

Litología, mineralización y alteración del yacimiento El Pachón, provincia de San Juan, Argentina

María G. TORRES¹, Nora RUBINSTEIN² y Estela MEISSL³

¹CONICET- Universidad Nacional de San Juan, Departamento de Geología, San Juan.

²IGEBA (UBA-CONICET), Departamento de Ciencias Geológicas, Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

³Departamento de Geología, Instituto de Geología (INGEO), Universidad Nacional de San Juan, San Juan.

E-mail: torresmaria9@hotmail.com

Editor: Mónica López de Luchi

RESUMEN

El yacimiento El Pachón es un depósito tipo pórfido de cobre-molibdeno ubicado al suroeste de la provincia de San Juan, en la Cordillera Principal, limítrofe con Chile. Está emplazado en una secuencia volcánica formada por andesitas y riolitas-riodacitas de edad cretácica tardía - miocena temprana (Formación Pachón) a la que intruyen cuerpos dioríticos-tonalíticos de edad miocena (Diorita Pachón), a los que se vincula genéticamente la mineralización, y pórfidos dacíticos tardíos. Estudios petro-mineralógicos de muestras de superficie y perforación permitieron definir la presencia de asociaciones de alteración típicas de depósitos tipo pórfido. El sistema se habría iniciado con una etapa potásica con una asociación de feldespato potásico-biotita-(cuarzo) de distribución penetrante y en venillas tipo A, EB y B, a la que se asocia una paragénesis de mena compuesta por calcopirita-pirita ± (molibdenita-bornita). Durante esta etapa, se habrían formado cuerpos de brecha con cemento de cuarzo (Brecha Sur). Posteriormente tuvo lugar la formación de brechas turmalínicas (Brecha Sur), luego de la cual se produce la etapa filica que genera una asociación de cuarzo-sericita-pirita-(clorita) de distribución penetrante y en venillas tipo D. El proceso hidrotermal continúa con un segundo evento de turmalinización estéril que dio origen a un nuevo cuerpo de brecha (Brecha Norte). La alteración propilítica se distribuye periférica a la zona filica en forma penetrante y en venillas con una paragénesis de clorita-epidoto-calcita.

Palabras claves: *Pórfido de Cu (Mo), alteración hidrotermal, paragénesis de mena, brechas, Cordillera Principal.*

ABSTRACT

Lithology, mineralization and alteration of the El Pachón deposit, San Juan province, Argentina. El Pachón is a porphyry copper-molybdenum deposit located at southwest of San Juan province, near the border with Chile. This deposit is hosted by a volcanic sequence of andesites and rhyolites-rhyodacites (Pachón Formation) with a Late Cretaceous-early Miocene age. This volcanic sequence is intruded by Miocene diorite-tonalite intrusives (Diorita Pachón), which are genetically linked to the mineralization, and by late dacitic porphyries. Petro-mineralogical studies of surface and drilling samples allow us to define alteration assemblages of typical porphyry deposits. The hydrothermal system started with a potassic stage with an assemblage of K-feldspar-biotite (quartz) with a pervasive distribution and A, EB and B veinlets with an associated ore paragenesis consisting of chalcopyrite-pyrite ± (molybdenite-bornite). During this stage, a breccia consisting of a first stage of brecciation with quartz cement and a second stage of brecciation with a tourmaline cement was formed (Breccia South). Later on there was a phyllic stage with an assemblage of quartz-sericite-pyrite- (chlorite) with a pervasive distribution and D veinlets. The hydrothermal processes continues and is evidenced by a barren tourmaline stage that developed a breccia body (Breccia North). A propylitic alteration with an assemblage of chlorite-epidote-calcite with pervasive and in veinlets distribution developed around the phyllic halo.

Keywords: *Cu (Mo) porphyry deposit, hydrothermal alteration, ore paragenesis, breccias, Cordillera Principal.*

INTRODUCCIÓN

El yacimiento El Pachón (31°40' S, 70°15' O) es un depósito de tipo pórfido de Cu-Mo ubicado en el departamento de Calingasta, provincia de San Juan, aproximadamente a 350 km de la ciudad de San Juan y a 3 km del límite con Chile (Fig. 1a). En las cercanías de este proyecto, se encuentra la mina Pelambre (Chile) que junto al yacimiento El Pachón constituyen un proyecto binacional desarrollado en el marco del Acuerdo de Integración Minera de Chile y Argentina del año 1997. La zona del yacimiento se encuentra den-

tro de la faja plegada y corrida de La Ramada, en el extremo sudoccidental de la Cordillera Principal sanjuanina donde afloran otros depósitos de tipo pórfido de cobre (Altar, Los Azules, Piuquenes, Rincónes de Araya). Todos estos depósitos se encuentran en el extremo norte de la faja de pórfidos del Mioceno superior - Plioceno (12-4 Ma) ubicada en los Andes argentinos y chilenos entre los 31°30' y 34°30' S, la cual alberga dos de los yacimientos de este tipo más grandes del mundo, El Teniente y Río Blanco-Los Bronces (Camus 2003). El yacimiento El Pachón ha sido explorado desde la década del '60 por diferentes em-

presas mineras, entre ellas Compañía Minera Aguilar, Pachón S.A., *Cambior Inc.*, *Falconbridge*, *XstrataCopper* y *Glencore - XstrataCopper*. En el año 2006, la empresa *XstrataCopper* adquiere el yacimiento, iniciándose una etapa en la que se realizaron las mayores campañas de perforación de diamantina, con más de 50.000 m perforados, a los que se suman estudios adicionales referidos a ingeniería, minería, infraestructura y medio ambiente. En octubre del año 2012, a partir de la incorporación de nuevas perforaciones y nuevos parámetros geotécnicos, metalúrgicos y económicos desarrollados en el marco de la actualización de los estudios de factibi-

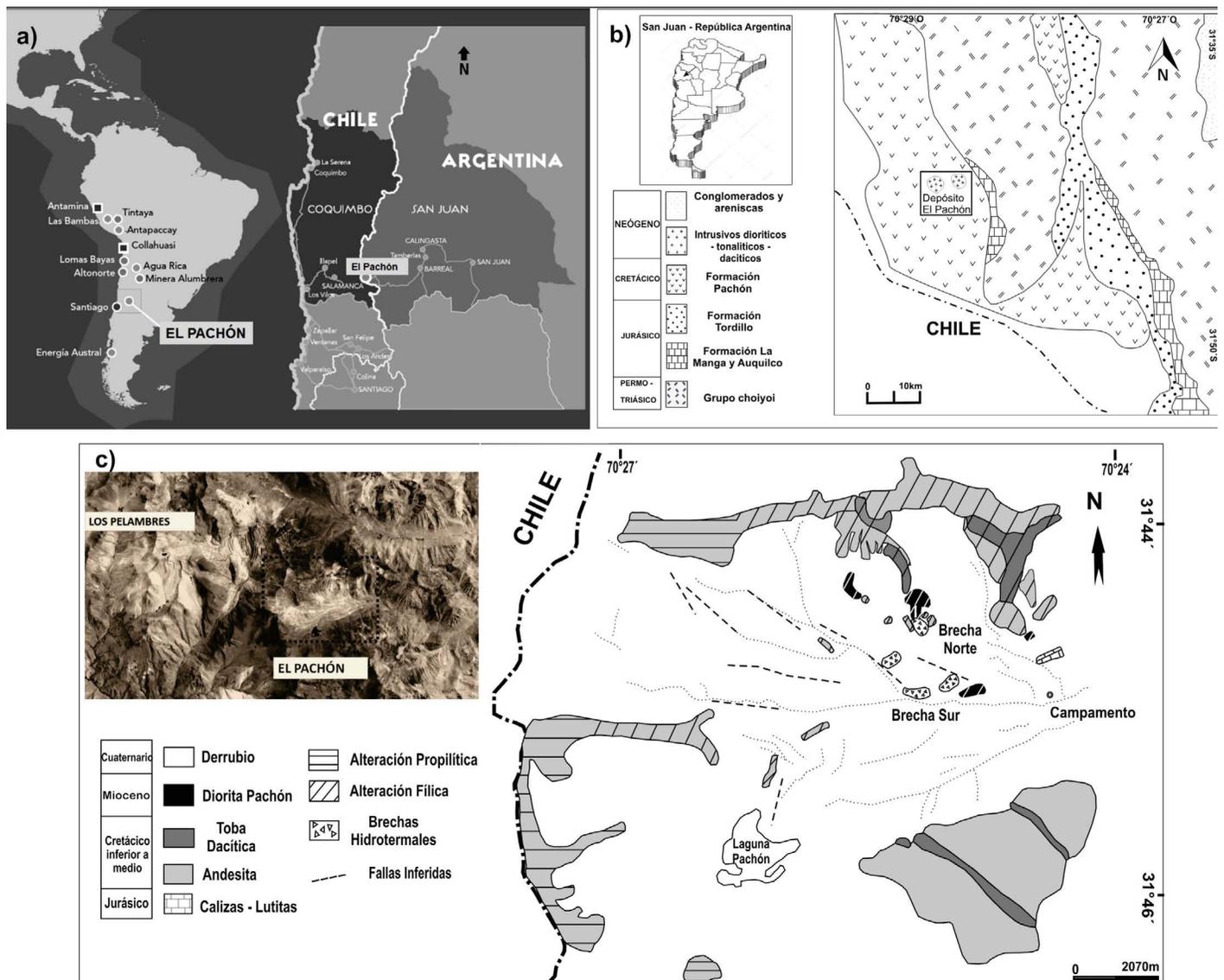


Figura 1. a) Ubicación del yacimiento El Pachón (tomado de Sausset 2011); b) Geología regional del área; c) Geología local del área del yacimiento El Pachón (modificado de Lencinas y Tonel 1993, Torres 2012).

lidad del proyecto, se obtuvo un aumento del recurso mineral que alcanzó los 3.300 millones de toneladas, con una ley de Cu de 0.47 %, y Mo y Ag como subproductos (Sausset 2011).

El avance en el conocimiento del yacimiento El Pachón (Fernández *et al.* 1972, Lencinas y Tonel 1993, Brown 1983) permitió documentar una historia compleja de intrusiones subvolcánicas, estructura, alteración hidrotermal, mineralización, geoquímica y modelo genético. Estos autores resumen los siguientes estadios magmáticos - hidrotermales: 1) Intrusión del stock Diorita Pachón, 2) Formación del sistema de cobre porfídico, 3) Intrusión póstuma de pórfidos dioríticos en cuya cúpula intrusiva se produce brechamiento magmático con acumulación de fluidos hidrotermales, 4) Brechamiento hidrotermal, alteración y mineralización de la brecha, 5) Intrusión del pórfido dacítico en el límite norte de la brecha hidrotermal, 6) Formación de brechas de turmalina escasamente mineralizadas, 7) Lixiviación y enriquecimiento supergénico.

El objetivo del presente trabajo es contribuir a la caracterización de la mineralización y paragénesis de alteración del yacimiento El Pachón sobre la base de nueva información geológica y petro-mineralógica y brindar por primera vez la descripción en detalle y distribución de las alteraciones hidrotermales - mineralizaciones de los dos tipos de brecha que componen al yacimiento. Se seleccionaron 20 muestras de afloramiento y 40 muestras de testigos de perforación, revisándose a su vez, los 50.000 m perforados, de forma tal de cubrir todo el yacimiento, debido a que existen escasos afloramientos.

MARCO GEOLÓGICO

Las rocas más antiguas aflorantes en el área corresponden a granitoides y vulcanitas asignadas al Grupo Choiyoi (Pérmico Superior - Triásico Medio), a los que sobreyacen en discordancia los depósitos jurásicos que están representados por la Formación La Manga, integrada principalmente por calizas grises (Stipanovic y Mingramm 1953), Formación Auquilco (Oxfordiano) constituida por depósitos evaporíticos de yeso y anhidrita (Groeber

et al. 1953, Harrington 1962) y Formación Tordillo (Jurásico Superior) compuesta por conglomerados y areniscas de color morado (Groeber 1929). Por encima y en discordancia, se encuentra una secuencia volcánica formada por andesitas y riolitas-riodacitas de edad cretácica tardía - miocena temprana denominada Formación Pachón (Fernández *et al.* 1972). La Formación Pachón se compone de una secuencia de aproximadamente 1.000 m de espesor de vulcanitas principalmente andesíticas que alternan con brechas y tobas de composición dacítica (Lencinas y Tonel 1993). Esta formación se encuentra intruida por cuerpos de diorita-tonalita (Diorita Pachón) con los que se vincula la mineralización y que han sido correlacionados por Lencinas y Tonel (1993) con el intrusivo tonalítico del yacimiento chileno Pelambres ($9,74 \pm 0,16$ y $9,96 \pm 0,18$ Ma; Sillitoe 1977). También se observan pórfidos dacíticos estériles, que cortan a la diorita-tonalita (Lencinas y Tonel - 1993) (Fig. 1c). Dataciones Re-Os en molibdenita permiten establecer una edad entre 8,43 y 9,16 Ma para El Pachón, que demuestran que este depósito representa un sistema magmático hidrotermal distinto, que fue emplazado durante el levantamiento y exhumación del depósito Los Pelambres (Bertens *et al.* 2006).

Localmente, la Formación Pachón comienza con una secuencia de 350 m de espesor compuesta por brechas volcánicas, areniscas y tobas andesíticas. Por encima, sigue una secuencia de 300 m compuesta por vulcanitas andesíticas portadoras de magnetita y/o biotita hidrotermal con intercalaciones de niveles de lavas ocoíticas. Esta formación culmina con una secuencia de 250 m de espesor constituida por gruesos niveles de brechas volcánicas andesíticas con intercalaciones de tobas de similar composición y algunos niveles menores de tobas dacíticas (Lencinas y Tonel 1993).

La Diorita Pachón es el intrusivo de mayor dimensión del yacimiento y se encuentra pobremente expuesta en el arroyo Pachón y en el extremo sur del Cerro Triángulo. Microscópicamente, la roca presenta textura granosa alotriomorfa inequigranular y composición diorítica a tonalítica. Está compuesta principalmente por plagioclasa acompañada de biotita y escaso cuarzo

y se encuentra afectada por una suave a moderada sericitización.

Como fase tardía del complejo magmático cretácico - mioceno, se intruyen pórfidos dacíticos estériles en forma de *stocks*, diques y filones. Microscópicamente, presentan textura porfírica con fenocristales de plagioclasa, cuarzo y biotita inmersos en una pasta de grano fino constituida por un intercrecimiento de plagioclasa y cuarzo, con agregados de cuarzo secundario con textura *Jigsaw-quartz* ó *Puzzle* (Lovering 1972, Dong *et al.* 1995), alteración sericítico-clorítica moderada y suave carbonatización.

En la parte central del depósito, fueron reconocidos dos cuerpos de brecha denominados Brecha Sur, que constituye el sector con mayor ley en el depósito, y Brecha Norte (Lencinas y Tonel 1993, Torres 2012).

ASOCIACIONES DE ALTERACIÓN

En los escasos afloramientos del área, se identificó alteración filica y propilítica (Fig. 1c). La alteración filica es de intensidad variable, se distribuye en forma penetrante y en venillas y está compuesta por una asociación de cuarzo-sericita-pirita (Fig. 2). El cuarzo y la sericita aparecen como reemplazo parcial a total de los minerales primarios, en tanto que la pirita + (cuarzo) se encuentra diseminada y conformando venillas.

La alteración propilítica es de intensidad moderada, se distribuye en forma penetrante y en venillas, está compuesta por clorita, calcita y epidoto. La clorita es el mineral dominante y se encuentra como reemplazo de los minerales máficos y en forma intersticial en la pasta de las vulcanitas. El epidoto se encuentra en agregados y venillas y la calcita en venillas.

En muestras de testigos de perforación, se reconoció alteración potásica, filica y propilítica. La alteración potásica se manifiesta en la parte central del yacimiento, aproximadamente a partir de los 100 m de profundidad, se distribuye en forma penetrativa y en venillas y es de intensidad suave a moderada en el pórfido dacítico y tobas dacíticas, y moderada a fuerte en las andesitas, tobas andesíticas y en la

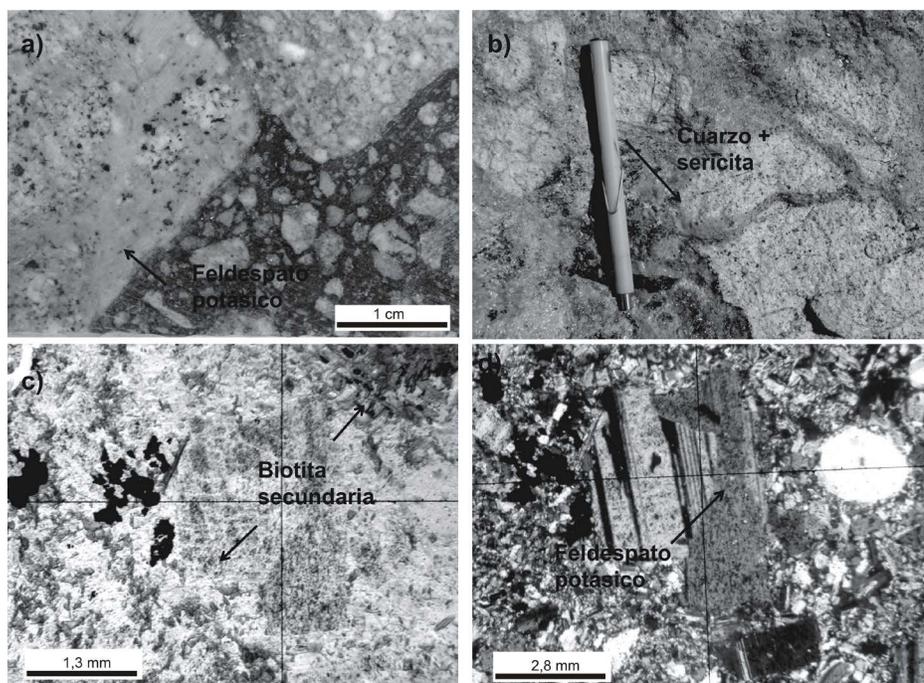


Figura 2. Brecha Sur. a) Brecha tonalítica con cemento de turmalina. Fragmento de tonalita reemplazado por feldespato potásico; b) Brecha tonalítica con cemento de cuarzo con fragmentos alterados penetrativamente con la paragénesis cuarzo-sericita, obliterando la textura original; c-d) Microfotografía, con y sin analizador respectivamente, de brecha con cemento de cuarzo y líticos de pórfido dacítico, destacándose la biotita secundaria en forma de nidos y feldespato potásico reemplazando a plagioclasa.

Diorita Pachón. La mineralogía de alteración consiste en feldespato potásico y biotita a las que acompañan magnetita, pirita y \pm cuarzo. La biotita es de color castaño, se encuentra en la pasta formando nidos y en ocasiones se observa parcialmente cloritizada. El feldespato potásico secundario constituye parches que reemplazan la pasta, fragmentos y fenocristales de plagioclasa. Se reconoce abundante magnetita finamente diseminada y conformando agregados y venillas. En los sondajes, hasta los 100 m promedio por debajo de la boca de los pozos, la alteración potásica es de poca intensidad, con pirita y calcopirita diseminada. Asociadas a la alteración potásica penetrante, se encuentran venillas irregulares y sinuosas de feldespato potásico \pm cuarzo (Fig. 3d) y minerales opacos en la parte central, clasificadas como de tipo A (Gustafson y Hunt 1975, Gustafson y Quiroga 1995), venillas irregulares y sinuosas de biotita-magnetita \pm feldespato potásico \pm cuarzo, clasificadas como de tipo EB (Gustafson y Hunt 1975, Gustafson y Quiroga 1995), que atraviesan a las venillas tipo A y a venillas de feldespato potásico + turmalina +

opacos. Además, se distinguen venillas tipo B (Gustafson y Hunt 1975, Gustafson y Quiroga 1995) de paredes rectas compuestas por cuarzo-pirita-calcopirita (Fig.

3b) y consideradas transicionales entre las venillas tempranas y tardías. En la Formación El Pachón, no se definen venillas tipo C, en contraste con lo que ocurre en Los Pelambres, donde Perelló *et al.* (2009) las comparan y designan como venillas T4. Éstas venillas, similares a las venillas tipo C de El Salvador (Gustafson y Quiroga 1995) y a las EDM (*Early Dark Micaceous*) de Butte, Montana (Brimhall 1977), están cortadas por clásicas venillas de tipo A y B, con desarrollo incipiente de halos de alteración de feldespato potásico y/o biotita.

La alteración filica se dispone en forma penetrativa y en venillas, principalmente en el núcleo de la Brecha Sur (Fig. 1c). Presenta intensidad suave a moderada en las andesitas y tobas andesíticas, moderada a fuerte en el pórfido dacítico y tobas dacíticas y moderada en la Diorita Pachón, y se caracteriza por una asociación de cuarzo-sericita-pirita (baritina). El cuarzo conforma venillas con o sin participación de pirita \pm calcopirita y venillas de pirita \pm cuarzo (Fig. 3c), las cuales desarrollan halos de sericita clasificadas como de tipo D (Gustafson y Hunt 1975, Gustafson y Quiroga 1995). La sericita aparece también como reemplazo de los fenocristales de feldespato, de minerales máficos, de la pasta (excepcionalmente

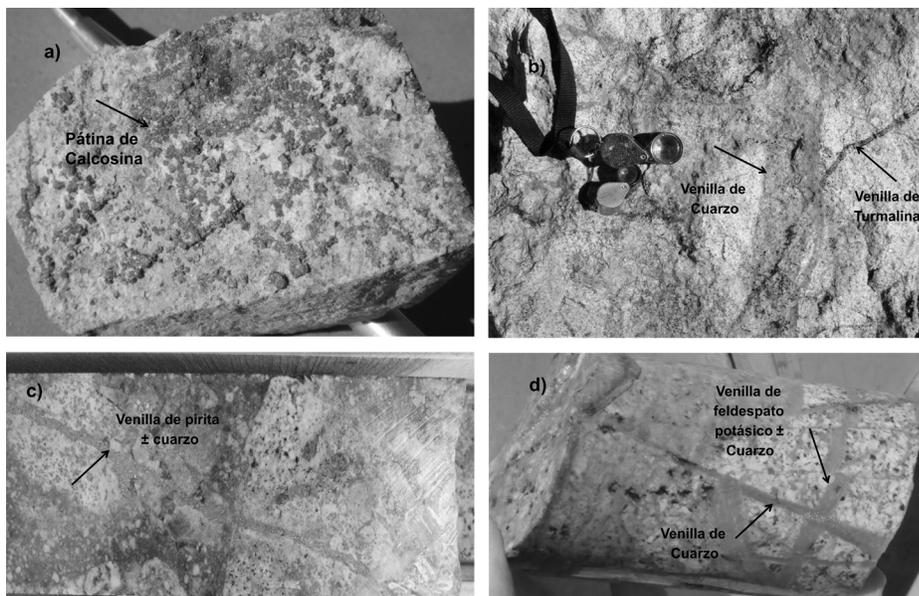


Figura 3. Brecha Sur. a) Se reconoce calcosina diseminada y en pátinas en las fracturas de las rocas, con alteración de intensidad fuerte; b) Venilla de bordes rectos compuesta por cuarzo, cortada por venilla de turmalina \pm cuarzo; c) Venilla de pirita + (cuarzo) atravesando la brecha; d) Venillas de feldespato potásico + (cuarzo) cortadas por venillas de bordes rectos de cuarzo.

con baritina) y constituyendo venillas en las que puede aparecer acompañada de pirita, que cortan a las venillas de cuarzo + pirita \pm calcopirita. La pirita se encuentra además diseminada junto con la sericita intersticial. Las venillas asociadas a esta etapa atraviesan a las de la etapa potásica.

La alteración propilítica se distribuye en forma penetrante y en venillas, afectando con intensidad moderada a las andesitas y tobas andesíticas con una paragénesis de clorita-epidoto-calcita. La clorita se encuentra como reemplazo de los fenocristales de los minerales máficos y de la pasta así como también conformando venillas acompañada de cuarzo y minerales opacos. El epidoto y la calcita se presentan ocasionalmente en agregados en la pasta y constituyendo venillas.

CUERPOS DE BRECHA

En el depósito se reconocen dos grandes cuerpos de brechas denominados Brecha Norte y Brecha Sur (Fig. 1c).

Brecha Sur

Esta brecha alberga la mayor ley de mineralización del depósito y corresponde a una brecha hidrotermal emplazada en la parte central del depósito en contacto con la andesita al oeste y el pórfido dacítico al este, ambos pertenecientes a la Formación Pachón. Constituye un cuerpo con forma de cono invertido y eje principal subvertical elongado en dirección O-NO / E-SE, con un eje mayor del orden de los 350 m y un eje transversal de ~240 m (Lencinas y Tonel 1993).

En base al tipo de cemento se ha definido la presencia de brechas con cemento de cuarzo y brechas con cemento de turmalina y dentro de cada una de ellas se han reconocido diferentes subtipos dependiendo de la composición predominante de los fragmentos.

Brechas con cemento de cuarzo: Este grupo incluye brechas tonalíticas y brechas andesíticas. Las brechas tonalíticas están compuestas por clastos angulosos de tonalita y en forma subordinada de tobas dacíticas y andesíticas de hasta 5 cm. Registran las leyes de Cu más altas del depósito y constituyen el núcleo de la Brecha Sur. Presentan alteración potásica

representada por feldespato potásico y en menor proporción, magnetita y biotita. El feldespato potásico reemplaza en forma parcial a total a los fragmentos de la brecha (Fig. 2d) y también constituye venillas de hasta 2,5 cm de espesor que cortan al cemento y a los fragmentos. La magnetita conforma esporádicos agregados a los que se asocia calcopirita. La biotita secundaria se reconoce formando pequeños nidos en los fragmentos de la brecha. Vinculada a esta alteración, se observa mineralización de calcopirita, esfalerita y molibdenita, diseminada en los fragmentos y en venillas finas. Sobreimpuesta a la alteración potásica se reconoce alteración filica, con una paragénesis de cuarzo-sericita-pirita, asociada a esta última alteración se reconoce mineralización supergénica de calcosina y covelina en forma de pátinas y en pequeñas y delgadas venillas (Fig. 3a). El cuarzo se presenta en venillas de hasta 1 cm que atraviesan fragmentos y cemento. La sericitización es fuerte y reemplaza en forma parcial a total a los fragmentos líticos (Fig. 2b). La pirita se observa finamente diseminada en el cemento y en los fragmentos, así como en venillas de hasta 3 mm.

Las brechas andesíticas están constituidas exclusivamente por fragmentos de andesita cuyo tamaño varía entre 0,3 mm y 4 cm. La alteración potásica afecta sólo a los fragmentos líticos y a la pasta y está representada por biotita en nidos (Fig. 2c), abundante magnetita finamente diseminada y esporádicos parches de feldespato potásico. La mineralización asociada a esta alteración está constituida por calcopirita, bornita y molibdenita diseminadas y en menor proporción, en venillas de cuarzo + (calcopirita \pm bornita \pm molibdenita), que cortan los fragmentos de la brecha. Se reconoce alteración filica, representada por una paragénesis de sericita-cuarzo- (clorita), con la sericita reemplazando a los feldespatos primarios, a las biotitas secundarias y al feldespato potásico secundario, y distribuida intersticialmente en la pasta de la vulcanita junto con agregados de cuarzo secundario. *Brechas con cemento de turmalina:* Este grupo incluye brechas de pórfido dacítico y brechas tonalíticas. Las brechas de pórfido dacítico están compuestas por clastos angulosos a subangulosos, con tamaños que varían entre 0,6 mm y 3,5 cm y constituyen dos cuerpos, uno ubicado en el centro

de la Brecha Sur, al oeste de las brechas tonalíticas con cemento de cuarzo, y otro aproximadamente 300 m al este del primero. Las brechas tonalíticas están formadas por clastos angulosos a subredondeados de tonalita, cuyo tamaño varía entre 0,5 mm y 7 cm.

Tanto la brecha de pórfido dacítico como la de tonalita, presentan una suave alteración potásica representada por feldespato potásico que reemplaza en forma penetrante los clastos (Fig. 2a). Asociado a esta alteración, se encuentra mineralización diseminada de calcopirita, pirita y en menor proporción molibdenita. Se reconoce alteración filica, con una paragénesis de cuarzo-sericita. La sericita ocurre como reemplazo de fenocristales y en forma intersticial junto con agregados de cuarzo secundario en la matriz, así como también conformando venillas de cuarzo-sericita que cortan al cemento.

Brecha Norte

Constituye un cuerpo de aproximadamente 60 m de longitud transversal (ancho) y 40 m de tamaño longitudinal (largo) que aflora al norte de la Brecha Sur (Fig. 4a). Corresponde a una brecha monomítica compuesta por fragmentos angulosos de tonalita, de hasta 5 cm, que se disponen alineados en un cemento de turmalina y cuarzo subordinado (Fig. 4b, d). Los fragmentos están afectados por alteración filica (sericita-cuarzo) con una intensidad fuerte. La mineralización se encuentra diseminada, asociada tanto a los fragmentos como al cemento. En los fragmentos, la paragénesis de mena está compuesta principalmente por pirita y calcopirita, en tanto que en el cemento de turmalina \pm cuarzo sólo se reconocen agregados de pirita (Fig. 4c).

DISCUSIÓN

Los estudios realizados para el presente trabajo permiten establecer que las alteraciones presentes en el área del yacimiento El Pachón son de tipo potásica, filica y propilítica, en coincidencia con el esquema propuesto por Lencinas y Tonel (1993) para la geología del distrito. La alteración potásica sólo fue reconocida en muestras de perforación y se presentan en forma

penetrativa y en venillas tipo A, EB y B, y está caracterizada por una asociación de feldespato potásico-biotita, con cuarzo subordinado, a la que se asocia pirita, calcopirita y magnetita diseminada y en menor proporción, bornita y molibdenita. En general, se considera que el comienzo de la alteración potásica se produjo en condiciones de equilibrio con el magma, lo que se refleja en la geometría irregular y sinuosa de las venillas de tipo A y EB, demostrando de esta manera que el sistema se encontraba en un estado dúctil-frágil. Sobreimpuesta a la alteración potásica, se reconoce alteración filica, caracterizada por una asociación de cuarzo-sericita-pirita de distribución penetrante y en venillas tipo D. Estas venillas fueron emplazadas en fases posteriores a la etapa tardiomagmática o potásica, en condiciones frágiles, lo que se manifiesta en la geometría de las mismas.

La alteración propilítica se distribuye periférica a la zona filica (Fig. 1c) en forma penetrante y en venillas, tanto en muestras de superficie como de perforación, con una paragénesis de clorita-epidoto-calcita.

De acuerdo con los datos aportados por este estudio, en el área del depósito se encuentran dos tipos de brechas hidrotermales: Brecha Sur (brecha mineralizada) y Brecha Norte (brecha estéril). En el caso de la Brecha Sur, las relaciones texturales entre los minerales de alteración indican que la brecha silícea se formó durante la etapa potásica y en forma contemporánea con la mineralización, que aparece diseminada en los fragmentos y en venillas que cortan al cemento, en tanto que las brechas con cemento de turmalina-, se habrían formado luego de la etapa potásica y al menos en parte, previo a la alteración filica (venas de cuarzo-sericita que atraviesan el cemento). Por otra parte, la Brecha Norte con cemento de turmalina (cuarzo), se habría formado posteriormente a la etapa filica, lo que sugiere la existencia de dos eventos de turmalinización. La morfología de cono invertido, la presencia de diferentes cuerpos menores, la existencia de la escasa matriz así como las características texturales de los fragmentos de la Brecha Sur, permiten sugerir un origen por expansión volumétrica producto de un fenómeno de explosión rela-

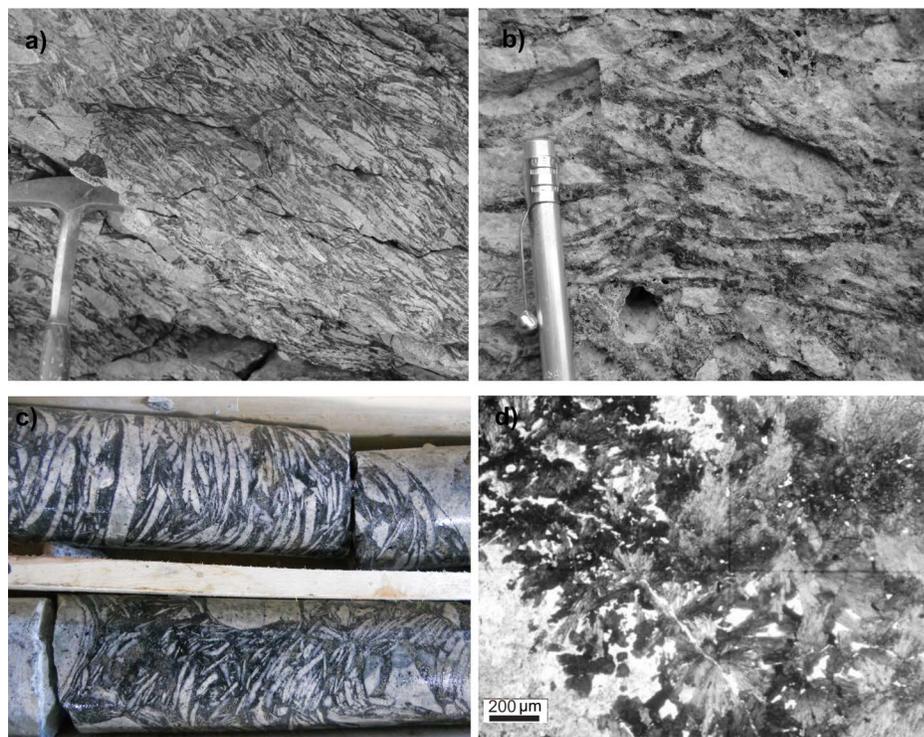


Figura 4. Brecha Norte. a) Imagen de afloramiento de la brecha con cemento de turmalina y fragmentos de tonalita; b) Detalle del cemento de turmalina y fragmentos de la figura 4a; c) Imagen de testigo de perforación de la Brecha Norte; d) Microfotografía sin analizador que ilustra el cemento de turmalina + (cuarzo) de la brecha.

cionado a un campo de esfuerzos inusual de tipo Herziano, que puede ser provocado por reacciones químicas, descompresión o intervención freática (Jébrak 1997). Estos procesos pueden dar lugar a la precipitación de minerales metálicos y por lo tanto, pueden haber intervenido en forma individual o combinada, en la generación de la mineralización asociada a este cuerpo de brecha. Por otra parte, la composición y morfología de los fragmentos y la abundancia de cemento observados en la Brecha Norte, sugieren un proceso de brechamiento asistido por fluido para su génesis (Jébrak 1997). La forma y alineación de los fragmentos sería consecuencia de una esquistosidad preexistente, probablemente asociada a una zona de cizalla, que fue aprovechada por los fluidos mineralizantes como consecuencia de que requieren menor cantidad de energía para el fracturamiento hidráulico (Jébrak 1997).

CONCLUSIONES

Los estudios petro-mineralógicos realizados en el yacimiento El Pachón indican la

presencia de asociaciones de alteración típicas de depósitos de tipo pórfido. El sistema se habría iniciado con una etapa potásica en condiciones frágil-dúctil con una asociación de feldespato potásico-biotita-cuarzo penetrativa y en venillas (A, EB y B) a la que se asocia una paragénesis de mena compuesta por calcopirita-pirita \pm (molibdenita-bornita). Durante esta etapa se habría formado la fase silícea de la Brecha Sur, luego de la cual se produce la etapa filica que genera una asociación de cuarzo-sericita-pirita-(clorita) de distribución penetrativa y en venillas tipo D, en las que ocasionalmente participa calcopirita. Finalmente, habría tenido lugar un segundo evento de turmalinización que dio origen a la Brecha Norte de carácter estéril. La morfología y características texturales de la Brecha Sur indican que se formó por un proceso de expansión volumétrica producto de un fenómeno de explosión, en tanto que las de la Brecha Norte sugieren, para explicar su génesis, un proceso de brechamiento asistido por fluido a favor de una zona de cizalla.

La alteración propilítica se distribuye periférica a la zona filica en forma penetrativa y en venillas con una paragénesis de clorita-epidoto-calcita.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen a la empresa *Xstrata Copper* por la logística durante los viajes de campo, a los geólogos y personal técnico del área de exploración por su buena predisposición y su apoyo incondicional durante los mismos y a la Dra. Anabel Gómez por las valiosas observaciones y sugerencias que permitieron mejorar la calidad del manuscrito.

REFERENCIAS

- Bertens, A., Clark, A., Barra, F. y Deckart, K. 2006. Evolution of the Los Pelambres – El Pachón Porphyry Copper-Molybdenum district, Chile/Argentina. 11° Congreso Geológico Chileno, Actas 2: 179-181, Antofagasta.
- Brimhall, Jr.G.H. 1977. Early fracture-controlled disseminated mineralization at Butte, Montana. *Economic Geology* 72: 37-39.
- Brown, F.R. y Compañía Minera Aguilar S.A. 1983. Oxidación, lixiviación y Enriquecimiento supergénico en el depósito de Cobre de Pachón, San Juan, Argentina. 2° Congreso Nacional de Geología Económica, Volumen 1: 29, San Juan.
- Camus, F. 2003. Geología de los sistemas porfíricos en los Andes de Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería, 267 p., Santiago de Chile.
- Dong, G., Morrison, G. y Jaireth, S. 1995. Quartz textures in epithermal veins, Queensland - Classification, origin and implication. *Economic Geology* 90: 1841-1856.
- Fernández, R., Brown, F. y Lencinas, A. 1972. Pachón, un nuevo pórfido cuprífero argentino. 5° Congreso Geológico Argentino, Actas I: 77-89, Villa Carlos Paz, Córdoba.
- Groeber, P. 1929. Líneas fundamentales de la Geología del Neuquén, sur de Mendoza y regiones adyacentes. Dirección General Minería Geológica e Hidrogeológica, Publicación 58: 1-109, Buenos Aires.
- Groeber, P., Stipanovic, P. N. y Mingramm, A. R. G. 1953. Mesozoico. En Geografía de la República Argentina. Sociedad Argentina Estudios Geográficos GAEA 2: 9-541, Buenos Aires.
- Gustafson, L. B. y Hunt, J. P. 1975. The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile. *Economic Geology* 70: 857-912.
- Gustafson, L. B. y Quiroga, J. 1995. Patterns of mineralization and alteration below the porphyry copper ore body at El Salvador, Chile. *Economic Geology* 90: 2-16.
- Harrington, H. J. 1962. Paleogeographic development of South America. American Association of Petroleum Geologists, Bulletin 46: 1773-1814.
- Jébrak, M. 1997. Hydrothermal breccias in vein-type ore deposits: A review of mechanisms, morphology and size distribution. *Ore Geology Reviews* 12: 111-134.
- Lencinas, A. y Tonel, M. 1993. La brecha sur del yacimiento de cobre porfírico de Pachón, San Juan, República Argentina. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 5: 241-247, Mendoza.
- Lovering, T. G. 1972. Jasperoid in the United States - its characteristics, origin, and economic significance: United States Geological Survey Professional paper 710, 164 p.
- Perelló, J., Sillitoe, R. H., Brockway, H., Posso, H. y Mpodozis, C. 2009. Contiguous Porphyry Cu-Mo and Cu-Au Mineralization at Los Pelambres, Central Chile. 12° Congreso Geológico Chileno, Actas digitales: S11_026, Santiago de Chile.
- Sausset, J. 2011. Reporte de sostenibilidad El Pachón (inédito). <http://www.elpachon.com.ar>.
- Sillitoe, R. 1977. Permo-Carboniferous, Upper Cretaceous and Miocene porphyry copper type mineralization in the Argentinian Andes. *Economic Geology* 72: 99-109.
- Stipanovic, P. N. y Mingramm, A. G. 1953. Jurásico. En: Geografía de la República Argentina. Sociedad Argentina de Estudios Geográficos GAEA 2: 143-347, Buenos Aires.
- Torres, M.G. 2012. Cuerpos de brechas relacionados al Cuerpo Cuprífero El Pachón, Departamento Calingasta, San Juan. Trabajo Final de Licenciatura, Universidad Nacional de San Juan (inédita), 117 p., San Juan.

Recibido: 17 de mayo, 2016

Aceptado: 7 de septiembre, 2017