

Resultados de exploraciones del Gobierno y de compañías privadas:

## LOS PORFIDOS DE COBRE EN LA REPUBLICA ARGENTINA

Por Nivaldo Rojas, Geólogo, de Rojas & Asociados, Consultores Mineros.

**C**omo resultado de la exploración minera llevada a cabo en la última década en la República Argentina, se ha identificado y/o confirmado una serie de ocurrencias metalíferas hidrotermales que incluyen depósitos de cobre porfídico y yacimientos epi-

termales de metales preciosos.

Algunos de éstos prospectos provienen de trabajos de exploración efectuados por el Gobierno durante los años 70 y una parte importante es resultado de la exploración llevada a cabo por compañías privadas. Esta contribución se refiere a los depósitos de pórfido cuprífero e incluye una breve revisión de sus características y forma de yacencia globales y como un análisis de los principales depósitos de este tipo en el país.

Los pórfidos cupríferos (o cobres porfídicos) son yacimientos de gran volumen y baja ley de cobre que hoy en día proporcionan cerca del 80% de la producción mundial de este metal, la cual se estima en unos 12.000.000 de toneladas anuales. Estos yacimientos cubren usualmente superficies de varios kilómetros cuadrados y se conocen verticalmente hasta 1.500 o excepcionalmente 2500 metros.

Estos yacimientos están asociados a procesos magmáticos subvolcánicos y su nombre proviene las rocas más frecuentes que los hospedan, vale decir cuerpos de roca intrusiva de textura porfírica, con los cuales guardan estrecha relación espacial y genética. Una característica común es la presencia de mineralización diseminada de sulfuros de cobre y hierro (calcopirita, bornita y pirita) tanto como agregados finos como en enrejados de venillas de cuarzo y sulfuros (stockwork)



en la roca huésped. Por esta razón también se conocen como yacimientos de cobre diseminado. Los pórfidos de cobre presentan anillos concéntricos de asociaciones de alteración hidrotermal y de mineralización que los hace evidentes en sus afloramientos como distintivas anomalías de color. Estos yacimientos están íntimamente relacionados con la formación de depósitos epitermales de metales preciosos, los que se desarrollan por sobre y/o periféricamente a los depósitos cupríferos.

Los contenidos de cobre originales (leyes primarias) son normalmente bajos (0.2-0.6% Cu) como para ser explotados económicamente. Solo en algunos casos, éstos contenidos primarios son atractivos para ser minados con algún beneficio. La posibilidad de explotación rentable se potencia con la presencia de otros metales como molibdeno, plata, oro, y en ocasiones zinc, plomo y estaño.

La capacidad de disolución de los sulfuros primarios de cobre en las con-

diciones oxidantes de sub-superficie y la precipitación del metal sobre sulfuros primarios en las condiciones reductoras imperantes bajo el nivel de agua subterránea, en forma de calcosina y covelina, determinan la formación de horizontes enriquecidos o zonas de enriquecimiento supérgeno. Este fenómeno puede aumentar significativamente la ley primaria de los yacimientos, llegando a exhibir tenores de hasta 2% de cobre o más.

### Placas Tectónicas

Los cobres porfíricos ocurren en las zonas de contacto de placas tectónicas y se vienen formando desde que la deriva de los continentes tiene lugar (al menos desde el Proterozoico). Los yacimientos se forman a profundidades de 2 a 4 ó 5 km y necesitan de solevantamientos del continente y/o de fenómenos erosivos para exhumarse y presentarse a la observación geológica. Las edades más frecuentes de estos yacimientos varían entre el Cretácico



Superior y el Plioceno (70-5 millones de años). Los mejores ejemplos de estos depósitos minerales se encuentran en el Cinturón Circum-Pacífico, donde se expresan como franjas cinturones de depósitos mineralizados. Los depósitos mayores y más bien conocidos se agrupan en tres principales provincias metalogénicas:

- Cinturón Andino (Chile, Perú, Argentina, Bolivia, Ecuador)
- Cinturón Norteamericano (estados de Utah, Nevada, Arizona y Sonora).
- Cinturón Pacífico Occidental (Filipinas, la Indonesia, Papúa - Nueva Guinea).

También existen ocurrencias de pórfidos de cobre en áreas tectónicamente favorables de Japón, China, India-Nepal-Pakistán, Medio-Oriente, Europa Central, Siberia, Escandinavia y El Caribe, entre otras.

La identificación de estas concentraciones minerales tiene larga data, y los primeros yacimientos fueron puestos en explotación en los Estados Unidos, Chile y Perú a principios de los 1900's. Entre ellos puede destacarse Bingham Canyon (EEUU, Utah),

Chuquicamata, El Teniente, Potrerillos (Chile) y Cerro de Pasco (Perú), la mayoría de los cuales siguen en operación después de casi 100 años de explotación continua. Estos yacimientos fueron explotados exhaustivamente durante décadas y junto con otros tipos de yacimientos de menor volumen, pero de mejor ley (principalmente vetas, mantos), abastecieron las necesidades de la industria durante la primera mitad del siglo XX. Sin embargo, hacia los años 50 y durante los 60 se produce un auge importante de la investigación de estos yacimientos, fundamentada en la necesidad de definir los controles de la

mineralización y favorecer la identificación de nuevos yacimientos para reemplazar depósitos en operación y para satisfacer la creciente demanda mundial de cobre. Empresas tradicionales en la explotación de minerales cupríferos como Anaconda y Kennecott desarrollan técnicas para predecir las características a profundidad de la mineralización. El estudio de los fenómenos de alteración hidrotermal y la mineralización asociada es reconocido como fundamental y decisivo para la exploración de estos depósitos. Entre estos estudios deben destacarse:

El trabajo realizado por Lowell y Gilbert en San Manuel, Arizona (1970) que destaca los pórfidos de cobre poseen anillos concéntricos de altera-

turas vetiformes, asociados a los depósitos de cobre porfírico.

En el ámbito de depósito mineral debe destacarse el trabajo de Gustafson y Hunt (1975) en el Salvador, Chile, que reconoce la importancia de la evolución de los sistemas intrusivos e hidrotermales en la formación de pórfidos cupríferos. En este caso se introducen conceptos como la multiplicidad de períodos mineralizantes, carácter de las rocas huésped y tipos composición de venillas mineralizadas.

Estos yacimientos se alinean en franjas mineralizadas y tienden a concentrarse en núcleos de varios yacimientos. La mejor conocida de estas franjas es aquella que se extiende desde el Sur de Perú a las porciones norte y central de Chile, donde pene-

tra en Argentina, a lo largo de más de 2000 km. Esta franja está controlada por estructuras corticales profundas de rumbo meridional, que no sólo son frecuentes dentro de la franja misma, sino que aparecen tanto al oeste como al este de ellas, originando otras franjas paralelas en territorio argentino y chileno.

Los núcleos de yacimientos y/o ocurrencias mineralizadas son frecuentes donde las estructuras meridionales se interceptan con megaestructuras diagonales, especialmente de dirección noroeste y este-

oeste. Este fenómeno es especialmente característico en la parte norte de Chile y Argentina.

En Argentina, los primeros esfuerzos exploratorios sistemáticos se inician a fines de los 60 con un plan de búsqueda mineral conjunto entre la Dirección General de Fabricaciones Minerales y las Naciones Unidas, a lo que se sumó el trabajo de algunas compañías pioneras como Saint Joe Minerals (Minera Aguilar) Falconbridge y Cities Services Corporation. Este esfuerzo duró aproximadamente hasta 1975, y durante él se exploraron e identificaron depósitos



ción hidrotermal con mineralización característica, los cuales constituyen una excelente herramienta para la búsqueda mineral.

A escala regional-distrital, se han postulado diversos modelos de formación pórfidos mineralizados que en general coinciden en que están asociados al desarrollo de intrusivos subvolcánicos. Entre estos estudios destaca la propuesta de los "techos y raíces de los pórfidos de cobre" de Sillitoe (1973), y que es básico para la comprensión de la formación de los pórfidos mismos, las chimeneas de brechas, los depósitos metamórficos de contacto y las estruc-

como Bajo de la Alumbraera, Taca Taca, Inca Viejo, Mi Vida (hoy Agua Rica), Paramillos, San Jorge, Famatina y Pachón entre otros. Luego como consecuencia de los bajos precios del metal rojo, la búsqueda de minerales se redujo ostensiblemente durante la década de los 80 y las pocas empresas exploradoras radicadas en el país (entre ellas Angloamerican, BHP, Minera Aguilar) se dedicaron a la búsqueda de menas auríferas. El aumento de los

precios de los metales, la predisposición de Argentina para lograr la aceptación de inversiones extranjeras, dentro del marco global favorable de principios de los 90, desató una oleada de inversores para la búsqueda de cobre y oro. Grandes casas mineras y empresas junior de todo tipo se establecieron en Argentina, logrando definir al menos cuatro importantes pórfidos de cobre y poniendo en producción a Bajo de la Alumbraera. Sin embargo, la

crisis asiática, el escándalo de Busang, y la fuerte baja de los precios de los metales y de la economía toda, a partir de 1998, ha desalentado la inversión extranjera en pórfidos de cobre. Los menguados capitales dedicados a la exploración han migrado hacia países con más larga tradición minera o se han dedicado a la definición de recién descubiertos yacimientos de metales preciosos en el país (Lama, Veladero, Manantial Espejo). Hoy por hoy, des-

**Tabla I: Reservas y Recursos en Yacimientos de Porfido Cuprifero**

Yacimiento/ Depósito	Provincia	Región	Reservas / Recursos	Potencial (MT)	Propietario
Rachaite	Jujuy	Puna		200	Walter Silva
Pancho Arias	Salta	Puna		100	Jorge Daroca
Taca Taca Bajo	Salta	Puna	400 MT @ 0,7% Cu eq.	100	Corriente
Samenta	Salta	Puna		50-100	Mansfield
Río Grande	Salta	Puna		100 ?	Mansfield
Inca Viejo	Salta	Puna		50	Ramón Núñez
Cerro Blanco Diablillos	Salta	Puna		50	Pacific Rim
Organullo	Salta	Puna		100	Northern Orion
Alumbraera	Catamarca	Farallón Negro	800 MT @ 0..0.6% Cu, 0.6 gr/t Au	1000	Alumbraera Ltd.
El Durazno	Catamarca	Farallón Negro		100	MIM-YMAD
Agua Tapada	Catamarca	Farallón Negro		100	MIM-YMAD
San Lucas	Catamarca	Farallón Negro		150	MIM-YMAD
Las Juntas	Catamarca	Farallón Negro		50	MIM-YMAD
Tampa Tampa	Catamarca	Farallón Negro		100 ?	MIM-YMAD
Agua Rica	Catamarca	Mi Vida	802 MT @ 0,61% CU, 0,035% MO, 0,24 gr/t Au	1000	BHP-Northern Orion
Filo Colorado	Catamarca	Mi Vida		100	Prov. Catamarca
Famatina	La Rioja	Famatina	300 MT @ 0,4% Cu, 0,060% Mo	1000	Yamiri S.A.
Pachón	San Juan	Cordillera	990 MT @ 0,61% Cu, 0,014% Mo	200	Cambior-COMSUR
Piuquenes	San Juan	Cordillera		50	?
El Altar	San Juan	Cordillera		100	Litigios
Los Azules	San Juan	Cordillera		100?	BMC
Rincones de Araya	San Juan	Cordillera		200	BMC/Rio Tinto
El Salado	San Juan	Valle de Uspallata		30	BEMA
Alcaparrosa	San Juan	Valle de Uspallata		100?	Cartellone
Chorrillo	San Juan	Valle de Uspallata		50	BMC
San Jorge	Mendoza	Valle de Uspallata	150 MT 0.5%Cu, 0.25 g Au	100	Northern Orion
Paramillos Sur	Mendoza	Valle de Uspallata	167 MT @ 0.59% Cu eq.	100	Litigio
Santa Clara	Mendoza	Tupungato		200	Giustozzi
Portillo	Mendoza	Tupungato		100	Giustozzi
Barroso	Mendoza	San Rafael		50	Cartellone
Infiernillo	Mendoza	San Rafael		100	Giustozzi
Campana Mahuida	Neuquén	Cordillera	42 MT @ 0.50% Cu eq.	40	North. Orion

Potencial en millones de toneladas de 0.6% Cu equivalente: Estimaciones del autor



pués de casi tres años de recesión, la búsqueda de nuevos yacimientos de cobre en Argentina está reiniciándose y se espera que cristalicen varios acuerdos en proceso entre las compañías que controlan los yacimientos ya identificados y se desarrolle exploración efectiva en áreas y ocurrencias de indudable interés exploratorio por pórfidos cupríferos.

Una breve reseña de los yacimientos definidos en la década pasada es la siguiente:

#### **Bajo de la Alumbraera:**

Situada en el distrito de Farallón Negro, provincia de Catamarca, fue puesta en marcha en Noviembre de 1997 con una inversión de US\$ 1.240 millones. Las reservas minerales del Bajo de La Alumbraera sumaban cerca de 800 millones de toneladas de 0,6% Cu y 0,6 gr/ton Au, previéndose una explotación continua a lo largo de 25 años a un promedio de 180.000 toneladas de cobre fino y 640.000 onzas de oro por año. Las reservas minables de La Alumbraera han disminuido por explotación de sectores más ricos, lo que ha permitido paliar los bajos precios del cobre y del oro. Los socios de Bajo de la Alumbraera son MIM de Australia, Rio Tinto de Inglaterra, Billiton de Sudáfrica y YMAD de Argentina. En las vecindades se identifican varios prospectos de pórfidos de cobre que MIM está explorando con el propósito de reforzar los recursos de la Alumbraera.

**San Jorge:** Está ubicado en la Provincia de Mendoza y en la depresión tectónica conocida como Valle de Uspallata. Pertenece a Northern Orion Explorations Ltd., de Canadá. Existen estudios de factibilidad que favorecen una explotación de mineral lixiviable (óxidos y sulfuros). Sus reservas han sido estimadas en 146 millones de toneladas de 0,5% Cu y 0,25 gr/ton Au. Se entiende que el potencial minero de San Jorge puede ser aumentado con

exploración adicional en las áreas cubiertas circundantes.

**El Pachón:** El proyecto se encuentra en la cordillera de la provincia de San Juan, prácticamente en el límite con Chile y a algunos kilómetros del yacimiento Los Pelambres reciente-



mente puesto en operación. Corresponde a una asociación de "joint venture" entre la canadiense Cambior y el grupo de origen boliviano COMSUR (Compañía Minera Aguilar). A pesar de haber sido identificado como un yacimiento de gran volumen durante los años 70's, los trabajos realizados en los últimos años han aumentado sus reservas a 990 millones de toneladas del orden de 0,61% Cu y 0,014% Mo. Se estima que el yacimiento tiene su mejor opción de explotación con salida hacia el Pacífico, aprovechando las ventajas

del Tratado de Integración Minera entre Chile y Argentina.

**Agua Rica:** Está ubicado a 30 km al este del Bajo de la Alumbraera y ha sido explorado por una asociación de "joint venture" entre BHP Minerals (70%) y Northern Orion Explorations Ltd.

(30%). Las reservas del yacimiento, usando una ley de corte de 0,4% de Cu son de 802 millones de toneladas con leyes de 0,62% Cu, 0,3 gr/ton Au y 0,04% molibdeno. El proyecto está en etapa de prefactibilidad y se espera que será puesto en producción con mejores condiciones de precios de los metales. Este yacimiento es un ejemplo de perseverancia en exploración. Unas 40 perforaciones, que totalizaban 8.000 metros de sondajes realizados entre 1970 y 1973, detectaron zonas anómalas y un pequeño núcleo de alta ley de cobre y oro (5-10 millones de toneladas de 1% Cu y 1 gr/ton Au). En su afán de buscar mineralización de alta ley BHP, descubrió un cuerpo de pórfido cuprífero con enriquecimiento supergénico ampliamente extendido y prácticamente no tocado por la exploración anterior.

**Otros depósitos** y áreas atractivos en este momento corresponden a Paramillos Sur y Norte, Los Azules, Rincones de Araya, Santa Clara, Infiernillo, Campana Mahuida, Taca Taca, Inca Viejo, Pancho Arias, Bajo del

Durazno y Agua Tapada.

La posibilidad de detectar y definir nuevos yacimientos, la utilización de nuevas tecnologías, la consolidación de leyes para promover la inversión en minería y la aplicación del Tratado Minero entre Chile y Argentina, favorecen el desarrollo minero del país y en particular la exploración de nuevos yacimientos de pórfido cuprífero. La Tabla I destaca algunos de los principales yacimientos y prospectos de cobre porfirico del territorio argentino, en los que se espera definir recursos minerales explotables económicamente. ■

