



EVENTOS DE ALTERACIÓN-MINERALIZACIÓN EN LA FRANJA EL INDIO (29-30° S): NUEVOS ANTECEDENTES GEOLÓGICOS Y GEOCRONOLÓGICOS

Jorge Clavero R.¹, Mark W. Martin^{1,2} Constantino Mpodozis¹ y Lucía Cuitiño¹

INTRODUCCIÓN

Recientes trabajos de mapeo geológico regional^(1,2), con el apoyo de dataciones radiométricas K/Ar, Ar/Ar y U/Pb han permitido redefinir la estratigrafía de las unidades volcanosedimentarias de la alta cordillera del Norte Chico entre los 29°15' y 30°15'S (Fig.1) donde se ubica la Franja El Indio, con su notable mineralización de metales preciosos. La nueva estratigrafía terciaria, propuesta por Martin et al⁽¹⁾ afina la publicada con anterioridad^(3,4) para la zona e incluye ocho unidades de roca que varían en edad desde el Paleoceno hasta el Mioceno superior. Éstas corresponden a la Secuencia Las Tolas (Paleoceno-Eoceno, antes incluida en la Formación Algarrobal del Jurásico^(3,4)), la Unidad Bocatoma (39-31Ma) conjunto de intrusivos epizonales reconocidos con anterioridad sólo más al sur en la Hoja Pisco Elqui⁽⁵⁾, el Grupo Doña Ana (anteriormente Formación Doña Ana^(3,4)) constituido por las formaciones Tilito (27-23Ma) y Escabroso (22-18Ma), la Unidad intrusiva Infiernillo (17-14Ma) y su equivalente extrusivo: la Formación Cerro de las Tórtolas (17-14Ma^(3,4)), la Formación Tambo (12-9Ma), antes incluida en la Formación Cerro de las Tórtolas^(3,4) y la Formación Vallecito (7-5Ma). La región se caracteriza por la presencia de extensas zonas de alteración hidrotermal, en algunos casos de hasta varios kilómetros de diámetro (Fig.1) que según Maksaev et al⁽³⁾ estarían ligadas principalmente al emplazamiento de los intrusivos de la Unidad Infiernillo, aunque estos autores reconocieron la existencia de eventos de alteración más jóvenes sobrepuestos. El propósito de esta contribución es aportar nuevos antecedentes geocronológicos y geológicos de algunas de las zonas de alteración-mineralización más conocidas dentro de la Franja El Indio y discutir su significado dentro del contexto geológico regional.

Nuevos antecedentes geológicos y radiométricos K/Ar

Pascua. En la zona del yacimiento Nevada-Pascua aflora una serie de pórfidos dacíticos de la Unidad Bocatoma^(1,5) y un complejo de brechas de explosión riolíticas tipo diatrema-maar y oleadas piroclásticas en superficie, que intruyen y cubren a rocas intrusivas y piroclásticas (tobas riolíticas) ácidas del Batolito Chollay y Formación Pastos Blancos (Paleozoico superior-Triásico⁽¹⁾), las que, un poco más al norte del yacimiento, se encuentran cubiertas en discordancia de erosión por tobas dacíticas de la Formación Tambo sin alterar (Fig.1). Los pórfidos dacíticos, localmente muy alterados, fueron datados en 35.1±1.9 y 33.0±1.5Ma (K/Ar en biotita y U/Pb en circon⁽¹⁾). De acuerdo a Caddie⁽⁶⁾, en el yacimiento ocurrió un evento de mineralización cuprífera temprano, seguido por los eventos de mineralización aurífera. No descartamos que este evento temprano de mineralización cuprífera pueda estar asociado a los pórfidos de la Unidad Bocatoma, y los eventos de mineralización aurífera sean más jóvenes. Los pórfidos de la Unidad Bocatoma son contemporáneos con los pórfidos cupríferos oligocenos del norte de Chile⁽⁷⁾ el más meridional de los cuales se ubica a 65 km al norte de Pascua, en las nacientes del río Cazadero (La Fortuna⁽⁸⁾).

1. Servicio Nacional de Geología y Minería-Chile, Av. Santa María 0104, Santiago, Chile.

2. Dirección actual: Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences, MIT, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 02139

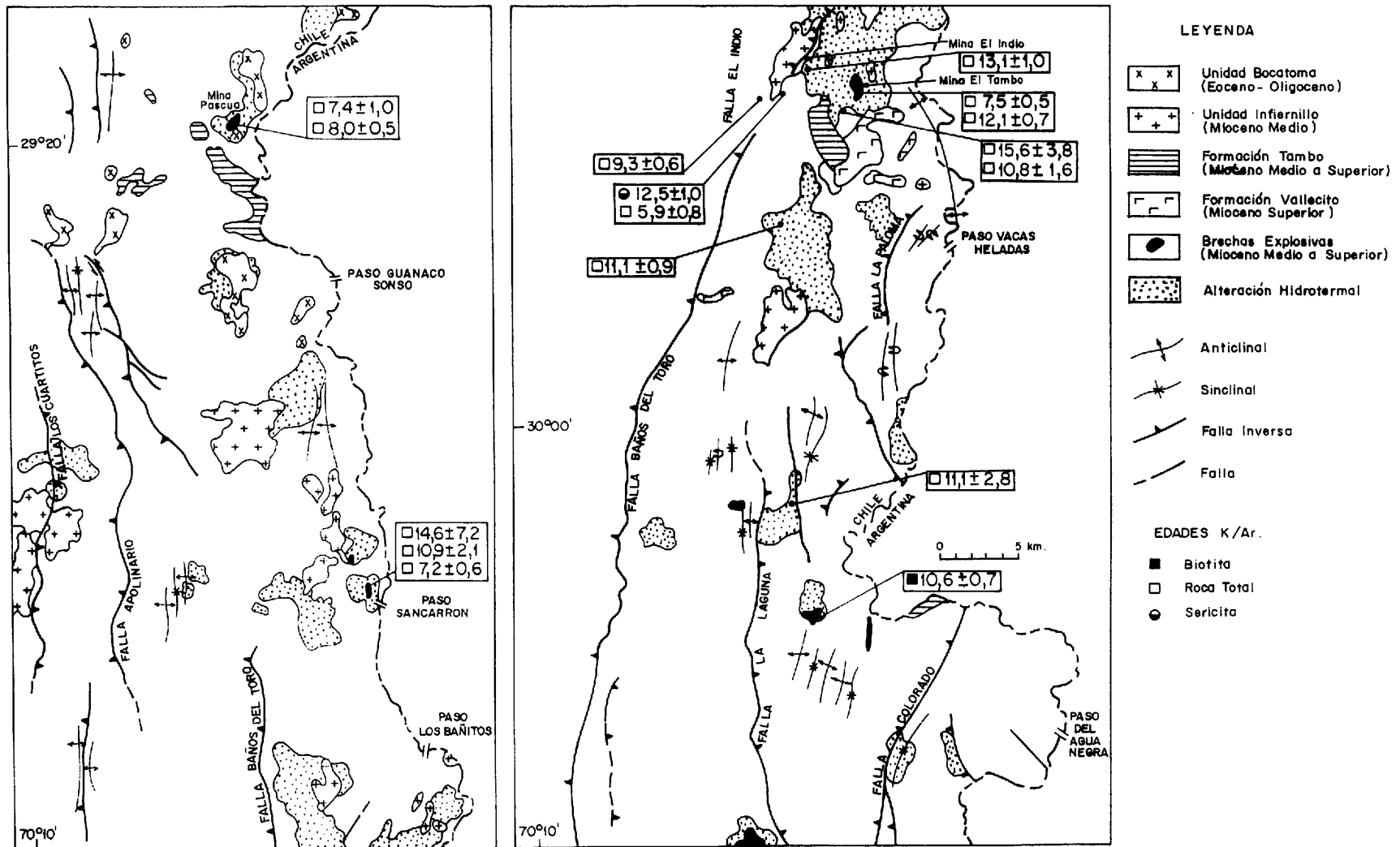


Figura 1. Distribución de las Unidades Bocatoma (Eoceno-Oligoceno) e Infiernillo (Mioceno medio), las formaciones Tambo (Mioceno medio a superior) y Vallecito (Mioceno superior), y las zonas de alteración hidrotermal en la Franja El Indio.

El complejo diatrema-maar-oleada piroclástica se encuentra fuertemente alterado, al igual que las rocas de caja. En sectores la matriz de las brechas de explosión, que fueron datadas (K/Ar en roca total⁽¹⁾) en 7.4 ± 1.0 y 8.0 ± 0.5 Ma, está constituida casi exclusivamente por alunita primaria, cogenética con las brechas de explosión y la alteración hidrotermal asociada. En este distrito se han sobreimpuesto, a lo menos, dos eventos de alteración, el primero asociado a la Unidad Bocatoma, mientras que las brechas de explosión mineralizadas tienen edades que son ligeramente más antiguas que las atribuidas, más al sur, al evento Vallecito.

Sancarrón. Corresponde a un complejo de brechas de explosión e hidrotermales emplazadas en tobas riolíticas de la Formación Tilito. Tanto las brechas como la roca circundante se presentan fuertemente silicificadas y, localmente, alunitizadas y jarositizadas. Maksaev et al (3) obtuvieron una edad de 16.2 ± 6.3 Ma (K/Ar en roca total) en una toba alterada (formación Tilito), inmediatamente al sur de Sancarrón. Esta edad es similar a la obtenida para un stock granodiorítico-monzonítico de la Unidad Infiernillo datado en 16.8 ± 0.1 Ma (Ar/Ar en plagioclasa⁽¹⁾) que aflora al oeste del prospecto. Para las brechas de explosión se obtuvo edades (K/Ar en roca total⁽¹⁾) de 10.9 ± 2.1 y 7.2 ± 0.6 Ma. Estos datos parecen indicar que en la zona de Sancarrón existiría probablemente un evento de alteración asociado al emplazamiento de intrusivos de la Unidad Infiernillo mientras que las dos edades de las brechas de explosión se ubican en el rango de los eventos Tambo (12-9Ma) y Vallecito (7-5Ma). En las cercanías del prospecto no afloran rocas extrusivas de las formaciones Tambo y Vallecito, sólo afloran al noreste lavas andesíticas de la Formación Cerro de las Tórtolas (15.4 ± 0.8 Ma edad K/Ar en roca total⁽¹⁾) las que, localmente, se encuentran afectadas por alteración.

Tambo. La zona mineralizada de Tambo corresponde a un complejo de brechas de explosión riolíticas y sus correspondientes depósitos piroclásticos, fuertemente alterados, que intruyen y, en parte, cubren a tobas riolíticas y rocas sedimentarias de la Formación Pastos Blancos (Pérmico-Triásico⁽¹⁾). Al este del Cerro Elefante aparecen intruidas por stocks hipabisales de la Unidad Infiernillo (Fig.1), e inmediatamente al sur y suroeste del distrito se encuentran cubiertas por los principales afloramientos de las formaciones Tambo (domo y tobas dacíticas a riolíticas) y Vallecito (toba riolíticas, Fig.1). Las brechas de explosión están fuertemente silicificadas y, en sectores, la matriz está constituida casi exclusivamente por alunita, la que ha sido datada en 12.1 ± 0.7 y 7.5 ± 0.5 Ma (K/Ar en roca total⁽¹⁾, Cerro Elefante). Los trabajos de terreno no han permitido establecer (falta de relaciones de contacto y alteración) si el episodio generador de brechas de explosión se asocia exclusivamente a la Formación Tambo, siendo posteriormente, afectado por circulación de fluidos asociados al magmatismo de la Formación Vallecito, o si ambos eventos produjeron brechas de explosión.

El Indio. El distrito El Indio corresponde a un sistema de vetas epitermales^(9,10) asociadas a las fallas Baños del Toro y El Indio⁽¹⁾, emplazadas en tobas riolíticas y rocas sedimentarias de la Formación Tilito. Éstas se encuentran también intruidas por stocks granodioríticos a monzodioríticos de la Unidad Infiernillo-tales como el stock Tranque, ubicado al sur del yacimiento (Fig.1) y cuya datación arrojó edades de 13.7 ± 0.5 y 14.2 ± 0.6 Ma (K/Ar en biotita y roca total⁽¹⁾). Las tobas de la Formación Tilito se encuentran cubiertas por lavas andesíticas de la Formación Cerro de las Tórtolas que, localmente, se presentan alteradas, aunque en menor proporción que las rocas de la Formación Tilito, debido a su menor permeabilidad. Dataciones (K/Ar en roca total) en vetillas de alunita y roca con alteración cuarzo-sericítica arrojaron edades más jóvenes (11.1 ± 0.9 y 12.5 ± 1.0 Ma), mientras que la datación de tobas intensamente alteradas a jarosita indicó un valor de 5.9 ± 0.8 Ma que correspondería, probablemente a un evento supérgeno. La alunita, en cambio, se considera primaria y, al igual que la alteración cuarzo-sericítica, indicaría, para El Indio, la presencia de un evento de alteración más joven que la unidad Infiernillo, sincrónico con el volcanismo de la Formación Tambo.

SÍNTESIS

A través del mapeo regional y de dataciones radiométricas K/Ar (Fig.1) se ha podido determinar la existencia de, al menos, cuatro eventos de alteración hidrotermal terciarios en la Franja El Indio, los cuales en muchos casos se sobreimponen. Los intrusivos de la Unidad Bocatoma (39-31Ma) presentan, generalmente, una alteración propilítica, acompañada de minerales oxidados de cobre. Los

intrusivos de la Unidad Infiernillo (17-14Ma) están rodeados, generalmente, por extensas zonas de alteración. Una edad K/Ar de alteración publicada^(3,4) puede ser asignada con certeza al evento Infiernillo-Tórtolas (K/Ar en roca total $17,2 \pm 1,2$ Ma). Sin embargo, este episodio de alteración no ha sido reconocido directamente en las zonas mineralizadas, las que presentan edades más jóvenes, en el rango de los eventos Tambo y Vallecito (12-9 Ma y 7-5 Ma^(1,2,3)) aunque en los casos en que están sobreimpuestos varios eventos de alteración (p. ej. minas El Indio, Pascua y Sancarrón) sea difícil asignar a cada uno de ellos una unidad geológica determinada. Estas alteraciones incluyen asociaciones mineralógicas típicas de ambientes epitermales de alta sulfidización⁽¹¹⁾ que acompañan a brechas de explosión y domos (minas Tambo, Pascua y Sancarrón, Fig.1).

DISCUSIÓN: CORRELACIONES REGIONALES

La historia magmática terciaria de la Franja del Indio es equivalente a la que caracteriza la evolución de la Franja de Maricunga, entre los 26° y 28°S⁽¹²⁾. Los principales episodios de alteración-mineralización en la Franja Maricunga ocurrieron a los 23-21 Ma (La Coipa, Refugio, Pantanillo) y 13-12 Ma (Marte, Lobo, Aldebarán). Sin embargo, aunque el primer evento en Maricunga coincide en el tiempo con el volcanismo que originó la Formación Escabroso, en la Franja El Indio, no existen indicios de alteración o mineralización durante este período. El primer episodio de alteración, relacionado con mineralización de importancia (evento Tambo, 12-9Ma) en la Franja El Indio, es más joven y coincide, en parte, con el episodio tardío de la Franja Maricunga. El evento mineralizador más joven en la Franja El Indio (Vallecito, 7-5Ma) se correlaciona en Maricunga con los episodios volcánicos que dieron origen al Complejo volcánico Copiapó y el Nevado Jotabeche los cuales no presentan evidencias de mineralización asociada de importancia⁽¹²⁾. Al sur de El Indio, la mineralización cuprífera diseminada asociada a los complejos de brechas de Los Pelambres, Río Blanco-Disputada y El Teniente, ha sido datada entre los 9 y 4,7 Ma (Skewes y Stern⁽¹³⁾ y referencias allí citadas), es decir en parte se traslapa y en parte es más joven que los eventos detectados en la Franja El Indio. Estas significativas variaciones temporales sugieren que los sistemas hidrotermales asociados a mineralización sufrieron una sistemática migración hacia el sur a lo largo de la actual zona con subducción horizontal durante el Mioceno, migración que fue acompañada por un significativo cambio en el estilo de mineralización.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por medio de un convenio entre Sernageomin y Compañía Minera San José. Los autores agradecen sinceramente el apoyo brindado en terreno por José Soto. Publicación auspiciada por la Subdirección Nacional de Geología, SERNAGEOMIN.

REFERENCIAS

- (1) Martin, M. W., Clavero, J., Mpodozis, C., Cuitiño, L., 1995. Estudio geológico-regional de la Franja El Indio, alta cordillera de Coquimbo: Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Registrado IR 95-6, 238 p, Santiago.
- (2) Martin, M. W., Clavero, J., Mpodozis, C., 1997. Eocene to Late Miocene magmatic development of Chile's El Indio gold district, ~30°S. (este Congreso).
- (3) MaksaeV, V., Moscoso, R., Mpodozis, C., Nasi, C., 1984. Las unidades volcánicas y plutónicas del Cenozoico superior en la alta Cordillera del Norte Chico (29°-31°S): geología, alteración hidrotermal y mineralización: Revista Geológica de Chile, N° 21, p.11-51.
- (4) Nasi, C., Moscoso, R. y MaksaeV, V., 1990. Hoja Guanta: Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, N° 67, 130 p.
- (5) Mpodozis, C. y Cornejo, P., 1988. Hoja Pisco Elqui. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, N° 68, 160 p. (6) Caddie, S., 1994. Structural analysis and ore controls. Nevada Project, Chile. Informe interno, Compañía Minera San José, 23 p.
- (7) Sillitoe, R., 1988. Epochs of intrusion-related copper mineralization in the Andes: Journal of South American Earth Sciences. v.1 (1). p.89-108.

- (8) Perelló, J., Urzúa, F., Cabello, J., Ortiz, F., 1994. Clustered, gold-bearing Oligocene porphyry copper and associated epithermal mineralization at La Fortuna, Vallenar region, northern Chile: Congreso Geológico Chileno N° 7, Actas, v.2, p. 1607-1612, Concepción.
- (9) Araneda, R., 1982. El Indio, yacimiento de oro, plata y cobre, Coquimbo, Chile; Revista Minerale v. 37 (160), p.5-13.
- (10) Walthier, T., Sirvas, E. and Araneda, R., 1985. The El Indio gold-silver-copper deposit: Engineering and Mining Journal, v.186, p.38-42.
- (11) Heald, P., Foley, F., Hayba, D., 1987. Comparative anatomy of volcanic hosted epithermal deposits: acid-sulfate and adularia-sericite types: Economic Geology, vol.82, p.1-26.
- (12) Mpodozis, C., Cornejo, P., Kay, S., Titler, A., 1995. La Franja de Maricunga: síntesis de la evolución volcano tectónica del frente volcánico Oligo-Mioceno de la zona sur de los Andes Centrales (26°-28°S) : Revista Geológica de Chile, v. 22 (2), p.273-313.
- (13) Skewes, M. A., Stern, C. R, 1994, 1994, Tectonic trigger for the formation of Late Miocene Cu-rich breccia pipes in the Andes of Central Chile: Geology, v.22, p 551-554.