

Hallazgo de albitas negras en andesitas basálticas porfíricas del distrito minero de Au-Cu-Hg de Punitaqui, Coquimbo, Chile

J. Cucurella⁽¹⁾, J. Oyarzún⁽²⁾ y S. Pavicic⁽³⁾

(1) Departamento de Ingeniería de Minas, Universidad de La Serena, Casilla 554, La Serena, Chile.
E-mail: jcucurel@userena.cl

(2) Departamento de Ingeniería de Minas y CEAZA, Universidad de La Serena, Casilla 554, La Serena, Chile.
E-mail: joyarzun@userena.cl

(3) Miramar 2000, La Serena, Chile.

RESUMEN

El distrito minero de Punitaqui (30° 52' S, 71° 14' O) está situado en una zona de cizalla, que afecta a una serie volcánico-sedimentaria del Cretácico inferior en su contacto con un intrusivo granodiorítico datado en 114 ± 3 Ma. Las rocas volcánicas son principalmente andesitas basálticas porfíricas, denominadas en Chile "ocoítas", que presentan alteración potásica y calco-sódica. Entre las "ocoítas" calco-sódicas se destacan dos tipos, caracterizados por presentar fenocristales de albita negra en una matriz afanítica de color negro y gris verdoso claro respectivamente. El color de los fenocristales de la plagioclasa albitizada se debe a la presencia de finos cristales diseminados de magnetita, así como de abundantes inclusiones fluidas. Es probable que la presencia de magnetita e inclusiones fluidas en la plagioclasa sea indicativa de la actividad hidrotermal y en consecuencia constituye un rasgo mineralógico de valor prospectivo.

Palabras clave: albita negra, Cretácico, Chile, depósitos hidrotermales, distrito de Punitaqui

Black albites finding in porphyritic basaltic andesites from Punitaqui Au-Cu-Hg mining district Coquimbo, Chile

ABSTRACT

The Punitaqui mining district (30° 52', 71° 14' W) is located within a shear zone developed in a Lower Cretaceous volcanic-sedimentary series, in its contact to a granodioritic intrusion dated at 114 ± 3 Ma. The volcanic rocks are mainly porphyritic basaltic andesites, locally called "ocoítas", which underwent potassic and calcic-sodic alterations. The second ones gave rise to two conspicuous rock types characterized by black albite phenocrysts, set in a black or in a pale gray groundmass. The color of these altered phenocrysts is the result of both, a fine dissemination of micron-size magnetite and abundant fluid inclusions of similar size. It is likely that the presence of magnetite and fluid inclusions in the plagioclase be indicative of hydrothermal activity and therefore, a valuable trait in mining exploration.

Key words: black albite, Chile, Cretaceous, hydrothermal deposits, Punitaqui district

Introducción

La presencia de plagioclasa albitizada es frecuente en los basaltos, andesitas basálticas y andesitas de edad jurásica y cretácica inferior del norte y centro de Chile y su origen se atribuye tanto a metamorfismo regional de bajo grado (Levi, 1970) como a procesos de alteración hidrotermal (Losert, 1973). Es frecuente encontrar en estas rocas fenocristales de albita rojiza, coloración debida a la presencia de microinclusiones

de hematita, que indican el carácter oxidante del proceso de alteración (Flores, 1956; Mayer y Hemley, 1967).

El distrito minero de Au-Cu-Hg de Punitaqui (Oyarzún *et al.*, 2001) está situado en una zona de cizalla desarrollada en rocas volcánicas y sedimentarias del Cretácico inferior, en contacto con un intrusivo granodiorítico datado en 114 ± 3 Ma. Entre las rocas volcánicas porfíricas se encontraron dos tipos alterados de aspecto inusual (Cucurella *et al.*, 2001).

Uno de ellos presenta fenocristales de plagioclasa negros en una matriz oscura y puede ser fácilmente confundido en el terreno con un lamprófiro. El otro tiene la apariencia de un "negativo fotográfico" de las andesitas basálticas porfíricas comunes, puesto que los fenocristales negros se destacan en una matriz gris verdosa clara. En ambos casos los fenocristales consisten en plagioclasa albitizada y su coloración se debe a la presencia conjunta de abundantes microinclusiones fluidas y de microcristales de magnetita. Por lo tanto, se trata de un fenómeno comparable al de las albitas rojizas, pero que implica diferentes condiciones de oxidación y/o temperatura del sistema. La presente comunicación tiene por objeto dar a conocer esta alteración así como discutir su posible origen y sus relaciones con procesos de carácter metalogénico.

Geología, metamorfismo y alteración hidrotermal del distrito minero de Punitaqui

El distrito minero de Punitaqui, (Fig. 1), Región de Coquimbo, Chile, está situado en el ámbito de la Cordillera de la Costa. Su ubicación coincide con un lineamiento norte-sur, en el cual se sitúan otros distritos mineros, como Panulcillo (30° 27' S / 71° 13' O), así como zonas de cizalla. La geología del distrito de Punitaqui está caracterizada por el contacto entre la unidad volcánica-sedimentaria valanginiana Estratos del Reloj (Thomas, 1967) y un intrusivo granodiorítico datado en 114 ± 3 Ma (Munizaga; en Adriazola, 1997) que aflora hacia el E. La unidad estratificada está constituida por andesitas basálticas, mayoritariamente porfíricas, del tipo denominado ocoita con intercalaciones menores de areniscas y calizas marinas. Su rumbo es N-S con buzamientos variables al E y O, por efecto del basculamiento de bloques. En la faja del distrito, el contacto coincide con una zona de cizalla N 25° E / 70° O, de carácter milonítico, que afecta principalmente a las rocas estratificadas. A ella se superpone una deformación frágil con desarrollo de brechas de trituración (Pavicic, 1999).

Hacia el sur del distrito, la zona de cizalla presenta escasa exposición y hacia el norte continúa unos 2.500 m en la misma dirección antes de formar un codo y tomar una dirección N-S apartándose del contacto con el intrusivo (Pavicic, 1999). Sin embargo, directamente al norte del distrito, la deformación mecánica frágil sigue un rumbo N-S, controlado por un horizonte carbonatado, parcialmente silicificado y granatizado, de igual rumbo y de unos 10 m de potencia.

Los principales depósitos minerales explotados en el distrito son tres yacimientos epitermales de baja

sulfidación, (Los Mantos, Delirio y Milagro), emplazados en la parte central del segmento de la zona de cizalla, de rumbo N 25° E, a lo largo de unos 2.000 m.

La paragénesis de los yacimientos del distrito (Adriazola, 1997), comprende una primera etapa con magnetita, cuarzo y calcita, que terminó con pirita y tetraedrita. En una segunda etapa se depositó hematita, calcopirita, bornita, oro nativo y cinabrio. Posteriormente, la alteración supérgena dio lugar a la formación de calcosina, covelina, cobre nativo y cuprita.

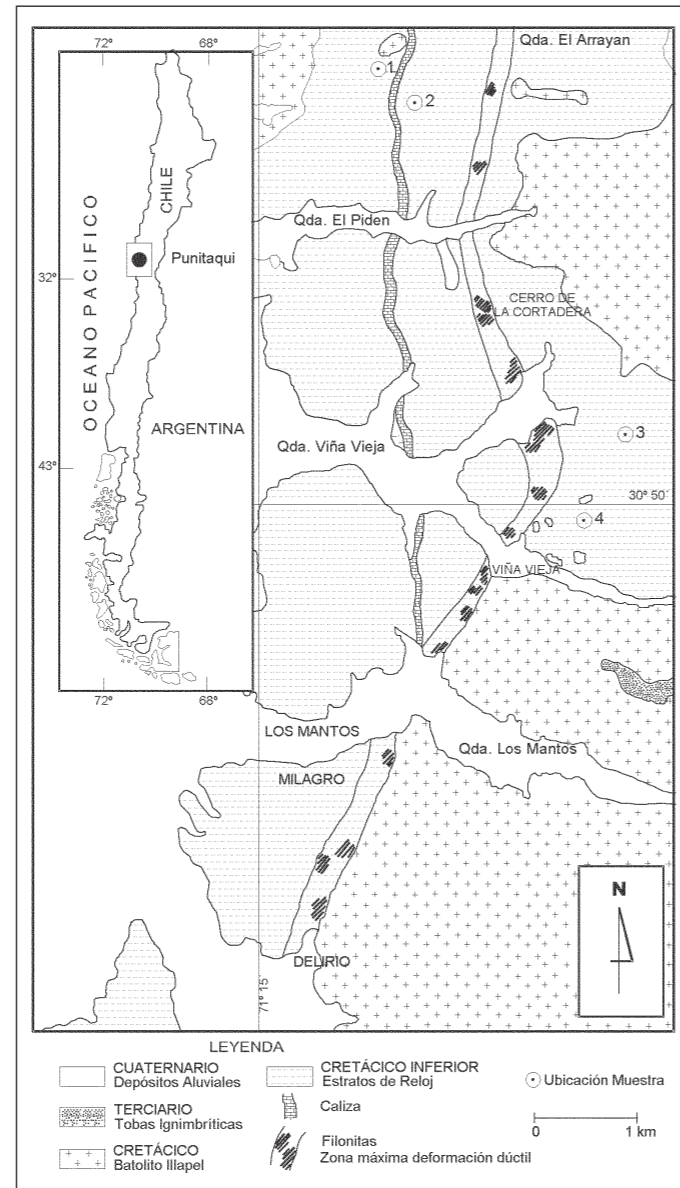


Fig. 1. Mapa geológico simplificado del distrito Los Mantos de Punitaqui (según Pavicic, 1999)
 Fig. 1. Geological map from Los Mantos de Punitaqui district (after Pavicic, 1999)

El estudio de las inclusiones fluidas en cuarzo y calcita, minerales de ganga que acompañan a la mineralización sulfurada, entregó un rango de temperatura de 378°C a 123°C, mientras que la salinidad se situó en el rango 43,8 a 0,2% NaCl equivalente. La información reseñada es consistente con un emplazamiento somero, estimándose la presión de formación en sólo 25 bar (Collao y Ortega, en Cucurella et al., 2001).

Las calizas del área constituyen una secuencia de unos 45 m de potencia, con actitud NS / 45° E. Están afectadas por metamorfismo de contacto, expresado en recristalización, fuerte silicificación y notable desarrollo de granates.

Las andesitas basálticas alteradas

Las andesitas basálticas porfíricas son el tipo litológico dominante en el distrito. La mineralogía original de estas rocas incluye fenocristales de augita diopsídica así como cristales centimétricos de labradorita. Estas rocas son ricas en FeO (alrededor de 9%), parte del cual se encuentra formando pequeños cristales de titanomagnetita.

En el ámbito del distrito estas rocas están afectadas por metamorfismo y alteración hidrotermal.

La alteración potásica se expresa en el desarrollo de biotita a expensas del piroxeno original, alcanzando el contenido de K₂O un 5-6% (Tabla 1). En algunos afloramientos, la biotita presenta ordenamiento subplanar que da lugar a una foliación incipiente.

Otros afloramientos presentan un desarrollo de texturas nodulosas de hasta 1 cm de diámetro, constituidas por agregados de sericita, probablemente formados originalmente por biotita secundaria. Esta roca ha sido denominada "ocoita nodular". Su contenido de K₂O es similar a la denominada "andesita potásica".

Las rocas porfíricas alteradas más notables corresponden a los tipos denominados "ocoitas negras" y "ocoitas corneas" (Pavicic, 1999). Las primeras (Fig. 2) se distribuyen, discontinuamente, a través de todo el distrito y se caracterizan por sus fenocristales de plagioclasa euhédricos negros, de alrededor de 1 cm de largo, en una matriz afanítica también negra, lo que le da el aspecto de un lamprófiro. Al microscopio se observa que los fenocristales de plagioclasa alterados a albita (Fig. 4) presentan maclas y zonación inversa, fracturación, alteración sericítica, leve calciti-

	Promedio Cretácico Inferior	Ocoita potásica (1)	Ocoita potásica nodular (2)	Ocoita negra (3)	Ocoita córnea (4)
Na ₂ O %	3.6	3.5	2.2	4.2	5.0
K ₂ O %	1.1	5.4	5.4	0.2	0.2
MgO %	4.0	1.8	6.2	4.0	2.9
CaO %	8.3	6.3	1.8	17.0	15.3
MnO %	0.2	0.3	0.3	0.1	0.0
FeO (t) %	9.3	7.4	9.8	5.5	2.1
P ₂ O ₅ %	0.3	0.4	0.1	0.4	0.6
Rb ppm	27	170	89	<15	<15
Sr ppm	470	360	500	650	670
Ba ppm	280	3800	2700	200	180
Y ppm	39	40	5	37	42
Ce ppm	59	44	15	34	48
Sm ppm	8	5	2	5	7
Yb ppm	3.5	0.4	0.8	0.2	0.9
V ppm	260	200	360	250	250
Cr ppm	74	56	15	37	11
Mo ppm		42	<1	12	9
Co ppm	31	10	29	12	5
Ni ppm	42	109	22	62	29
Cu ppm		127	11	22	31
Au ppm		48	1	7	8
Zn ppm		61	263	18	11
Pb ppm		18	8	<5	5
As ppm		40	6	7.8	3.7
Sb ppm		4.6	1	0.5	<0.1

Tabla 1. Composición química de andesitas (1 al 4) de muestras ubicadas en el mapa geológico de la figura 1. El valor promedio del Cretácico inferior está extraído de Oyarzún et al. (1993)
 Table 1. Andesites chemical analysis from samples 1 to 4, located in the geological map in figure 1. The lower Cretaceous average value is taken from Oyarzún et al. (1993)

zación y argilitización. Tienen abundantes microinclusiones de magnetita, del orden de 0,5 micrones, así como inclusiones de apatita de un diámetro hasta 10 veces mayor (Fig. 5). Además contienen abundantes inclusiones fluidas micrométricas y escasas inclusiones de pirita, del orden de una micra. El estudio de las inclusiones fluidas presentes en estos fenocristales de plagioclasa, reveló que su temperatura de homogenización se sitúa sobre los 600°C, no alcanzándose dicha temperatura por limitaciones instrumentales. Ello las separa netamente de las inclusiones presentes en cuarzo y calcita ligadas al proceso de mineralización del distrito. No fue posible obtener la salinidad de las inclusiones primarias. Se observan además anfíboles corroídos, reemplazados por biotita, con alteración calcítica y opacitización. Las biotitas, subhédricas y de color marrón, presentan una leve cloritización.

La matriz está constituida por un entrecrecimiento de cuarzo, microlitos de plagioclasa y escaso feldespato potásico, con alteración argílica, sericítica y calcítica. El cuarzo presenta textura de recristalización en mosaico, con biotitas verdes asociadas y alineadas, alrededor de los anfíboles corroídos y de los fenocristales de plagioclasa.

En la matriz se distingue, además, abundante magnetita subhédrica diseminada, con tamaño medio de 10 micras, calcopirita anhédrica, hematites reemplazando a magnetita y pirita finamente diseminada. Esta roca puede ser clasificada como andesítica porfírica con incipiente metamorfismo dinámico. Sin embargo, es probable que su quimismo original corresponda a una andesita basáltica, composición que predomina en las andesitas porfíricas del Cretácico inferior en el norte y centro de Chile.

El segundo tipo denominado "ocoita córnea" aflora al noreste de Viña Vieja (Fig. 1). Se trata de una roca no foliada, compacta, destacándose el gran contraste entre los fenocristales de plagioclasa negra y la matriz gris verdosa (Fig. 3). Al microscopio se observa una matriz, constituida por un entrecrecimiento grueso de microlitos de plagioclasa, feldespato potásico y cuarzo anhédrico.

En algunos sectores, el cuarzo tiende a formar polígonos. Los minerales de alteración observados en la matriz son abundante epidota en gránulos, clorita intersticial y escaso granate. Los fenocristales de plagioclasa negra son euhédricos y están zonados, maclados, fracturados, albitizados y afectados por alteración a epidota. Sin embargo, como en el caso de las "ocoitas negras" su aspecto macroscópico es negro brillante y al igual que en éstas, su color se debe tanto a la presencia de microinclusiones de magnetita de unos 5 µm como de abundantes inclu-

siones fluidas del orden de 1 µm. Es importante destacar que son comunes las inclusiones con cristales hijos de magnetita, siendo en estos casos las temperaturas de homogenización de la fase gaseosa entre 150 °C y 175°C. La roca también presenta fenocristales menores de hornblenda, corroídos por epidotización penetrativa.

Los rasgos descritos sugieren que la roca sufrió tanto el efecto de un leve metamorfismo de contacto como de alteración hidrotermal. La roca puede ser clasificada como andesita porfírica córnea epidotizada.

Discusión e interpretación

En la Tabla 1 se presenta la composición de los cuatro tipos de andesitas porfíricas presentes en el área y la composición promedio de seis andesitas basálticas de edad cretácico inferior de Chile central que presentan un grado mínimo de alteración (Oyarzún et al., 1993).

Observando las relaciones entre Ca, Na y K y sus respectivos minerales en la andesita potásica, andesita potásica nodular, ocoita negra y ocoita córnea, se puede asumir que las dos primeras representan el efecto de un metasomatismo potásico en tanto las dos últimas corresponden a un metasomatismo calco-sódico. Carten (1986), describió la presencia de ambos tipos de metasomatismo en los sistemas porfíricos complejos de Yerington (Nevada) donde la alteración potásica se desarrolló en los niveles menos profundos y la calco-sódica a mayor profundidad. Uno de los tres pórfidos cupríferos de Yerington, Ann-Mason, expone una sección vertical entre 1 y 6 km de paleoprofundidad (Dilles y Einaudi, 1992), donde la alteración sódico-cálcica a 3,5-6 km de profundidad liberó K, Fe y Cu, mientras el depósito del Cu ocurrió a 2,5-4,0 km de profundidad, acompañando a la alteración potásica. Desde luego tal situación no es aplicable al caso de Punitaqui, situado a un mismo nivel estructural, aunque la distancia y el gradiente térmico de los afloramientos respecto al intrusivo y la fuente de las soluciones hidrotermales puede haber generado un efecto metasomático similar a pequeña escala.

Respecto al empobrecimiento en hierro de las andesitas córneas y en menor grado de las andesitas negras y a su presencia como magnetita diseminada secundaria acompañada con microinclusiones de apatita en la plagioclasa, es interesante considerar su posible relación con la formación de yacimientos de hierro, en cuya faja principal se sitúa el distrito de Punitaqui. A este respecto se pueden considerar las conclusiones de Perring et al. (2000) referente a los fluidos mineralizadores de Fe, Cu y Au en el distrito



Fig. 2. Andesita porfírica basáltica con fenocristales de albita negra
Fig. 2. *Basaltic porphyry andesite with black albite phenocrysts*



Fig. 3. Andesita porfírica basáltica con fenocristales de albita negra
Fig. 3. *Basaltic porphyry andesite with black albite phenocrysts*

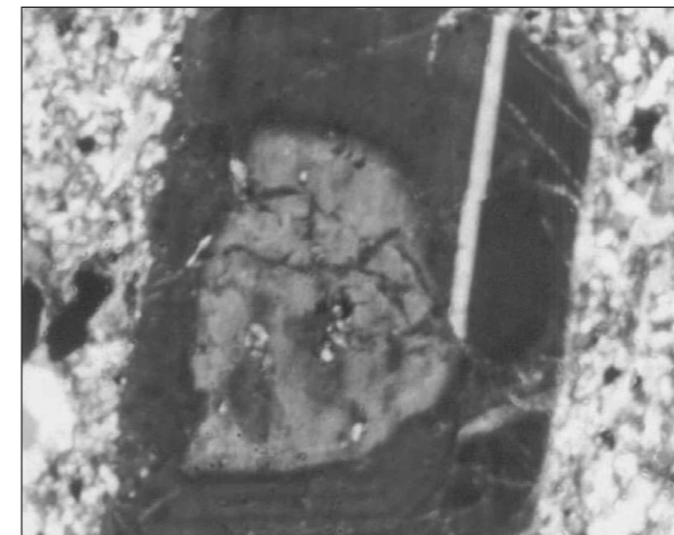


Fig. 4. Fenocristal de plagioclasa negra. Nic x, 40x
Fig. 4. *Black plagioclase phenocrystal. Nic x, 40x*

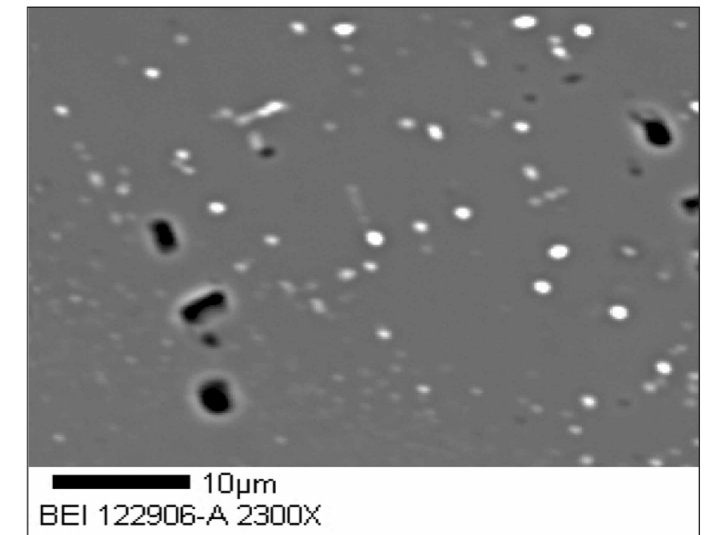


Fig. 5. Imagen de microsonda de inclusiones de magnetita (blanco) y de apatito (negro) en cristal de plagioclasa negro
Fig. 5. *Microprobe inclusions image of magnetite (white) and apatite (black) in black plagioclase*

de Cloncurry próximo a Mount Isa en el norte de Australia. Los yacimientos de ese distrito, asociados a un complejo de granitoides tipo I y de sills cuarzo-feldespáticos, aparecen relacionados con un proceso metasomático que extrajo K, Fe y Cu de las rocas, las cuales se enriquecieron en Ca y Na, al igual que las andesitas negras y córneas de Punitaqui, disminuyendo en cambio su contenido de Fe.

Muntean y Einaudi (2000) describen la presencia de vetillas bandeadas de cuarzo negro en el pórfido

aurífero de Maricunga, Atacama. Como en el caso de las albitas negras de Punitaqui, su color se debe a la presencia de abundantes inclusiones fluidas y cristales micrométricos de magnetita. Naturalmente, tanto las abundantes inclusiones fluidas como la presencia de magnetita en las albitas son indicativas de la actividad de una fase hidrotermal, que en los tres casos considerados es aurífera. En consecuencia, pueden ser estimadas como un rasgo mineralógico de interés prospectivo.

Conclusiones

Las albitas negras del distrito de Punitaqui, constituyen un fenómeno análogo al de las albitas rojizas de las series volcánicas mesozoicas de la Cordillera de la Costa del centro y norte de Chile. Difieren en cuanto corresponden a un grado de metasomatismo generado en condiciones menos oxidantes y probablemente de mayor temperatura. También difieren respecto a la abundante presencia de inclusiones fluidas en las albitas negras, indicativas de la importancia de la fase hidrotermal en su formación.

En términos del tipo de quimismo corresponden al metasomatismo calco-sódico (Carten, 1986), normalmente situado en niveles más profundos y de mayor temperatura que el de carácter potásico. Es posible que este metasomatismo provea parte del Fe, Cu y Au de algunos yacimientos hidrotermales, como ha sido sugerido por Perring *et al.* (2000).

Tanto la presencia de magnetita como las inclusiones fluidas de las albitas negras son rasgos positivos en términos metalogénicos y deberían ser considerados como posible indicación de mineralizaciones de Fe, Cu y Au.

Agradecimientos

El presente trabajo se realizó en el marco del proyecto FONDEF, D9611003. La Dra. Beatriz Levi (Universidad de Estocolmo, Suecia) realizó un estudio de las plagioclasas de la andesita (ocoita) córnea mediante difracción de rayos X. Las observaciones de los revisores editoriales contribuyeron, con su claridad, a mejorar significativamente la presentación de esta nota geológica.

Referencias

- Adriazola, A.C. 1997. *Relación entre estructura y mineralización en el distrito minero Los Mantos de Punitaqui*. Memoria de título. (Inédita). Universidad de Chile, Santiago, 149 p.
- Carten, R.B. 1986. Sodium-calcium metasomatism: chemical, temporal and spatial relationships at the Yerington, Nevada, porphyry copper deposit. *Economic Geology*, 81: pp. 1495-1519.
- Cucurella J., Oyarzún, J. y Pavicic, S. 2001. Las albitas negras del distrito de Cu-Au-Hg de Punitaqui, Coquimbo

- Chile: Origen y consecuencias metalogénicas. En: *VII Congreso Argentino de Geología Económica*. Salta, Argentina pp.183-188.
- Dilles, J.H. 1987. Petrology of the Yerington batholith, Nevada: evidence for evolution of porphyry copper ore fluids. *Economic Geology*, 82: pp. 1750-1789.
- Dilles, J.H. y Einaudi, M.T. 1992. Wall-rock alteration and hydrothermal flow paths about the Ann-Mason porphyry copper deposit, Nevada—a 6 km vertical reconstruction. *Economic Geology*, 87: pp 1963-2001.
- Flores, H. 1956. Geología económica de yacimientos minerales, 2ª parte. Universidad de Chile, Santiago, 369 p.
- Levi, B. 1970. Burial metamorphic episodes in the Andean geosyncline, central Chile, *Geologische Rundschau*, 59. pp. 994-1013.
- Losert, J. 1973. Genesis of copper mineralizations and associated alterations in the Jurassic volcanic rocks of the Buena Esperanza mining area (Antofagasta, northern Chile). *Publicación N° 44 del Departamento de Geología*, Universidad de Chile, Santiago. 64 p.
- Mayer, C. y Hemley, J. 1967. Wall rock alteration. En: *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, pp 167-235; H.L. Barnes, editor. Holt, Rinehart y Winston, New York.
- Muntean, J.L. y Einaudi, M.T. 2000. Porphyry gold deposits of the Refugio district, Maricunga belt, northern Chile. *Economic Geology*, 95. pp. 1445-1472.
- Oyarzún, J., Levi, B. y Nystrom, J. 1993. A within-plate geochemical signature and continental margin setting for the Mesozoic-Cenozoic lavas of central Chile. *Actas ISAG-93 (Oxford)*, pp. 419-422. Ediciones Orstom, París.
- Oyarzún, J., Oyarzun, R. y Pavicic, S. 2001. Estudio geoquímico prospectivo en un distrito de Cu-Au-Hg asociado a zona de cizalla: Punitaqui, Chile. *Boletín Geológico y Minero*. Vol. 112. Núm. 2. pp. 75-84. Instituto Geológico y Minero de España.
- Pavicic, S. 1999. *El sistema estructural del distrito minero Los Mantos de Punitaqui, IV Región Chile*. Memoria de Título, Universidad de Concepción. (Inédita), 107 p. y mapa geológico 1:10.000.
- Perring, C.S., Pollard, P.J., Dong, G., Nunn, A. y Blake, K.L. 2000. The Lightning Creek sill complex. Cloncurry district, northwest Queensland: a source of fluids for Fe oxide, Cu-Au mineralization and sodic-calcic alteration. *Economic Geology*, 95 pp. 1067-1090.
- Thomas, H. 1967. Geología de la Hoja Ovalle, provincia de Coquimbo, escala 1:250.000. *Boletín N° 23, Instituto de Investigaciones Geológicas*, Santiago, 58 p. y carta geológica.

Recibido: septiembre 2002

Aceptado: febrero 2005