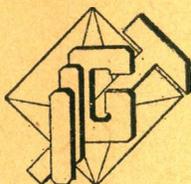


INSTITUTO DE INVESTIGACIONES GEOLOGICAS

APARTADO N° 26

DISTRIBUCION Y ORIGEN DE LA MINERALIZACION EN
CHILE.

Ing. Carlos Ruiz Fuller



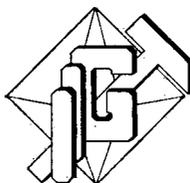
Apartado de la REVISTA MINERALES
Instituto de Ingenieros de Minas de Chile
año XX, N° 90, pp. 46-54, Julio - Sept. 1965
SANTIAGO

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES GEOLOGICAS

APARTADO N° 26

DISTRIBUCION Y ORIGEN DE LA MINERALIZACION EN CHILE.

Ing. Carlos Ruiz Fuller



Apartado de la REVISTA MINERALES
Instituto de Ingenieros de Minas de Chile
año XX, N° 90, pp. 46-54, Julio - Sept. 1965
SANTIAGO

DISTRIBUCION Y ORIGEN DE LA MINERALIZACION EN CHILE

*Ing. Carlos Ruiz Fuller**

Chile es un país que se caracteriza por su gran riqueza mineral ya conocida y desarrollada en pequeña escala desde antes del siglo XVI. Posee la mayor reserva de cobre del mundo, así como importantes recursos en minerales de hierro y yacimientos de menor magnitud de molibdeno, oro, plata, manganeso, mercurio, plomo y zinc, cobalto y tungsteno.

La mayor parte de los yacimientos metalíferos conocidos se encuentran en la mitad norte del país. La aparente escasez de yacimientos en Chile austral podría deberse en parte a falta de exploración por las condiciones físicas adversas de esa región. Sin embargo, debe hacerse notar que las condiciones geológicas difieren notablemente de las de más al norte, lo que podría manifestarse en una variación en la distribución y el tipo de yacimientos presentes.

La gran concentración de elementos metálicos en forma de yacimientos en Chile, se debe principalmente al desarrollo de una zona móvil durante el Mesozoico y el Cenozoico, que abarcó toda la extensión del país. En relación con las series metamórficas del Basamento Cristalino de edad precámbrica y con las series paleozoicas, se presentan también algunos yacimientos, pero ellos son, según lo que se sabe hasta ahora, de mucho menor importancia económica.

En sentido longitudinal, la zona móvil mesozoica-cenozoica puede dividirse en dos partes: una septentrional y otra austral. La parte septentrional que se extiende entre el límite con el Perú y los 41° de latitud S se ha denominado Geosinclinal Andino; ella contiene la mayor parte de los yacimientos metalíferos chilenos y constituye una provincia metalogénica definida. La parte austral, denominada Geosinclinal Magallánico, presenta escasa mineralización.

En el área ocupada por el Geosinclinal Andino, las investigaciones de geología regional y de geocronología por métodos radiométricos, realizadas con particular intensidad en los últimos siete años, proporcionan las bases para reconstituir, aunque todavía en forma incompleta, la historia geológica de la evolución de la zona móvil mesozoica-cenozoica. El incremento de los conocimientos geológicos básicos, ha permitido por

* Director del Instituto de Investigaciones Geológicas.

primera vez en Chile, relacionar aunque todavía en forma tentativa, la mineralización metalífera con los diversos episodios de la evolución de la zona móvil en el área del Geosinclinal Andino.

Los acontecimientos ocurridos en esta cuenca geosinclinal, especialmente los que tienen relación con la mineralización, pueden resumirse como sigue: A principios del Jurásico, junto con la formación de una cuenca, se desarrolló una activa depositación de materiales principalmente sedimentarios marinos en su mitad oriental (facies miogeosinclinal), mientras en su mitad occidental hubo una gran participación de elementos volcánicos andesíticos (facies eugeosinclinal).

Al término del Jurásico se produjo un tectonismo que en la región de la costa se evidencia por un fallamiento en bloques; este tectonismo fue seguido por una fase intrusiva, probablemente en el Malm. En el Titoniano volvió a formarse una cuenca marina con características similares a la jurásica; el borde occidental de esta cuenca estuvo en parte controlado por grandes fallas regionales de rumbos variables entre norte y nornoreste. La cuenca se mantuvo con carácter marino hasta el término del Neocomiano, período en que se produjo una regresión. Durante el Aptiano-Albiano se depositaron en ella sedimentos continentales y rocas volcánicas andesíticas. A principios del Cretácico Superior, probablemente durante el Cenomaniano, hubo un período de tectonismo seguido por una fase intrusiva. En el Senoniano y posiblemente hasta el Eoceno se desarrolló una nueva cuenca, de carácter continental, donde se acumularon principalmente materiales volcánicos, andesíticos a riolíticos, los que en parte alternan con sedimentos clásticos continentales. En el Eoceno se produjo un tectonismo seguido por una fase intrusiva, probablemente también eocena, la que cerraría el proceso de evolución de la zona móvil mesozoica-cenozoica.

Las rocas graníticas que representan las diversas fases intrusivas correspondientes a la evolución de la zona móvil, se distribuyen en fajas longitudinales. La más occidental de estas fajas corresponde a la fase del Jurásico Superior, la intermedia a la del Cretácico Superior y la oriental a la del Terciario Inferior. Las dos primeras intruyeron en el área de la cuenca marina ocupada actualmente por depósitos eugeosinclinales del Jurásico Superior y del Cretácico Inferior y la tercera en el borde oriental de éstos.

Las relaciones entre la mineralización de la provincia metalogenética del Geosinclinal Andino y los diversos episodios de su evolución se han esquematizado en el cuadro N.º 1.

Durante el Jurásico Medio a Superior se desarrolló una fase de volcanismo andesítico que tuvo gran intensidad en la provincia de Anfagasta, en el tramo de la Cordillera de la Costa comprendido entre las latitudes 22° y 26°S. Allí la acumulación de rocas volcánicas alcanza espesores hasta de aproximadamente 10.000 m. En numerosos lugares de la región,

Cuadro N.º 1

EPISODIOS DEL DESARROLLO DEL GEOSINCLINAL ANDINO Y SU RELACION CON LA MINERALIZACION

TERCIARIO	Edad probable de la mineralización	Episodios del Desarrollo Geosinclinal Asociados Genéticamente a la Mineralización	Tipo de Yacimientos
	CRETACICO	Eoceno	Fase intrusiva; granodiorita y pórfido monzonítico a tonalítico.
Senoniano A Eoceno		Volcanismo riolítico y dacítico.	Yacimiento de cobre tipo manto singenético, en tobas ignimbríticas
Cenomaniano A Senoniano		Sedimentación en cuencas lagunares y volcanismo andesítico.	Yacimientos sedimentarios de cobre
Cenomaniano		Fase intrusiva; granodiorita a monzonita.	Yacimientos de metamorfismo de contacto, de hierro y apatita; vetas de cobre, oro y plata
Aptiano A Albiano		Sedimentación en cuencas lagunares de agua dulce o salobre, y volcanismo andesítico	Yacimientos sedimentarios de manganeso y cobre, y yacimientos en coladas andesíticas
JURASICO	Hauteriviano A Barremiano	Sedimentación marina y volcanismo andesítico	Yacimientos sedimentarios de manganeso; yacimientos de cobre, probablemente singenético, en calizas marinas y coladas andesíticas
	Malm	Fase intrusiva; diorita a adamelita	Vetas de cobre de alta temperatura, con cobalto, molibdeno y uranio
	Dogger Y Malm	Volcanismo andesítico	Yacimientos de cobre en la parte alta de las coladas andesíticas; probablemente singenético

en las rocas andesíticas existen yacimientos cupríferos estratiformes o en forma de diseminaciones irregulares. Los yacimientos estratiformes ocupan principalmente la parte alta vesicular o brechosa de cada colada. Los minerales metálicos consisten principalmente en bornita, calcosina, calcopirita, cobre nativo y hematita.

La presencia de una mineralización de este tipo en una extensión longitudinal de 450 km, su aparente falta de relación con rasgos estructurales definidos, con alteración hidrotermal, o con la distribución de los cuerpos intrusivos cercanos, hacen más admisible la idea de un origen

singenético que podría estar relacionado en parte con procesos volcánicos exhalativos.

En relación con la fase intrusiva del Jurásico Superior, representada principalmente por rocas intrusivas de composición variable entre diorita y adamelita, se presentan numerosos yacimientos vetiformes en su mayor parte cupríferos. Estos yacimientos tienen una asociación paragenética de alta temperatura y, además de cobre, tienen contenidos pequeños de cobalto, molibdeno y uranio. Se distribuyen en una faja occidental cercana a la costa que se extiende por 750 km entre las latitudes 22° y 29°S y que coincide con el área de afloramiento de las rocas graníticas de la fase intrusiva jurásica. Las fracturas mineralizadas que constituyen los yacimientos, en general tienen rumbo este y su origen probablemente está relacionado con el tectonismo que se hizo presente al término del Jurásico. Algunos de estos yacimientos alcanzaron gran importancia económica en el siglo pasado y contribuyeron a que Chile, en aquella época, llegara a ser el primer país productor de cobre del mundo.

Al final del Neocomiano, probablemente en el Hauteriviano-Barremiano, se inició un proceso de regresión en la parte de la cuenca correspondiente al Geosinclinal Andino; durante la regresión, junto con la última fase de sedimentación marina, se desarrolló un importante volcamiento andesítico cuyos productos alternan principalmente con rocas calcáreas marinas. En las series correspondientes a esta fase de la evolución geosinclinal se presentan numerosos yacimientos estratiformes, en especial de cobre y manganeso. Los yacimientos cupríferos se distribuyen desde algo al sur de Santiago hasta el norte de La Serena.

La mineralización de cobre consiste en bornita, calcosina y calcopirita; estos minerales se presentan finamente diseminados en calizas o en lavas andesíticas, principalmente en la parte alta vesicular de las coladas. La amplia distribución de estas acumulaciones cupríferas en una posición estratigráfica similar, su ninguna relación con estructuras que hayan controlado el acceso de soluciones mineralizantes, o con la distribución de cuerpos intrusivos, y la ausencia casi total de minerales de ganga o de minerales de alteración, hacen más justificable la hipótesis de un origen singenético de la mineralización.

Durante la misma fase regresiva, en la parte noreste de La Serena, se originaron también yacimientos sedimentarios de manganeso en ambiente marino de poca profundidad. En algunos de estos yacimientos hay evidencias de que el manganeso provino de exhalaciones derivadas de un volcanismo andesítico contemporáneo.

Durante el Aptiano y el Albiano se mantuvo una cuenca móvil en hundimiento, pero de carácter continental; en ella, además de la deposición de sedimentos clásticos continentales, se acumularon grandes espesores de rocas volcánicas. Conjuntamente con la actividad volcánica efusiva se desarrolló en ciertos períodos una actividad exhalativa con

abundantes vertientes termales manganesíferas; éstas habrían originado los más importantes yacimientos de manganeso del país, en forma de mantos que alternan con rocas clásticas y volcánicas; los principales minerales son braunita, pirolusita y psilomelano. Estos yacimientos se distribuyen en su mayor parte en la provincia de Coquimbo.

La sedimentación y la depositación de rocas volcánicas en la cuenca continental del Aptiano-Albiano fue interrumpida a comienzos del Cretácico Superior por un período de diastrofismo que fue seguido por una fase intrusiva de probable edad cenomaniana; la fase intrusiva está representada por rocas de composición variable entre granodiarita y monzonita y, además, por facies marginales de gabro y diorita. Estas rocas constituyen extensos batolitos elongados longitudinalmente, con rumbos variables entre norte y noreste, y que se ubican directamente al este de los intrusivos de la fase del Jurásico Superior. Los batolitos del Cretácico Superior intruyen principalmente las rocas del Cretácico Inferior, que se acumularon en la faja occidental de la cuenca titoniana-neocomiana y que tienen el carácter de depósitos eugeosinclinales. En su distribución espacial estos batolitos fueron controlados por las grandes fallas regionales que constituyeron el borde occidental del graben titoniano-neocomiano.

En relación genética con esta fase intrusiva se originaron, en la parte del país comprendida entre los 26° y los 32° 30' de latitud S., numerosos yacimientos de metamorfismo de contacto de hierro y en menor cantidad de cobre, y yacimientos vetiformes de cobre, oro y plata. Los yacimientos de hierro son cuerpos macizos de formas y dimensiones variadas, constituidos, en su mayor parte, por magnetita; asociadas con ésta existe hematita, anfibola, apatita y escapolita; la roca huésped de los cuerpos mineralizados es principalmente metaandesita, en la que se ha desarrollado abundante actinolita, escapolita, apatita y biotita.

El origen de estos yacimientos estaría relacionado con la liberación de una fase gaseosa desde el magma que constituyó los batolitos del Cretácico Superior; esta fase volátil habría estado constituida, en su mayor parte, por vapor de agua, ácido clorhídrico, cloruro férrico y varios otros cloruros. Los elementos gaseosos mencionados habrían producido la alteración de las andesitas e igualmente la acumulación de hierro en zonas favorables por su tectonización; el metal se habría depositado en forma de óxidos de hierro debido a reacciones internas en la fase gaseosa o, de ella con la roca atravesada, provocadas por cambios en las condiciones físico-químicas. Los yacimientos de hierro de este tipo constituyen un grupo de más de cuarenta yacimientos en los que se han reconocido tonelajes variables entre medio millón y unos cien millones de toneladas de minerales de ley medio superior a 60% de Fe. Ellos se distribuyen en una faja de dirección norte-sur de más de 700 km de longitud.

Los yacimientos cupríferos genéticamente relacionados con la fase intrusiva del Cretácico Superior son principalmente vetiformes; los más importantes corresponden a la mineralización parcial de fallas regionales predominantemente de rumbo norte. La asociación paragenética corresponde a una temperatura intermedia de formación y consiste principalmente en calcopirita, especularita y pirita. Algunos de estos yacimientos han sido importantes productores de cobre, especialmente en el siglo pasado. Parte de los yacimientos cupríferos que aparecen especialmente relacionados con los intrusivos cretácicos son del tipo de metamorfismo de contacto; sus rocas huéspedes son series calcáreas metamórficas, pertenecientes a la fase regresiva de la cuenca marina neocomiana donde están incluidos los yacimientos estratiformes a que se hizo referencia anteriormente. Este hecho permite suponer que los primeros mencionados son el equivalente metamórfico de los yacimientos supuestamente singenéticos contenidos en las series neocomianas.

Los yacimientos auríferos que pueden asociarse a la fase intrusiva cretácica son, en su mayoría, vetiformes y la asociación paragenética corresponde a una temperatura intermedia de formación. Las fracturas mineralizadas son, en general, de poca extensión y los cuerpos mineralizados comercialmente explotables se han originado por enriquecimiento secundario en condiciones de clima árido.

Los yacimientos argentíferos, probablemente asociados a esta fase intrusiva, son todos vetiformes y se presentan como vetas de fisuras en general poco extensas; la asociación paragenética corresponde a baja temperatura de formación. Al igual que en los yacimientos auríferos, los cuerpos mineralizados explotables se deben a la acción de procesos de enriquecimiento secundario; en muchos de los yacimientos la gran importancia del enriquecimiento secundario se debe a la existencia de un paisaje maduro durante el Terciario Superior.

En relación con las fases de sedimentación y de volcanismo andesítico y riolítico, que ocurrieron en la cuenca continental que representó la persistencia de la zona móvil durante el Senoniano y el Terciario Inferior, probablemente hasta el Eoceno, se originaron varios yacimientos cupríferos singenéticos. Algunos de ellos son sedimentarios, formados por la concentración de sulfuros tales como bornita, calcopirita y calcosina en brechas sedimentarias que alternan con sedimentos lúmnicos calcáreos; esta mineralización constituye yacimientos estratiformes de gran extensión horizontal. Otros son, en parte, volcánicos; en parte, sedimentarios, como los que están relacionados con flujos de tobas ignimbríticas y que se presentan en la región de Copiapó. La mineralización cuprífera, principalmente, calcosina, se distribuye en la parte alta de los flujos de toba como una diseminación fina, y también en la brecha sedimentaria sobrepuesta; en esta brecha, tanto los clastos como la matriz están formados por material mineralizado derivado de la toba subyacente.

En relación genética con las rocas ígneas que constituyen la fase intrusiva del Terciario Inferior, se presenta la mineralización metalífera más importante de Chile, representada por los yacimientos principalmente cupríferos llamados "porphyry copper", como los de Chuquicamata, El Salvador y El Teniente. Los intrusivos del Terciario Inferior se distribuyen en una faja longitudinal que se ha reconocido desde el límite con el Perú hasta la latitud 35°S , o sea, unos 2.000 km en dirección norte-sur. La faja de distribución de estos intrusivos es la más oriental de las correspondientes a las diversas fases intrusivas del desarrollo de la zona móvil mesozoica-cenozoica; ello sugiere que la actividad ígnea intrusiva se fue desplazando de oeste a este durante la evolución de la zona móvil.

Petrográficamente, los intrusivos corresponden a: granito, adamelita y granodiorita, pórfidos tonalíticos a monzoníticos, y latita y dacita. Según sus afloramientos, se presentan plutones no muy extensos y cuerpos relativamente pequeños en forma de cuellos y filones; muchos de ellos por sus características morfológicas y texturales, podrían corresponder a intrusiones cercanas a la superficie.

Los yacimientos tipo porphyry-copper, que con toda probabilidad están asociados a esta fase intrusiva del Terciario Inferior, constituyen macizos mineralizados, cuya roca huésped, en parte, la constituyen pórfidos intrusivos y en parte rocas de las series intruidas, principalmente rocas volcánicas andesíticas y dacíticas. La mineralización se distribuye en sistemas de venillas reticuladas que atraviesan la roca huésped y a partir de las cuales se ha producido, además, una fina disseminación de minerales, principalmente sulfurados. Las formas de los macizos mineralizados son muy variables; así, aunque en todos ellos el cuerpo mineralizado es aproximadamente vertical, las secciones horizontales pueden ser oblongas, aproximadamente elípticas, anulares o en forma de media luna. La formación de fracturas reticulares, posteriormente transformadas a venillas mineralizadas, se atribuye generalmente a colapso por hundimiento, a fracturamiento en la periferias de una columna de magma que se movió verticalmente en forma alternante, o a fracturamiento relacionado con la actividad de centros explosivos, sin derrames magmáticos (diatremes). Todas estas posibles explicaciones requieren una actividad intrusiva cercana a la superficie.

Los minerales primarios de cobre más importantes que se presentan en este tipo de yacimientos son calcopirita, bornita, enargita y calcosina. Junto con los minerales cupríferos, se han depositado cantidades relativamente pequeñas de molibdenita, cuya extracción como subproductos de la explotación cuprífera ha ido adquiriendo una importancia económica creciente, hasta alcanzar, en valor, el cuarto lugar en la exportación de minerales chilenos. Además de los minerales útiles mencionados se

presentan, como minerales de ganga, pirita, cuarzo, turmalina, anhidrita, etc.

En estrecha relación espacial con muchos de los yacimientos de este tipo, se presentan chimeneas brechosas con fragmentos angulares, en una matriz que lleva abundante turmalina y cuarzo; en estas chimeneas, junto con los minerales mencionados, aparece comúnmente calcopirita y en alguna de ellas, minerales de tungsteno, schelita y wolframita, cuyo reconocimiento puede dar lugar en el futuro a una explotación de relativa importancia.

Una característica distintiva de los yacimientos tipo porphyry copper, es una intensa y difundida alteración hidrotermal que afecta a los pórfidos intrusivos y a las rocas intruidas, tanto en el espacio ocupado por los cuerpos mineralizados, como en las regiones adyacentes; esta alteración consiste, principalmente, en silicificación, sericitización, caolinización y cloritización, y muestra una distribución zonar a partir de centros de mineralización o de intrusión. Al igual que la alteración, la mineralización primaria, especialmente en escala regional, muestra una distribución zonar, con centros de más intensa mineralización, representados por minerales de cobre, molibdeno y tungsteno, y áreas periféricas con zinc, plomo, plata y antimonio. Para la mayoría de los yacimientos de este tipo, los procesos de enriquecimiento secundario han sido un factor decisivo en su valorización económica; en efecto, en muchos de ellos, dichos procesos han elevado las leyes de la zona primaria (protore), desde aproximadamente 0,3 a 0,5% de cobre, a contenidos del orden de 1 a 2% en las zonas de enriquecimiento secundario. Según los conocimientos actuales, los procesos de enriquecimiento secundario tuvieron lugar, principalmente, durante el Terciario Superior, cuando el país había sido reducido por erosión a una superficie en avanzado estado de madurez, casi una peniplanicie, y con anterioridad al solevantamiento de los Andes; ello revela la trascendencia económica que pueden tener en Chile las investigaciones detalladas de geomorfología relacionadas con los acontecimientos del Terciario Superior y del Cuaternario.

Con la mineralización originada por la fase intrusiva del Terciario Inferior, se cierra el ciclo metalogénico de la zona móvil mesozoica-cenozoica en el área del llamado Geosinclinal Andino. Existen yacimientos de edad más joven en la parte norte del país, pero ellos están ubicados al este del borde oriental de la cuenca geosinclinal. Entre ellos deben mencionarse: yacimientos sedimentarios de cobre, en series clásicas de tipo "red beds", probablemente de edad eocena a miocena, cuya fuente de origen se encuentra hacia el oeste; y los grandes yacimientos de hierro de El Laco asociados al volcanismo andesítico cuaternario y cuyo origen es todavía materia de conjeturas.

En la parte sur de la cuenca mesozoica-cenozoica o sea en el área del llamado Geosinclinal Magallánico, hasta ahora no se han establecido mi-

neralizaciones de importancia. En la faja occidental de la antigua cuenca, donde posiblemente se acumularon depósitos eugeosinclinales, se presentan ahora extensos batolitos que constituyen el llamado Batolito Patagónico. Según determinaciones geocronológicas por métodos radiométricos, estos batolitos corresponden a fases intrusivas sincrónicas con las determinadas en el área del Geosinclinal Andino. La ausencia de las rocas intruidas en esta región y las características texturales que se observan en las rocas intrusivas graníticas, permite formular la hipótesis de que esa región ha sido profundamente erosionada. Esta hipótesis explicaría la ausencia de yacimientos metalíferos de afiliación magmática.

En las series del Basamento Cristalino de probable edad precámbrica, que se distribuyen principalmente en la región costanera de Chile central-sur, la mineralización determinada hasta ahora es relativamente escasa. La más importante corresponde a yacimientos estratiformes sedimentario-metamórficos de hierro, incluidos en una serie de esquistos metamórficos. El mineral tiene textura laminar y está constituido por magnetita y cuarzo granular, correspondiendo, por lo tanto, a una facie de óxidos, similar a la de las itabiritas del Brasil; sin embargo, a diferencia de los depósitos del Brasil, no se ha reconocido todavía la existencia de cuerpos enriquecidos en la formación ferrífera.

En series metamórficas, integradas por filitas, esquistos y mármoles, que se presentan en la región andina del extremo sur del país y que se atribuyen al Paleozoico Inferior, se encuentra la única mineralización de importancia reconocida hasta ahora, relacionada con rocas paleozoicas. Los afloramientos de estas series constituyen una faja elongada longitudinalmente que se extiende por más de 1.000 km; a ella se asocian numerosos yacimientos, generalmente en forma de cuerpos macizos, que llevan pirita, magnetopirita, blenda, calcopirita y galena en parte argentífera, constituyendo una provincia metalogenética definida.

En esta exposición sucinta, en muchos aspectos incompleta, sobre los yacimientos metalíferos de Chile, hemos querido enfocar el tema desde el punto de vista de su probable génesis, encuadrada dentro de un proceso más general de la evolución de la corteza terrestre, como es el desarrollo de una zona móvil.

De la exposición anterior puede deducirse claramente que sin un conocimiento geológico cabal de una región, derivado de investigaciones científicas puras, no pueden entenderse los procesos de la mineralización. Por otra parte, el conocimiento de esos procesos es una herramienta valiosísima y casi indispensable para una fructífera exploración y desarrollo de los recursos minerales de un país. Este tipo de investigaciones constituye, así un ejemplo concreto de la aplicación de la investigación científica al desarrollo económico.

Impresores:

Talleres Gráficos Periodística Chile Ltda.

Patronato 220 — Fono 371501

Santiago de Chile