

GEOCRONOLOGIA Ar-Ar y Rb-Sr DEL DEPOSITO ESTRATOLIGADO DE COBRE EL SOLDADO (CHILE CENTRAL)

GEOCRONOLOGY Ar-Ar AND Rb-Sr ON THE STRATABOUND EL SOLDADO (CHILE CENTRAL)

Ricardo Boric

*Cia. Minera Disputada de Las Condes S.A., Pedro de Valdivia 291, Casilla 16178,
Correo 9, Providencia, Santiago-Chile.*

Francisco Munizaga

*Depto. de Geología, Universidad de Chile, Casilla 13518, Correo 21, Santiago-
Chile.*

I INTRODUCCION

El yacimiento estratoligado de cobre El Soldado, se ubica en la Cordillera de la Costa de Chile Central, 120 Km. al NW de Santiago, a 830 m.s.n.m. Es propiedad de la Cía. Minera Disputada de Las Condes S.A., que lo explota por mina subterránea y rajo abierto a razón de 16.000 ton/día. Su contenido mineral,

considerando producción histórica mas reservas se estima en 130 x 106 t. de 1,5% Cu, lo que lo sitúa como uno de los depósitos estratoligados más importantes de Chile y el mayor de una franja que se extiende entre los 32° y 34° lat.S (Fig. 1).

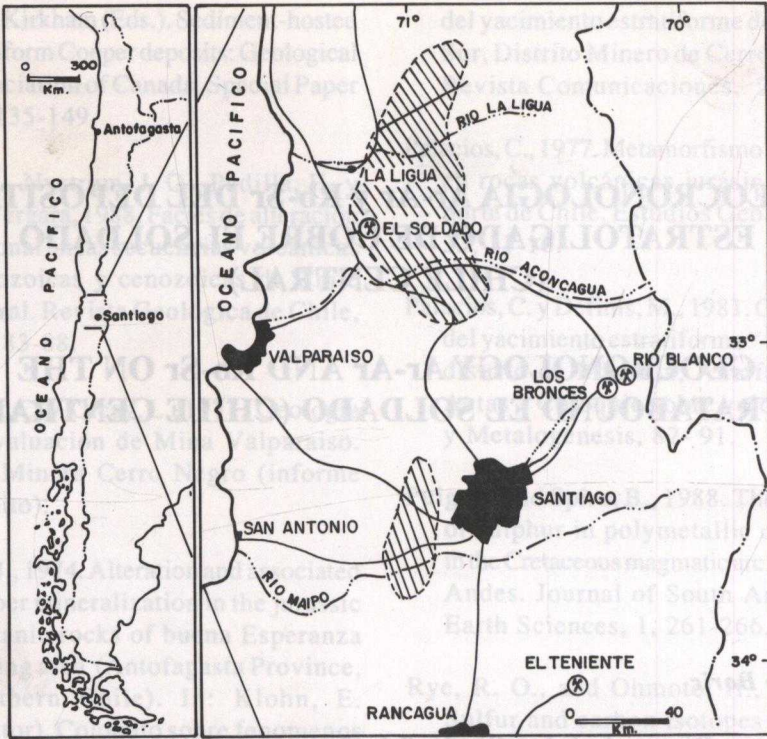


Fig. 1 : Mapa de ubicación del yacimiento El Soldado y de la franja de depósitos estratoligados de cobre de Chile Central (zonas achuradas).

El yacimiento está emplazado en rocas volcánicas del miembro superior de la Formación Lo Prado (Neocomiano) y, de acuerdo a sus características texturales y a estudios petrográficos, geoquímicos, de inclusiones fluidas y de isótopos de azufre, se ha postulado que su origen es epigenético hidrotermal y probablemente se asocia a la fase de decaimiento del magmatismo neocomiano (Holmgren, 1985; 1987; Klohnet al, 1990). No obstante, algunos autores (Sato, 1984; Westra, 1988) han defendido un origen metamórfico-diagenético, relacionado con la liberación de fluidos y lixiviación del cobre de la pila volcánica producto del enterramiento y su redepósito en niveles favorables. La presencia de materia orgánica, asociada a la mena en algunos sectores de la mina El Soldado

(Zentilli et al, in prep), apoyan esta idea, según la cual la mineralización sería posterior a la depositación de la suprayacente Formación Veta Negra, de edad barremiana-albiana.

Los antecedentes geocronológicos disponibles para El Soldado incluyen una isócrona roca total Rb/Sr en rocas alteradas-mineralizadas de 109 ± 4 Ma y edades K/Ar (Roca total) en rocas mineralizadas y estériles ("frescas") que oscilan entre 97 y 113 Ma (Munizaga et al, 1988). Estos datos señalaban una edad mínima para la mineralización en el límite Aptiano-Albiano y sin ser concluyentes (considerando que son edades en roca total y por ende mínimas), favorecerían el modelo genético metamórfico.

En el presente trabajo se entregan los resultados de 17 nuevas dataciones efectuadas en el distrito El Soldado a objeto de precisar la edad de los procesos magmáticos, de mineralización, alteración y metamorfismo y contribuir así a mejorar su modelo geológico-genético. Los nuevos datos comprenden :

- 8 edades $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de rocas alteradas-mineralizadas provenientes de distintos cuerpos de mena de El Soldado y de los pequeños yacimientos Andacollo y La Isla ubicados en sus cercanías (Fig.2).

- 1 datación $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ y 1 Rb/Sr efectuadas en lavas del miembro superior de la Formación Lo Prado, recolectadas de zonas estériles en la periferia del yacimiento El Soldado.
- 3 edades $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ y 1 K/Ar de cuerpos subvolcánicos estériles emplazados en la Formación Lo Prado y con distintas relaciones de contacto con la mena.
- 3 edades $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de albitas consideradas metamórficas, provenientes de amígdalas de lavas de las Formaciones Lo Prado y Veta Negra.

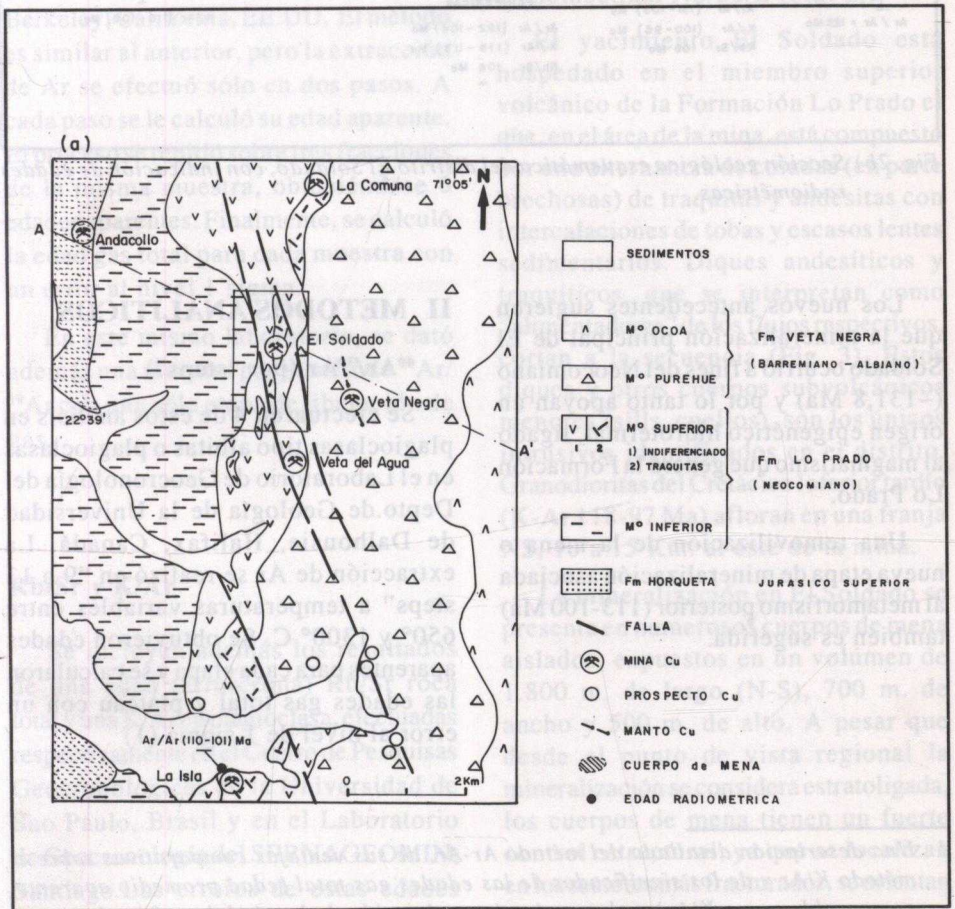


Fig. 2 : a) Geología del distrito El Soldado.

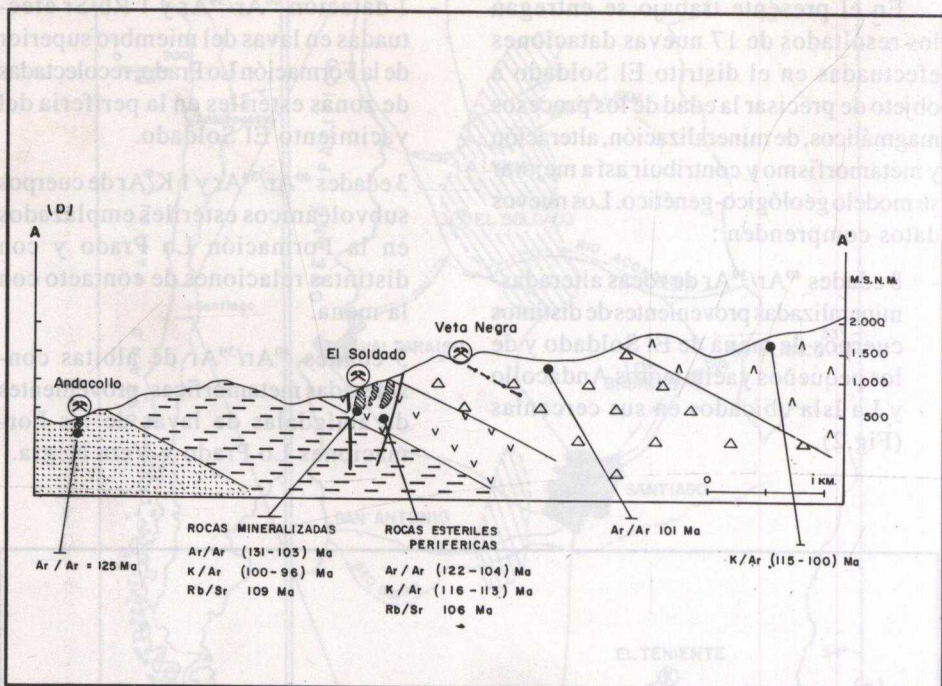


Fig. 2b) Sección geológica esquemática del distrito El Soldado, con indicación de edades radiométricas.

Los nuevos antecedentes sugieren que la mineralización principal de El Soldado ocurrió a fines del Neocomiano (~131,8 Ma) y por lo tanto apoyan un origen epigenético hidrotermal, ligado al magmatismo que generó la Formación Lo Prado.

Una removilización de la mena o nueva etapa de mineralización asociada al metamorfismo posterior (113-100 Ma) también es sugerida.

II METODOS ANALITICOS

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (por "steps")

Se efectuaron 4 de estos análisis en plagioclasas tipo albitas o plagioclasas en el Laboratorio de Geocronología del Depto. de Geología de la Universidad de Dalhousie, Halifax, Canadá. La extracción de Ar se realizó en "9 a 13 steps" a temperaturas variables entre 650° y 1300° C. Se obtuvieron edades aparentes para cada etapa y se calcularon las edades gas total y plateau con un error al nivel de 1 sigma (1)

- 1 Una descripción detallada del método Ar-Ar, de sus ventajas comparativas sobre el método K/Ar y de los significados de las edades gas total (edad promedio aparente, comparable a una K/Ar) y plateau (mejor estimación de la edad de enfriamiento por debajo de la temperatura de cierre del mineral datado) son entregados por Maksaev et al, 1988 (a).

En el método geocronológico Ar-Ar, se ha definido el término "step", como la edad calculada del volúmen de gas liberado de la muestra a una determinada temperatura. Como el método Ar-Ar se desarrolla aumentando la temperatura, entonces tendremos tantas edades como sea el número de steps.

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (con 2 "steps")

Se realizaron 11 análisis de este tipo en separaciones de albitas o plagioclasas en el Instituto of Human Origins, Berkeley, California, EE.UU. El método es similar al anterior, pero la extracción de Ar se efectuó sólo en dos pasos. A cada paso se le calculó su edad aparente. El proceso se repitió sobre tres fracciones de la misma muestra, obteniéndose 6 edades aparentes. Finalmente, se calculó la edad gas total para cada muestra con un error al nivel 1 sigma.

En este mismo laboratorio, se dató además una muestra por el método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ con una sólo etapa de liberación de gas.

Rb/Sr y K/Ar

Se incluyen además los resultados de una edad (error-crona) Rb/Sr roca total y una K/Ar en plagioclasa, efectuadas respectivamente en el Centro de Pesquisas Geocronológicas de la Universidad de Sao Paulo, Brasil y en el Laboratorio de Geocronología del SERNAGEOMIN, Santiago. Los errores de estas edades están calculadas al nivel de 2 sigmas.

III MARCO GEOLOGICO

Diversos aspectos de la geología de El Soldado han sido descritos por Ahumada (1985), Ruge (1985), Holmgren (1985; 1987) y han sido sintetizados por Klohn et al (1990). La descripción que sigue se basa en estos autores.

En el distrito El Soldado aflora una secuencia de rocas volcanoclásticas compuesta por las formaciones Horqueta, del Jurásico Superior continental; Lo Prado, del Neocomiano marino y Veta Negra del Barremiano-Albiano continental. Estas formaciones presentan contactos concordantes entre sí y se disponen en un homoclinal NS/30/E (Fig. 2).

El yacimiento El Soldado está hospedado en el miembro superior volcánico de la Formación Lo Prado el que, en el área de la mina, está compuesto por una alternancia de coladas (en parte brechosas) de traquitas y andesitas con intercalaciones de tobas y escasas lentes sedimentarios. Diques andesíticos y traquíticos, que se interpretan como "alimentadores" de los flujos respectivos, cortan a la secuencia (Fig. 3). Estos diques y otros cuerpos subvolcánicos menores (sills, cuellos), son los únicos intrusivos identificados en el distrito. Granodioritas del Cretácico Inferior tardío (K-Ar 118-97 Ma) afloran en una franja NS, 10 a 15 Km. al este de la mina.

La mineralización en El Soldado se presenta en numerosos cuerpos de mena aislados, expuestos en un volúmen de 1.800 m. de largo (N-S), 700 m. de ancho y 500 m. de alto. A pesar que desde el punto de vista regional la mineralización se considera estratoligada, los cuerpos de mena tienen un fuerte control estructural, ya que se localizan en los sectores más fracturados, se orientan paralelos a las fallas, son subverticales y discordantes con la estratificación

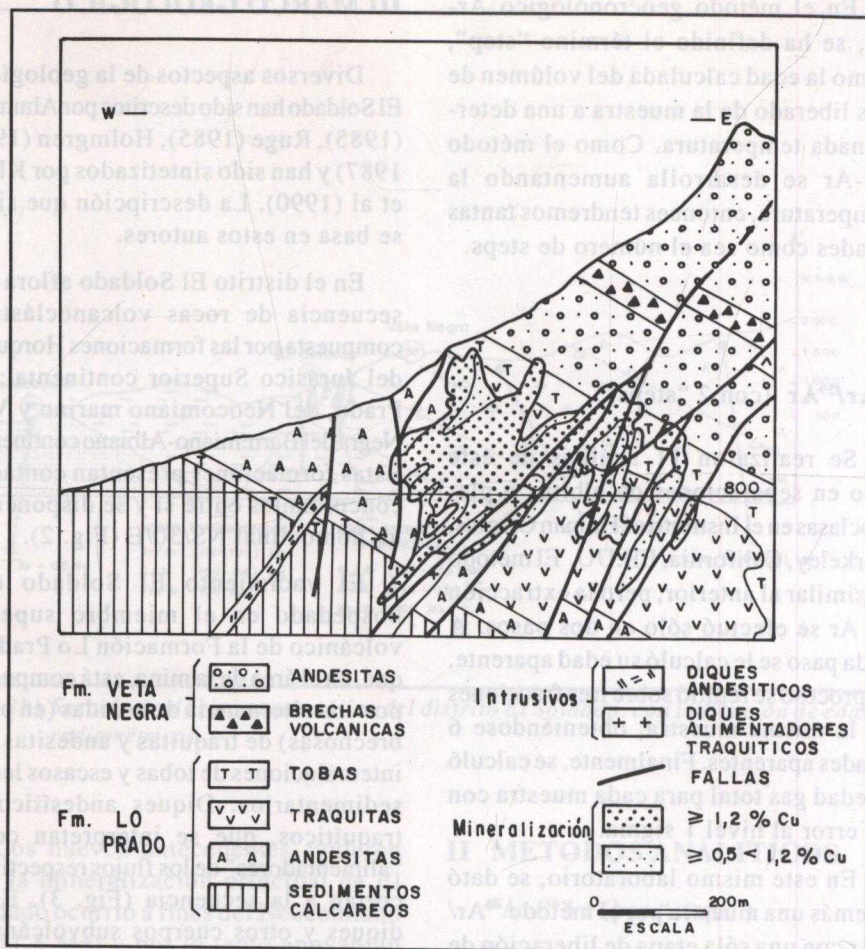


Fig. 3 : Sección geológica simplificada del yacimiento El Soldado.

(Fig. 3). La mineralización tiene además un claro control litológico dado que se desarrolla más en las traquitas que en las andesitas y tobas.

Los cuerpos de mena alcanzan hasta 450 m. de largo, 150 m. de ancho y 250 m. de alto y poseen una zonación caracterizada por un halo de pirita, seguido por una zona de calcopirita y un núcleo de bornita y escasa calcosina y hematita. Los sulfuros aparecen diseminados, en vetillas y, en menor grado, en cemento

de brechas hidrotermales. Asociada a la mineralización se reconoce una alteración hidrotermal representada por calcita, clorita (picnocloritas), albita, cuarzo y arcilla (montmorillonita). Alejándose de los cuerpos, las rocas presentan una débil alteración a calcita, clorita (diabantita), epidota, albita y/o zeolita, sin relación con la mena y asignada al metamorfismo regional de bajo grado (facies prehnita, pumpellitita) que afecta a todas las rocas volcánicas del distrito (Levi, 1968).

IV DESCRIPCION Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Edades en Rocas Alteradas-Mineralizadas del Yacimiento El Soldado.

(Del Miembro Superior de la Formación Lo Prado)

La datación $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en albita (9 "steps") de un dique ("feeder") traquítico alterado a albita y calcita, del cuerpo mineralizado Santa Clara (muestra ISOL 10), dio una edad gas total de $129,6 \pm 3,1$ Ma y una edad plateau de $131,8 \pm 3,1$ Ma (considerando 2 "steps" y el 92,5% del Ar liberado) Tabla 1. Esta última refleja la edad de enfriamiento de la albita e indicaría la edad de la mineralización (a menos que sea una albita "magmática" no asociada a la mena y no perturbada por la alteración, lo que parece poco probable). Esta edad es bastante más antigua que las reportadas anteriormente para rocas alteradas de El Soldado (Tabla 2) y sugiere que la mineralización habría ocurrido a fines del Neocomiano, es decir poco después de la depositación de la Formación Lo Prado.

La datación $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (gas total) de una traquita alterada a albita del cuerpo mineralizado Valdivia Sur, dio una edad gas total de $113,3 \pm 1,4$ Ma (muestra ISOL 8, Tabla 1). Las dataciones $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (2 etapas de degasificación) de 2 vetillas de albita - sulfuros, encajadas en andesitas y consideradas paragenéticamente tardías, dieron edades gas total de $105,1 \pm 0,5$ y $103,4 \pm 1,2$ Ma (muestras ISOL 20 y 21, Tabla 1).

Estas 3 edades, (gas total) son comparables a las obtenidas anteriormente

por los métodos Rb/Sr y K/Ar (Tabla 2) y son notablemente más jóvenes que la edad de la muestra ISOL 10 ("steps"), por lo que se consideran mínimas.

Sin embargo, el hecho que el espectro de edades aparentes de las muestras ISOL 20 y 21 no exhiba gran dispersión (<3,5%, Tabla 1), sugiere que ellas no han sufrido perturbaciones isotópicas significativas y por lo tanto las edades gas total podrían reflejar efectivamente las edades de enfriamiento (o de una rehomogeneización isotópica completa) de las albitas. Esto a su vez implica, que estas vetillas de albita podrían asociarse a otra etapa de mineralización tardía (albian) o bien, que las vetillas fueron rehomogeneizadas isotópicamente por un proceso térmico y/o químico en el Albiano.

Edades en Rocas Estériles de la Periferia del Yacimiento El Soldado.

(Del Miembro Superior de la Formación Lo Prado)

Se dató un dique andesítico estéril (muestra ISOL 1, Tabla 1) conocido en el yacimiento como del tipo "Chorro Negro" (Ahumada, 1985), del sector nor-superior del yacimiento. Este tipo de diques intruye a las lavas de la Formación Lo Prado y a los diques traquíticos, pero su relación con la mineralización no es del todo clara. En apariencia ellos son post-minerales dado que cortan ("interrumpen") a los cuerpos de mena; sin embargo, ellos poseen una leve diseminación de pirita y en sus bordes se han observado vetillas de sulfuros que señalan que hubo, al menos, algún tipo de mineralización (o removilización de la mena) posterior a su emplazamiento. Por el método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en plagioclasa (10 pasos de liberación de Ar), se obtuvo

TABLA 1 - NUEVAS EDADES RADIOMETRICAS EN DISTRITO EL SOLDADO

I EDADES $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (1) (Con "Steps") (Univ. de Dalhousie, Halifax, Canadá)							
Nº Muestra	Rango Edades Aparentes (Ma)	Edad Gas Total (Ma)	Edad Plateau (Ma)	Mineral	Roca	Unidad Geológica	Relación con la Mineralización
ISOL 10 *	127,7 - 134,0	129,6 ± 3,1	131,8 ± 3,1	Ab	Dique traquítico	Mº Sup Fm. Lo Prado	Alterada-Mineralizada
ISOL 1 *	115,6 - 128,4	119,7 ± 4,2	118,7 ± 2,2	Pg	Dique andesítico	Mº Sup Fm. Lo Prado	Estéril, corta mineralización
ISOL 64 °	118,5 - 124,2	122,6 ± 2,0	122,7 ± 1,1	Pg	Filón acófitico	Mº Sup Fm. Lo Prado	Estéril
ISOL 51 *	99,1 - 105,8	104,3 ± 5,5	104,3 ± 1,4	Pg	Pórfido dióritico	Mº Sup Fm. Lo Prado	Estéril

II EDADES $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (Con "2 Steps") (Inst. of Human Origins, California, USA)

Nº Muestra	Rango Edades Aparentes (Ma)	Edad Gas Total (Ma)	Mineral	Roca	Unidad Geológica	Relación con la Mineralización
ISOL 36 ~	117,7 - 136,0	123,6 ± 1,6	Pg	Toba andesítica	Fm Horqueta	Mineralizada-alterada
ISOL 33 ~	108,4 - 120,2	114,8 ± 1,6	Pg	Traquita	Fm Horqueta	Alteración supérgena?
ISOL 8 *		113,3 ± 1,4	Ab	Traquita	Mº Sup Fm Lo Prado	Mineralizada-alterada
ISOL 20 *	104,3 - 105,5	105,1 ± 0,5	Ab	Vetilla en and.	Mº Sup Fm. Lo Prado	Mineralizada
ISOL 21 *	101,5 - 105,0	103,5 ± 1,2	Ab	Vetilla en and.	Mº Sup Fm. Lo Prado	Mineralizada
ISOL 12 *	103,1 - 111,5	109,4 ± 1,3	Ab	Traquita	Mº Sup Fm. Lo Prado	Estéril, débil alteración
ISOL 39 +	102,2 - 109,7	104,3 ± 1,7	Ab	Pórf. traquítico	Mº Sup Fm. Lo Prado	Mineralizado, alterado
ISOL 37 +	95,9 - 106,0	99,3 ± 1,5	Ab	Pórf. traquítico	Mº Sup Fm. Lo Prado	Estéril, débil alteración
ISOL 50 *	95,6 - 111,1	105,0 ± 2,8	Ab	Amígdala en and.	Mº Sup Fm. Lo Prado	Estéril, metamorfismo reg.
ISOL 31 #	98,2 - 106,6	101,1 ± 1,7	Ab	Amígdala en and.	Mº Inf. Fm. V. NEegra	Estéril, metamorfismo reg.
ISOL 28 #	98,5 - 107,8	101,4 ± 0,9	Ab	Amígdala en and.	Mº Inf. Fm. V. Negra	Estéril, metamorfismo reg.

III EDAD K/Ar (Sernageomin, Chile)

Nº Muestra	Edad (Ma)	Mineral	Roca	Unidad Geológica	Relación con la Mineralización
ISOL 1 *	116 ± 4	Pg	Dique andesítico	Mº Sup Fm. Lo Prado	Estéril, corta mineralización

IV EDAD Rb/Sr (Universidad de Sao Paulo, Brasil)

Nº Muestra	Edad (Ma)	Mineral	Roca total	Unidad Geológica	Relación con la Mineralización
ISOL 1, 12, 43, 44, 49, 56 *	105,9 ± 1,6			Mº Sup Fm. Lo Prado	Estéril, periferia yacimiento

(1) Para cálculo de edades $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ y K/Ar se usaron constantes según Steiger y Jager (1977).

MINERALES

Pg : Plagiódasa
Ab : Albita

UBICACION DE MUESTRAS

- * Mina El Soldado
- o 5 Km. del Soldado
- ~ Mina Andacollo
- + Mina La Isla
- # 1.7 Km. E. del Soldado

TABLA 2 ANTECEDENTES RADIOMETRICOS PREVIOS EN DISTRITO EL SOLDADO

I Edades K/Ar						
Muestra	Edad (Ma)	Material	Roca	Unidad Geológica	Observaciones	
IS 227/87 *	113 ± 4	Roca total	Andesita	M° Sup Fm. Lo Prado	Estéril, débil alteración	
SP - 510 *	100 ± 3	Roca total	Dique traquítico	M° Sup Fm. Lo Prado	Mineralizada-alterada, Yac. Soldado	
SP - 485 *	97 ± 4	Roca total	Brecha alterada	M° Sup Fm. Lo Prado	Mineralizada-alterada, Yac. Soldado	
ES1 - 11 *	97,2 ± 2	FdK	Vetilla	M° Sup Fm. Lo Prado	Mineralizada-alterada, Yac. Soldado	
S67/82 *	96 ± 5	Roca total	Andesita	M° Sup Fm. Lo Prado	Mineralizada-alterada, Yac. Soldado	
RB 419 **	115 ± 4	Roca total	Ocoita	M° Ocoa Fm. V. Negra	Mineralizada-alterada, Yac. Soldado	
RB 419 **	94 ± 2	Pg	Ocoita	M° Ocoa Fm V. Negra		
RB 443 **	100 ± 4	Roca total	Ocoita	M° Ocoa Fm. V. Negra		
RB 444 **	100 ± 3	Roca total	Ocoita	M° Ocoa Fm. V. Negra		
II Isócrona Rb/Sr						
Muestra	Edad (Ma)	Material	Roca	Unidad Geológica	Observaciones	
SP383, SP326, SP220 SP485, SP507 **	109 ± 4	Roca total	Traquitas, diques Traquíticos, brecha	M° Sup Fm. Lo Prado	Mineralizada-alterada, Yac. Soldado	

MATERIAL:

Fd K : Feldespato potásico

Pg : Plagioclasa

* Munitzaga et al, 1988

** Boric in Rivano et al, in press

una edad gas total de $119,7 \pm 4,2$ Ma y una edad plateau de $118,7 \pm 2,2$ Ma (considerando 5 pasos y el 60% del Ar liberado); por K/Ar en plagioclasa se logró una edad de 116 ± 4 Ma, comparable dentro de los rangos de errores con la anterior. La edad plateau obtenida coincide con las relaciones de contacto del dique y, si se le considera post-mineral (como parece lo más probable), fija una edad mínima para la mineralización de El Soldado, corroborando la edad de $131,8 \pm 3,1$ Ma obtenida en el "feeder" traquítico.

La datación $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en plagioclasa (13 "steps") de un filón andesítico ("ocoítico") emplazado en el miembro superior de la Formación Lo Prado, 3,5 Km. al sur de El Soldado (muestra ISOL 64), dio una edad gas total de $122,6 \pm 2,0$ Ma y una edad plateau de $122,7 \pm 1,1$ Ma (considerando 7 "steps" y el 67% del Ar liberado). Este valor es comparable al obtenido en el dique anterior (muestra ISOL 1), y concuerda con la posición estratigráfica del filón.

La datación Rb/Sr roca total de 6 muestras de traquitas y andesitas del Miembro Superior de la Formación Lo Prado, (ISOL 6, 12, 43, 44, 49 y 56, Tabla 1), tomadas de sondajes profundos entre 50 y 300 m. de los cuerpos de mena, dio una errorcrona (D.S.M.P. = 24) de $105,9 \pm 1,6$ Ma. Este valor es ligeramente más joven a la isocrona Rb/Sr presentada por Munizaga et al (1988) en rocas alteradas del depósito (109 ± 4 Ma). Es decir esta errorcrona nos señala un valor mínimo, que en ningún caso refleja la edad de formación de las rocas, que es lo que se pretendía.

La misma muestra de traquita (ISOL 12) que se usó para construir la errorcrona, fue datada por el método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (dos "steps") en albita, lográndose una edad gas total de $109,4 \pm 3,1$ Ma, comparable con ella y también considerada mínima.

Por último, la datación $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (10 etapas de liberación de Ar) en plagioclasa de un cuerpo subvolcánico (pórfido diorítico) del extremo inferior-este del yacimiento El Soldado (muestra ISOL 51), dio una edad gas total de $104,3 \pm 5,5$ Ma y una edad plateau de $104,3 \pm 1,4$ Ma (considerando 6 "steps" y el 73,8% del Ar liberado) (Tabla 1), lo que indicaría una edad albiana para el enfriamiento de este pórfido y que, en el ámbito de la mina habría existido actividad subvolcánica bastante posterior a la efusión de la Formación Lo Prado y de la mineralización. Sin embargo, en esta muestra los últimos tres pasos de liberación de gas (10,7% del Ar liberado) dieron edades aparentes entre 108,2 y 119,3 Ma, lo que podría sugerir que la edad real de enfriamiento del pórfido sea más antigua y entonces cercana a la de los diques andesíticos previamente descritos (muestras ISOL 1 y 64).

Edades en Rocas Mineralizadas de Otros Yacimientos del Distrito El Soldado.

Se dataron por el método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (2 "steps") muestras alteradas-mineralizadas de las minas Andacollo, que es una pequeña bolsonada de cobre encajada en lavas de la Formación Horqueta (Jurásico Superior) y la Isla, que es una veta desarrollada en un pórfido traquítico emplazado en el Miembro Superior de la Formación Lo Prado (Fig. 3).

Una toba andesítica de la mina Andacollo (muestra ISOL 36) dio una edad gas total de $123,6 \pm 1,6$ Ma. Esta edad que es la más antigua obtenida por este método para el distrito, se considera mínima, dado la variación del espectro de edades aparentes de la muestra (un paso dio una edad aparente de 136 Ma) lo que implica una perturbación del

sistema isotópico K/Ar. Una traquita (muestra ISOL 33) de la misma mina, dio una edad gas total de $114,8 \pm 1,6$ Ma, la que debe tomarse como rejuvenecida, dado que la traquita presenta efectos de alteración supérgena.

Dos muestras del pórfido traquítico aflorante en mina La Isla (muestras ISOL 39 y 37) dieron edades gas total de $104,3 \pm 1,7$ Ma y $99,3 \pm 1,5$ Ma, las que deben tomarse como mínimas dada la variación del espectro de edades aparentes (Tabla 1). Cabe destacar que los valores son comparables a los obtenidos (por el mismo método) en vetillas de El Soldado.

Edades en Albitas de Metamorfismo Regional

Se dataron por el método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (2 "steps") 3 muestras de concentrados de albitas provenientes de amígdalas (drusas) encajadas en lavas de las Formaciones Lo Prado (muestra ISOL 50) y Veta Negra (muestras ISOL 31 y 28, Tabla 1). Las albitas se consideran metamórficas y no se relacionan con la mineralización.

La albita de la Formación Lo Prado dio una edad gas total de $105,0 \pm 2,8$ Ma y las de la Formación Veta Negra $101,4 \pm 1,7$ y $101,1 \pm 1,7$ Ma. Dada la variabilidad de las edades aparentes (lo que indica una perturbación del sistema isotópico K/Ar, Tabla 1) estos valores sólo señalan una edad mínima albiana para el metamorfismo de ambas formaciones.

V CONCLUSIONES

- Con los resultados geocronológicos aportados por este trabajo se ha logrado tener un conjunto de dataciones $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, K/Ar y Rb/Sr para las distintas unidades litológicas (mineralizadas y estériles) del distrito El Soldado.
- Para un mismo tipo de roca, las edades más antiguas se obtuvieron usando el método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ con desgasificación múltiple. Con él se calcularon edades plateau, que se interpretan como las edades de enfriamiento de los minerales datados, las cuales son significativamente más antiguas (2-20%) que las indicadas por los métodos tradicionales K/Ar y Rb/Sr. Esta situación es similar a la reportada en otros yacimientos chilenos (estratoligados y pórfidos cupríferos) (Maksaev et al, 1988 a y b), señalando las ventajas de este método geocronológico.
- Las edades gas total calculadas utilizando el método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ se consideran, en general, mínimas, dada la variación observada en los rangos de edades aparentes de una misma muestra, lo que indica una perturbación de su sistema isotópico. Estas edades gas total, son equivalentes a las obtenidas por los métodos K/Ar y Rb/Sr, para el mismo tipo de roca, las que por lo tanto también se consideran mínimas.
- Las edades plateau $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ obtenidas en un dique y un filón andesíticos, emplazados en el miembro superior de la Formación Lo Prado oscilan entre 122,7 y 118,7 Ma, lo cual es consistente con la edad estratigráfica neocomiana asignada a esta formación.

- Para el yacimiento El Soldado, se obtuvieron edades plateau de $131,8 \pm 3,1$ Ma, en un dique ("feeder") traquítico alterado y mineralizado y de $118,7 \pm 2,2$ Ma en un dique andesítico estéril, que aparentemente corta a los cuerpos de mena. Estas edades, que son más antiguas a las reportadas anteriormente, sugieren que la mineralización principal del yacimiento habría ocurrido a fines del Neocomiano (prácticamente en el límite con el Barremiano). Esto apoya el modelo epigenético-hidrotermal ya que la mineralización de este depósito tendría una edad cercana a la depositación de la Formación Lo Prado.
- Para albitas consideradas metamórficas, se obtuvieron edades gas total (con dos "steps") de $105,0 \pm 2,8$ Ma (Fm. Lo Prado) y $101,4 \pm 1,7$ y $101,1 \pm 1,7$ Ma (Fm. Veta Negra). Ellas señalan una edad mínima albiana para el metamorfismo y sugieren que este fenómeno fue prácticamente sincrónico en ambas unidades.
- Para rocas alteradas-mineralizadas y estériles de los yacimientos El Soldado y La Isla se ha obtenido un conjunto de edades gas total $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (2 "steps"), K/Ar y Rb/Sr que fluctúan entre 113 y 99 Ma. Estas edades, si bien se consideran mínimas, parecen reflejar un evento (térmico y/o químico) que produjo una rehomogeneización isotópica de los minerales datados en el Albiano. Este evento puede asimilarse al metamorfismo regional de bajo grado que afectó a las unidades volcánicas en el distrito y cuya edad mínima es también albiana. Cabe destacar que el mismo es coincidente con el emplazamiento de plutones (K/Ar 118-100 Ma) al este del distrito, y posiblemente de un pórfido diorítico

($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ $104,3 \pm 1,4$ Ma) en el ámbito del yacimiento, por lo que un origen térmico para el metamorfismo (considerado como de carga) no puede excluirse.

- Los antecedentes disponibles no permiten sacar conclusiones definitivas acerca de las hipótesis genéticas propuestos para El Soldado, no obstante, en opinión de los autores ellos favorecen el modelo en el cual la mineralización principal del yacimiento se asocia a la fase de decaimiento del magmatismo Neocomiano ($\sim 131,8$ Ma), seguida por una removilización de la mena (o nueva etapa de mineralización), relacionada a procesos metamórficos en el Albiano (113-100 Ma). En este sentido las ideas propuestas más que contraponerse parecen complementarse.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Cía. Minera Disputada de Las Condes S.A., la autorización para presentar este artículo. También a los colegas Hans Ruge y Fernando González por la revisión crítica del manuscrito original y las sugerencias dadas para mejorarlo.

Este trabajo fue financiado por el Proyecto Fondecyt N° 1240-91 "Caracterización Isotópica de Fluidos Hidrotermales: Implicancia en la Génesis de yacimientos de Cu Estratoligados". Este trabajo es una contribución al Proyecto IGCP 342 "Age and Isotopes of South American Ores".

REFERENCIAS

- Aberg, G.; Aguirre, L.; Levi, B.; Nystrom, J., 1984. Spreading - subsidence and generation of ensialic marginal basins; an example from the Early Cretaceous of Central Chile. In: Kokelaar, B.P.; Howell, M.F.; Eds. Marginal basin geology. Geol Soc. Spec. Publ. 16, 185-193.
- Ahumada, R., 1985. Eventos intrusivos en el yacimiento cuprífero El Soldado, V Región, Chile. In IV Congreso Geológico Chileno, 3, 752-773.
- Holmgren, C., 1985. Antecedentes para un modelo genético del yacimiento El Soldado, V Región, In IV Congreso Geológico Chileno, 4, 626-650.
- Holmgren, C., 1987. Antecedentes para un modelo genético del yacimiento El Soldado, V Región de Valparaíso, Chile. Revista Geológica de Chile, 30, 3-18.
- Klohn, E.; Holmgren, C.; Ruge, H., 1990. El Soldado, a stratabound copper deposit associated with alkaline volcanism in the Central Chilean Coastal Range. In Fontboté L.; Amstutz G.C., Cardozo, M.; Cedillo, E.; Frutos, J. Eds. Stratabound ore deposits in the Andes. Spec. Publ. Nº 8 of the Soc. for Geol. Appl. to Mineral Deposits, 435-448.
- Levi, B., 1968. Cretaceous volcanic rocks from a part of the coastal range west from Santiago, Chile: A study on lithology variation and burial metamorphism in the Andean geosyncline. PhD. Thesis, Univ. California, Berkeley, 121 p.
- Maksaev, V.; Zentilli, M.; Reynolds, P., 1988 (a). Geocronología $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de depósitos de tipo pórfido cuprífero del Norte Grande de Chile. In V Congreso Chileno, 1, B109-B133.
- Maksaev, V.; Boric, R.; Zentilli, M.; Reynolds, P., 1988 (b). Significado metalogénico de dataciones K/Ar, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ y trazas de fisión en el Norte Grande de Chile. In V Congreso Geológico Chileno, 1, B65-B86.
- Munizaga, F.; Holmgren, C.; Huete, C.; Kawashita, K., 1988. Geocronología de los yacimientos de cobre El Soldado y Lo Aguirre, Chile Central. In V Congreso Geológico Chileno, 3, G177-G193.
- Ruge, H., 1985. Geología y Mineralización del yacimiento de cobre El Soldado, V Región, Chile. In IV Congreso Geológico Chileno, 3, 854-872.
- Sato, T., 1984. Manto-type copper deposits in Chile; a review. Bull. Geol. Survey Japan, 35, 11, 565-582.
- Steiger, R. H. and Jager, E., 1977. Subcommission on Geochronology IVGS: convention on the use of decay constants in geo and cosmochronology. Earth Planetary Science Letters, 36, 3, 359-367.
- Westra, G., 1988. A critical appraisal of the evidence for a magmatic hydrothermal origin for the El Soldado copper deposit. Informe inédito Cía. Minera Disputada de Las Condes, 12 p.