Jones, 1985) y del oeste argentino (El Retamal; Pelichotti y Cardó, 1983).

- b. Rocas metamórficas que varían desde esquistos y anfibolitas paleozoicas (Chapada, Brasil; Richardson *et al.*, 1986) hasta turbiditas y piroclásticos metamorizados paleozoicos (Kopsa, Finlandia; Gaal e Isohanni, 1979). La caja de los yacimientos arqueanos del Escudo Canadiense incluye toleitas de Fe-Mg, basaltos con estructuras de almohadilla en McIntyre (Mason y Melnik, 1986a, b) y andesitas, basaltos, conglomerados y grauwacas en el distrito de Metchewan (Sinclair, 1982).

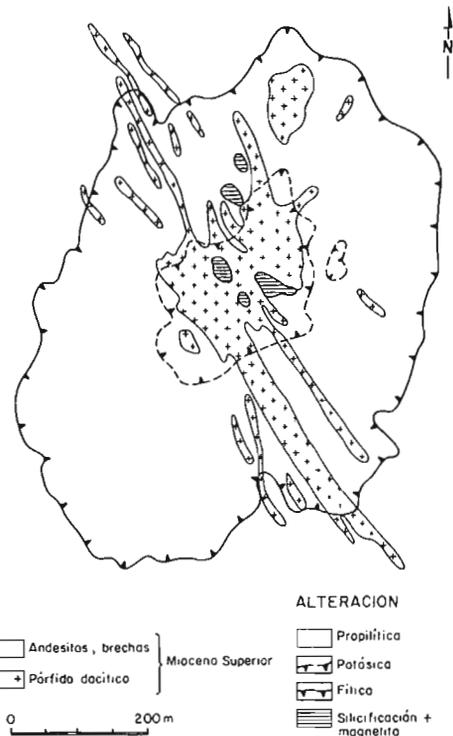


FIG. 6. Geología y alteración hidrotermal en el pórfido de Cu-Au Bajo de La Alumbraera, Provincia de Catamarca, Argentina. Simplificado de Bassi y Rochefort (1980).

TIPOS DE INTRUSIVOS

Treinta y seis depósitos están asociados a intrusivos de afinidad calcoalcalina, dos shoshoníticos y nueve alcalinos. La mayoría de los depósitos del primer grupo se asocian a intrusivos dioríticos y dioríticos cuaríferos, como Panguna y Frieda River, en Papúa-Nueva Guinea, Cabang Kiri y Sungai Mak, en Indonesia; Tanamá, en Puerto Rico y casi la totalidad de los ejemplos filipinos. Además, tres depósitos se asocian a intrusivos monzoníticos (Poison Mountain, Ok Tedi, Goonumbla), mientras que en Schaft Creek, Island Copper y McIntyre, Canadá, los pórfidos son riolítico-riodacíticos y, en Bajo de La Alumbra y Bajo El Durazno, Argentina, los intrusivos son dacíticos y andesíticos, respectivamente. Mamut, en Malasia, es adamelítico y Marian, en Filipinas, es latítico. Los depósitos restantes presentan una afinidad típicamente alcalina, estando asociados a intrusivos sieníticos y monzoníticos de los cuales Galore Creek, Afton y Cariboo-Bell, en la Cordillera Canadiense, poseen una ley cabeza $\geq 0,4$ ppm Au.

ALTERACION HIDROTHERMAL

Con sólo algunas excepciones (Tabla 1), los de-

pósitos analizados muestran una zonación de alteración hidrotermal bien desarrollada, típicamente constituida por un núcleo potásico de biotita, feldespato potásico y, en ciertos casos, actinolita, rodeado por una aureola propilítica. En algunos depósitos, una asociación de cuarzo-sericita forma, ya sea un halo alrededor del núcleo potásico (Goonumbla, Bajo de La Alumbra; Fig. 6) o se sobrepone a él (Island Copper, Panguna Bajo El Durazno). Una asociación de sericita-arcilla-clorita es característica de los yacimientos filipinos, algunos de los cuales desarrollan una cubierta de alteración argílica avanzada (Sillitoe y Gappe, 1984).

Algunas variaciones con respecto a este modelo general de alteración han sido descritas en Cariboo-Bell, Galore Creek, Cabang Kiri, Mamut Tanamá, Island Copper, Chapada y McIntyre. En los dos primeros una zona rica en granate bordea al núcleo potásico (no tan obvio en Galore Creek), mientras que en Mamut (Kosaka y Wakita, 1978), Island Copper (Perelló *et al.*, 1989) y Tanamá (Cox, 1985), una asociación de anfíbola (actinolita) es envuelta por rocas con alteración potásica. En Chapada, el núcleo potásico está rodeado por un halo piritico y un anillo más externo de kyanita-estaurolita (¿posible equivalente metamórfico de una asociación argílica?; Richardson *et al.*, 1986),

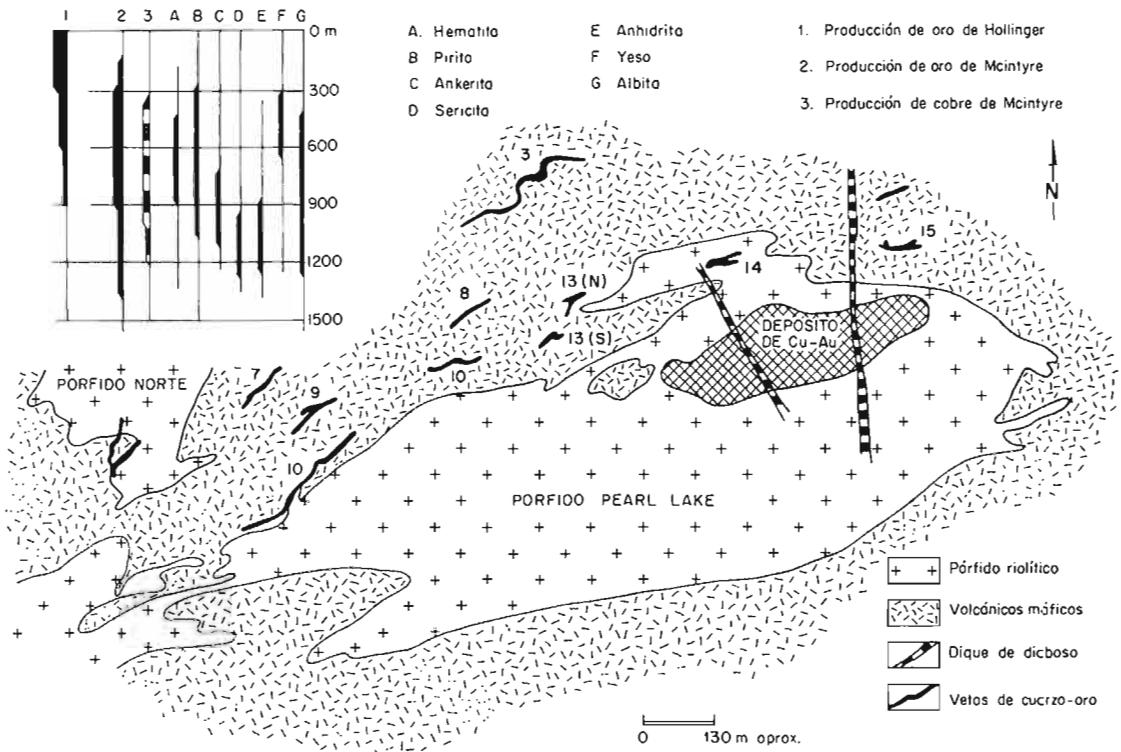


FIG. 7. Mineralización tipo pórfido de Cu-Au en Hollinger-McIntyre, en el distrito Timmins, Ontario, Canadá y su relación espacial con vetas auríferas periféricas. Basado en Mason y Melnik (1986a) y Burrows y Spooner (1986).

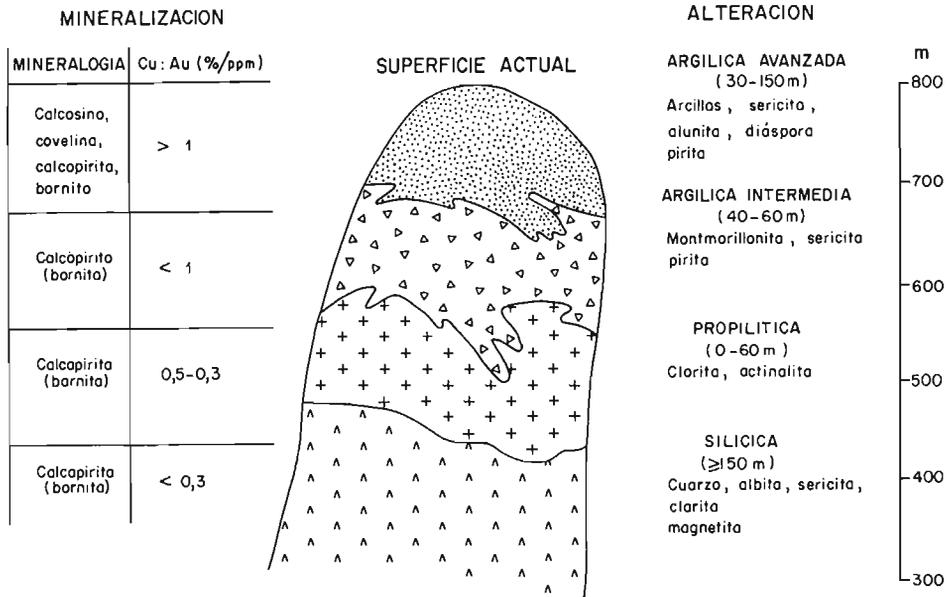


FIG. 8. Modelo de alteración-mineralización en el pórfido de Cu-Au Cabang Kiri, Sulawesi, Indonesia. Simplificado de Carlile y Kirkegaard (1985).

mientras que McIntyre se caracteriza por poseer un núcleo de carbonatos (ankerita) rodeado por zonas de albita, hematita y alteración propilítica, respectivamente (Mason y Melnik, 1986a; Fig. 7). Asociaciones con alteración tipo argílica intermedia

(sericita-montmorillonita-clorita) y argílica avanzada (arcilla-sericita-cuarzo-alunita-diásporo) constituyen importantes características de los depósitos indonésicos Cabang Kiri y Sungai Mak (Carlile y Kirkegaard, 1985; ver Figura 8).

EL ORO DENTRO DE LOS SISTEMAS PORFIDICOS

DISTRIBUCION

En ambientes tipo pórfido cuprífero, la mineralización de oro puede encontrarse:

- Totalmente contenida en el sistema, como en todos los ejemplos analizados en el presente artículo.
- Formando un halo de metales preciosos alrededor de un núcleo tipo pórfido, como las vetas auríferas de McIntyre, Ontario (Mason y Melnik, 1986a, b; Fig. 7, relación discutida por otros autores, sin embargo; ver Wood *et al.*, 1986) y Andacollo, Chile (Llaumet, 1980; Sillitoe, 1983b, 1988a), o los 'skarns' presentes en La Luz (Siuna) en Nicaragua, Tomboy-Minnie y Fortitude en Nevada (Sillitoe, 1988a).
- Sobre o en las partes altas del sistema porfídico, como las vetas de enargita de Bor, Yugoslavia; Recksk, Hungría; Lepanto, Filipinas; y El Indio, Chile (Sillitoe, 1983a, 1988a).

La mineralización de Cu y Au coincide espacialmente, en por lo menos 38 depósitos (por ejemplo, Dizon, Fig. 9), característica observada, además, en otros pórfidos cupríferos con bajos contenidos de Au (ejemplo, El Salvador, Chile).

MINERALOGIA

El oro típicamente se encuentra en su estado nativo, ya sea libre, como partículas de algunos micrones de tamaño (Cariboo-Bell, Galore Creek, Ok Tedi, Panguna, Mamut, Santo Tomás II, Bajo de La Alumbra, McIntyre) o como inclusiones en calcopirita y/o bornita (Bell Copper, Goonumbra, Chapada, Fish Lake, Tirad). Además, se han observado partículas de oro como inclusiones en -o adjuntas a- granos de pirita y molibdenita en Island Copper, mientras que en Afton el oro parece estar relacionado con sulfosales (Carr y Reed, 1976). En escasos depósitos se ha detectado oro en forma de

electrum (Granisle y Bell Copper, Cuddy y Kesler, 1982), mientras que en Tirad, Filipinas (Trudu y Bloom, 1988), al menos parte de la mineralización de oro se encuentra en teluros. El oro perdido en los procesos de flotación parece ser, o bien de grano muy grueso (y por lo tanto no flota) o de grano fino y atado a pirita, magnetita, cuarzo u otras fases minerales no recuperadas en los circuitos, como sucede en Island Copper (Gabelman y Hanusiak, 1986), Bell Copper (Cuddy y Kesler, 1982) y en otros depósitos (Sillitoe, 1982).

RELACIONES ALTERACION-MINERALIZACION DE Au

Dentro de un pórfido cuprífero, independientemente si éste es rico o pobre en oro, el Au puede estar asociado con:

- La zona de alteración potásica, como sucede en El Salvador (Roeschmann, 1979), Potrerillos (Parra, 1983) y Andacollo (R. Sillitoe; comun. escrita, 1988) en Chile; Dos Pobres, en Arizona (Langton y Williams, 1982) y la mayoría de los depósitos de esta revisión.
- La zona de alteración cuarzo-sericítica, como en San Manuel-Kalamazoo, en Arizona (Chafee, 1982), Bell Copper e Island Copper, en Canadá, o bien, en zonas de cuarzo-sericita \pm magnetita \pm feldespato potásico (Frieda River). Típicamente, estas asociaciones se superponen a un núcleo potásico más temprano.
- En zonas de alteración de arcilla-sericita-clorita y argílica avanzada, como en algunos de los yacimientos de Filipinas (Sillitoe y Gappe, 1984), Indonesia (Carlile y Kirkegaard, 1985) y Puerto Rico (Cox, 1985).

La figura 8 muestra esta última relación en el depósito Cabang Kiri, Indonesia, según interpretación de Carlile y Kirkegaard (1985).

A pesar de esta diversidad, en los pórfidos cupríferos con leyes $\geq 0,30$ ppm Au, la mineralización de oro se encuentra preferentemente asociada a las zonas de alteración potásica, caracterizadas por biotita, cuarzo y magnetita, como por ejemplo, en la mayoría de los depósitos del Pacífico occidental (Panguna, Mamut, Ok Tedi) y Cordillera Canadiense (Cariboo-Bell, Galore Creek, Afton; Tabla 1; ver, además, Sillitoe, 1979). En Goonumbla, Australia, la mayor parte del oro está contenida en el núcleo potásico, compuesto por un 'stockwork' de feldespato potásico y cuarzo, mientras que en

Kopsa, la asociación potásica incluye microclina y cuarzo. La plagioclasa sódica es característica en Frieda River. Algunos depósitos filipinos incluyen, además, abundante feldespato potásico y actinolita (Sillitoe y Gappe, 1984), mientras que una silicificación penetrativa es característica en los depósitos indonésicos de Cagang Kiri y Sungai Mak (ver Figura 8).

La magnetita abunda en todos los pórfidos analizados (ver también Cox y Singer, 1988), excepto en McIntyre (Fig. 7) en el cual el principal óxido de hierro es la hematita; también en Kopsa, Ok Tedi y Goonumbla (en Goonumbla, la mineralización de Cu-Au se asocia a 'bajos' magnéticos; Jones, 1985).

La íntima asociación del oro con zonas de alteración potásica en muchos de estos depósitos y la alta razón fO_2/fS_2 sugerida por la presencia de abundante magnetita en dichas zonas, pueden combinarse con un contenido inicial alto de oro en el sistema para generar núcleos potásicos ricos en Au y Cu (cf. Sillitoe, 1982). En estas circunstancias, la introducción de Au y Cu se realizaría mediante fluidos de alta salinidad ($\geq 45\%$ peso NaCl) y temperatura ($\geq 500^\circ\text{C}$), de probable origen magmático, de acuerdo con los estudios de Takenouchi

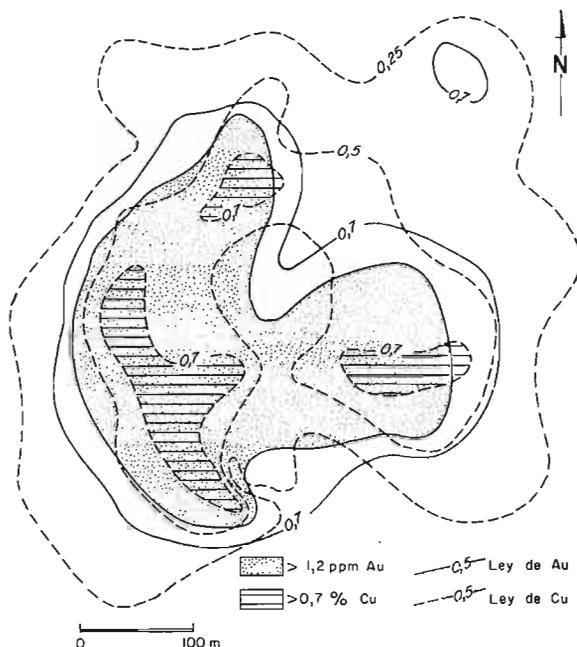


FIG. 9. Distribución de las leyes de Cu y Au en el nivel 287,5 m del pórfido de Cu-Au Dizon, Filipinas. Simplificado de Sillitoe y Gappe (1984).

(1981) en Santo Tomás II y de Trudu y Bloom (1988) en Tirad, Filipinas (ver, además, Sillitoe, 1988b). Su transporte se realizaría mediante complejos clorados según datos empíricos de Henley (1973) y Seward (1984). Aunque escasos, estudios de detalle sugieren que el oro asociado con zonas de alteración de cuarzo-sericita-clorita-arcilla, sobreimpuestas a asociaciones potásicas tempranas, es también de origen magmático y no proveniente de la lixiviación de las rocas de caja debi-

do al paso de los fluidos hidrotermales (Tirad; Trudu y Bloom, 1988), puesto que se ha comprobado que el contenido global de oro no aumenta en la medida que estas soluciones pasan a ser dominadas por aguas meteóricas. El incremento del volumen de aguas meteóricas produciría una disminución en la actividad del cloro causando, de esta manera, la precipitación del oro (Seward, 1984, R. Sillitoe; comun. escrita, 1988).

PORFIDOS DE Cu, PORFIDOS DE Cu-Au Y PORFIDOS DE Au

INTENTOS DE CLASIFICACION

Kesler (1973) distinguió dos asociaciones mayores de pórfidos cupríferos: pórfidos de Cu-Mo y pórfidos de Cu-Au. Este autor indicó que los pórfidos de Cu-Mo serían los predominantes en márgenes continentales (*i.e.* depósitos andinos), mientras que aquéllos de Cu-Au se asociarían con arcos de islas (*i.e.* Pacífico suroccidental). Estas ideas, sin embargo, fueron cuestionadas por Tittley (1978) quien, analizando el contenido de Cu, Mo y Au en los depósitos del Pacífico occidental, no registró tendencias que avalaran las proposiciones de Kesler. A igual conclusión llegaron Sinclair *et*

al. (1982) al estudiar el contenido de Au y Ag de pórfidos cupríferos de la Cordillera Canadiense (Columbia Británica). Si bien no pudieron verificar la división de Kesler propusieron que un valor lognormal de 0,034 ppm Au resulta más práctico para diferenciar entre pórfidos canadienses ricos y pobres en Au.

Este problema de clasificación también ha sido discutido por Sillitoe (1979) (ver, además, Sillitoe 1982; 1983b, 1988a, b) al definir, arbitrariamente, como pórfidos cupríferos ricos en Au a todos aquéllos que poseen una ley media $\geq 0,4$ ppm Au (por ejemplo Bajo de La Alumbra, Argentina; Saindak,

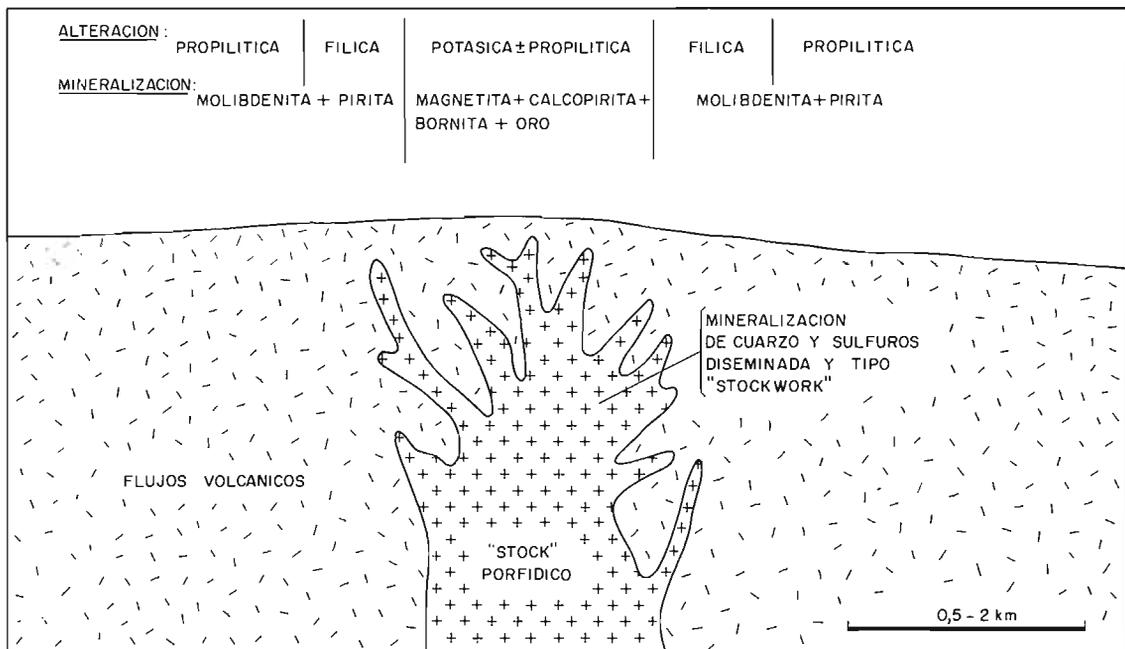


FIG. 10. Relación entre alteración hidrotermal, mineralogía metálica y mineralización de oro en un típico pórfido de Cu-Au idealizado. Simplificado de Cox y Singer (1988).

Pakistán; Ok Tedi y Panguna, Papúa-Nueva Guinea, entre otros). Estos 'pórfidos ricos en oro' se caracterizarían por presentar:

- a. Valores altos de Au contenidos en la zona de alteración potásica.
- b. Leyes de Cu y Au variando proporcionalmente.
- c. Au asociado principalmente a calcopirita (y/o bornita).
- d. Abundante magnetita y zonas de intensa silicificación.

Además, destacó que ni el ambiente geotectónico, composición de las rocas intrusivas y caja, su edad, ni el contenido de pirita son factores determinantes del contenido de oro de un pórfido cuprífero.

Recientemente, Cox (1986), Singer y Cox (1986) y sobre todo Cox y Singer (1988) analizaron el contenido de Cu, Mo y Au de 55 depósitos, observando una variación continua entre pórfidos de:

- a. Cu-Au (Mamut, Malasia; Tanamá, Puerto Rico);
- b. Cu-Mo-Au (Andacollo, Chile; Bingham, Utah; Island Copper, Canadá).
- c. Cu-Mo (El Teniente y Chuquibambilla, Chile; Morenci, Arizona).

Debido a esta variación gradual en el contenido de Au y Mo, Cox y Singer (1988) señalaron que la división entre pórfidos cupríferos ricos y pobres en oro no debe depender solamente del contenido de oro en el sistema sino, más bien, debe tomar en cuenta la ley de Mo en cada caso, basado en la relación $Au \text{ (ppm)}/Mo \text{ (\%)} \geq 30$. Estos autores reforzaron las observaciones de Sillitoe (1979) y demostraron además (al igual que Sinclair *et al.*, 1982) que la profundidad de emplazamiento es determinante en el contenido de oro de un pórfido cuprífero, siendo los más superficiales (subvolcánicos) los más enriquecidos en este metal. La figura 10 muestra una sección del típico pórfido de Cu-Au visualizado por Cox y Singer (1988).

PORFIDOS DE ORO: ¿A UN EXTREMO DEL ESPECTRO?

La hipótesis de Sillitoe (1979) sobre la existencia de pórfidos de oro con bajo (o sin) contenido de cobre se considera, a la fecha, demostrada. Ya en 1978, Lawrence había propuesto que la mineralización de oro diseminada en rocas volcánicas shoshoníticas del prospecto Vunda, en Fiji, era del tipo pórfido aunque, según Sillitoe (1982) una revi-

sión de sus descripciones y la observación directa de terreno, no favorecen tal asignación. Sin embargo, algunos depósitos de oro hospedados en sienitas precámbricas (arqueanas) en Matachewan, Ontario (Sinclair, 1982; Franklin y Thorpe, 1982) y en Quebec (Issigonis, 1980), parecen representar verdaderos pórfidos de oro.

En Matachewan, la mineralización de oro se encuentra diseminada y/o en fracturas, en una sienita traquítica con intensa alteración potásica (Mina Young Davidson). El oro se encuentra en esta-

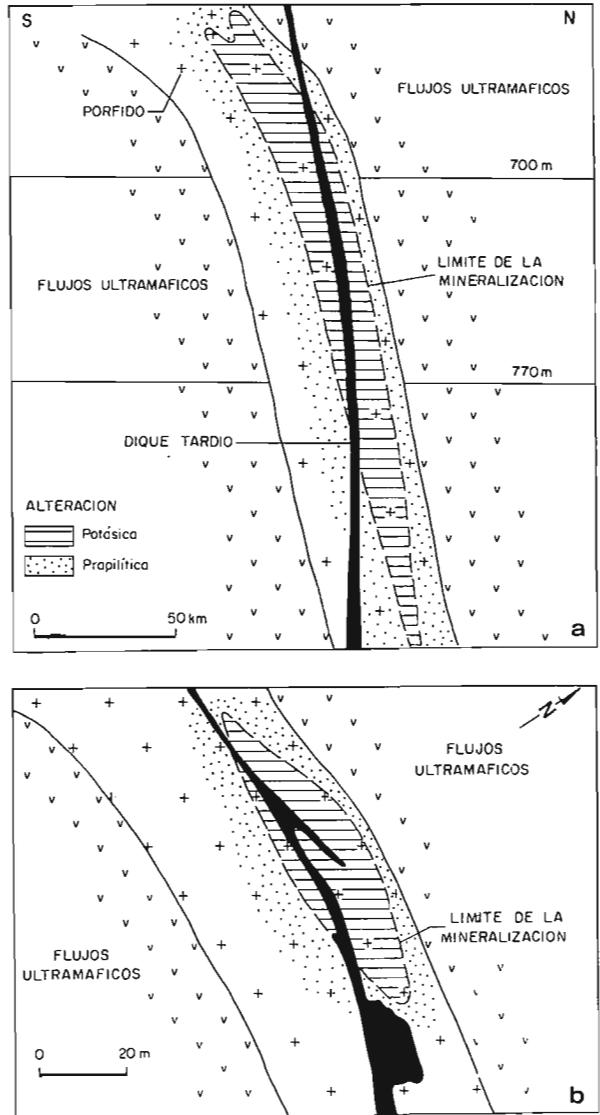


FIG. 11. Posible mineralización tipo pórfido de oro en la mina Barnat, Quebec, Canadá. a. Sección; b. Vista de planta. Simplificado de Issigonis (1980).

do nativo, asociado a fracturas o como pequeñas inclusiones en, o alrededor de, granos de pirita. Una pequeña cantidad de calcopirita, galena, molibdenita y scheelita acompaña a la mineralización de oro. Típicos valores de tonelaje y ley en los depósitos del distrito de Matachewan varían entre 1 y 5 millones de toneladas con leyes de 3,4 ppm Au y 0,7 ppm Ag (Sinclair, 1982). De manera similar, el Pórfido No. 6 de la mina Barnat, Quebec (Fig. 11), es un intrusivo arqueano, de diorita cuarcífera a diorita, con intensa alteración potásica, emplazado en lavas ultramáficas (Issigonis, 1980). La mineralización de oro es submicroscópica, contenida en los granos de pirita y, localmente, libre. Las leyes más altas de oro coinciden con la alteración potásica más intensa.

Además de estos dos ejemplos, otros depósitos asignados a la categoría de pórfido de oro, han sido descritos por Franklin y Thorpe (1982) en el Escudo Canadiense y, posiblemente, muchos otros esperan ser descubiertos allí. Tal vez, un ejemplo más reciente de este tipo de mineralización esté constituido por el depósito de Porgera, en Pa-

púa-Nueva Guinea. En éste, la mineralización de oro se encuentra asociada a una serie de 'stock-works' en intrusivos miocenos y sedimentos pelíticos del Cretácico Superior, como también hospedada en brechas de ruptura y falla. La alteración consiste en zonas de sericita-carbonatos y clorita-cuarzo-carbonatos, pero, hasta la fecha, no se ha reconocido asociación potásica alguna. Si bien algunos autores sostienen que Porgera (84 millones de toneladas con ley de 3,77 ppm Au; 11,65 ppm Ag) presenta ciertas afinidades con la mineralización de sistemas porfídicos (Hanley y Bradshaw, 1986; Bradshaw y Cox, 1987), otros rechazan tal asignación (D. Cox; comun. personal, 1988; R. Sillitoe; comun. personal, 1988). Sillitoe (1988b) destacó su carácter excepcional entre los depósitos de oro conocidos en el mundo. Estos sistemas constituirían, en todo caso, uno de los extremos de las múltiples combinaciones entre sistemas de pórfidos cupríferos, pórfidos de Cu-Au, pórfidos de Cu-Au-Mo, y otros, que se extenderían hasta pórfidos esencialmente auríferos.

DISCUSION

La presente contribución muestra, de manera resumida, que los depósitos tipo pórfido de Cu-Au poseen distribución mundial y no presentan restricciones con respecto a edad, composición de las rocas intrusivas y de caja, o 'suite' petrológica. Si bien esto es contrario a lo concluido por Kesler (1973), refuerza las observaciones de Sillitoe (1979), Titley (1978) y Sinclair *et al.* (1982). Los depósitos terciarios son los más comunes, pero algunos depósitos de edad mesozoica, paleozoica, proterozoica y arqueana, alcanzan, también, leyes promedio $\geq 0,4$ ppm Au (Tabla 1).

Los pórfidos de cobre ricos en oro pueden encontrarse asociados, indistintamente, con márgenes continentales construidos sobre zonas de subducción tipo andina (Bajo de La Alumbra, Bajo El Durazno, Bingham, Saindak) o bien, con arcos de islas edificadas sobre corteza oceánica, como Panguna, Cabang Kiri, los depósitos filipinos y algunos pórfidos mesozoicos de la Cordillera Canadiense. Los terrenos tipo 'greenstone belt' que hospedan a los depósitos arqueanos del Escudo Canadiense se consideran generados en un ambiente de arco de islas y/o del tipo 'Basin and Range' del oeste norteamericano.

La presente revisión apoya las proposiciones de Sillitoe (1979) en el sentido que similares contenidos de oro se alcanzan en pórfidos cupríferos asociados a intrusivos calcoalcalinos de arcos de islas de diorita y diorita cuarcífera (Panguna, los depósitos filipinos), adamelíticos (Mamut), latíticos (Marian) y en complejos sieníticos (Afton, Cariboo-Bell). Estos valores también se presentan en pórfidos de composición shoshonítica emplazados en corteza continental, sobre zonas de subducción (Bajo de La Alumbra y Bajo El Durazno).

El tipo de roca de caja tampoco controla el contenido de oro en pórfidos cupríferos, como lo señalan los estudios efectuados en Saindak (Sillitoe y Khan, 1977) y en depósitos del Pacífico suroccidental (Titley, 1978). Sin embargo, abundan aquellos que muestran una relación de comagmatismo entre el pórfido cuprífero y algún tipo de manifestación volcánica en superficie. Esta relación se observa en los depósitos miocenos del Complejo Farrallón Negro del noroeste argentino, Frieda River, en Papúa-Nueva Guinea, los yacimientos triásico-jurásicos de la Cordillera Canadiense, depósitos paleozoicos del este de Australia y en algunos permo-triásicos de la Cordillera Frontal argentina.

Similar situación ha sido recientemente destacada, además, en un considerable número de depósitos de Filipinas (Sillitoe y Gappe, 1984). Este tipo de relación genética puede tener directa aplicación en la exploración no sólo de pórfidos de Cu-

Au sino, además, en la búsqueda de depósitos de metales preciosos epitermales (tipo enargita), hospedados en ambientes volcánicos como El Indio (Chile), Bor (Yugoslavia), Reck (Hungría) y Lepanto (Filipinas).

CONCLUSIONES

La revisión de las características geológicas más relevantes de una población de 47 depósitos tipo pórfido cuprífero con leyes cabeza promedio $\geq 0,3$ ppm Au indica lo siguiente:

- Su edad queda comprendida entre el Arqueano (2.700 Ma) y el Plio-Pleistoceno (1,1-1,2 Ma) predominando los depósitos terciarios. Si bien este hecho se puede atribuir a un menor nivel de erosión, la identificación de sistemas porfídicos en terrenos precámbricos resulta más especulativa y problemática debido a que la deformación y metamorfismo obliteran las características primitivas de los yacimientos.
- Las rocas de caja varían desde complejos volcánicos comagmáticos con los intrusivos, hasta rocas sedimentarias y metamórficas. Los intrusivos pertenecen tanto a las series calcoalcalina como alcalina y shoshonítica. La composición de los intrusivos en los depósitos de afinidad calcoalcalina, varía desde términos ácidos (riolíticos) hasta básicos (dioríticos). Los depósitos alcalinos se asocian, principalmente, con sienitas y los shoshoníticos, con andesitas y dacitas.
- Existe una correlación positiva entre la ley de oro y la profundidad de emplazamiento del sistema porfídico. Los sistemas subvolcánicos poseen, en general, leyes de oro superiores a los depósitos de emplazamiento más profundo. El oro se encuentra, principalmente, en su forma nativa, libre o como inclusiones en calcopirita y/o bornita. En algunos casos, se asocia a piritita, molibdenita y silicatos y, localmente, aparece en forma de telururos y electrum.
- Las leyes más elevadas de Au se alcanzan en zonas de alteración potásica con biotita, cuarzo, magnetita, anfíbola y, en menor proporción, feldespatos potásicos. Valores altos de oro también se asocian a zonas de alteración argílica avanzada y cuarzo-sericitica (\pm clorita), comúnmente sobreimpuestas a zonas tempranas de alteración potásica. La mayoría de los depósitos

posee abundante magnetita y, localmente, intensa silicificación. La magnetita puede estar contenida en la zona de alteración potásica o formar, junto a cuarzo y anfíbola, el núcleo del sistema; o bien, distribuirse irregularmente en el depósito.

- Las leyes de Au muestran una correlación positiva con la ley de Cu, en la mayoría de los depósitos. Un número considerable de yacimientos muestra leyes altas de molibdeno; similares contenidos de Au y Mo se observan en yacimientos de variada composición y situación geotectónica. Esto es contrario a lo propuesto por algunos autores en el sentido que los depósitos tipo pórfido cuprífero se agrupan en dos miembros o puestos: Cu-Mo y Cu-Au, sin términos intermedios. Favorece, por el contrario, la perspectiva de que estos sistemas forman parte de un amplio espectro que incluye, entre otros, pórfidos de Cu, Cu-Mo, Cu-Mo-Au, Cu-Au, Mo y Au.
- La íntima asociación de oro con el cobre en zonas de alteración potásica sugiere condiciones de mineralización de alta temperatura. La información disponible indica que los fluidos responsables de esta mineralización poseerían temperaturas sobre los 500°C y salinidades superiores a 45% peso NaCl y serían, de esta manera, compatibles con un origen magmático. El transporte de oro, en estas condiciones, se realizaría mediante complejos clorurados.
- El hecho que pórfidos ricos en oro se encuentren en variados ambientes geotectónicos, muy diversos en cuanto a composición, petrología y rocas de caja, estaría, en opinión de los autores, en contra de un origen cortical del oro (y cobre). Este hecho favorecería, por el contrario, una fuente fundamentalmente subcortical, abarcando desde las zonas más profundas de la corteza hasta el manto superior. Conclusiones parecidas se han expresado en relación al origen del cobre y molibdeno en algunos pórfidos cupríferos andinos (Sillitoe, 1984).

TABLA 1. CARACTERISTICAS GEOLOGICAS, TONELAJE Y LEYES DE PORFIDOS CUPRIFEROS ANOMALOS EN ORO

Depósito	Ubicación (Status)	Ambiente Geotectónico	Edad (1)	Tipo de Intrusivo	Petrología Roca de Caja	Alteración Hidrotermal (2)	Mineralogía Metálica				Mineralización de Oro	Tonelaje y Ley (3)	Referencias	
							Asociación Alteración - Oro	Mineralogía Sulfuros de Cu	Metálica mt %	Otros				
1. Bajo de La Akumbrera	Argentina, Catamarca (Factibilidad)	Margen continental	Mioceno superior. K-Ar: 8-10 Ma	Porfido dacítico	Shoshonítica	Andesitas, tobas, brechas; comagmáticas con pórfido	Potásica sericitica argilica propilitica	Potásica: bt, anh, cz, mt, (Kfd); venillas de cz-mt	Cp (Bo)	Aprox. 10%	Py, Mo, Po, Ga, Bl	Libre; posiblemente con Cp. Sigue a Cu.	173 Mt con: 0,45% Cu; 0,7 ppm Au; 0,007 % Mo	González, 1975; Sillitoe, 1979; Bassi y Rochefort, 1980
2. Bajo El Durazno	Argentina, Catamarca (Prospecto)	Margen continental	Mioceno superior. K-Ar: 8, 7 Ma	Pórfido andesítico	Shoshonítica	Andesitas, brechas; comagmáticas con pórfido	Potásica propilitica, cuarzo-sericitica sobreimpuesta	Potásica: bt, mt, anh, cz, ser, ct	Cp, Do	Hasta 20 %	Py, Mo	Libre; posiblemente en solución sólida con Cp y Py. Sigue a Cu	14 Mt con: 0,26% Cu; 0,78 ppm Au; 0,004% Mo; 3,4 ppm Ag	Allison, 1986
3. Ok Tedi	Papúa-Nueva Guinea (En producción)	Margen continental	Plio-Pleistoceno. K-Ar: 1,1-1,2 Ma	Pórfido monzonítico	Calcoalcalina	Pelitas, areniscas, calizas: Cretácico Superior-Mioceno	Potásica; silicificación	Potásica: cz, bt,	Cp, Bo	Escasa a ausente	Py, Mo	Libre; posiblemente con Cp. Sigue a Cu	Mineralización hipogénea: 371 Mt con: 0,81% Cu; 0,58 ppm Au; 0,011% Mo	Bartford, 1972; Page y McDougall, 1972a; Sillitoe, 1979, 1988a, b
4. Panguna	Papúa-Nueva Guinea (En producción)	Arco de islas	Plioceno. K-Ar: 5-3,4 Ma	Pórfido diorítico a granodiorítico	Calcoalcalina	Andesitas, tobas, eglomerados: Oligoceno Inferior-Mioceno	Potásica-propilitica; sericitica-argilica sobreimpuesta	Potásica: cz, bt, (Kfd, do, anh) mt	Cp, Bo	Aprox. 3% (hasta 7-10%)	Py, Mo, hem	Libre; con Cp, Bo, Py. Sigue a Cu	900 Mt con: 0,48% Cu; 0,55 ppm Au; 0,005% Mo; 3 ppm Ag	Page y McDougall, 1972b; Fountain, 1972; Baumer y Frazer, 1975; Baldwin et al., 1978; Sillitoe, 1979, 1988a, b
5. Frieda River (Koki; Ivaal-Horse)	Papúa-Nueva Guinea (Prospecto)	Arco de islas	Mioceno Medio-Superior. K-Ar: 16,8-13,1 Ma	Complejo Frieda: Pórfidos dioríticos y andesíticos	Calcoalcalina	Andesitas, piroclásticos, calizas, conglomerados. Volcánicos son comagmáticos con intrusivos	Potásica transicional cuarzo-sericitica-propilitica	Potásica: bt, mt, Nald. Transicional: cz, ser, do, Kfd, (mt)	Cp, Bo	Abundante	Py, Mo	Libre; posiblemente con Cp	Reservas totales: 760 Mt con: 0,47% Cu; 0,28 ppm Au; 0,004% Mo; Koki: 270 Mt con: 0,41% Cu; 0,23 ppm Au; 0,0062% Mo; Ivaal-Horse: 500 Mt, con: 0,58% Cu; 0,3 ppm Au; 0,003% Mo	Asami y Britten, 1980; Whalen et al., 1982
6. Cabang Kiri	Indonesia, Sula-wesi (Factibilidad)	Arco de islas	Mioceno K-Ar: ± 16 Ma	Pórfido cuarzo-diorítico	Calcoalcalina	Andesitas, piroclásticos: Mioceno	Varía con la profundidad: argilica avanzada-argilica intermedia-silicea	Oro en todas las zonas. Principalmente en alteración silicea: cz, ab, ser, do, mt	Cp, (Bo), (Cc), (Cv)	Abundante	Py	Sigue a Cu en general. Localmente Au alto, Cu muy bajo	78 Mt con 0,84% Cu; más de 0,5 ppm Au	Lowder y Dow, 1978; Schofield et al., 1982; Carlile y Kirkegaard, 1985
7. Sungai Makwesi	Indonesia, Sula-wesi (Factibilidad)	Arco de islas	Mioceno	Pórfido diorítico	Calcoalcalina	Andesitas, piroclásticos: Mioceno	Potásica (irregular)-propilitica; cuarzo-sericitica y argilica avanzada, sobreimpuestas	Potásica: Kfd, mt, cz. Silicificación abundante	Cp, Bo, Cc	Abundante	Py	Localmente sigue a Cu	40 Mt con 1,43% Cu; más de 0,5 ppm Au	Schofield et al., 1982; Carlile y Kirkegaard, 1985
8. Mamut	Malasia, Sabah (En producción)	Arco de islas	Mioceno Superior K-Ar: 9-5 Ma	Pórfido adame-lítico	Calcoalcalina	Pelitas, areniscas, tobas: Paleoceno-Mioceno; peridotita miocena	Tremolita-actinolita-potásica-propilitica	Potásica: bt, cz, Kfd	Cp	Presente	Py, Po, (Mo)	Libre, con Cp. Sigue a Cu	Totales: 179 Mt con 0,47% Cu; 0,5 ppm Au. Explotables: 83 Mt con 0,56% Cu; 0,66 ppm Au; 0,001% Mo; 2,5 ppm Ag	Kozaka y Wakita, 1978; Sillitoe, 1979; Taylor y Van Leeuwen, 1980
9. Saindak	Pakistán (Factibilidad)	Margen continental	Mioceno Inferior K-Ar: 20-21 Ma	Pórfido tonalítico	Calcoalcalina	Volcánicos y sedimentitas: Cretácico Superior-Oligoceno?; Pelitas ¿oligocenas?	Potásica-sericitica-propilitica	Potásica: bt, mt, (Kfd); cz-mt en vetillas	Cp, Bo	5-10%	Py, Mo	Con Cp, Bo(?) Sigue a Cu	Cuerpo sur: 50-55 tm con 0,49% Cu; 0,5 ppm Au. Incluye 27 Mt con 0,64% Cu; 0,7 ppm Au y 30 Mt con 0,024% Mo. Cuerpo norte: 20 Mt con 0,5% Cu; 0,5 ppm Au	Sillitoe y Khan, 1977; Sillitoe, 1979
10. Batong Buhay	Filipinas, Luzón (En producción)	Arco de islas	N.D.	Pórfido cuarzo-diorítico	Calcoalcalina	Volcánicos básicos e intermedios: Cretácico Superior-Paleógeno	SAC	SAC	Cp, Bo	Aprox. 4% (5)	Py	Sigue a Cu	63 Mt con 0,56% Cu; ±0,3 ppm Au; menos que 0,005% Mo; ±2 ppm Ag. Incluye: 6 tm con 0,87% Cu, 0,44 ppm Au	Sillitoe y Gappe, 1984
11. Hale	Filipinas, Luzón (Prospecto)	Arco de islas	N.D.	Pórfido cuarzo-diorítico	Calcoalcalina	Sedimentitas clásticas: Cretácico Superior-Paleógeno	Potásica-propilitica; SAC sobreimpuesta	SAC	Cp, Bo	Aprox. 4% (5)	Py	Sigue a Cu	35 Mt con 0,5% Cu; 0,35 ppm Au; 0,005% Mo; 2 5 ppm Ag (4)	Sillitoe y Gappe, 1984
12. Tirad Guinaoang	Filipinas (Luzón) (Factibilidad)	Arco de islas	Plioceno K-Ar: 3-5 Ma	Pórfido cuarzo-diorítico	Calcoalcalina	Volcánicos básicos e intermedios; comagmáticos con pórfido: Mioceno Medio-Pleistoceno	Potásica-propilitica; SAC y argilica avanzada sobreimpuestas	En todo tipo de alteración, excepto propilitica y argilica avanzada	Cp, Bo, Cc, Cv, En	3-5% (5)	Py, Bl, Ga	Sigue a Cu; con Cp y Bo	500 Mt con ±0,4% Cu, ±0,4 ppm Au	Sillitoe y Gappe, 1984; Sillitoe y Angeles, 1985; Trudu y Bloom, 1988

13.	San Antonio	Filipinas (Luzón) (Prospecto)	Arco de islas	Moceno Inferior	Pórfido cuarzo-diorítico	Calcoalcalina	Volcánicos básicos e intermedios; posiblemente comagmáticos con pórfidos: Paleógeno	Potásica-propilítica	Potásica: bt, (act)	Bo, Cp	2%	Py	Sigue a Cu	29 Mt con 0,37% Cu; 0,3 ppm Au; 0,0001% Mo; 4,5 ppm Ag	Sillitoe y Gappe, 1984
14.	Boneng	Filipinas, Luzón (Producción pasada)	Arco de islas	Terciario	Pórfido cuarzo-diorítico	Calcoalcalina	Volcánicos básicos e intermedios: Cretácico Superior-Paleógeno	Potásica-propilítica	Potásica: bt, (act)	Bo, Cp	5%	Py, Mo	Sigue a Cu	15 Mt con 0,33% Cu, 0,44 ppm Au; Mo localmente alto	Saegart y Lewis, 1977; Sillitoe, 1979; Sillitoe y Gappe, 1984
15.	Ullman (Santo Niño)	Filipinas, Luzón (Producción pasada)	Arco de islas	Moceno Medio-Superior	Pórfido cuarzo-diorítico	Calcoalcalina	Volcánicos y sedimentos clásticos: Cretácico Superior-Paleógeno	Potásica-propilítica; SAC sobrepuesta	Potásica: bt, SAC	Cp, Bo	2%	Py	Sigue a Cu	38 Mt con 0,34% Cu; 0,33 ppm Au	Sillitoe y Gappe, 1984
16.	Kenon	Filipinas, Luzón (Producción pasada)	Arco de islas	N. D.	Pórfido diorítico	Calcoalcalina	Volcánicos y sedimentos clásticos y calizas: Neógeno	Potásica-propilítica	Potásica	Bo, Cp	3%	Py	Sigue a Cu	48 Mt con 0,38% Cu; 0,35 ppm Au; 0,008-0,018% Mo; 4 ppm Ag	Sillitoe y Gappe, 1984
17.	Santo Tomás II	Filipinas, Luzón (En producción)	Arco de islas	Pleistoceno K-Ar: 1,5 MA	Pórfido diorítico	Calcoalcalina	Volcánicos básicos e intermedios; sedimentos clásticos: Cretácico Superior-Paleógeno	Potásica-propilítica	Potásica: bt, act	Bo, Cp	8% (5)	Py	Sigue a Cu	121 Mt con 0,47% Cu; 0,93 ppm Au; menos que 0,001% Mo; ± 1,5 ppm Ag	Saegart y Lewis, 1977; Sillitoe y Gappe, 1984; Sillitoe, 1988a, b
18.	Manian	Filipinas, Luzón (Prospecto)	Arco de islas	Oligoceno Superior K-Ar: 25 Ma	Pórfido latítico	Calcoalcalina	Sienita: Neógeno	Potásica-propilítica	Potásica: Kfd, act	Bo, Cp	2% (5)	Py	Sigue a Cu	Totales: 50 Mt con 0,4% Cu; 0,2 ppm Au; Incluye: 6 Mt con 0,7% Cu; 0,6 ppm Au	Saegart y Lewis, 1977; Sillitoe y Gappe, 1984; Sillitoe, 1988b
19.	Pisumpan	Filipinas, Luzón (Prospecto)	Arco de islas	Neógeno	Pórfido diorítico	Calcoalcalina	Volcánicos básicos e intermedios: Neógeno. Comagmáticos con pórfido	Potásica-propilítica; SAC sobrepuesta	SAC	Bo, Cp	5% (5)	Py	Sigue a Cu	20 Mt con 0,41% Cu; 0,6 ppm Au; 3 ppm Ag	Sillitoe y Gappe, 1984
20.	Dizon	Filipinas, Luzón (En producción)	Arco de islas	Plioceno Superior K-Ar: 2,7 Ma	Pórfido diorítico	Calcoalcalina	Volcánicos básicos e intermedios: Neógeno. Comagmáticos con pórfido	Potásica-propilítica; SAC y argilica avanzada sobrepuestas	SAC	Bo, Cp	6% (5)	Py	Sigue a Cu	105 Mt con 0,43% Cu, 0,93 ppm Au; ± 0,003% Mo; 2,5 ppm Ag (4)	Saegart y Lewis, 1977; Sillitoe, 1979; Sillitoe y Gappe, 1984; Sillitoe, 1988a, b
21.	Taysan	Filipinas, Luzón (Prospecto)	Arco de islas	Moceno K-Ar: 14,8 Ma	Pórfido cuarzo-diorítico	Calcoalcalina	Volcánicos básicos e intermedios: Cretácico Superior-Paleógeno	Potásica-propilítica; SAC sobrepuesta	Potásica: bt, ml, Kfd; abundante silicificación; SAC	Bo, Cp	2-3%	Py, Mo	Sigue a Cu	110 Mt con 0,42% Cu; 0,35% ppm Au; 0,003% Mo; ± 2 ppm Ag	Wolfe et al., 1978; Sillitoe y Gappe, 1984
22.	Larap	Filipinas, Luzón (Prospecto)	Arco de islas	N.D.	Pórfido diorítico	Calcoalcalina	Volcánicos, sedimentos clásticos y calizas: Neógeno	Potásica-propilítica	Potásica: bt, act	Cp, (Bo)	2%	Py, Mo	Sigue a Cu	± 65 Mt con 0,35% Cu; ± 0,4 ppm Au; 0,05% Mo	Sillitoe y Gappe, 1984
23.	Lutopan (Atlas)	Filipinas, Cebú (En producción)	Arco de islas	Cretácico Inferior	Pórfido cuarzo-diorítico	Calcoalcalina	Volcánicos y sedimentos clásticos: Cretácico Inferior. Comagmático con pórfido	Potásica-propilítica; SAC y sericitica sobrepuestas	Potásica: Kfd, SAC; sericitica	Cp, Bo	2% (5)	Py, Mo	Localmente sigue a Cu	533 Mt con 0,55% Cu; 0,31 ppm Au; 0,027% Mo; 1,4 ppm Ag	Sillitoe y Gappe, 1984; Reyes et al., 1985
24.	Kalamatan	Filipinas, Mindanao (Prospecto)	Arco de islas	N.D.	Pórfido cuarzo-diorítico	Calcoalcalina	Volcánicos básicos e intermedios: Cretácico Superior-Paleógeno	Potásica-propilítica	Potásica: Kfd	Cp, Bo	1%	Py	Sigue a Cu	26 Mt con 0,34% Cu; 0,37 ppm Au	Sillitoe y Gappe, 1984
25.	Amacan	Filipinas, Mindanao (En producción)	Arco de islas	Moceno Medio-Superior	Pórfido cuarzo-diorítico	Calcoalcalina	Volcánicos y sedimentarios clásticos: Cretácico Superior-Paleógeno	Potásica-propilítica; SAC sobrepuesta	Potásica: bt, (act); SAC	Cp, Bo	3% (5)	Py, Mo	Sigue a Cu	116 Mt con 0,37% Cu; 0,4 ppm Au; 25 ppm Ag (4)	Saegart y Lewis, 1977; Sillitoe y Gappe, 1984
26.	Mapula	Filipinas, Mindanao (Prospecto)	Arco de islas	Moceno Medio-Superior	Pórfido microdiorítico	Calcoalcalina	Volcánicos y sedimentos clásticos: Cretácico Superior-Paleógeno	Potásica-propilítica; SAC sobrepuesta	Potásica: bt, (act); SAC	Cp, (Bo)	3% (5)	Py	Sigue a Cu	78 Mt con 0,4% Cu; 0,37 ppm Au	Saegart y Lewis, 1977; Sillitoe y Gappe, 1984
27.	Kingking	Filipinas, Mindanao (Prospecto)	Arco de islas	N.D.	Pórfido diorítico	Calcoalcalina	Volcánicos y sedimentos clásticos: Neógeno	Potásica-propilítica	Potásica: bt, (act)	Bo, Cp	3% (5)	Py	Sigue a Cu	93 Mt con 0,62% Cu; más de 0,5 ppm Au; ± 0,57 ppm Ag	Sillitoe y Gappe, 1984
28.	Tanamá	Puerto Rico (Prospecto)	Arco de islas	Eoceno Superior. K-Ar: 41-44 Ma en pórfidos cercanos	Pórfido cuarzo-diorítico	Calcoalcalina	Volcánicos básicos y volcanocásticos: Cretácico	Magnetita, actinolita-potásica-propilítica; sericitica sobrepuesta	Potásica: cz, mt, bt	Cpy, Bo	Aprox. 10%	Py	Localmente sigue a Cu	± 126 Mt con 0,64% Cu; ± 0,57 ppm Au	Sillitoe, 1979; Cox, 1985
29.	Island Copper	Canadá, Columbia Británica (En producción)	Arco de islas	Jurásico Inferior Rb-Sr: ± 180 Ma	Pórfido riódacítico	Calcoalcalina	Volcánicos básicos e intermedios; volcanocásticos: Jurásico Inferior. Comagmáticos con pórfido	Cuarzo, magnetita, actinolita-potásica-propilítica; cuarzo-sericitica y argilica avanzada sobrepuesta	Potásica: bt, mt, cz; cuarzo-sericitica	Cpy	Aprox. 8%	Py, Mo, Bl, Ga	Sigue a Cu; con Cp, (Py, Mo)	257 Mt con 0,52% Cu 0,22 ppm Au; 0,017% Mo (Incluye zona de alta ley de Au, sobre 0,4 ppm Au)	Cargill et al., 1976; Perelló, 1987 Perelló et al., 1989
30.	Cariboo-Bell	Canadá, Columbia Británica (Prospecto)	Arco de islas	Jurásico Inferior K-Ar: 184 Ma	Brechas intrusivas sieníticas	Alcalina	Lacólito sienítico; volcánicos (traqui-basaltos) y volcanocásticos: Triásico Superior	Potásica-granate, epidota-epidota	Potásica: Hfd, bt	Cp, (Bo)	4-8%	Py	Libre; sigue a Cu; con Cp	25 Mt con 0,49% Cu; 0,5 ppm Au; 1,12 ppm Ag	Hodgson et al., 1976; Sillitoe, 1979
31.	Lorraine	Canadá, Columbia Británica (Prospecto)	Arco de islas	Jurásico Inferior K-Ar: 175 Ma	Complejo sienítico	Alcalina	Monzonitas: Triásico Superior-Jurásico Inferior	Potásica-sericitica	Potásica: bt, Kfd, Clo	Cp, Bo	Presente	Py	Sigue a Cu	10 Mt con 0,7% Cu; 0,34 ppm Au	Wilkinson et al., 1976
32.	Fish Lake	Canadá, Columbia Británica (Prospecto)	Margen continental	Cretácico Superior K-Ar: 77 Ma	Pórfido cuarzo-diorítico	Calcoalcalina	Sedimentos clásticos y volcanocásticos: Cretácico Superior	Potásica-sericitica-propilítica	Potásica: bt, mt	Cp, Bo	Abundante	Py, Mo, Bl, Ga	Sigue a Cu; con Cp, Bo	50 Mt con 0,3% Cu; 0,47 ppm Au; 0,002% Mo; 2,3 ppm Ag	Wolfhard, 1976; Sinclair et al., 1982
33.	Morrison	Canadá, Columbia Británica (Prospecto)	Margen continental	Eoceno	Pórfido de biotita y feldespato	Calcoalcalina	Sedimentos clásticos: Jurásico	Potásica-propilítica	Potásica: bt, mt, Kfd, ser	Cp	Presente	Py, Bl, Ga	Sigue a Cu	86 Mt con 0,42% Cu, 0,37 ppm Au; 0,017% Mo; 3 ppm Ag	Carson y Jambor, 1976; Sinclair et al., 1982
34.	Schaft Creek	Canadá, Columbia Británica (Prospecto)	Arco de islas	Jurásico Inferior K-Ar: 182 Ma	Pórfido dacítico	Calcoalcalina	Volcánicos básicos e intermedios: Triásico Superior	Potásica-propilítica; cuarzo-sericitica sobrepuesta	N.D.	Cp, Bo	Localmente abundante	Py, Mo, Ga, Bl, Po	N.D.	330 Mt con 0,4% Cu; 0,32 ppm Au; 0,022% Mo; 1,5 ppm Ag	Fox et al., 1976
35.	Bell Copper	Canadá, Columbia Británica (Producción pasada)	Margen continental	Eoceno K-Ar: 44-51 Ma	Pórfidos de biotita y feldespato	Calcoalcalina	Volcánicos y sedimentos: Jurásico-Cretácico	Potásica-propilítica; cuarzo-sericitica sobrepuesta	Potásica; cuarzo-sericitica	Cp, Bo	Presente	Py, Mo, Ga, Bl, Po	Libre; sigue a Cu; con Cp, Py y como electrum	Reservas explotables: 42 Mt con 0,5% Cu; 0,35 ppm Au; 0,01% Mo; 1 ppm Ag	Carson et al., 1976; Cuddy y Kesler, 1982
36.	Poison Mountain	Canadá, Columbia Británica (Prospecto)	Margen continental	¿Eoceno?	Pórfidos cuarzo-diorítico	Calcoalcalina	Sedimentos clásticos: Jurásico-Cretácico	Potásica	Potásica: bt, mt, cz	Cp, Bo	Presente	Py, Mo	N.D.	175 Mt con 0,33% Cu; 0,3 ppm Au; 0,015% Mo	Seraphim y Rainboth, 1976
37.	Galore Creek	Canadá, Columbia Británica (Factibilidad)	Arco de islas	Triásico Superior-Jurásico. K-Ar: 190-205 Ma	Pórfidos sieníticos y dioríticos	Alcalina	Volcánicos básicos e intermedios; sedimentos clásticos: Triásico Superior-Medio	Potásica-granate	Potásica: Kfd, bt, mt	Cp, Bo (Cc)	2-10%	Py, Bl, Ga	Libre; sigue a Cu	125 Mt con 1,06% Cu; 0,4 ppm Au; 7,7 ppm Ag (4)	Allen et al., 1976
38.	Afton	Canadá, Columbia Británica (En producción)	Arco de islas	Triásico Superior-Jurásico Inferior. K-Ar: 190-205 Ma	Pórfidos sieníticos y dioríticos	Alcalina	Volcánicos básicos e intermedios; volcanocásticos: Triásico Superior	Potásica-propilítica; cuarzo-sericitica sobrepuesta	Potásica: bt, mt	Bo, Cp, sulfosales	Abundante	Py, Mo	Sigue a Cu; con sulfosales (?)	32 Mt con 1,03% Cu; 0,6 ppm Au; 0,001% Mo; 4 ppm Ag (4)	Carr y Reed, 1976; Sinclair et al., 1982
39.	Goonumbra (Endeavour 22, 26, 27)	Australia, New South Wales (Factibilidad)	Margen continental	Silúrico medio K-Ar: ± 427 Ma	Pórfidos cuarzo-monzoníticos	Calcoalcalina	Volcánicos intermedios: Silúrico medio. Comagmáticos con pórfido	Potásica-cuarzo-sericitica-propilítica	Potásica: Kfd, bt, cz. Vetiilas de cz-Kfd	Bo, Cp, Cc	Ausente	Py, Ga, Bl	Libre; sigue a Cu; con Cp, Bo	Reservas totales: 250 Mt con 0,7% Cu; 0,28 ppm Au; Endeavour 27: 0,8% Cu; 0,65 ppm Au; 2,3 ppm Ag Endeavour 22: 0,55-0,78% Cu; 0,4-0,83 ppm Au	Jones, 1985
40.	Chapada	Brasil, Goiás (Prospecto)	Arco de islas	Cámbrico inferior Rb-Sr: 534 Ma	Pórfido diorítico (?)	Calcoalcalina	Esquistos de biotita-muscovita; anfibolitas; cuarcitas Rb-Sr: 561 Ma)	Potásica-anillo pirítico-kyanita, estaurolita	Potásica: by, mus, mt; silicificación	Cp, (Bo)	Abundante	Py, Po, Ga, Bl	Cpy, Py	134 Mt con 0,44% Cu; 0,35 ppm Au; ± 0,015% Mo	Richardson et al., 1986
41.	Kopsa	Finlandia, Pohjanmaa (Prospecto)	Arco de islas	Proterozoico medio. 1.900-1.800 Ma	Pórfido tonalítico-granodiorítico	Calcoalcalina	Turbiditas y piroclásticos con bajo grado de metamorfismo	Potásica-propilítica	Potásica: mc, cz	Cpy	N.D.	Po, Py, Bl, Mo	Localmente sigue a Cu	25 Mt con 0,18% Cu; 0,57 ppm Au	Gaal e Isohanni, 1979
42.	McIntyre	Canadá, Ontario (Producción pasada)	Arco de islas (?) ; rift continental (?)	Arqueano U-Pb: 2.688 Ma	Pórfido noítico	Calcoalcalina	Toleitas de Fe-Mg y otros volcánicos básicos a intermedios: U-Pb: 2.703-2724 Ma	Carbonatización-albita-hematita-propilítica	En todas, excepto zona propilítica	Cp, Bo	N.D.	Py, Po, Mo, Bl	Libre; sigue a Cu	10 Mt con 0,67% Cu, 0,59 ppm Au; 0,05% Mo; 2,93 ppm Ag	Davies y Lutha, 1978; Burrows y Spooner, 1986; Mason y Melnik, 1986a, b; Wood et al., 1986
43-46.	Matachewan (Ryan Lake; Stancop; Webb Lake; Cairo-Flavella)	Canadá, Ontario (Producción pasada)	Arco de islas (?) ; rift continental (?)	Arqueano ± 2.700 Ma	Pórfido sienítico	Alcalina	Volcánicos básicos e intermedios, sedimentos clásticos: Arqueano	Potásica-propilítica	Potásica: Kfd, mt, ab, cz, hem	Cp, Bo	2%	Py, Mo	Libre; sigue a Cu; con Cp, Py, mt	Pobremente definidos en general. Varios millones de toneladas con leyes de 0,1-0,5% Cu; 0,17-0,34 ppm Au; 0,7-1,7 ppm Ag; Mo localmente dominante	Ayres y Carny, 1982; Franklin y Thorpe, 1982; Sinclair, 1982
47.	Bingham	Estados Unidos, Utah (En producción)	Margen continental	Eoceno Superior K-Ar: 36-39 Ma	Pórfido cuarzo-monzonítico	Alcalina	Cuarcitas, areniscas calcáreas y calizas Pensilvaniano	Potásica-propilítica	Potásica (?) Kfd, cz	Cp, Bo	Presente	Py, Mo, Ga, Bl	N.D. Sigue a Cu (?)	Producción más reservas 3 mil Mt con ± 0,8% Cu, ± 0,04% Mo; ≥ 0,31 ppm Au	John, 1978; James, 1978 Lanier et al., 1978; Warnars et al., 1978; Wilkins, 1984

(1) Comprende edad de emplazamiento y/o mineralización, indiferenciadas.

(2) Zonación proporcionada es horizontal, excepto cuando se indica lo contrario. Flechas señalan sentido de la zonación, desde el núcleo a la periferia. SAC = Sericita - Arcilla - Clorita (propuesto por Sillitoe y Gappe (1984) para los depósitos filipinos).

(3) Incluye reservas probadas, probables y datos de producción. Mt: millones de toneladas.

(4) Enriquecimiento supérgeno de cobre importante.

(5) Estimación incluye contenido de hematita (especularita) acompañando a magnetita.

bt: biotita; Kfd: feldespato potásico; Nafd: plagioclasa sódica; clo: clorita; mt: magnetita; ser: sericita; cz: cuarzo; act: actinolita; mus: muscovita; ct: calcita; anh: anhidrita; ab: abita; mc: microclina; Cp: calcopirita; Bo: bornita; Cc: calcosina; Cv: covelina; Py: pirita, Mo: molibdenita; Po: pirrotina; Ga: galena; Bl: blenda (esfalerita); hem: hematita; En: enargita; N.D.: no disponible; (): indica mineral menos abundante.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer sinceramente a Enrique Tidy y Carmen Holmgren por la información facilitada para los yacimientos de Corporación del Cobre (CODELCO) y Los Bronces (Disputada), respectivamente. Antonia Allison (BHP-Utah International Inc.) proporcionó información inédita sobre Bajo El Durazno, Argentina y Chris Ford (BHP-Utah Mali Inc.) hizo lo propio con Cabang Kiri y Sungai Mak, Indonesia. Ricardo Muhr (Compañía Minera Cerro Negro) facilitó algunos antecedentes sobre Los Pelambres.

Versiones preliminares del trabajo fueron co-

mentadas por Dennis Cox y Donald Singer (U.S. Geological Survey). Richard Sillitoe realizó una lectura crítica del texto. Víctor Maksaev y Constantino Mpodozis (Servicio Nacional de Geología y Minería), proporcionaron interesantes sugerencias, que mejoraron la calidad de esta contribución. A todos ellos se les agradecen, sinceramente, los comentarios y recomendaciones.

Raquel Fernández, Georgette Cobbs, Estela Cutillos, Cindy Bon, Nicole Miller, Eileen Henriouelle y Gabriela Valenzuela colaboraron en distintas etapas de la elaboración de este artículo.

REFERENCIAS

- Allen, D.G.; Panteleyev, A.; Armstrong, A.T. 1976. Galore Creek. *Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Special Volume 15*, p. 402-414.
- Allison, A. 1986. The geology of the Bajo El Durazno Porphyry Cu-Au Prospect, Catamarca Province, Argentina. Unpublished M.Sc. Thesis, *University of Arizona*, 167 p.
- Asami, N.; Britten, R.M. 1980. The porphyry copper deposits at the Frieda River Prospect, Papua New Guinea. *Mining Geology, Special Issue*, No. 8, p. 117-139.
- Ayres, L.D. y Cerny, P. 1982. Metallogeny of granitoid rocks in the Canadian Shield. *Canadian Mineralogist*, Vol. 20, p. 439-536.
- Ayres, L.S. y Thurston, P.C. 1985. Archean supracrustal sequences in the Canadian Shield: an overview. In *Evolution of Archean Supracrustal Sequences. Canadian Shield: an overview* (Ayres, L.D. et al.; editors). *Canada, Geological Association, Special Paper*, No. 28, p. 343-380.
- Baldwin, J.T.; Swain H.D.; Clark, G.H. 1978. Geology and grade distribution of the Panguna porphyry copper deposit, Bougainville, Papua New Guinea. *Economic Geology*, Vol. 73, p. 690-702.
- Bamford, R.W. 1972. The Mount Fubilan (Ok Tedi) porphyry copper deposit, territory of Papua New Guinea. *Economic Geology*, Vol. 67, p. 1019-1033.
- Barr, D.A.; Fox, P.E.; Northcote, K.E.; Preto, V.A. 1976. The alkaline suite porphyry deposits: a summary. *Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Special Volume 15*, p. 359-367.
- Bassi, H.G.L.; Rocherfort, G. 1980. Estudio geológico del yacimiento cuproaurífero de La Alumbreira, Provincia de Catamarca. *Servicio Minero Nacional, Anales*, Vol. 18, 75 p. Buenos Aires.
- Baumer, A.; Fraser, R.B. 1975. Panguna porphyry copper deposit, Bougainville. In *Economic Geology of Australia and Papua New Guinea. 1. Metals* (Knight C.L.; editor). *Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Monograph Series*, No. 5, p. 855-866.
- Bradshaw, P.M.D.; Cox, R. 1987. Gold mining and exploration in the south-west. *Northwest Mining Association*, Spokane, Dec. 3-5, 1987, 7 p.
- Burrows, D.R.; Spooner, E.T.C. 1986. The McIntyre Cu-Au deposit, Timmins, Ontario, Canada. In *Gold 86: An International Symposium on the Geology of Gold Deposits* (Macdonald, A.J. editor). *Proceedings*, p. 23-39. Toronto.
- Cargill, D.G.; Lamb, J.; Young, M.J.; Rugg, E.S. 1976. Island Copper. *Canadian Institute Mining and Metallurgy, Special Volume 15*, p. 206-218.
- Carlile, J.C.; Kirkegaard, A.G., 1985. Porphyry copper-gold deposits of the Tombulilato district, North Sulawesi, Indonesia: an extension of the Philippine porphyry copper-gold province. In *Asian Mining 85 Conference*, Manila Feb.11-14, 1985. *The Institution of Mining and Metallurgy, Londres*, p. 351-363.
- Carr, J.M.; Reed, A.J. 1976. Afton: A supergene copper deposit. *Canadian Institute Mining and Metallurgy, Special Volume 15*, p. 376-387.
- Carson, D.J.; Jambor, J.L. 1976. Morrison: geology and evolution of a bisected annular porphyry copper deposit. *Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Special Volume 15*, p. 264-273.
- Carson, D.J., Jambor, J.L.; Ogrzylo, P.; Richards, T.A. 1976. Bell Copper: geology, geochemistry and genesis of a supergene-enriched, biotitized porphyry copper deposit with a superimposed phyllic zone. *Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Special Volume 15*, p. 245-263.
- Chaffee, M.A. 1982. A geochemical study of the Kalamazoo porphyry copper deposit. In *Advances in Geology of the Porphyry Copper Deposits, Southwestern North America* (Tittley, S.R.; editor). *The University of Arizona Press*, p. 211-226. Tucson.
- Cox, D.P. 1985. Geology of the Tanamá and Helecho porphyry copper deposits and vicinity, Puerto Rico. *U.S. Geological Survey, Professional Paper*, No. 1327, 57 p.
- Cox, D.P. 1986. Descriptive model of porphyry Cu-Au. In *Mineral deposit models* (Cox, D.P.; Singer, D.A. editors). *U.S. Geological Survey, Bulletin*, Vol. 693, p. 110.
- Cox, D.P.; Singer, D.A. 1988. Distribution of gold in porphyry copper deposits. *U.S. Geological Survey, Open*

- File Report*, No. 88-46, 22 p.
- Colvine, A.C.; Marmont, S. 1981. Early Precambrian porphyry deposits. In *Mineral Deposits - Special Projects*, No. S22. *Ontario Geological Survey, Miscellaneous Paper*, No. 100, p. 242-247.
- Cuddy, A.S.; Kesler, S. 1982. Gold in the Granisle and Bell Copper porphyry copper deposits, British Columbia. In *Precious metals in the Northern Cordillera* (Levinson, A.A.; editor). *Association of Exploration Geologists, Special Publication*, No. 10, p. 139-155.
- Davies, J.F.; Lutha, L.E. 1978. An Archean 'porphyry type' disseminated copper deposit, Timmins, Ontario. *Economic Geology*, Vol. 73, p. 383-396.
- Fountain, R.J. 1972. Geological relationships in the Panguna porphyry copper deposit, Bougainville Island, New Guinea. *Economic Geology*, Vol. 67, p. 1049-1064.
- Fox, P.E.; Grove, E.W.; Seraphim, R.H.; Sutherland Brown, A. 1976. Schaft Creek. *Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Special Volume 15*, p. 219-226.
- Franklin, J.M.; Thorpe, R.I. 1982. Comparative metallogeny of the Superior, Slave and Churchill Provinces. In *Precambrian Sulfide Deposits* (Hutchinson, R.W.; et al.; editors). *H.S. Robinson Memorial Volume, Geological Association, Canada, Special Paper*, No. 25, p. 3-89.
- Gaal, G.; Isohanni, M. 1979. Characteristics of igneous intrusions and various wallrocks in some Precambrian porphyry copper-molybdenum deposits in Pohjanmaa, Finland. *Economic Geology*, Vol. 74, p. 1198-1210.
- Gabelman, J.W.; Hanusiak, W. 1986. Gold occurrence at Island Copper Mine, British Columbia. [Abst.], *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 25, p. 252.
- González, O.E. 1975. Geología y alteración en el cobre porfídico 'Bajo La Alumbreira', República Argentina. In *Congreso Ibero-Americano de Geología Económica*, No. 2, Vol. 2, p. 247-270. Buenos Aires.
- Guilmour, P. 1982. Grades and tonnages of porphyry copper deposits. In *Advances in Geology of the Porphyry Copper Deposits Southwestern North America* (Titley, S.R.; editor). *The University of Arizona Press*, p. 7-34. Tucson, Arizona.
- Handley, G.A.; Bradshaw, P.M.D. 1986. The Porgera gold deposit, Papua New Guinea. In *Gold 86: An International Symposium on the Geology of Gold Deposits* (MacDonald, A.J.; editor). *Proceedings*, p. 416-424. Toronto.
- Henley, R.W. 1973. Solubility of gold in hydrothermal chloride solutions. *Chemical Geology*, Vol. 11, p. 73-87.
- Hodgson, C.J. Bayles, R.J.; Versoza, R.S., 1976. Cariboo-Bell. *Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Special Volume 15*, p. 388-395.
- Hunt, J.P., Bratt, J.; Marquardt, J.C. 1983. Quebrada Blanca, Chile: an enriched porphyry copper-deposit. *Mining Engineering*, Vol. 35, p. 636-644.
- Issigonis, M.J. 1980. Occurrence of disseminated gold deposits in porphyries in Archean Abitibi belt, northwest Quebec, Canada. *Institute of Mining Metallurgy, Transactions, Section B*, Vol. 89, p. 157-158.
- James, L.P. 1978. The Bingham copper deposits, Utah as an exploration target: history and pre-excavation geology. *Economic Geology*, Vol. 73, p. 1218-1227.
- John, E.C. 1978. Mineral zones in the Utah Copper orebody. *Economic Geology*, Vol. 73, p. 1250-1259.
- Jones, G.J. 1985. The Goonumbla porphyry copper deposits, New South Wales. *Economic Geology*, Vol. 80, p. 591-613.
- Kesler, S.E. 1973. Copper, molybdenum and gold abundances in porphyry copper deposits. *Economic Geology*, Vol. 68, p. 106-112.
- Khuns, R.J. 1986. Alteration styles and trace element dispersion associated with the Golden Giant Deposit, Hemlo, Ontario, Canada. In *Gold 86: An International Symposium on the Geology of Gold Deposits* (MacDonald, A.J.; editor). *Proceedings*, p. 340-354. Toronto.
- Kosaka, H.; Wakita, K., 1978. Some geologic features of the Mamut porphyry copper deposit, Sabah, Malaysia. *Economic Geology*, Vol. 73, p. 618-627.
- Langton, J.M.; Williams, S.A. 1982. Structural, petrological and mineralogical controls for the Dos Pobres orebody, Lone Star Mining District, Graham County, Arizona. In *Advances in Geology of Porphyry Copper Deposits, southwestern, North America* (Titley, S.R.; editor). *The University of Arizona Press*, p. 335-352. Tucson, Arizona.
- Lanier, G.; John, E.C.; Swensen, A.J.; Reid, J.; Bard, C.E.; Caddey, S.W.; Wilson, J.C. 1978. General geology of the Bingham mine, Bingham Canyon, Utah. *Economic Geology*, Vol. 73, p. 1228-1241.
- Lawrence, L.J. 1978. Porphyry type gold mineralization in shoshonite at Vunda, Fiji. *Proceedings of the Australasian Institute of Mining Metallurgy*, Vol. 268, p. 21-31.
- Llaumet, C. 1980. Antecedentes sobre producción, recursos y expectativas de la minería del oro en Chile. *Minerales*, Vol. 35, No. 150, p. 9-20.
- Llaumet, C.; Marin, C.; Marquardt, J.C.; Olcay, L.; Reyes, E. 1975. El yacimiento cuprífero Andacollo. *Minerales*, Vol. 30, p., No. 130, p. 4-8.
- Lowder, G.C.; Dow, J.A.S. 1978. Geology and exploration of porphyry copper deposits in northern Sulawesi, Indonesia. *Economic Geology*, Vol. 73, p. 628-644.
- Mason, R.; Melnik, N. 1986a. The McIntyre-Hollinger investigation, Timmins, Ontario: a gold dominated porphyry copper system. *Current Research, Part B, Geological Survey of Canada, Paper*, No. 86-1B, p. 577-583.
- Mason, R.; Melnik, N. 1986b. The anatomy of an Archean gold system - The McIntyre-Hollinger complex at Timmins, Ontario, Canada. In *Gold 86: An International Symposium on the Geology of Gold Deposits* (MacDonald, A.J.; editor). *Proceedings*, p. 40-55. Toronto.

- Ney, C.S.; Hollister, V.F. 1976. Geological setting of porphyry deposits of the Canadian Cordillera. *Canada Institute of Mining and Metallurgy, Special Volume 15*, p. 21-29.
- Page, R.W. y McDougall, I. 1972a. Ages of mineralization of gold and porphyry copper deposits in the New Guinea Highlands. *Economic Geology*, Vol. 67, p. 1034-1048.
- Page, R.W.; McDougal, I. 1972b. Geochronology of the Panguna porphyry copper deposit, Bougainville Island, New Guinea. *Economic Geology*, Vol. 67, p. 1065-1074.
- Parra, A., 1983. Petrografía y petrología de los cuerpos intrusivos de la Mina Potrerillos, Región de Atacama. Memoria de título (Inédito). *Universidad de Chile, Departamento de Geología y Geofísica*, 154 p. Santiago.
- Pelichotti, R.; Cardó, R. 1983. El Retamal, manifestación de oro diseminado, Departamento de Calingasta, Provincia de San Juan, *In Congreso Nacional de Geología Económica, No. 2, Actas*, Vol. 2, p. 567-581, Universidad Nacional de San Juan. San Juan, Argentina.
- Perelló, J. 1987. The occurrence of Gold at Island Copper Mine, Vancouver Island, British Columbia. Unpublished M.Sc. Thesis (Mineral Exploration). *Queens University*, 85 p. Kingston, Ontario.
- Perelló, J.; Cabello, J. 1988. Pórfidos de cobre con alto contenido de oro: características geológicas generales. *In Congreso Geológico Chileno, No. 5, Actas*, Vol.1, p. B315-B330. Santiago.
- Perelló, J.; Arancibia, O.; Burt, P.D.; Clark, A.H.; Clarke, G.; Fleming, J.; Himes, M.; Leitch, C.; Reeves, A. 1989. Porphyry Cu-Mo-Au mineralization at Island Copper, Vancouver Island, B.C. *In Copper-Gold Porphyry Workshop, Mineral Deposits Division-Geological Association of Canada*, 2 p. Vancouver, April 5, 1989.
- Poulsen, K.H.; Franklin, J.M. 1981. Copper and gold mineralization in an Archean trondhjemitic intrusion, Sturgeon Lake, Ontario. *Current Research, Part A, Geological Survey Canada, Paper*, No. 81-1A, p. 9-14.
- Rebagliati, M. 1989. Mt. Milligan: an alkaline intrusive related gold-copper deposit. *In Copper Gold Porphyry Workshop, Mineral Deposits Division-Geological Association of Canada*, 3 p. Vancouver, April 5, 1989.
- Reyes, A.N.; Cinco, J.C.; Guardiario, J.D.A. 1985. Geology of the Atlas porphyry copper district, Cebu, Philippines. *In Asian Mining 85 Conference*, Manila 11-14 Feb. 1985. *The Institution of Mining and Metallurgy*, Londres, p. 79-90.
- Richardson, S.V.; Kesler, S.R.; Essene, E.J. 1986. Origin and geochemistry of the Chapada Cu-Au deposit, Goias, Brazil: a metamorphosed wall-rock 'porphyry copper' deposit. *Economic Geology*, Vol. 81, p. 1884-1898.
- Roeschmann, C. 1979. El oro en el yacimiento de cobre El Salvador. Memoria de título (Inédito). *Universidad de Chile, Departamento de Geología*, 130 p. Santiago.
- Saegart, W.E.; Lewis, D.E. 1977. Characteristics of Philippine porphyry copper deposits and summary of current production and reserves. *SME-AIME Transactions*, Vol. 262, p. 199-209.
- Schofield, N.; Ford, C.; Bryant, C. 1982. An evaluation of the Mineral Resources of the Caband Kiri and Sungai Mak Porphyry Cu-Au Deposits, Tombulit District, North Sulawesi. Internal report. *Utah Development Company*, 51 p.
- Seraphim, R.H.; Rainboth, W. 1976. Poison Mountain, B.C. Canada. *Institute of Mining and Metallurgy, Special Volume 15*, p. 323-328.
- Seward, T.M. 1984. The transport and deposition of gold in hydrothermal systems. *In Gold 82: The Geology, Geochemistry and Genesis of Gold Deposits* (Forster, R.P.; editor). *Geological Society of Zimbabwe. Special Publication*, No. 1, p. 165-181.
- Sillitoe, R.H. 1979. Some thoughts on gold-rich porphyry copper deposits. *Mineralium Deposita*, Vol. 14, p. 161-174.
- Sillitoe, R.H. 1981. Regional aspects of the Andean porphyry copper belt in Chile and Argentina. *Institute Mining Metallurgy, Transactions, Section B*, Vol. 90, p. B15-B36.
- Sillitoe, R.H. 1982. Unconventional metals in porphyry deposits. SME Preprint 82-63, *AIME Annual Meeting*, 13 p. Dallas, Texas.
- Sillitoe, R.H. 1983a. Enargite-bearing massive sulfide deposits high in porphyry copper systems. *Economic Geology*, Vol. 78, p. 348-352.
- Sillitoe, R.H. 1983b. Styles of low-grade gold mineralization in volcano plutonic arcs. *In Precious Metals Symposium* (Kral, V.E.; et al.; editors), Sparks, Nevada, Nov. 17-19, 1980. *Nevada Bureau of Mines, Report*, No. 36, p. 52-68.
- Sillitoe, R.H. 1984. Space-time distribution, crustal setting and Cu/Mo ratios of central Andean porphyry copper deposits: metallogenic implications. *In Geology and Metallogenesis of Copper Deposits* (Friedrich, G.H.; et al.; editors). *Society of Geology Applied to Mineral Deposits, Proceedings of the Copper Symposium, International Geological Congress, No. 27, Special Publication*, No. 4, 1984, p. 235-250. Moscow.
- Sillitoe, R.H. 1988a. Gold and silver deposits in porphyry systems. *In Bulk mineable precious metal deposits of the Western United States* (Schafer, R.N.; et al.; editors). *Symposium Proceedings, Geological Society of Nevada*, p. 233-257.
- Sillitoe, R.H. 1988b. Environments, styles and origins of gold deposits in western Pacific island arcs. *In Bicentennial Gold 88. Extended Abstracts Oral programme, Geological Association of Australia*. [Abstr]. No. 22, p. 127-138.
- Sillitoe, R.H.; Khan, S.N. 1977. Geology of the Saindak porphyry copper deposit, Pakistan. *Institute of Mining Metallurgy, Transactions, Section B*, Vol. 86, p. B27-B42.

- Sillitoe, R.H.; Jaramillo, L.; Damon, P.E.; Shafiqullah, M.; Escovar, R. 1982. Setting, characteristics, and age of the Andean porphyry copper belt in Colombia. *Economic Geology*, Vol. 77, p. 1837-1850.
- Sillitoe, R.H.; Gappe, I.M. 1984. Philippine porphyry copper deposits: Geologic setting and characteristics. *United Nations ESCAP, CCOP Technical Publication*, No.14, 89 p.
- Sillitoe, R.H.; Angeles, C.C. 1985. Geological characteristic and evolution of a gold-rich porphyry copper deposit at Guinaoang, Luzon, Philippines. In *Asian Mining 85 Conference*, Manila, 11-14 Feb. 1985. *The Institution of Mining and Metallurgy*, p. 15-26. London.
- Sinclair, W.D. 1982. Gold deposits of the Matachewan area, Ontario. *Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Special Volume 24*, p. 83-93.
- Sinclair, A.J.; Drummond, A.D.; Carter, N.C.; Dawson, K.M. 1982. A preliminary analysis of gold and silver grades of porphyry-type deposits in western Canada. In *Precious Metals in the Northern Cordillera* (Levinson, A.; editor). *Association of Exploration Geochemists, Special Publication*, No. 10, p. 157-172.
- Singer, D.A.; Cox, D.P. 1986. Grade and tonnage model of porphyry Cu-Au. In *Mineral Deposits Models* (Cox, S.P.; Singer, D.A.; editors). *U.S. Geological Survey, Bulletin*, No. 1693, p. 110-114.
- Sutherland Brown, A. ed. 1976. Porphyry deposits of the Canadian Cordillera. *Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Special Volume 15*, 510 p.
- Sylvester, P.J.; Attoh, K.; Schulz, K.J. 1987. Tectonic setting of late Archean bimodal volcanism in the Michipicoten (Wawa) greenstone belt, Ontario. *Canadian Journal of Earth Sciences*, Vol. 24, p. 1120-1134.
- Takenouchi, S. 1981. Fluid inclusion studies of several Philippine porphyry copper deposits. *Geological Survey of Japan, Report*, No. 261, p. 149-167.
- Taylor, D.; Van Leeuwen, R. 1980. Porphyry-type deposits in southeast Asia. *Mining Geology, Special Issue*, No. 8, p. 95-116.
- Theodore, T.G.; Blake, D.W. 1978. Geology and geochemistry of the West ore body and associated skarns, Copper Canyon porphyry copper deposits, Lander County, Nevada. U.S. *Geological Survey, Professional Paper*, No. 798-C, 85 p.
- Titley, S.R. 1978. Copper, molybdenum and gold content of some porphyry copper systems of the southwestern and western Pacific. *Economic Geology*, Vol. 73, p. 733-981.
- Trudu, A.G.; Bloom, M.S. 1988. A genetic model for the origin of hypogene gold in porphyry copper systems: The Tirad porphyry copper-gold deposit (Guinaoang, NW Luzon, Philippines). In *Bicentennial Gold 88, Extended Abstracts, Oral Programme. Geological Society of Australia [Abstr.]*, No. 22, p. 211-216.
- Warnaars, F.W.; Smith, W.H.; Bray, R.E.; Lanier, G.; Shafiqullah, M. 1978. Geochronology of igneous intrusions and porphyry copper mineralization at Bingham, Utah. *Economic Geology*, Vol. 73, p. 1242-1249.
- Whalen, J.B. Britten, R.M.; McDougall, I. 1982. Geochronology and geochemistry of the Frieda River prospect area, Papua New Guinea. *Economic Geology*, Vol. 77, p. 592-616.
- Wilkins, J. 1984. The distribution of gold and silver-bearing deposits in the Basin and Range Province, Western United States. *Arizona Geological Society, Digest*, Vol. 16, p. 1-27.
- Wilkinson, W.J.; Stevenson, R.W.; Garnett, J.A. 1976. Lorraine. *Canadian Institute Mining and Metallurgy, Special Volume 15*, p. 397-401.
- Wolfe, J.A.; Manuzon, M.S.; Divis, A.F. 1978. The Taysan porphyry copper deposit, southern Luzon Island, Philippines. *Economic Geology*, Vol. 73, p. 608-617.
- Wolfhard, M.R. 1976. Fish Lake. *Canadian Institute Mining and Metallurgy, Special Volume 15*, p. 317-322.
- Wood, P.C.; Burrows, D.R.; Thomas, A.V.; Spooner, E.T.C. 1986. The Hollinger-McIntyre Au-quartz vein system, Timmins, Ontario, Canada; geologic characteristics, fluid properties and light stable isotope geochemistry. In *Gold 86: An International Symposium on the Geology of Gold Deposits* (MacDonald, A.J.; editor). *Proceedings*, p. 56-80. Toronto.