

MINERALIZACION EN LA FRANJA INCA DE ORO, III REGION, CHILE.

MINERALIZATION IN THE INCA DE ORO BELT, NORTHERN CHILE

C. Palacios, A. Lahsen, y B. Townley

Departamento de Geología, Universidad de Chile.
Casilla 13518, Correo 21, Fax 6963050
Santiago, Chile.



13 MAR 1994

RESUMEN

A fines del Mesozoico y principios del Cenozoico, la evolución de la franja Inca de Oro ha estado caracterizada por procesos magmáticos y actividad hidrotermal de gran extensión areal, en muchos casos acompañada por mineralización. Durante estos eventos, se distinguen dos episodios de mineralización hidrotermal: mineralización epitermal de metales preciosos del tipo sulfidización baja durante el Cretácico superior, y mineralización de Cu-Mo-Au en chimeneas de brecha durante el Eoceno. Los datos geológicos existentes sugieren que las chimeneas de brecha pertenecen al nivel más alto de un sistema pórfido cuprífero. Ambos procesos de mineralización presentan un claro control estructural.

ABSTRACT

During the late Mesozoic and the early Cenozoic widespread magmatic processes and hydrothermal activity, much of those accompanied by mineralization, have characterized the evolution of the Inca de Oro Belt. During these events, two episodes of hydrothermal mineralization have been distinguished: 1) Late Cretaceous precious metal epithermal mineralization of low-sulfur type, and 2) Eocene Cu-Mo-Au bearing breccia pipe mineralization. The available geologic data suggest that the breccia pipes belong to the highest part of porphyry copper system. Both mineralization events were structurally controlled and fracture permeability improved the circulation of hydrothermal fluids.

INTRODUCCION

La zona de Copiapó-El Salvador, en la Región de Atacama, Chile ($26^{\circ}15' - 27^{\circ} - 25'S$, $69^{\circ} - 71^{\circ}W$), es una de las áreas más exploradas en el mundo, encontrándose en ella numerosos depósitos epitermales de metales preciosos y pórfidos cupríferos (Fig. 1). La evolución geológica de esta área está asociada a la subducción de la placa Pacífica bajo la placa Sudamericana. Desde el Jurásico, el magmatismo en la región se desarrolló en forma periódica, dando lugar a cinturones magmáticos de orientación N-S, con edades decrecientes hacia el este (Dostal et al., 1977). La geología de esta zona del norte de Chile se caracteriza por la existencia de mega-estructuras regionales de orientación N-S a NE-SW, las cuales controlaron el magmatismo y la actividad hidrotermal y mineralización asociada (Colley et al., 1989, Palacios et al., 1992; 1993 a, b; Brown et al., 1991; Baker y Guilbert, 1987). La franja Inca de Oro (IOB)

constituye una de las estructuras, y presenta numerosos depósitos minerales. El objetivo de esta publicación es presentar una síntesis de los datos disponibles acerca de la distribución, edad y características de la mineralización presente en el IOB.

MARCO GEOLOGICO DE LA IOB

Las rocas más antiguas del IOB corresponden a una secuencia Jurásico a Cretácico inferior de lavas andesíticas con intercalaciones delgadas de sedimentos marinos, que presenta una potencia aproximada de 4.000 m. (Fig 2). La parte basal de la secuencia corresponde a una sucesión de lavas andesíticas, aglomerados y tobas de aproximadamente 2.000 m. de potencia. Sobreyaciendo a la porción inferior de la secuencia, se describen areniscas limosas finamente estratificadas, limolitas calcáreas, pillow lavas, areniscas y calizas, datadas como Neocomiano en base a evidencias

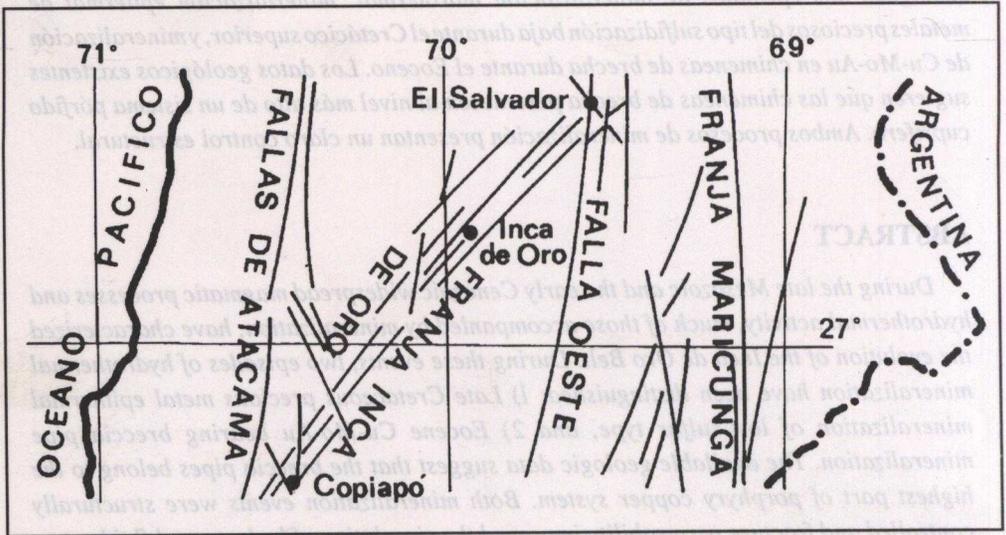


Fig. 1.- Mapa esquemático de la región de Copiapó-El Salvador, mostrando la franja Inca de Oro.
- Sketch map of the Copiapó - El Salvador region showing the Inca de Oro Belt.

paleontológicas (Mercado, 1978). La sucesión calcárea muestra variaciones laterales, oscilando en potencia entre 200 a 450 m. La parte superior de la secuencia consiste a lo menos de 1.500 m. de lavas fluidales andesíticas, aglomerados, brechas volcánicas y tobas andesíticas (Palacios et al., 1992).

La secuencia estratificada está intruida por rocas plutónicas consistentes en monzodioritas cuarcíferas y cuarzo dioritas. Dataciones radiométricas indican que esta actividad magmática se desarrolló durante el Cretácico superior, entre 90 y 81 Ma (Zentilli, 1974; Brook et al., 1987; Palacios et al., 1993 a, b). La actividad magmática más reciente en el IOB está representada por plutones granodioríticos Paleocenos (60 Ma; Zentilli, 1974) y stocks dioríticos Eocenos (45-46 Ma.; Palacios et al., 1992; 1993 a, b; Palacios and Lahsen, 1992 a).

La característica estructural más importante del IOB es un sistema de fallas de rumbo. La zona principal de fallas muestra una orientación NE-SW con manteos subverticales. Fallas sinestrales asociadas, presentan una orientación NS y NNW (interpretadas como fallas sintéticas de tipo Riedel). Fallas dextrales de orientación WNW han sido interpretadas como fallas antitéticas de Riedel. La actividad principal de estas estructuras habría ocurrido durante el Cretácico Superior y el Eoceno (Sylvester y Palacios, 1992).

MINERALIZACION

En el IOB ocurren dos tipos de mineralización: mineralización epitermal de metales preciosos y chimeneas de brecha con mineralización de Cu-Mo-Au. La figura 2 y la Tabla 1 muestran las principales zonas mineralizadas, incluyendo minas y prospectos.

MINERALIZACION EPITERMAL DE METALES PRECIOSOS

En el IOB se ha reconocido mineralización epitermal tanto aurífera como argentífera.

A.-Mineralización epitermal aurífera

En la zona se han distinguido tres tipos de mineralización epitermal aurífera:

- 1.- Diseminación de oro.
- 2.- Stockwork de oro y cobre.
- 3.- Vetas de oro y cobre.

Mineralización diseminada (pirita, oro \pm cinabrio) se ha reconocido emplazado en la parte inferior de un «cap» silíceo en el depósito Pelu, donde las rocas volcánicas de caja presentan silicificación penetrativa (Fig. 2, Tabla 1). Los minerales de alteración consisten en cuarzo, caolinita, jarosita y cantidades menores de alunita. Son comunes el vetilleo de sílice-opalina, sinter silíceo y brechas hidrotermales. Estudios de inclusiones fluidas primarias entrampadas en cristales de cuarzo hidrotermal indican que la alteración y mineralización ocurrieron a temperaturas entre 120° y 160°C, a partir de fluidos ebullentes con salinidades variables entre 0.3 y 5% de NaCl equiv. (Palacios et al., 1993 a). Considerando condiciones hidrostáticas durante ebullición y usando los diagramas de Haas (1971), los mencionados autores sugieren que la mineralización se habría formado entre 30 y 50 m. de profundidad. Bajo el cap silíceo, las rocas volcánicas están afectadas por intensa alteración argílica representada por caolinita y cuarzo.

Mineralización tipo stockwork de oro y cobre se observa en los prospectos Dina-marquesa y Carmen (Fig. 2, Tabla 1). En

TABLA 1.- DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA MINERALIZACIÓN EN LAS PRINCIPALES MINAS Y PROSPECTOS DEL IOB.
GENERAL DESCRIPTION OF MINERALIZATION IN THE MAIN ORE DEPOSITS AND PROSPECTS AT THE IOB.

Mina o Prospecto	Ubicación	Tipo de Mineralización y Leyes	Roca de Caja	Alteración Hidrotermal	Mineralización Hipógena	Edad de Mineralización	Referencias
Pelu	8 Km al W de Inca de Oro	Diseminación de Au (0.01-6 ppm Au).	Andesitas Jurásicas-Cretácico Inferior.	Silicificación y argilización	Pirita, Au, ± cinabrio	Cretácico Superior.	1, 2.
Dinamarquesa	8 Km al SW de Inca de Oro	Stockwork de Au-Cu (0.2-4 ppm Au; 0.2-0.4% Cu).	Andesitas Cretácico Inferior y dioritas Cretácico Superior	Adularia-illita-clorita.	Pirita Au, calcopirita, electrum, molibdenita, cinabrio.	80 Ma	1, 3.
Carmen	12 Km al SW de Inca de Oro	Stockwork de Au-Cu (0.1-4 ppm Au; 0.1-0.7 % Cu)	Andesitas Cretácico Inferior y dioritas Cretácico Superior	Adularia-illita-clorita.	Pirita, Au, calcopirita, molibdenita, electrum, galena, esfalerita.	77 Ma	1, 3.
Buena Esperanza	78 Km al NE de Copiapó	Stockwork de Ag (2-1000 ppm Ag).	Andesitas Cretácico Inferior y dioritas Cretácico Superior.	Clorita-sericita calcita-cuarzo.	Pirita, calcopirita, esfalerita, galena, pirargirita, proussita, polibasita, tetraedrita.	Cretácico Superior.	4.
Vetas Inca de Oro	3-10 Km al SW de Inca de Oro	Vetas de Au-Cu (5-300 ppm Au; 1-3% Cu)	Andesitas Cretácico Inferior.	Sericita-adularia-clorita-illita.	Pirita, Au, calcopirita, electrum.	Cretácico Superior.	1, 2, 3.
Vetas Jesús María	5-10 Km al SW de Copiapó	Vetas de Au-Cu (4-200 ppm Au; 1-6% Cu)	Diorita Cretácico Superior	Sericita-adularia-clorita.	Pirita, magnetita, Au, calcopirita, electrum, bornita.	Cretácico Superior.	5.
Tres Puntas	80 Km al NE de Copiapó	Vetas de Ag (100-12.000 ppm Ag)	Andesitas y calizas neocomianas.	Clorita-sericita-calcita-cuarzo.	Pirita, calcopirita, esfalerita, galena, pirargirita, proussita, tetraedrita, coballita.	Cretácico Superior.	4.
San Pedro	6 Km al E de Inca de Oro	Chimeneas de brecha (1-4% Cu; 200-400 ppm Mo; 0.5-3 ppm Au).	Dioritas del Eoceno y Cretácico Superior.	Fílica y potásica	Calcopirita, pirita, molibdenita, bornita, Au.	Eoceno Superior.	6, 7, 8.
Berta - Salvadora	16 Km al NW de Inca de Oro	Chimeneas de brecha (1-3% Cu; 200-600 ppm Mo)	Diorita del Eoceno.	Fílica	Calcopirita, pirita, bornita.	Eoceno Superior.	6.
San Samuel	55 Km al NE de Copiapó	Chimeneas de brecha (1-3% Cu; 200-600 ppm Mo; 0.2 - 1 ppm Au)	Granodiorita del Paleoceno	Fílica	Calcopirita, pirita, molibdenita, bornita, Au.	Eoceno Superior.	6.

Referencias: 1) Palacios et al., 1993 a; 2) Palacios et al., 1992; 3) Palacios et al., 1990; 4) Palacios y Lahsen, 1992 b; 5) Palacios y Lahsen, 1990; 6) Palacios y Lahsen 1992, a; 7) Delgado, 1992; 8) Sillitoe y Sawkins, 1971.

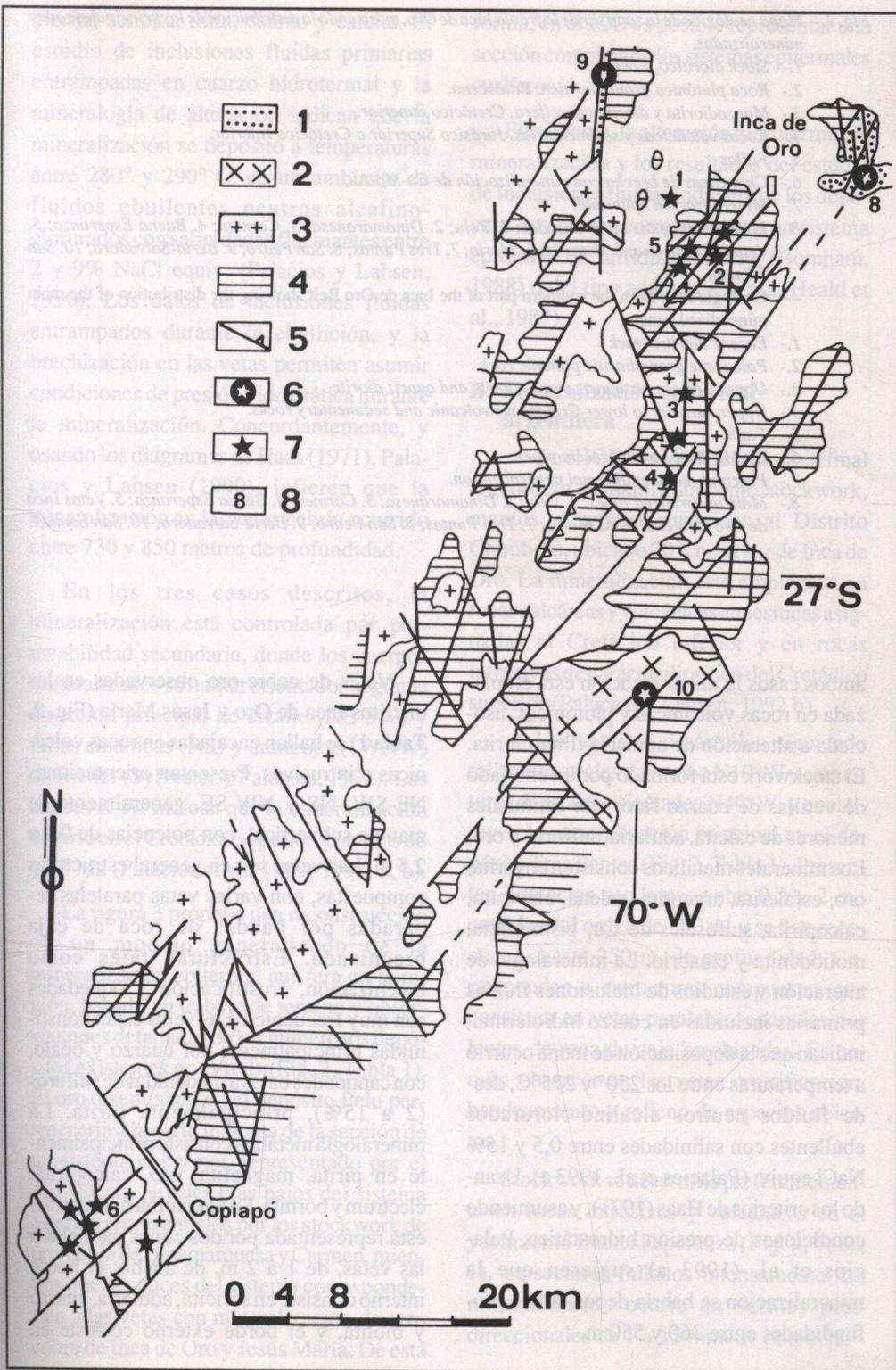


Fig. 2.- Mapa geológico de la zona sur de la franja Inca de Oro, mostrando la distribución de las principales zonas mineralizadas.

- 1.- Stock diorítico, Eoceno.
 - 2.- Roca plutónica granodiorítica, Paleoceno.
 - 3.- Monzodiorita y diorita cuarctífera, Cretácico Superior.
 - 4.- Rocas volcánicas y sedimentarias, Jurásico Superior a Cretácico Inferior.
 - 5.- Fallas
 - 6.- Chimeneas de brecha con mineralización de Cu-Mo-Au.
 - 7.- Mineralización epitermal.
 - 8.- Principales zonas mineralizadas: 1. Pelu; 2. Dinamarquesa; 3. Carmen; 4. Buena Esperanza; 5. Vetas Inca de Oro; 6. Vetas Jesús María; 7. Tres Puntas; 8. San Pedro; 9. Berta-Salvadora; 10. San Samuel.
- Geologic map from the southern part of the Inca de Oro Belt showing the distribution of the main mineralized zones.
- 1.- Eocene dioritic stock
 - 2.- Paleocene granodioritic plutonic rock.
 - 3.- Upper Cretaceous quartz monzodiorite and quartz diorite.
 - 4.- Upper Jurassic to lower Cretaceous volcanic and sedimentary rocks.
 - 5.- Fault.
 - 6.- Cu-Mo-Au-bearing breccia pipes.
 - 7.- Precious metal epithermal mineralization.
 - 8.- Main mineralized zones: 1. Pelu; 2. Dinamarquesa; 3. Carmen; 4. Buena Esperanza; 5. Vetas Inca de Oro; 6. Vetas Jesús María; 7. Tres Puntas; 8. San Pedro; 9. Berta-Salvadora; 10. San Samuel.

ambos casos la mineralización está emplazada en rocas volcánicas y plutónicas, asociada a alteración de adularia-illita-clorita. El stockwork está formado por un enrejado de vetillas de cuarzo fino, con cantidades menores de calcita, adularia, sulfuros y oro. Los minerales metálicos consisten en pirita, oro, esfalerita, argentita, galena, electrum, calcopirita, sulfosales de Cu, bismutinita, molibdenita y cinabrio. La mineralogía de alteración y estudios de inclusiones fluidas primarias incluidas en cuarzo hidrotermal, indican que la depositación de mena ocurrió a temperaturas entre los 250° y 275°C, desde fluidos neutros alcalino-clorurados ebullentes con salinidades entre 0,5 y 15% NaCl equiv. (Palacios et al., 1993 a). Usando los criterios de Haas (1971), y asumiendo condiciones de presión hidrostática, Palacios et al. (1993 a) sugieren que la mineralización se habría depositado a profundidades entre 360 y 550 m.

Vetas de cobre-oro observadas en los distritos Inca de Oro y Jesús María (Fig. 2, Tabla 1) se hallan encajadas en rocas volcánicas e intrusivas. Presentan orientaciones NE-SW, NS y NW-SE, generalmente de manto subvertical, con potencias de 0,1 a 2,5 m. Las vetas son en general estructuras compuestas, con varias vetas paralelas separadas por bandas de roca de caja brechizada. Estructuras tales como brechización, crustificación y oquedades son muy frecuentes. Las vetas están constituidas principalmente por cuarzo y ópalo, con cantidades bajas a moderadas de sulfuros (2 a 15%), principalmente pirita. La mineralogía metálica consiste principalmente en pirita, magnetita, oro, calcopirita, electrum y bornita. La alteración hidrotermal está representada por dos zonas paralelas a las vetas, de 1 a 2 m. de ancho: el borde interno consiste en sericita, adularia, cuarzo y biotita, y el borde externo consiste en

clorita, sericita, illita, cuarzo y calcita. El estudio de inclusiones fluidas primarias atrapadas en cuarzo hidrotermal y la mineralogía de alteración indican que la mineralización se depositó a temperaturas entre 280° y 290° C, en un ambiente de fluidos ebullentes neutros alcalino-clorurados con salinidades fluctuantes entre 2 y 9% NaCl equiv. (Palacios y Lahsen, 1990). Los datos de inclusiones fluidas atrapados durante la ebullición, y la brechización en las vetas permiten asumir condiciones de presión hidrostática durante la mineralización. Concordantemente, y usando los diagramas de Haas (1971), Palacios y Lahsen (1990), infieren que la mineralización en las vetas habría ocurrido entre 730 y 850 metros de profundidad.

En los tres casos descritos, la mineralización está controlada por permeabilidad secundaria, donde los cuerpos mineralizados se hallan orientados según la dirección principal de cizalle (NE-SW) y fallas sintéticas (NS) y antitéticas (WNW) de Riedel (Sylvester y Palacios, 1992). Las edades K-Ar indican que la mineralización ocurrió en el Cretácico superior, entre los 88 y 77 Ma (Palacios et al., 1992; 1993, a, b).

La figura 3 propone una reconstrucción de un modelo generalizado de la mineralización epitermal aurífera en la región, basado en trabajo de terreno y observaciones detalladas de los numerosos depósitos existentes en el IOB (Fig. 2, Tabla 1). El oro diseminado en el depósito Pelu pertenecería a la parte más alta de la sección de un sistema epitermal, representado por el cap silíceo. Niveles más bajos del sistema estarían representados por los stockwork de oro-cobre de Dinamarquesa y Carmen, mientras que las raíces del sistema corresponderían a las vetas con mineralización de oro-cobre de Inca de Oro y Jesús María. De esta

forma, en el IOB es posible representar una sección completa de los sistemas epitermales auríferos.

Finalmente, la alteración hidrotermal, la mineralización y los resultados del estudio de inclusiones fluidas indican que los depósitos estudiados corresponden a un sistema epitermal de sulfidación baja (Bomham, 1988) o del tipo adularia-sericita (Heald et al., 1987).

B.- Mineralización epitermal argentífera

En el IOB la mineralización epitermal argentífera se manifiesta como stockwork, mantos y vetas restringidas al Distrito Chimbero, ubicado 20 Km. al sur de Inca de Oro. La mineralización está emplazada en rocas calcáreas y volcánicas andesíticas asignadas al Cretácico inferior y en rocas intrusivas de carácter diorítico del Cretácico superior (Palacios y Lahsen, 1992 b).

Las vetas se desarrollan siguiendo fallas sinestrales de rumbo N10°W y estructuras dextrales orientadas N40°W, y constituyen la mineralización principal en el depósito Tres Puntas (Fig. 2, Tabla 1). Presentan potencias oscilantes entre 0.2 y 2 m., corridas del orden de 500 m. y se han reconocido hasta 250 m. de profundidad. Corresponden a estructuras compuestas que consisten en vetas paralelas separadas por lentes de roca de caja brechizadas. Es común observar en las vetas crustificación, bandeamiento y relleno de espacios abiertos.

Stockwork se desarrolla preferentemente en rocas intrusivas y volcánicas en el yacimiento Buena Esperanza (Fig. 2, Tabla 1), en sectores fallados intensamente. La mineralización ocurre en vetillas polidireccionales de 1 a 15 mm. de potencia.

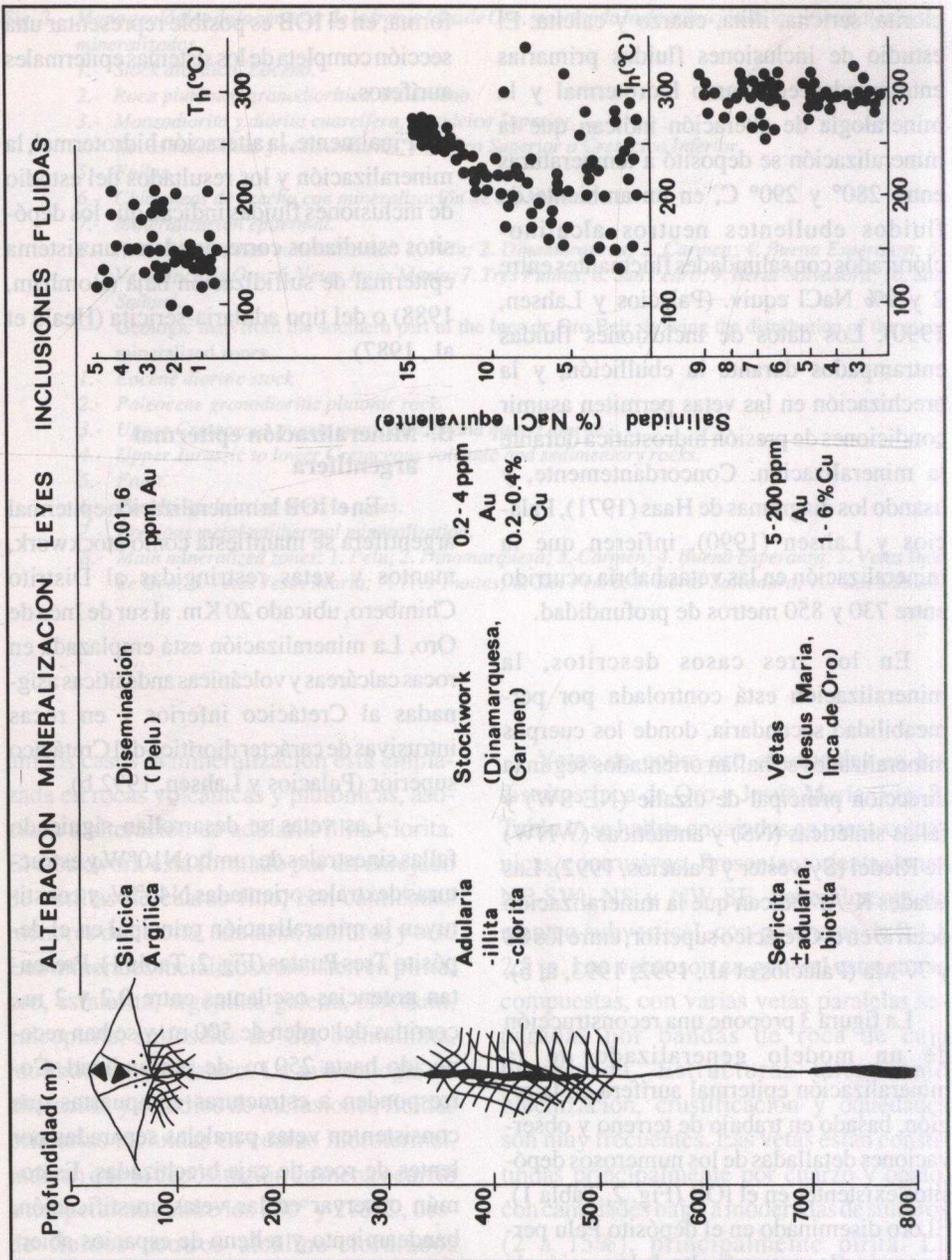


Fig. 3.- Modelo generalizado de la mineralización epitermal de Au en la franja Inca de Oro.
 - Generalized model for the epithermal gold mineralization in the Inca de Oro belt.

Los mantos, de 20 m. de corrida medias y 0,1 a 2 m. de potencia, se desarrollan en torno a las vetas y stockwork principalmente en Tres Puntas. La mineralización se emplaza preferentemente como reemplazo en niveles de areniscas calcáreas.

La mineralogía hipógena de mena y ganga es similar en las vetas, mantos y stockwork, y consiste en baritina, piritita, calcopiritita, esfalerita, galena, pirargirita, proustita, electrum, polibasita, tetraedrita, cobaltita, calcita y cuarzo (Palacios y Lahsen, 1992 b).

La mineralización argentífera se relaciona estrechamente con alteración hidrotermal, que se desarrolla en franjas de 1 a 5 m. en torno a las vetas, y se restringe al sector mineralizado en mantos y stockwork. La mineralogía hipógena de alteración consiste en clorita, sericita, calcita y cuarzo.

Tanto la mineralogía de alteración como el estudio de inclusiones fluidas entrampadas en cuarzo hidrotermal, indican que el proceso de mineralización habría ocurrido a temperaturas entre 260 y 300°C, bajo la influencia de fluidos de baja salinidad (1 a 5% NaCl equiv.), alcalino-clorurados cercanamente neutros (Palacios y Lahsen, 1992 b). Los datos obtenidos de inclusiones fluidas indican, además, presencia de fluidos en ebullición durante el entrampamiento. Así, asumiendo presión hidrostática y usando los criterios de Haas (1971), Palacios y Lahsen (1992 b) infieren que la mineralización argentífera habría ocurrido a una profundidad de 800 m. bajo la paleosuperficie.

Finalmente Palacios y Lahsen (1992 b) sugieren, en base a similitudes en el marco geológico, que la mineralización epitermal de Ag habría correspondido a un evento contemporáneo con la mineralización epitermal aurífera en el IOB.

MINERALIZACION DE Cu-Mo-Au EN CHIMENEAS DE BRECHA

Este tipo de mineralización, representada por los yacimientos San Pedro, Berta-Salvadora y San Samuel (Fig. 2, Tabla 1), consiste en varias zonas de orientación NE-SW, aproximadamente de 1 km. de largo y 200 m. de ancho, cada una caracterizada por 4 a 7 chimeneas de brecha (Fig. 4). La roca de caja corresponde a stocks dioríticos Eocenos, rocas intrusivas Cretácicas o rocas volcánicas Jurásicas. La mineralización está controlada por permeabilidad secundaria: las chimeneas de brecha se encuentran emplazadas donde las fallas principales de rumbo NE-SW interceptan a las fallas sintéticas (NS) y antitéticas (NW-SE) (Palacios y Lahsen, 1992 a). Las chimeneas de brecha presentan una sección circular de unos 60 m. de diámetro, con una extensión vertical entre 120 y 150 m. (Figs. 4 y 5). Los fragmentos de la brecha consisten en stock diorítico del Eoceno, fuertemente alterados, mientras que la matriz consiste en polvo de roca y minerales de mena y ganga. Las chimeneas de brecha presentan un desarrollo vertical desde el stock diorítico (Fig. 5), el cual muestra una intensa alteración y fracturamiento (Palacios y Lahsen, 1992 a). Los fragmentos de brecha y el pórfido diorítico ubicado bajo las brechas muestran fuerte alteración hidrotermal potásica, caracterizada por biotita, clorita, feldespato K y cuarzo. Estos minerales aparecen principalmente en vetillas asociados con bornita, molibdenita y cantidades menores de piritita, calcopiritita y oro. El oro se presenta normalmente como inclusiones en bornita. La mineralogía de ganga y mena en la matriz de la brecha consiste en cuarzo, sericita, piritita y calcopiritita. Los fragmentos de la brecha muestran vetillas de cuarzo, sericita y

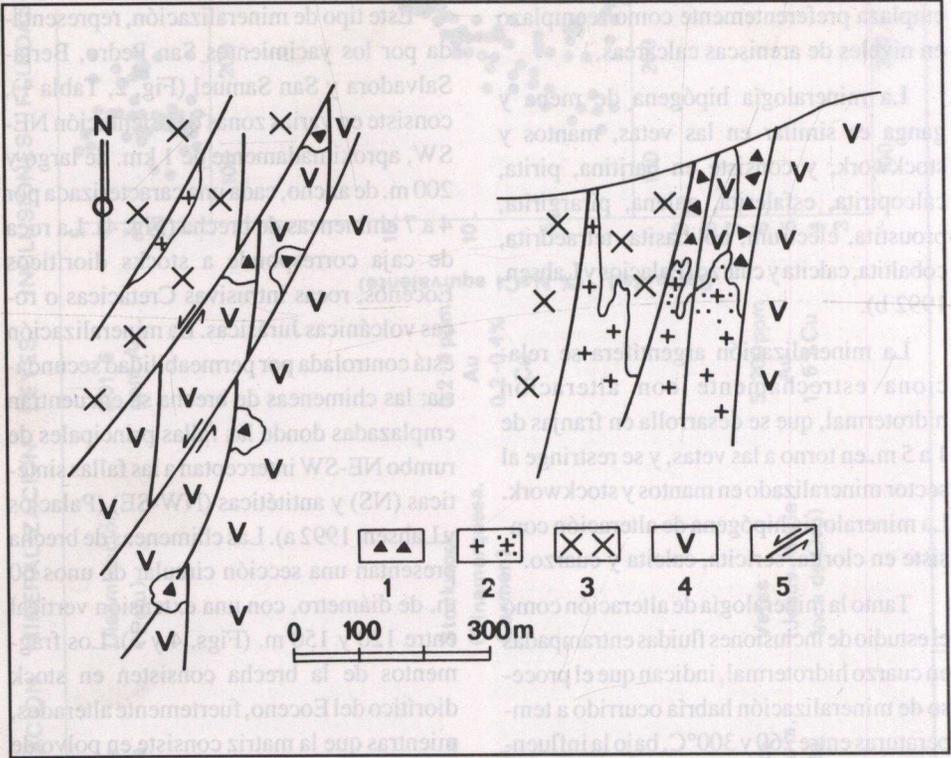


Fig. 4.- Mapa esquemático (izquierda) y sección generalizada (derecha) de la mineralización de Cu-Mo-Au en chimeneas de brecha.

- 1.- Chimeneas de Brechas.
- 2.- Pórfido diorítico Eoceno, parcialmente con alteración potásica.
- 3.- Diorita cuarcífera, Cretácico Superior.
- 4.- Roca volcánica Jurásica Superior.
- 5.- Fallas.

Fig. 4.- Sketch map (left) and generalized cross section (right) of the Cu-Mo-Au-bearing breccia pipes.

- 1.- Breccia pipe.
- 2.- Eocene diorite porphyry, partly with potassic alteration.
- 3.- Upper Cretaceous quartz diorite.
- 4.- Upper Jurassic volcanic rock.
- 5.- Fault.

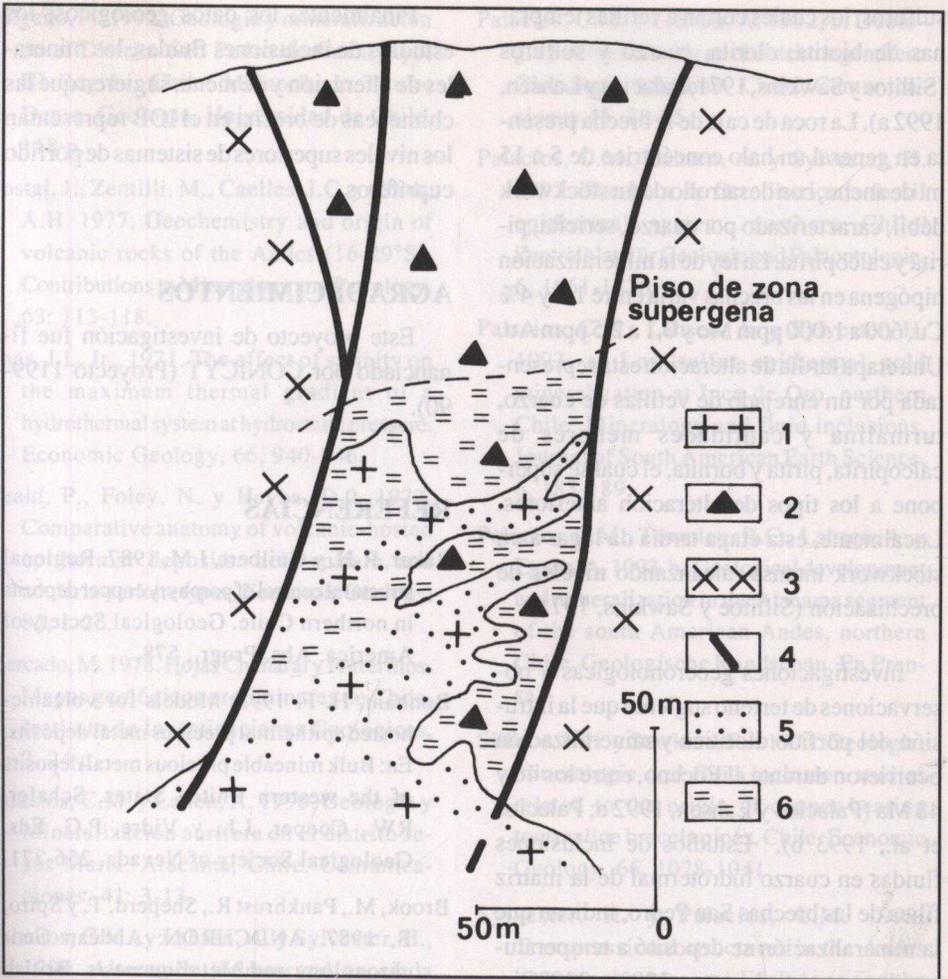


Fig. 5.- Detalle de una chimenea de brecha (Manto de Cuba) en el Distrito San Pedro. Basado en Delgado (1992).

- 1.- Pórfido diorítico, Eoceno.
- 2.- Chimenea de Brecha.
- 3.- Cuarzo Monzodiorita, Cretácico Superior.
- 4.- Falla.
- 5.- Alteración potásica
- 6.- Alteración filica.

Fig. 5.- Manto de Cuba breccias pipe in San Pedro District. From Delgado (1992).

- 1.- Eocene dioritic porphyry.
- 2.- Breccia pipe.
- 3.- Upper Cretaceous Quartz Monzodiorite.
- 4.- Fault.
- 5.- Potassic alteration
- 6.- Phyllic alteration

sulfuros, los cuales cortan a vetillas tempranas de biotita, clorita, cuarzo y sulfuros (Sillitoe y Sawkins, 1971; Palacios y Lahsen, 1992 a). La roca de caja de la brecha presenta en general un halo concéntrico de 5 a 15 m. de ancho, con desarrollo de un stockwork débil, caracterizado por cuarzo, sericita, piritita y calcopirita. La ley de la mineralización hipógena en las brechas varía entre 1.5 y 4% Cu, 600 a 1.000 ppm Mo y 0,1 a 2,5 ppm Au. Una etapa tardía de alteración está representada por un enrejado de vetillas de cuarzo, turmalina y cantidades menores de calcopirita, piritita y bornita, el cual se superpone a los tipos de alteración anteriores. Localmente, esta etapa tardía da lugar a un stockwork intenso, alcanzando niveles de brechización (Sillitoe y Sawkins, 1971).

Investigaciones geocronológicas y observaciones de terreno sugieren que la intrusión del pórfido diorítico y mineralización ocurrieron durante el Eoceno, entre los 46 y 48 Ma (Palacios y Lahsen, 1992 a; Palacios et al., 1993 b). Estudios de inclusiones fluidas en cuarzo hidrotermal de la matriz fílica de las brechas San Pedro, indican que la mineralización se depositó a temperaturas de aproximadamente 300° a 330°C, a partir de fluidos con salinidades entre 1 y 14% de NaCl equiv. (Palacios y Lahsen, 1992 a). Sillitoe y Sawkins (1971) reportan temperaturas de homogenización de inclusiones fluidas de 370°C en cuarzo de la etapa tardía de alteración. Palacios y Lahsen (1992 a) sugieren, en base al estudio de inclusiones fluidas y a la intensa brechización, presencia de ebullición durante la mineralización y alteración. Consecuentemente estos autores, asumiendo presión hidrostática y usando los diagramas de Haas (1971), suponen que las brechas hidrotermales se habrían formado a una profundidad entre 1.200 y 1.700 m.

Finalmente, los datos geológicos, los estudios de inclusiones fluidas, los minerales de alteración y de mena, sugieren que las chimeneas de brecha en el IOB representan los niveles superiores de sistemas de pórfido cupríferos.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto de investigación fue financiado por CONICYT (Proyecto 1199-90).

REFERENCIAS

- Baker, R.H. y Guilbert, J.M. 1987. Regional structural control of porphyry copper deposits in northern Chile. Geological Society of America. Abs. Progr., 578.
- Bonham, H. F. 1998. Models for volcanic-hosted epithermal precious metal deposits. En: Bulk mineable precious metal deposits of the western United States. Schafer, R.W., Cooper, J.J., y Vidre, P.G. Eds. Geological Society of Nevada, 256-271.
- Brook, M., Pankrust R., Sheperd, T. y Spiro, B. 1987. ANDCHRON: Andean Geochronology and Metallogenesis. British Geological Survey. Unpublished report, 190 p.
- Brown, M., Dallmeyer, R.D., Díaz, F. y Grocott, J. 1991. Displacement history and tectonic significance of the Atacama fault system (El Salado segment), northern Chile. 40 Ar/39 Ar mineral age constraints. EOS Transactions of the American Geophysical Union, 72, 263-275.
- Colley, H., Treloar, P.J. y Díaz, F. 1989. Gold-Silver mineralization in the El Salvador region, northern Chile. En: The geology of gold deposits. The perspective in 1988. Skinner, B.J. Ed. Economic Geology, Monograph 6, 208-217.

- Delgado, P., 1992. Geología y mineralización en el Distrito San Pedro de Cachiyuyo, III Región, Chile. Memoria de Título, Depto. Geología, Universidad de Chile, 118 p.
- Dostal, J., Zentilli, M., Caelles, J.C. y Clark, A.H. 1977. Geochemistry and origin of volcanic rocks of the Andes (16-29°S). Contributions to Mineralogy and Petrology, 63: 113-118.
- Haas, J.L. Jr., 1971. The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure. Economic Geology, 66, 940-946.
- Heald, P., Foley, N. y Hayba, D.O. 1977. Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: acid-sulfate and adularia-sericite types. Economic Geology, 82, 1-26.
- Mercado, M. 1978. Hojas Chañaral y Potrerillos. Mapas geológicos preliminares de Chile. Instituto de Investigaciones Geológicas, 2, 24 p.
- Palacios, C.M. y Lahen, A. 1990. Geología y Mineralización aurífera en el distrito Jesús María. Atacama, Chile. Comunicaciones, 41: 3-13.
- Palacios, C.M., y Lahsen, A. y Sylvester, H., 1990. Alteración hidrotermal asociada con la mineralización aurífera en el Distrito Inca de Oro, Norte de Chile. Comunicaciones, 41, 14-20.
- Palacios, C.M. y Lahsen, A. 1992, a. Mineralización de Cu-Mo-Au en chimeneas de brecha en la franja Inca de Oro, Chile. Comunicaciones, 43, 49-56.
- Palacios, C.M. y Lahsen, A. 1992, b. Geología y mineralización en el distrito argentífero Chimbero. Atacama, Chile. Comunicaciones 43, 28-35.
- Palacios, C.M., Lahsen, A. y Sylvester, H. 1992. The Inca de Oro district: a fossil epithermal system, northern Chile. Zentralblatt für Geologie und Paläontologie, 6, 1861-1870.
- Palacios, C.M., Lahsen, A. y Sylvester, H. 1993, a. Low-sulfur epithermal gold mineralization at Inca de Oro, northern Chile: Mineralogy and fluid inclusions. Journal of South American Earth Science, 6, 183-189.
- Palacios, C.M., Townley, B.C., Lahsen, A. y Egaña, A. 1993, b. Geological development and mineralization in the Atacama segment of the south American Andes, northern Chile. Geologische Rundschau. En Prensa.
- Sillitoe, R.H. y Sawkins, F.J. 1971. Geologic, mineralogic and fluid inclusion studies related to the origin of copper-bearing tourmaline breccia pipes, Chile. Economic Geology, 66, 1028-1041.
- Sylvester, H. y Palacios, C.M. 1992. Transpressional structures in the Andes between the Atacama Fault zone and the West Fissure system at 27°S, northern Chile. Zentralblatt für Geologie und Paläontologie, 6, 1645-1658.
- Zentilli, M. 1974. Geological evolution and metallogenetic relationship in the Andes of northern Chile between 26° and 29°S. PhD Thesis Queen's Univ. Canada 446 p.

Contributions to the geology and mineralogy of the El Salvador region, northern Chile. *Economic Geology*, 66, 940-946.

Hess, P., Foley, N. y Hayes, D. 1973. Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal systems. *Economic Geology*, 68, 1-12.

Mercado, M. 1978. *Historia Geológica y Geomorfología de la zona de la Cordillera Occidental de Chile*. En: *Geología y Minería de Chile*, vol. 1, pp. 1-12. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C. 1977. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C. 1981. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C. 1983. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C. 1985. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C. 1987. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C. 1989. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C. 1991. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C. 1993. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C. 1995. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C. 1997. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C. 1999. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C. 2001. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C. 2003. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C. 2005. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C. 2007. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C. 2009. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C. 2011. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C. 2013. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C. 2015. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C. 2017. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C. 2019. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C. 2021. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C. 2023. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C. 2025. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

REFERENCIAS

Brook, M., Pankhurst, R., 1987. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Brown, M., Dallmeyer, J.D., 1995. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Colley, H., Treloar, P.J. y Day, E. 1989. Gold-silver mineralization in the El Salvador region, northern Chile. En: *The geology of gold deposits. The perspective in 1989*, B.J. Skinner, B.J. Ed. *Economic Geology*, Monograph 6, 208-217.

Foley, N., Hayes, D., 1973. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Hess, P., 1978. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Mercado, M., 1978. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C., 1977. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C., 1981. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C., 1983. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C., 1985. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C., 1987. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C., 1989. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C., 1991. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C., 1993. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C., 1995. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C., 1997. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C., 1999. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C., 2001. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C., 2003. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C., 2005. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C., 2007. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C., 2009. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C., 2011. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C., 2013. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C., 2015. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C., 2017. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C., 2019. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C., 2021. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C., 2023. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Palacios, C., 2025. *Geología y Minería de Chile*. Ed. por el Servicio Nacional de Geología y Minería.