

Santiago, 8 - 12 Agosto de 1988

Departamento de Geología y Geofísica
Universidad de Chile



ALGUNOS TEMAS PRINCIPALES DE LA METALOGENESIS CRETACICA
EN EL NORTE Y CENTRO DE CHILE

Jorge Oyarzún M.*

* Departamento de Minas - Universidad de La Serena, Casilla 554, La Serena, Chile.

RESUMEN

La metalogénesis cretácica del norte y centro de Chile aparece como una transición entre la limitada mineralización cuprífera jurásica y la "culminación" de depósitos porfíricos y epitermales, alcanzada en el Terciario. Durante el Cretácico se registra un notable aumento en el número de yacimientos así como en su variedad tipológica. Por otra parte, casi todos los yacimientos de hierro y todos los yacimientos importantes de manganeso de Chile pertenecen a este Período.

El presente trabajo expone y discute los temas que a continuación se indican, proponiendo algunas investigaciones que aparecen prioritarias para el avance de la metalogénesis cretácica:

- Evolución tectónica y magmática del Cretácico en el norte y centro de Chile. Rocas alcalinas, alcalinización y metalogénesis en formaciones cretácicas volcano-sedimentarias.
- La franja ferrífera. Relaciones geocronológicas y genéticas con las mineralizaciones cupríferas vetiformes y porfíricas. Controles geológicos de la franja. El techo y la base de los depósitos ferríferos.
- Las mineralizaciones argentíferas en rocas cretácicas. Edad de los yacimientos y rol genético de los ambientes sedimentarios neocomianos.

ABSTRACT

The Cretaceous metallogenesis in north and central Chile appears as a transition between the limited Jurassic Cu-mineralization and the "culmination" of porphyry copper and precious metals epithermal deposits, attained at the Tertiary. During the Cretaceous, there is a remarkable increase in the number and types of ore deposits. With a few exceptions, all Chilean iron and manganese deposits belong to this geological period.

The present paper expose and discuss the following three major topics of the Chilean Cretaceous metallogenesis, and propose some researches that have priority from the viewpoint of the Author:

- Tectonic and magmatic evolution during the Cretaceous in north and central Chile. Alkaline rocks, alkaline metasomatism and metallogenesis in Cretaceous volcano-sedimentary formations.
- The Cretaceous iron belt. Their geochronological and genetical relationships with the Cu (Au, Co, Mo etc.) veins and porphyry-type ore deposits. The geological frame of the belt. The tops and bottoms of the major Cretaceous iron deposits.
- The silver deposits in Neocomian rocks. Age of the deposits and genetic role of the Cretaceous sedimentary environments.

INTRODUCCION

En una tesis sostenida en 1985 (Oyarzún, 1985) hemos destacado el paralelismo entre la evolución metalogénica de algunos arcos de islas, como el de Fidji, y la evolución metalogénica andina post-paleozoica, en particular la del norte de Chile y del Perú. En ambos tipos de arcos magmáticos se observa, por una parte, una mayor diferenciación del magmatismo, que se hace progresivamente más rico en álcalis. Por otra, los depósitos aumentan primero en número y variedad tipológica y, finalmente, en magnitud. En el caso del norte de Chile se encuentra una mineralización jurásica, esencialmente cuprífera, en mantos y vetas, que está ligada al magnetismo diorítico-coandesítico. En el Cretácico, se agregan los yacimientos ferríferos de la "franja principal", así como depósitos exhalativos de Mn y algunos pórfidos cupríferos menores con Mo y Au. El Au toma más importancia como acompañante del Cu en las vetas y existen depósitos cupríferos tipos skarn. Algunos mantos cupríferos presentan ciertas semejanzas con los sulfuros masivos. También se desarrollan depósitos epitermales de plata ligados a intrusivos del Cretácico superior. El volcanismo cretácico incluye lavas ácidas en su base, las que dan lugar a potentes series de lavas máficas, en parte shoshonítica -

cas (Levi et al. 1985, 1988) y a lavas y piroclásticos félsicos en el Cretácico superior. Finalmente, el Terciario se destaca por la "culminación" de las mineralizaciones porfíricas de Cu-Mo, por la abundancia e importancia de los yacimientos epitermales de Au y de Ag y por la presencia del yacimiento de magnetita de El Laco, relacionado con un sistema volcánico plioceno. La mayoría de dichas mineralizaciones se asocian a magmas granodiorítico-dacíticos.

En el presente trabajo desarrollaremos tres temáticas de esta etapa evolutiva transicional que constituye la metalogénesis cretácica, procurando presentar los principales aspectos de cada una de ellas y sugerir algunas investigaciones que puedan contribuir a su mejor comprensión.

1: TECTONICA, MAGMATISMO ALCALINO Y METALOGENESIS CRETACICA.

1-1: Evolución tectónica y magmática del Cretácico en el norte y centro de Chile.

El rasgo geológico cretácico más notable es el desarrollo de la cuenca neocomiana bajo un régimen de expansión ensiálica que la llevó a constituir una "cuenca marginal abortada" (Levi y Aguirre, 1981). Dicha expansión fue acompañada primero por un volcanismo bimodal con predominio ácido, intercalado con sedimentación marina (p. ej., F Lo Prado), seguido por 5 a 8 Km. de basaltos y andesitas basálticas constituidas esencialmente por labradorita, clinopiroxeno y magnetita. Tanto la notable textura porfírica de estas rocas máficas ("ocoítas"), como algunos de sus caracteres mineralógicos y su potencia y homogeneidad, las asemejan a las de las dorsales oceánicas de expansión lenta (Oyarzún y Frutos, 1982). Levi et al (op. cit.) han señalado el carácter shoshonítico de estas rocas de baja razón isotópica de Sr(i), manifestado por la relación $K_2O > Na_2O - 1.5$, su baja tendencia al enriquecimiento en Fe (diagrama AFM) y la composición constante de sus clinopiroxenos. Las shoshonitas son típicas de regímenes tectónicos extensionales, lo que es coherente con la hipótesis de Levi y Aguirre (op. cit.). En los arcos de islas, las shoshonitas se forman en una etapa evolutiva avanzada, cuando el arco ya ha desarrollado una corteza diferenciada. Al comparar la composición media de las ocoítas, según Aberg et al (1984) con las shoshonitas plio-cuaternarias del sur del Perú (Dupuy y Lefèvre, 1974) y

con las shoshonitas de los arcos de islas (Jakes y White, 1972) resalta el mayor contenido de Fe y Rb de las primeras, así como sus menores concentraciones de Mg, Sr y Ba, mientras el contenido medio de SiO₂ de las ocoitas es ligeramente inferior.

	Ocoitas	Shoshonitas S.Perú	Shoshonitas Arcos de Islas
SiO ₂ %	48.5 - 53.5	54.4	53.7
FeO (t)	8.1 - 11.9	8.5	8.1
MgO	2.0 - 4.6	4.7	6.4
Sr (p.p.m.)	400 - 530	1000	700
Rb	90 - 180	60	75
Ba	450 - 680	1540	1000

Las diferencias en los contenidos de Fe y Mg se expresan en la posición de las ocoitas en el campo toleítico del diagrama de Miyashiro (1974). En lo referente a los menores contenidos de Sr y Ba, ellos pueden reflejar ya sea una inferior profundidad de generación magmática (Oyarzún, 1971) o bien la posterior remoción selectiva de estos elementos durante la alteración incipiente de las rocas. En cuanto al rango de valores de Rb entregado por Aberg et al, las cifras parecen algo exageradas en comparación con otros análisis publicados (p. ej., Levi, 1974, sitúa el contenido de Rb de la parte inferior, menos alterada, de las coladas ocoíticas, entre 51 y 87 ppm).

¿Cuál es el origen de los elevados contenidos de K₂O de los basaltos shoshoníticos cretácicos?. Tanto la alta relación Fe/Mg como las bajas concentraciones de Sr y de Ba hacen improbable que se expliquen por una gran profundidad de generación magmática. En cambio, es razonable la hipótesis de Levi et al (op. cit.) que lo atribuyen a contaminación cortical selectiva por materiales corticales de baja razón isotópica Sr(i). Al respecto, cabe señalar que el feldespató potásico se presenta en entrecrecimientos con cuarzo, en la masa fundamental microcristalina de las rocas.

1-2: Rocas alcalinas, alcalinización y metalogénesis en formaciones cretácicas.

Las rocas shoshoníticas de los arcos de islas suelen presentar altos contenidos de Cu (p. ej., en Puerto Rico, Jolly, 1971, y en Fidji, Colley y Greenbaum, 1980). A juzgar por los promedios publicados (Oyarzún, 1971; Levi, op. cit.; Chávez y Nisterenko, 1974 etc.), éstos no se observan en los basaltos shoshoníticos cretácicos. Sin embargo, dada la movilidad del Cu, y la presencia de abundantes mineralizaciones así como de anomalías geoquímicas locales, es posible que parte del contenido magmático original de Cu haya sido redistribuido por los procesos de alteración hidrotermal (Levi, 1974).

La naturaleza (extrusiva o intrusiva) y el origen de la riqueza en álcalis de algunas rocas intercaladas en formaciones cretácicas y asociadas con mineralizaciones estratiformes, ha sido un tema de larga controversia. Entre ellas citaremos el "albitófiro" del distrito cuprífero (con Mag) de Punta del Cobre, la "traquita" del yacimiento de El Soldado, roca encajadora principal de su mineralización cuprífera, y las rocas volcánicas alteradas de los "mantos" auríferos del distrito de Andacollo, estas últimas discutidas en otro trabajo (Müller et al.) presentado a este Congreso. En Punta del Cobre, el cuerpo basal interpretado originalmente como lacolito o sill por Ruiz (1942 en Lino y Rivera, 1985) fue reconocido como parcialmente extrusivo y submarino por Camus (1980) y finalmente interpretado como un paquete de lavas andesíticas albitizadas por Lino (1984, en Lino y Rivera, op cit.). Conforme a esta última interpretación, el mecanismo de alcalinización radicó en el intercambio Ca por Na entre la roca y el agua de mar. Sin embargo cabe señalar que, para un contenido medio de SiO₂ de 63.58%, las concentraciones de Na₂O y K₂O son de 4.56% y 3.99% respectivamente (Camus, op. cit.), lo que sugiere una fuente de álcalis distinta del agua de mar (o una composición magmática original más félsica).

La "traquita" de El Soldado (miembro sup. de la Formación Lo Prado) fue atribuida inicialmente al efecto del metasomatismo sódico sobre rocas de composición andesítica (Bassi, 1958; Aliste en Ruiz et al., 1965; Olcay y Alarcón, 1975). Esta interpretación fue posteriormente rebatida por Ahumada (1985) y por Klohn et al (1986). Ahumada señala que la albitización es débil en las rocas del distrito y por lo tanto debe descartarse como hipótesis que las traquitas sean simplemente andesitas albitizadas. Al situar los

análisis en el diagrama de Winchester y Floyd ($\text{SiO}_2 - \text{Zr/TiO}_2$), Ahumada muestra que estos caen en el campo de las riolitas y dacitas, coincidiendo con la interpretación de Terrazas (1977), que las consideró como riolitas albitizadas. Sin embargo, hace notar que no encontró evidencias petrográficas que respalden dicha hipótesis. Por otra parte, Klohn et al, (op. cit.), postulan que el contenido de alcalis de la traquita es primario, basándose en la presencia de albita de alta y baja temperatura, así como en las conclusiones de Ahumada, y relacionan la presencia de esta roca alcalina con la existencia de magmatismo cretácico shoshonítico señalada por Levi et al (op. cit.).

De la comparación de las composiciones químicas del "albitrófiro" de Punta del Cobre y la traquita "no alterada" de El Soldado (Klohn et al, op. cit.) se desprende su similitud general, con la excepción del Fe y el Ca (este último contenido principalmente en la calcita, Ahumada, op. cit.).

	SiO_2	Al_2O_3	FeO_t	CaO	MgO	Na_2O	K_2O
Albitrófiro :	63.58	14.96	8.05	0.91	0.81	4.56	3.99
Traquita :	62.0	15.23	2.76	3.21	0.86	4.71	4.94

Un aspecto que dificulta la aceptación del contenido de alcalis de la traquita de El Soldado como un rasgo magmático primario es la extrema pureza de su albita de "alta temperatura": An 2-5%, que es anormal en albitas de ese origen. En todo caso, los argumentos de Ahumada y de Klohn et al plantean un interesante problema. Dada la frecuente asociación de estas rocas ricas en Na y/o K a mineralizaciones, su origen constituye un tema importante de la metalogénesis cretácica, y se relaciona con la antigua controversia petrológica sobre la existencia de los hidromagmas y los "magmas espilíticos". En todo caso conviene establecer una distinción entre la presencia de magmatismo shoshonítico señalada por Levi et al (op. cit.), que se refiere a secuencias de la Formación Veta Negra - o correlacionables con ella - y la posible existencia de un magmatismo alcalino en las secuencias de la Formación Lo Prado, que la infrayace.

2: LA FRANJA FERRIFERA CRETACICA Y SUS RELACIONES CON OTRAS MINERALIZACIONES CONTEMPORANEAS.

2-1: La franja ferrífera cretácica.

Numerosos trabajos (Ruiz et al, op. cit.; Espinoza, 1984; Oyarzún y Frutos, 1984 etc.), describen las principales características de la franja ferrífera cretácica. Igualmente se han publicado estudios sobre sus principales yacimientos, entre ellos el importante trabajo de Bookstrom (1977) sobre El Romeral. Si bien todos ellos destacan la importancia del control tectónico, evidenciado por sus alineamientos en dirección N a NNE, así como su relación con el magmatismo cretácico, existen aún importantes incertidumbres respecto a las condiciones de su génesis, y por lo tanto, bastante dispersión de las hipótesis genéticas. Ello es comprensible si se considera que, aún a nivel mundial, el origen de esta clase de yacimientos (tipo "Kiruna") continúa siendo objeto de controversia. Por otra parte, debido a su más fácil prospección (magnetometría), al carácter masivo de la mineralización y al menor valor de la mena, han faltado incentivos comparables a los que condujeron a la actual comprensión de los pórfidos cupríferos. Esta situación se ha modificado en parte a través de algunos importante estudios publicados en años recientes (Carten, 1986; Hildebrand, 1986), que entregan nuevos antecedentes y perspectivas sobre este tipo de mineralizaciones, aplicables a la comprensión de nuestros yacimientos.

2-2: Relaciones geocronológicas y genéticas de la franja ferrífera con las mineralizaciones cupríferas vetiformes y porfíricas.

Un aspecto de especial interés metalogénico y prospectivo es la relación entre la franja ferrífera cretácica (25° - 31° S) y los depósitos vetiformes y tipo skarn de su periferia. También interesa conocer sus posibles relaciones con la franja paralela de pórfidos cupríferos cretácicos (Llaurmett, 1975), en particular las razones de carácter tectónico o petrológico que explican la presencia de diferentes tipos de yacimientos en dos franjas espacial y cronológicamente muy próximas.

Pese a algunos avances recientes, la geocronología de los depósitos ferríferos es aún muy incipiente. Así, hay dos dataciones aisladas y por lo tanto inseguras, de los yacimientos de Cerro Imán (27°16' S; K-Ar, muscovita, 110 M.a.) y de Boquerón Chañar (28°05' S; K-Ar, biotita, 128 M.a.), am

bas informadas por Zentilli (1974), y una datación del esquistos biotítico de El Romeral (29°43' S; biotita, 110 M.a.) informada por Munizaga et al (1985). En cambio, se conoce con más seguridad la edad (o su rango) de Los Colorados (28°18' S; K-Ar; R.T.; 108, 110, 111 y 117 M.a.; Pichón, 1981) y de El Algarrobo (28°47' S; K-Ar, R.T., 100, 112, 116, 117, 124 y 128 M.a.; Montecinos, 1983). Pese a su dispersión, las edades citadas corresponden muy bien con el período entre 128 y 110 M.a., propuesto por Zentilli (op. cit.) para el emplazamiento principal de la parte occidental del batolito cretácico entre los 26° y 29° S. También corresponden con un lapso de tectonismo distensivo, previo a la compresión asociada al fuerte aumento de la velocidad de convergencia de las placas Pacífica y Sud Americana (de 5 a 18 cm/a) iniciado hace 110 M.a. (Larsen y Pitman, 1972; Frutos, 1981). Finalmente, son también contemporáneas con el período de volcanismo máfico shoshonítico señalado por Levi et al (op. cit.).

Además de las vetas de apatita con Mag y Act (Park, 1972), cuya relación con la mineralización ferrífera es obvia, existen vetas y skarns con Mag, Act, Cpy, Au, Co, Mo y U en la franja ferrífera o en su periferia, cuyas relaciones genéticas y cronológicas son menos seguras. Ruiz et al (op. cit.) proponen una edad jurásica para algunos distritos cupríferos de carácter vetiforme como Carrizal Alto (28°06' S), que se encuentra en el ámbito de la franja ferrífera, aunque adscriben al Cretácico superior todos los yacimientos similares situados más al sur. En el caso de aquellos distritos como La Higuera (29°31' S), que presentan una estrecha relación zonal respecto a los yacimientos de Fe, así como similar paragénesis (Act, Ap, Mag, Pi, Cpy etc.), parece razonable suponer una probable contemporaneidad de ambos tipos de mineralización. Ello situaría esa mineralización cuprífera vetiforme, así como algunos depósitos cupríferos tipo skarn, en la parte alta del Cretácico inferior. Una segunda posibilidad supone una fase cuprífera algo más joven, situada en el límite entre la parte inferior y superior del Cretácico. Esta es la edad de los pórfidos cupríferos de la "Faja Pacífica" (Llaumett, 1975), para los cuales Munizaga et al (op. cit.) entregan edades K-Ar de 106.- 94 M.a. (Domeyko, 28°49' S), 97 M.a. (Pajonales, 29°00') y 112 - 105 M.a. (Andacollo, 30°15' S). Naturalmente, las respuestas sólo pueden venir de futuros estudios geocronológicos. Los hasta ahora realizados muestran, en to-

do caso, que los depósitos de hierro y los de cobre se emplazaron en tiempos muy próximos, y que la cifra 110 M.a. (cuyas relaciones con el emplazamiento batolítico y la velocidad de convergencia de placas ya hemos señalado), constituye el "eje cronológico" de dichas mineralizaciones.

Considerando lo antes expuesto, así como la proximidad geográfica entre la franja de los depósitos ferríferos y la de los pórfidos cupríferos (sus ejes longitudinales están separados por menos de 20 Km entre las lats. 29º y 30º S), cabe preguntarse que factores determinaron su distinta mineralización. Al respecto, la petrología de los respectivos magmas, así como las condiciones de su emplazamiento, aparecen como los factores más probables. Respecto al primero se ha señalado, p. ej., el predominio entre los silicatos ferromagnesianos, de piroxeno pobre en Fe, en aquellos intrusivos asociados a mineralizaciones ferríferas, lo que favorecería la mayor "disponibilidad" de Fe (que tendría escasa cabida en los silicatos, Oyarzún, 1982). En los pórfidos cupríferos, en cambio, predomina la hornblenda. Desde luego la fase volátil puede jugar también un rol principal, sobre todo el HCl, como transportador del Fe. Otro factor crítico puede ser el carácter oxidante del magma (Burnham y Ohmoto, 1980), que al ser más alto favorece la vinculación del Fe al oxígeno, más que al azufre. Por otra parte, las condiciones de emplazamiento ejercen un importante control sobre la fase volátil. Así, es posible que los sistemas ferríferos sean esencialmente sistemas abiertos desfavorables para la retención de la fase sulfurada. Un aspecto básico que conviene aclarar para discriminar entre las distintas hipótesis, es el rol oxidante y movilizador que puede haber jugado el agua freática en la génesis de estos yacimientos. Para ello existen criterios y métodos isotópicos probados, que es urgente aplicar a los depósitos ferríferos para conocer el origen del agua de la fase mineralizadora (aguas magmáticas residuales y/o aguas meteóricas infiltradas a través de fracturas profundas).

Finalmente, es posible que los depósitos ferríferos representen un nivel inferior en la zonación de sistemas más complejos, tema que se discutirá en la sección 2-4.

2-3: Los controles geológicos de la franja ferrífera.

Aunque la desaparición de la franja ferrífera entre las lats. 26º y

25° S es gradual y los extensos afloramientos batolíticos permiten responsabilizar en parte a la erosión, dicho factor no explica en absoluto la rareza y pequeña magnitud de los depósitos al sur de la lat. 30° S. Ruiz et al (op. cit.) han señalado la coincidencia del segmento principal de la franja con una gran zona de fractura cortical, que parece haber controlado también el borde occidental de la cuenca sedimentaria neocomiana. Sin duda, esa zona de fracturá controló tanto el ascenso de los magmas como sus condiciones de emplazamiento, y los movimientos horizontales a lo largo de sus distintas líneas de falla han llevado a la segmentación de los depósitos y al desarrollo de esquistos dinámicos. Pero el comportamiento particular del segmento al que pertenece la franja ferrífera se puede seguir aún más lejos y aún hoy continúa siendo especial. Así, Jensen y Vicente (1979), Godoy (1985) y otros autores, han señalado la restricción de la fase tectónica Infraneocomiana al segmento del "Norte Chico". En este segmento, controlado por la posición del codo magmático paleozoico, "los sedimentos triásico-liásicos se depositan en gran parte sobre extensos prismas de acreción y débiles cuencas de ante arco paleozoicos" (Godoy, op. cit.) conformándose así un sector débil del borde pacífico. En la actualidad, el Norte Chico continúa siendo una zona anormal en términos de morfología y volcanismo, explicados ambos por su tectónica compresiva, y esta a su vez, por la interacción de la placa oceánica con la continental, donde la geometría del basamento debe conservar un rol determinante.

Por otra parte, la franja ferrífera coincide en parte, espacial y cronológicamente, con la banda de volcanismo máfico, parcialmente shoshonítico, del Cretácico inferior. La asociación entre "ocoitas" y mineralización ferrífera es particularmente evidente en el yacimiento de Boquerón Chañar, donde se ha descrito la presencia de varios tipos de cristales de magnetita en las lavas (Ruiz et al, op. cit. p 237). Al respecto cabe señalar que las ocoitas (basaltos o andesitas basálticas porfíricas) tienen contenidos de FeO_t próximos a 10% y que parte principal de ese contenido se encuentra como titano-magnetita (lo que confiere a estas rocas una elevada susceptibilidad magnética). Desde luego este magmatismo representa una excelente fuente de Fe, aunque en la concentración del metal deben intervenir procesos de diferenciación que exigen un nivel sub-volcánico o más profundo. Como se

explicará en la próxima sección, el posible carácter alcalino de los magmas (y su riqueza en Cl) puede constituir un factor metalogénico importante en dicha diferenciación.

2-4: El techo y la base de los depósitos ferríferos.

Mientras sucesivos estudios (p. ej., Lowell y Guilbert, 1970; Sillitoe, 1973) han contribuido a definir el esquema zonal de los pórfidos cupríferos, incluidos su techo y base, existe escasa comprensión de la anatomía de los depósitos ferríferos "tipo Kiruna" (como Boquerón Chañar, El Algarrobo, El Romeral etc.). Los sondeos más profundos de estos depósitos no han llegado en Chile al término de la mineralización. Tampoco se conoce el techo de depósitos no erosionados, pero al observar los perfiles de El Romeral (Bookstrom op. cit.) se puede estimar una extensión vertical del sistema del orden de 1 Km. Por las razones señaladas, son de particular interés comparativo dos descripciones recientes de sistemas ferríferos de Norte América, ambos abatidos a posición horizontal por la tectónica y expuestos por los procesos erosivos.

La descripción del yacimiento precámbrico tipo Kiruna de Great Bear, NW de Canadá (Hildebrand, op. cit.), constituido por mineralización de Mag-Ap-Act, muestra su relación con varios plutones epizonales constituidos por diorita-monzodiorita-monzonita cuarcífera, que presentan forma de lacolitos y sills y se asocian con estratovolcanes andesíticos contemporáneos. Su emplazamiento ocurrió a unos 2-3 Km de profundidad y la mineralización ferrífera aparece asociada al magma más diferenciado, así como a una zona de intensa albitización. La mineralización ferrífera se encuentra sobre dicha zona y es seguida por una zona más externa que incluye mineralización sulfurada diseminada y vetiforme, con Ag, Bi, Ni-Co y U. ¿Representa Great Bear una versión "en miniatura" de nuestros grandes sistemas ferríferos y los distritos vetiformes (con Cu, Au, Co, Mo, U) periféricos? Si es así, la base de las mineralizaciones podría estar constituida por magmas diferenciados alcalinos. Es posible que los diques intraminerales alcalinos de El Romeral, en los cuales Bookstrom (op. cit.) ha señalado la presencia de nefelina, constituyan una muestra de esas rocas profundas.

El estudio de Carten (op. cit.) presenta una posibilidad alternativa,

al mostrar las relaciones entre la alteración actinolítica calco-sódica, más profunda, que caracteriza a los yacimientos ferríferos, y la alteración potásica, más superficial, propia de los pórfidos cupríferos. El trabajo citado se basa en el estudio de un sistema hidrotermal jurásico (pórfido cuprífero de Yerington, Nevada, cuyo abatimiento y erosión lo exponen a lo largo de 1.8 Km de su desarrollo vertical, permitiendo observar las relaciones existentes entre ambos tipos de mineralizaciones y sus patrones de alteración. Por otra parte, muchos pórfidos cupríferos asociados a rocas dioríticas presentan un fuerte incremento de magnetita en profundidad (Lawrence y Savage, 1975). De ahí que cabría esperar también la posibilidad alternativa, vale decir que el techo de nuestros yacimientos ferríferos haya correspondido a mineralizaciones cupríferas porfíricas (aunque seguramente de muy baja ley por las condiciones físico-químicas desfavorables antes mencionadas). Sin embargo esta posibilidad tiene poco interés prospectivo. Por el contrario, interesa mucho establecer las relaciones de la franja ferrífera con las vetas y skarns de Cu, Au, Co, Mo y U, así como con otro tipo de mineralizaciones hidrotermales (p. ej., posibles depósitos epitermales ligados a brechas freatomagmáticas) presentes en ella.

3: LAS MINERALIZACIONES ARGENTIFERAS EN ROCAS CRETACICAS.

3-1: Edad y génesis de las mineralizaciones argentíferas encajadas en rocas neocomianas.

Naturalmente, el primero de los dos temas de esta sección es prioritario y acotará las posibilidades del segundo. En efecto, existe escasa información sobre la edad de las numerosas mineralizaciones argentíferas vetiformes presentes en rocas sedimentarias o volcánicas cretácicas, como los distritos de Tres Puntas (26°50' S), Chañarcillo (27°49' S), Agua Amarga (28°45' S), Arqueros (29°50' S) y Algodones (30°02' S). Al respecto es importante contar con dataciones de los cuerpos intrusivos presentes, aunque no necesariamente aflorantes (p. ej. en Chañarcillo aparece en las labores interiores).

En el aspecto metalogenético sobresale un interrogante principal: las causas de la "restricción" de la franja argentífera en rocas cretácicas

neocomianas al segmento 26º - 30º S (curiosamente coincidente con la extensión de la franja ferrífera). ¿Por que no existen depósitos argentíferos comparables en las secuencias sedimentarias volcánicas neocomianas que afloran más al sur?. Al respecto surgen dos posibilidades. La primera supone la existencia de condiciones paleogeográficas particularmente favorables para el desarrollo de concentraciones primarias de plata en las cuencas sedimentarias de ese segmento, las que habrían sido alimentadas por el volcanismo contemporáneo y posteriormente removilizadas por intrusivos. La segunda posibilidad radicaría la causa esencial de las mineralizaciones en una franja de intrusiones paleocenas extendida, o metalogénicamente "activa", a lo largo de dicho segmento. Ella es apoyada por la coincidencia longitudinal entre la franja cuprífera paleocena (Sillitoe, 1981) y la franja de distritos argentíferos "encajados" en rocas neocomianas. Desde luego, los estudios litogeoquímicos regionales y distritales, así como la geocronología de las intrusiones asociadas a los distritos, serían los principales antecedentes para discriminar entre ambas posibilidades.

RECONOCIMIENTOS.

El presente trabajo fue redactado por invitación de los presidentes de los grupos de trabajo chilenos PICG Nº 242 y 249 Drs. R. Charrier y M. Parada, y en calidad de contribución al simposio sobre metalogénesis cretácica andina, organizado en el marco del V Congreso Geológico Chileno (Santiago, 9-13 Agosto, 1988).

REFERENCIAS.

- Aberg, G., Aguirre, L., Levi, B. y Nystrom, J.O. (1984) - Spreading - subsidence and generation of ensialic marginal basins: An example from the Early Cretaceous of central Chile. en Geological Society, London, Special Publication 16, p 185-193.
- Ahumada, R. (1985) - Eventos intrusivos en el yacimiento cuprífero El Soldado, V Región. en Actas IV Congreso Geológico Chileno, IV p 3/752- 3/773.
- Bassi, H. (1985) - Estudio geológico de la mina El Soldado: Inf. ined. Compañía Minera Disputada de Las Condes.
- Bookstrom, A. (1977) - The magnetite deposits of El Romeral, Chile: Econ. Geol. 72, p 1101-1130.

- Burnham, C.W. y Ohmoto, H. (1980) - Late stage processes of felsic magmatism. en Mining Geology. Sp. Issue 8, p 1-12.
- Camus, F. (1980) - Posible modelo genético para los yacimientos de cobre del distrito minero de Punta del Cobre: Revista Geológica de Chile Nº 11 p 51-76.
- Carten, R.B. (1986) - Sodium - calcium metasomatism: Chemical, temporal and spatial relationships at the Yerington, Nevada, porphyry copper deposit: Econ. Geol., 6, p 1495-1519.
- Colley, H. y Greenbaum, D. (1980) - The mineral deposits and metallogenesis of the Fiji platform: Econ. Geol. 75, p 807-829.
- Chávez, L. y Nisterenko, G. (1974) - Algunos aspectos de la geoquímica de las andesitas de Chile. en Publ. Nº 41, Depto. Geología Univ. de Chile, p 97-127.
- Dupuy, C. y Lefèvre, C. (1974) - Fractionnement des éléments en traces Li, Rb, Ba, Sr, dans les séries andésitiques et shoshonitiques du Pérou. Comparaison avec d'autres zones orogéniques: Contr. Mineral and Petrol. 46, p 147-157.
- Espinoza, S. (1984) - Le rôle du volcanisme du Crétacé inférieur dans la métallogenèse de la ceinture ferrifère d'Atacama - Coquimbo, Chili: Tesis Doct. Univ. Paris VI, 153 p.
- Frutos, J. (1981) - Andean tectonics as a consequence of sea - floor spreading: Tectonophysics, 72, p 21-32.
- Godoy, E. (1985) - Nuevos antecedentes sobre el basamento metamórfico y la fase tectónica Infraneocomiana en la costa del Norte Chico, Chile. en Actas IV Congreso Geológico Chileno, I, p 1/370-1/384.
- Hildebrand, R. (1986) - Kiruna - type deposits: Their origin and relationships to intermediate subvolcanic plutons in the Great Bear magmatic zone, Northwest Canada: Econ. Geol., 81, p 640-659.
- Jakes, P. y White, A.J. (1972) - Major and trace element abundances in volcanic rocks of orogenic areas: Bull. Geol. Soc. America, 83, p 29-40.
- Jensen, O. y Vicente, J.C. (1979) - La fase Infra-Neocomiana a la latitud de Copiapó (Chile): Argumentos indirectos. Comunicaciones Nº 27, p 19-39.
- Jolly, W. T. (1971) - Potassium - rich igneous rocks from Puerto Rico: Bull. Geol. Soc. America, 82, p 399-408.
- Klohn, E., Holmgren, C. y Ruge, H. (1986) - El Soldado, a peculiar copper deposit associated with anomalous alkaline volcanism in the Central Chilean Coastal Range: Trabajo presentado al AIME 115th Ann. Meeting. N. Orleans, 9 p.

- Larson, R. L. y Pitman, W. C. (1972) - World - wide correlation of Mesozoic magnetic anomalies and its implications: Bull. Geol. Soc. America, 83 , p 3645-3662.
- Lawrence, L. J. y Savage, E. N. (1975) - Mineralogy of the titaniferous porphyry copper deposits of Melanesia: Proceedings Australian Inst. of Mining and Metall. Nº 256 p 1-14.
- Levi, B. (1974) - Variación de algunos elementos en trazas durante la alteración regional de coladas andesíticas del Cretácico medio en Chile central. Nota preliminar. en: Publ. Nº 41, Depto. Geología Univ. de Chile p 129-137.
- Levi, B. y Aguirre, L. (1981) - Ensilic spreading-subsidence in Mesozoic and Paleogene Andes of Central Chile: Journal Geol. Soc. London, 138, p 75-81.
- Levi, B., Nystrom, J. O., Thiele, R. y Åberg, G. (1985) - Geochemical variations in Mesozoic - Tertiary volcanic rocks from the Andes in central Chile and implications for the tectonic evolution. Expanded Abstract. en Comunicaciones Nº 35 p 125-128.
- Levi, B., Nystrom, J. O., Thiele, R. y Åberg, G. (1988) - Geochemical trends in Mesozoic - Tertiary volcanic rocks from the Andes in central Chile, and tectonic implications: Journal of South American Earth Sciences, 1, 1, p 63-74.
- Lino, S. y Rivera, S. (1985) - Sobre el ambiente depositacional de la Formación Punta del Cobre y sus implicaciones paleogeográficas. en Actas IV Congreso Geológico Chileno. I, p 1/397 - 1/409.
- Lowell, J. D. y Guilbert, J. M. (1970) - Lateral and vertical alteration - mineralization zoning in porphyry ore deposits: Econ. Geol., 65, p 373-408.
- Llaumett, C. (1975) - Faja Pacífica de cobres porfídicos y desarrollos de alteración hidrotermal en Chile. en Actas 2º Congreso Ibero- Americano de Geología Económica (Bs. Aires) II, p 331-348.
- Miyashiro, A. (1974) - Volcanic rock series in island arcs and active continental margins: Am. Journ. Sci., 274, 4, p 321-355.
- Montecinos, P. (1983) - Pétrologie des roches intrusives associées au gisement de fer El Algarrobo (Chili): Tesis Dr-Ing. Univ. Paris-Sud, 191 p.
- Munizaga, F., Huete, C. y Hervé, F. (1985) - Geocronología K-Ar y razones iniciales Sr^{87} / Sr^{86} de la "Faja Pacífica de Desarrollos Hidrotermales" en Actas IV Congreso Geológico Chileno, III, p 4/357 - 4/379.
- Olcay, L. y Alarcón, B. (1975) - Alteración hidrotermal sódica de mina El Soldado, provincia de Valparaíso, Chile. en Actas 2º Congreso Ibero -

- Americano de Geología Económica. (Bs. Aires), II, p 541-556.
- Oyarzún, J. (1971) - Contribution a l'étude géochimique des roches volcaniques et plutoniques du Chili: Tesis Doct. Univ. Paris - Sud., 195 p.
- Oyarzún, J. (1982) - El potencial ferrífero y cuprífero de los magmas, en función de su hidratación inicial, evolución y condiciones de emplazamiento. en Actas III Congreso Geológico Chileno, 2, p E 349-E 363.
- Oyarzún, J. (1985) - La métallogénie andine: Cadre géologique, pétrologique et géochimique, et essai d'interpretation: Tesis Doct. Estado Sc. Nat. Univ. Paris - Sud, 864 p.
- Oyarzún, J. y Frutos, J. (1982) - Proposición de un modelo genético para los depósitos cretácicos de magnetita del norte de Chile. Discusión de un esquema general para las mineralizaciones ferríferas asociadas al magmatismo calcoalcalino. en Actas 5º Congreso Latinoamericano de Geología (Bs. Aires). III, p 25-39.
- Oyarzún, J. y Frutos, J. (1984) - Tectonic and petrological frame of the Cretaceous iron deposits of Northern Chile: Mining Geology, 34, 1, p 21-31.
- Park, C. F. (1972) - The iron ore deposits of the Pacific basin: Econ.Geol., 67, p 339-349.
- Pichon, R. (1981) - Contribution a l'étude de la ceinture de fer du Chili. Les gisements de Bandurrias (Prov. d'Atacama) et de Los Colorados Norte (Prov. de Huasco): Tesis Dr. 3º Cycle Univ. Paris - Sud., 326 p.
- Ruiz, C. et al (1965) - Geología y yacimientos metalíferos de Chile: Inst. Invest. Geológicas (Santiago), 305 p y anexos.
- Sillitoe, R. H. (1973) - The tops and bottoms of porphyry copper deposits: Econ. Geol., 68, p 799-815.
- Sillitoe, R. H. (1981) - Regional aspects of the Andean porphyry copper belt in Chile and Argentina: Trans. Instn. Min. Metall. (Sect. B) 90, p B 15 - B 36.
- Terrazas, R. (1977) - Petrografía, alteración hidrotermal y mineralización del yacimiento cuprífero El Soldado, Prov. de Valparaíso, Chile: Tesis Doct. Cs., Univ. de Chile (Santiago).
- Zentilli, M. (1974) - Geological evolution and metallogenetic relationships in the Andes of northern Chile between 26º and 29º S. Tesis Ph. D. Univ. Queen (Canadá), 394 p.