

SOBRE EL POSIBLE CONTROL TECTONICO DE LOS YACIMIENTOS DE COBRE PORFIDICO EN LA CUENCA ANDINA CHILENA

JOSE FRUTOS J. *Instituto de Investigaciones Geológicas*

RESUMEN

La ubicación geológico-geográfica de los yacimientos de cobre porfídico o diseminado (porphyry copper) en la Cuenca Geosinclinal Andina Chilena, parece estar directamente controlada por la evolución tectónica de ella. En tal sentido la ubicación de las zonas enriquecidas se relaciona con la 'dorsal mesoliminar' o zona de transición, que separa los ambientes eugeosinclinal y miogeosinclinal a lo largo de toda la cuenca. En especial se relacionan con la franja orientada sub-parallelamente al eje de la cuenca, en la cual, debido principalmente a las fases compresivas del Cretácico Superior y Cenozoico, se producen los sobreescurremientos de mayor importancia hacia el este con parcial cabalgamiento de la dorsal mencionada sobre el surco miogeosinclinal. Esta franja tectónico-estructural coincide con la zona en que se ubican los procesos magmáticos involucrados (Cretácico Superior-Cenozoico).

La ubicación espacial del magmatismo, el ambiente físico-químico sedimentario adecuado y las estructuras, que son fenómenos todos, asociados con el enriquecimiento de cobre diseminado, tienen obviamente directa relación con el fenómeno geotectónico antes señalado y la evolución del margen occidental del continente.

ABSTRACT

The geological-geographical location of the many porphyry copper deposits in the geosynclinal basin of the Chilean Andes, appears to have been directly controlled by tectonic evolution of the basin. In this way the location of the porphyry copper deposits are related to the *mesodorsal* or transitional zone which separates the eugeosynclinal and miogeosynclinal zones throughout the length of the basin. The porphyry coppers are specifically related to the eastern fringe, located parallel to the axis of the basin, in which, due principally to the compressive phases of the Upper Cretaceous and Cenozoic rocks, some important overthrustings occur, with a partial riding of the mesodorsal zone on the miogeosynclinal furrow.

The Upper Cretaceous-Cenozoic magmatic processes involved in the evolution of the geosynclinal basin and their spatial location, the sedimentary physicochemical environment and the tectonic structures directly associated with the porphyry copper deposits, obviously have a direct relation with the tectonic phenomenon mentioned and the evolution of the western margin of the continent.

INTRODUCCION

Con el presente artículo se propone presentar a la crítica y consideración de los geólogos y otros profesionales, cuya labor tenga relación con la exploración y prospección de nuestras principales riquezas mine-

rales, un conjunto de ideas con el carácter de hipótesis de trabajo, cuya posterior comprobación, perfeccionamiento o corrección podría redundar en criterios valiosos en la búsqueda de tales minerales.

El autor agradecerá cualquier crítica o sugerencia en tal sentido.

1. FACTORES DE IMPORTANCIA EN EL ENRIQUECIMIENTO Y EMPLAZAMIENTO DE CUERPOS DE COBRE DISEMINADO. REVISION DE CONCEPTOS

Numerosos factores geológicos, geofísicos y geoquímicos se reconocen como importantes en la formación de yacimientos de cobre porfídico. Se exponen a continuación los fenómenos geológicos actualmente aceptados relacionados con el enriquecimiento en metales, que serán explicados por nosotros en la argumentación geotectónica del siguiente capítulo.

Los criterios más importantes podrían sintetizarse como sigue:

Después de numerosos análisis realizados en las rocas ígneas por diversos autores acerca de la concentración en ellas de los metales comunes, puede deducirse lo siguiente: se encuentran en trazas asociados preferentemente a las rocas ígneas máficas y ultramáficas, fierro, cobre, níquel, cromo, titanio, platino y en menor grado plata, cobalto y vanadio (Krauskopf, 1967).

El cobre se encuentra en las siguientes concentraciones en partes por millón:

	Turekian y Wedepohl *	Vinogradov *
Ultramáficas	10	20
Máficas	87	100
Intermedias	30	35
Graníticas	10	20
Sieníticas	5	---

No obstante lo anterior, los yacimientos de los metales principales, especialmente aquellos de cobre diseminado, aparecen más bien asociados a rocas ígneas félsicas intermedias, y aún más, la mayoría de tales depósitos se asocian preferentemente a rocas porfíricas más que a rocas equigranulares. En Chile, como también en Norteamérica (Kraus-

* Turekian y Wedepohl (1961) incluyen las granodioritas como rocas intermedias; Vinogradov (1962) las incluye en los granitos.

kopf, 1967) se reconoce que los yacimientos de cobre porfídico están ligados a rocas ígneas jóvenes del Cretácico Superior y en especial del Terciario.

Es un hecho generalmente aceptado que el agua que circula en el subsuelo, con toda su gama de fenómenos y estados físico-químicos diferentes y las distintas condiciones de presión, temperatura y composición a que pueda estar sometida (ya sea de origen meteórico, agua connata atrapada originalmente con sedimentos, agua liberada por las rocas en los procesos de metamorfismo, agua juvenil resultante de la actividad plutónica y/o volcánica o una mezcla de todas ellas), cumple un papel extraordinariamente importante en la movilización y enriquecimiento de los metales (Burnham, 1967; Barnes y Czamansk, 1967).

Las rocas basálticas primarias (del manto) tienen relativamente poca agua y no pueden generar fluidos hidrotermales sino solamente después de asimilar materiales más silíceos (de la corteza) que la contengan (Wells, 1956). Esto podría explicar el porqué, en general en la Cadena Andina las rocas basálticas no se asocian directamente a yacimientos de esos elementos, aunque tienen, en general, una concentración mayor de metales.

Los yacimientos metalíferos que se han encontrado asociados a rocas máficas y ultramáficas se explicarían solamente pensando en alguna forma de segregación de los metales en el magma original.

Se ha demostrado ampliamente a través del análisis de gases y sublimados volcánicos, la especial capacidad de concentración de los metales comunes en los procesos volcánicos a partir de la concentración inicial en el magma madre, cualquiera que ella sea.

Diversos estudios de las relaciones estructurales de muchos yacimientos asociados a volcanismo, demuestran que éstos ocurren en las raíces de antiguos volcanes.

También se ha reconocido la gran capacidad de depositación de metales en los procesos volcánicos submarinos (Barnes, 1967).

Aunque los sedimentos tienen, en general, el mismo promedio de concentración de elementos me-

tálicos que muestra la corteza en conjunto, se reconocen ambientes sedimentarios más favorables, por sus condiciones físico-químicas, para la mayor concentración de metales pesados. Se ha demostrado (también en forma experimental) que especialmente en aquellos sedimentos de fondo marino en condiciones de estancamiento, con poca circulación y condiciones reductoras en general, se produce la precipitación de los sulfuros minerales más comunes.

En este aspecto las lutitas son los sedimentos que muestran mayor concentración, especialmente aquellas con alto contenido de materia orgánica (condiciones de estancamiento) (Krauskopf, 1967).

En estos casos el enriquecimiento es anormalmente alto en los siguientes elementos: vanadio, molibdeno, níquel, cobre y uranio; sin que por esto lleguen a constituir por sí solos, yacimientos económicamente explotables.

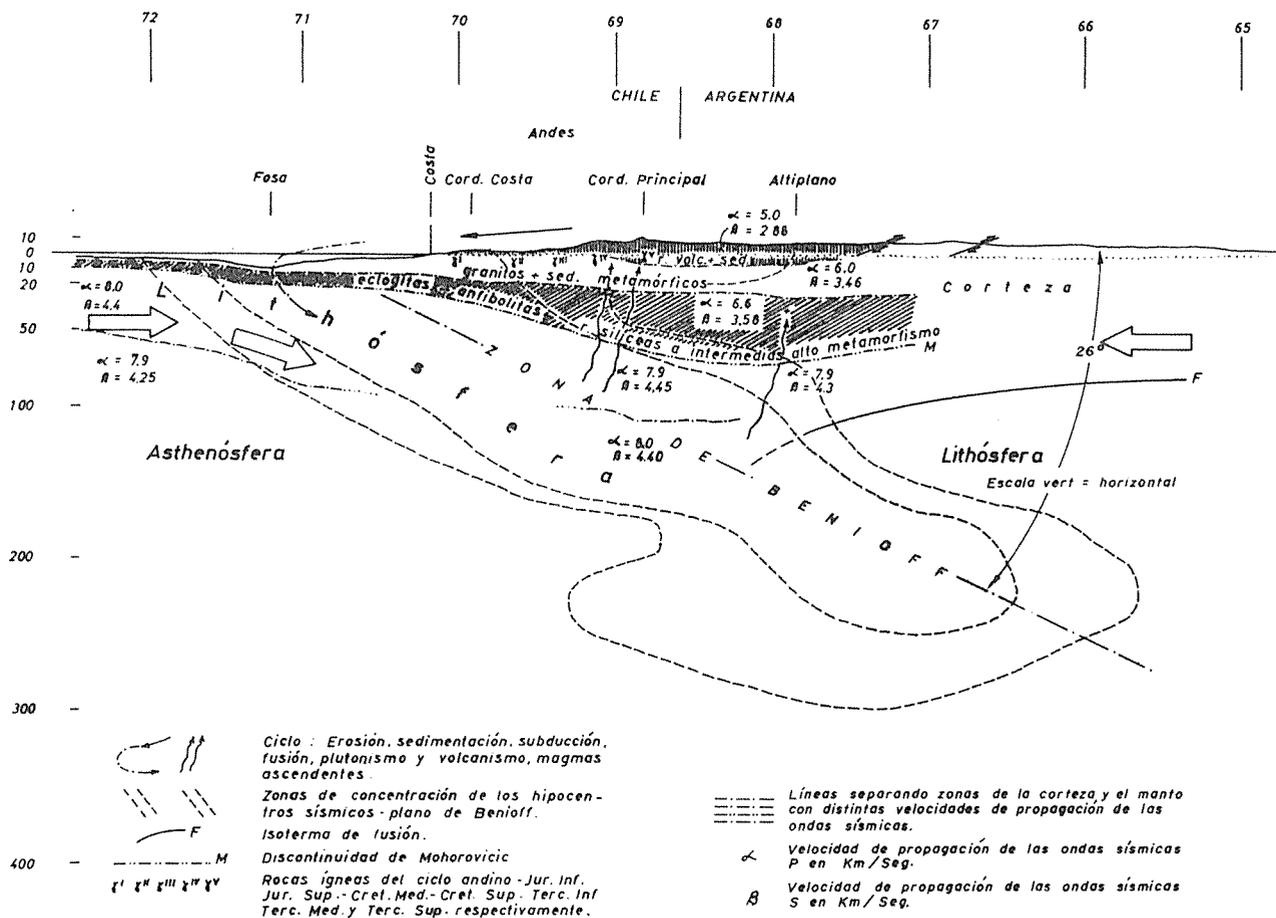
Pero aún en estos casos el enriquecimiento debido al proceso sedimentario está condicionado obviamente por el grado de concentración de los metales en las rocas, a partir de las cuales se originaron estos sedimentos. También es importante reconocer el papel de las evaporitas y salmueras como factor de enriquecimiento de metales, en las cuencas sedimentarias (Brousse y Oyarzún, 1971).

Aún el más superficial estudio de la distribución mundial de los yacimientos metalíferos mostraría inmediatamente el hecho que los depósitos minerales tienden a agruparse y a ser particularmente ricos en ciertas áreas geográfico-geológicas, bien específicas en algunos casos de la tierra.

En tal sentido las zonas orogénicas se han reconocido como especialmente conectadas con enriquecimientos metalíferos. En tales regiones, específicamente las cuencas pericratónicas, pericontinentales (Andes-Rocallosas), se ha puesto en evidencia desde bastante tiempo (Lindgren, 1933), el cambio del magmatismo, en el espacio y en el tiempo, desde la zona oceánica de la cuenca (tras-país) en que las rocas son en general más antiguas y del tipo dioritas a cuarzo-dioritas, hasta el borde continental-estable de la cuenca (ante-país) en que las rocas aparecen en general ricas en álcalis y son más jóvenes (fig. 1, γ^I , γ^{III} ... etc.)

Fig. 1.- PERFIL GEOLOGICO GEOFISICO LAT 22° S

Por : J. Frutos, 1972.



2. LA EVOLUCION TECTONICA ANDINA Y SU IMPORTANCIA EN EL CONTROL METALOGENICO

La deriva continental y la evolución de la corteza.

Debido al importante avance de la geotectónica en los últimos años se ha llegado a comprender mejor la dinámica terrestre y por ende todos los procesos y fenómenos geológicos controlados por esos movimientos y su evolución a través del tiempo. Gracias a ello podemos ahora entender mejor muchos hechos geológicos que eran hasta hace algún tiempo de difícil explicación.

Las investigaciones en tectónica global y los estudios geoquímicos e isotópicos permiten pensar que la corteza está aún evolucionando en cuanto a compo-

sición se refiere. Esto último incluiría algunos fenómenos de enriquecimiento paulatino de la corteza sílica en ciertos elementos a expensas de materiales del manto, a través de los fenómenos magmáticos, en un largo proceso tectónico cíclico selectivo en las zonas de tectonismo e interacción del manto y la corteza - dorsales meso-oceánicas y especialmente las zonas pericontinentales de encuentro de placas (Zona de Benioff) (fig.1).

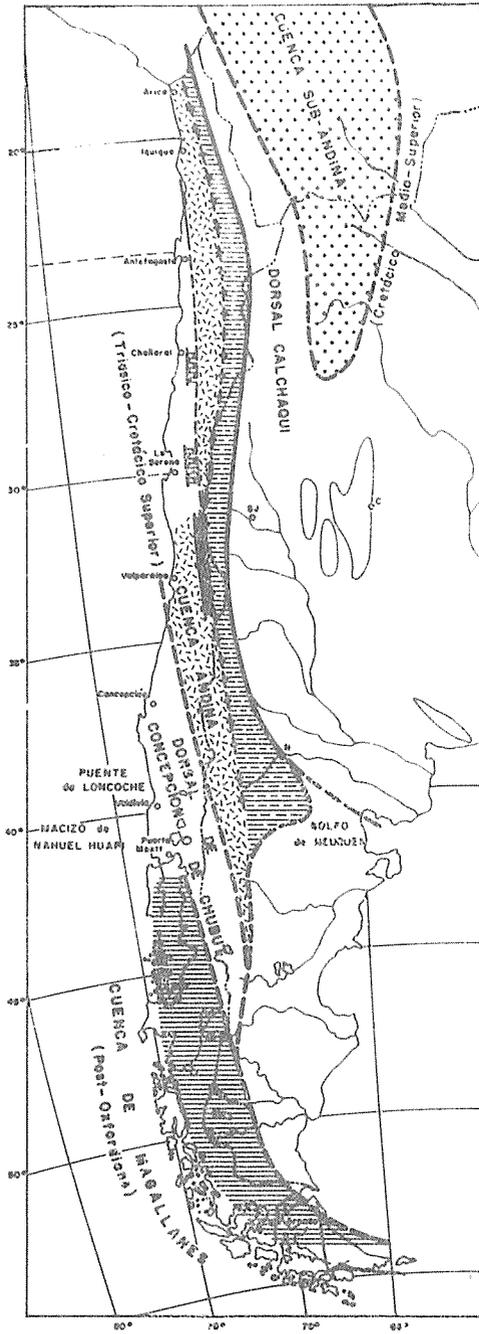
En la Cuenca Geosinclinal Andina del Mesozoico-Cenozoico se ha observado una progresiva migración de la actividad ígnea hacia el este a través del tiempo y también un cambio paulatino de composición en ese mismo sentido.

Las dataciones radiométricas realizadas han permi-

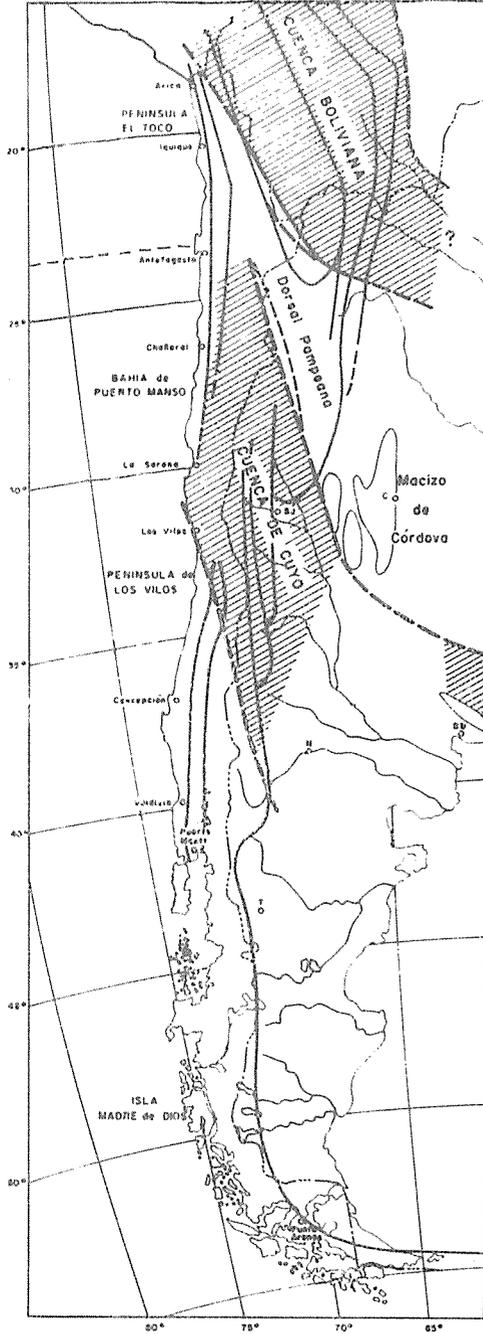
Fig. 2.- BOSQUEJO PALEOGEOGRAFICO CADENA ANDINA - MAGALLANICA

(Tomado en Aubourg et al 1971)

CICLO ANDINO
Mesozoico - Cenozoico



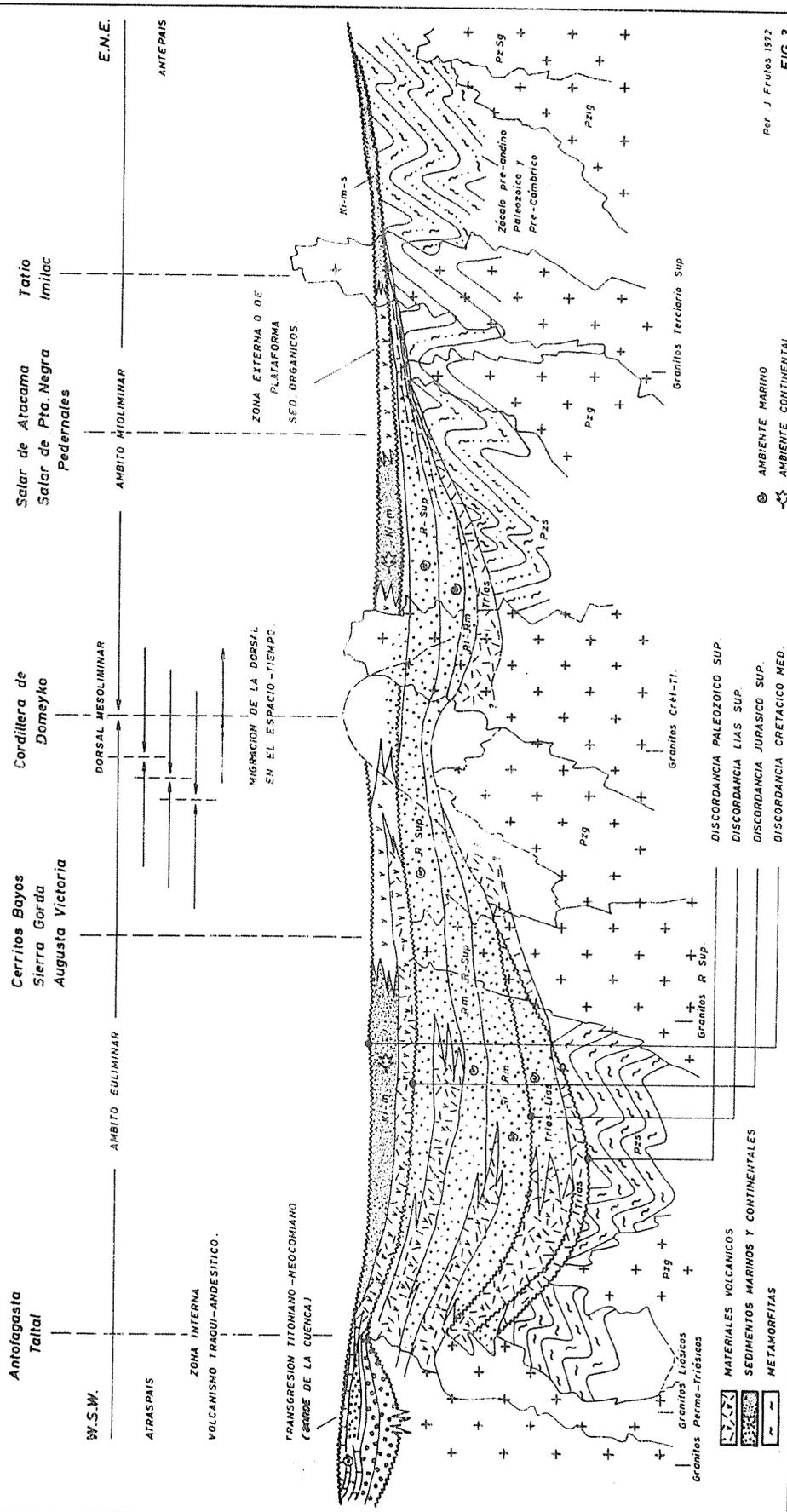
CICLO CALEDONICO - HERCINICO
Paleozoico



LEYENDA

- | | | | |
|--|--|--|---|
| | Facies sedimentarias externas no volcánicas | | Cuenca de Magallanes, facies marinas del Jurásico-Superior |
| | Facies volcánica-sedimentarias externas. | | Cretácico Superior continental de la Patagonia |
| | Facies volcánicas asociadas a niveles locustros del Jurásico-Cretácico inferior. | | Extensión probable de cuencas pre-andinas |
| | Cuenca Titicaca-Mesopotámica | | Las líneas continuas indican los límites de las unidades morfo-estructurales actuales |
| | Cuencas sub-andinas predominantemente continentales del Cretácico | | o Ciudades |
| | Dorsal mesolimitar y zona de transición entre Eu y Magallánica | | |

PERFIL ESQUEMATICO TECTONICO-PALEOGRAFICO EVOLUTIVO DE LA CUENCA ANDINA EN EL MESOZOICO INFERIOR Y MEDIO — NORTE DE CHILE
 NO SE HA REPRESENTADO LA COBERTURA CENOZOICO-RECIENTE .



tido incluso dar una medida aproximada de la velocidad de migración del orden de 1 km/millón de años, (James, 1971) en que a grandes rasgos y sin considerar la oblicuidad de la cuenca con respecto a la actual Cadena Andina volcánica cuaternaria, las rocas graníticas jurásicas aparecen cercanas a la costa actual, las rocas ígneas cretácicas y del Terciario Inferior aparecen en la depresión central del norte de Chile y las rocas ígneas del Terciario Superior en la alta cordillera andina (figs.2 y 3).

Por otra parte, numerosos trabajos han mostrado que el magmatismo se va haciendo cada vez más alcalino hacia el ante-país (hacia el este). El aumento del contenido de potasio estaría directamente relacionado con la profundidad de la zona de Benioff en la cual se presume que se origina (James, 1971; Gilluly, 1971).

De enorme interés es también la idea que sugiere un enriquecimiento gradual de los magmas de la corteza en ciertos elementos metálicos, el cobre entre ellos. Esto se debería a la migración de los sedimentos profundos de la fosa, los que por sus condiciones reductoras favorecen la precipitación de sulfuros metálicos, a través de la zona de Benioff hasta regiones profundas de la corteza en que por fusión y un cierto grado de mezclamiento con materiales del manto, pueden ir generando magmas cada vez algo más ricos en cobre a través del tiempo. Es posible que este mismo mecanismo cíclico de enriquecimiento ocurra para el agua, el Cl y el S (Oyarzún, 1972).

De esta forma tenemos, en una primera aproximación, la ubicación de los centros magmáticos y su cambio de composición en el espacio y en el tiempo controlada a grandes rasgos por la deriva continental. Más adelante al analizar la evolución de la cuenca durante el Mesozoico-Cenozoico, se verán con mayor detalle los otros factores tectónicos que producen un control más preciso del magmatismo y de la mineralización.

La Cuenca Andina Mesozoica-Cenozoica y la franja de cobre diseminado.

La Cuenca Geosinclinal Andina o *cuenca liminar Andina* para diferenciarla de lo que se ha definido como geosinclinal típico*, se desarrolla a partir del Mesozoico Inferior como cuenca pericratónica pericontinental en el borde occidental de la placa continen-

tal de América del Sur, sobre un basamento constituido principalmente por rocas paleozoicas.

En general ha sido definida como una cuenca alargada y estrecha, como "dedo de guante" (Aubouin *et al.*, 1971) activa, de sedimentación marina durante el Jurásico y Cretácico Inferior y de cuencas continentales intermontanas en el Cretácico Superior-Cenozoico, cuyo eje presenta una dirección que varía desde NO en el Mesozoico Inferior, NNO en el Mesozoico Superior a N-S en el Cenozoico (Frutos, 1970; 1972).

En su etapa marina, la cuenca se extiende en Chile cruzando diagonalmente, aproximadamente en latitud 38°S, la actual cadena volcánica andina cuaternaria, desde la zona precordillerana de Arica hasta lo que se ha llamado el "golfo de Neuquén" en Argentina, que constituiría el fondo de la cuenca. De esta manera la cuenca se extendería entre dos elementos estructurales que definen su polaridad en un sentido transversal (ver figs. 2,3 y 4). Ellos serían:

- la zona continental o antepaís: Dorsal Calchaqui (Aubouin *et al.*, 1971)
- la zona oceánica, arcos de islas o traspais: Dorsal de Concepción (Cecioni, 1970).

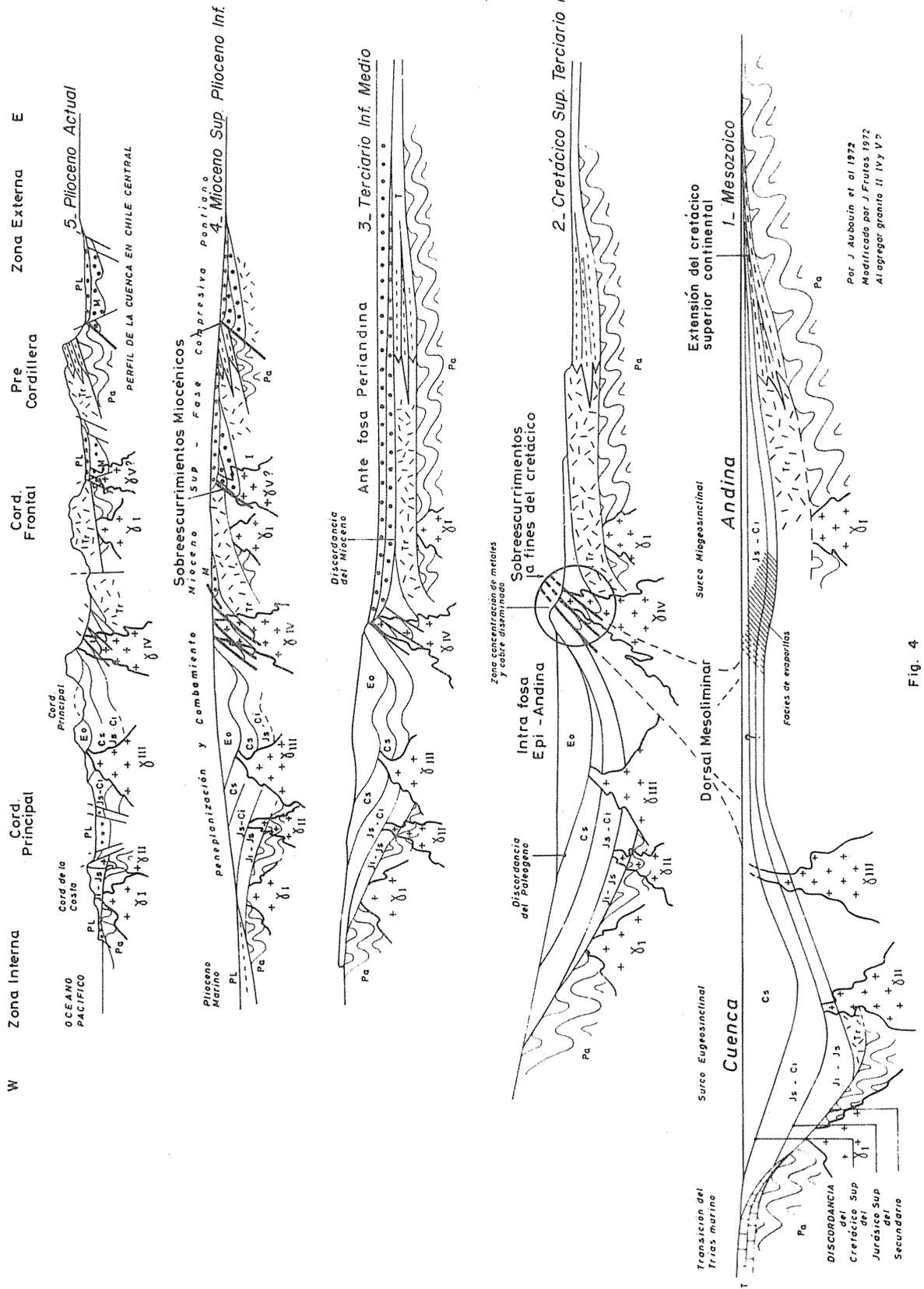
Durante las fases iniciales e intermedias del Ciclo Tectónico Andino (Frutos, 1970; Aubouin *et al.*, 1971) se distinguen nítidamente los surcos *eugeosinclinal* (o interno o euliminar) y *miogeosinclinal* (o externo, o margen continental o mio-liminar), separados ambos ambientes a lo largo de toda la cuenca por una zona sub-positiva, aunque no siempre emergida, o *Dorsal Mesoliminar* (figs. 3, 4 y 5) que evoluciona y *migra en el espacio y en el tiempo hacia el ante-país*, llegando a sobrecurrirse parcialmente sobre el surco miogeosinclinal durante la fase orogénica del ciclo andino, especialmente la fase diastrófica compresiva del Cretácico Superior-Terciario Inferior (Larámica).

Esta dorsal mesoliminar que se presenta esquematizada en la figura 5, representa al mismo tiempo el borde o paleocosta occidental del surco miogeosinclinal y la traza de los principales sobrecurrimientos (son sobrecurrimientos generalmente hacia el este, y en consecuencia el plano de falla manta al oeste).

La mesodorsal aparece oroclinalmente doblada por

* *Cuenca liminar*: término usado por Aubouin *et al.*, (1971) acuñado por Argand, para describir la cadena andina por sus originales características en contraposición con las cadenas de tipo alpino descritas como geosinclinales en el sentido estricto, al limitar el concepto de Dana 1873.

EVOLUCION TECTONICA DE LA CUENCA ANDINA



Par J Aubouin et al 1972
Modificado por J. Frutos 1972
Al agregar granito II IV y V?

Fig. 4

movimientos posiblemente del Terciario Medio en que la dirección de los esfuerzos sería aproximadamente N-S, con ejes de compresión regionales de dirección ENE*, y aún seccionada y desplazada por zonas de fallamiento transcurrente dextrógiro en general al sur de la provincia de Antofagasta y levógiro al norte de esa zona.

En la misma figura 5, se ubicaron los principales yacimientos y prospectos de cobre porfídico conocidos. Puede verse inmediatamente la extraordinaria coincidencia y relación entre éstos y la antes mencionada dorsal, especialmente al flanco oriental de ella o línea de los sobreescurrecimientos. Esta relación que a primera vista podría parecer sorprendente, no lo es si se analiza lo que esa línea significa geológicamente en lo que se refiere a factores importantes en el emplazamiento de cuerpos mineralizados de cobre diseminado.

Esta franja en realidad representa una zona en la cual un cierto número de factores o "lugares geométricos" geológicos se reúnen y suman sus respectivos efectos; ellos son:

- Las rocas graníticas del Cretácico Superior-Terciario y especialmente los pórfidos terciarios, alcalinos, ácidos en general, y que por su cantidad de agua producen generalmente una fase hidrotermal, se ubican en esta franja. Serían principalmente las rocas mineralizadoras y esa cualidad se explicaría en general por los argumentos dados en la sección anterior.

Estas rocas graníticas y sus eventuales efusivos riolíticos correspondientes, intruyen y atraviesan un complejo sedimentario, con un contenido de metales anormalmente alto, que se describe a continuación

- Los sedimentos más favorables de la cuenca para concentrar cobre y otros metales (Va, U, Mo, Ni) se ubicarían en el surco miogeosinclinal, puesto que esta zona representa un ambiente de poca circulación, con gran contenido de materia orgánica, de condiciones reductoras en general, que favorecen especialmente la precipitación de los metales comunes en forma de sulfuros que quedarían incluidos diseminadamente en los sedimentos generalmente del tipo lutitas y margas

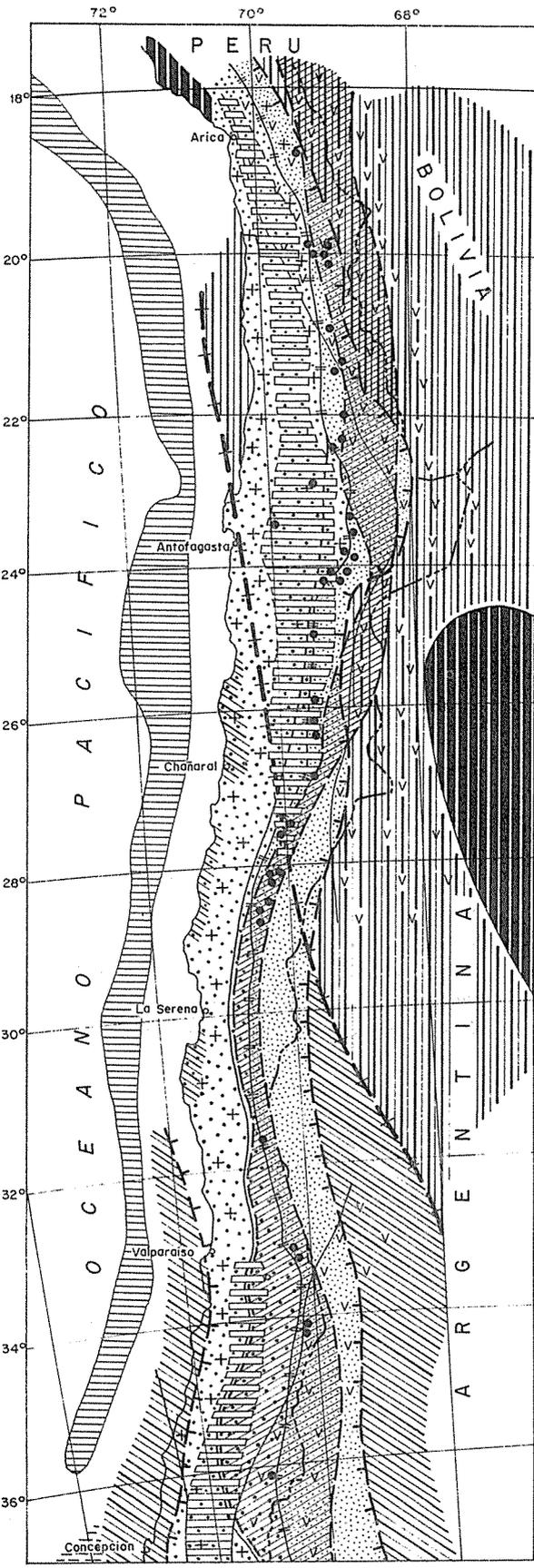
En esta misma zona se generan principalmente las evaporitas de la cuenca que tienen importancia metalogénica en el mismo sentido anterior.

- Especialmente importante es el borde occidental del surco miogeosinclinal, en que, en el ambiente sedimentario antes descrito, se producen episodios volcánicos submarinos (de composición básica a intermedia y por lo tanto con una concentración originalmente alta de metales), que se interdigitan con los sedimentos orgánicos antes mencionados. Estos fenómenos son muy favorables para la concentración y fijación del cobre, por las drásticas condiciones físico-químicas que produce el contacto brusco de la lava caliente con el agua.

La eyección de estos materiales volcánicos provenientes probablemente desde zonas profundas de la corteza o del manto superior, ocurriría durante la etapa distensiva post-nevadiana y pre-sub-hercínica, es decir, durante el Cretácico Inferior, principalmente.

- Las grandes estructuras de sobreescurrecimiento que ocasiona el parcial cabalgamiento de la dorsal mesoliminar sobre el surco miogeosinclinal, y el importante fallamiento de tipo normal que se superpone en esta misma línea a las anteriores estructuras, producido principalmente durante la distensión del Plioceno Superior-Reciente, transforman a esta franja en una zona densamente agrietada y diaclasada, muy favorable para la circulación de todo tipo de fluidos, representando así un importante rol en la alteración hidrotermal.
- La sostenida tendencia sub-positiva de la dorsal mesoliminar especialmente durante la fase tafrogénica (Frutos, 1970, 1972) del ciclo andino (alzamiento diferencial de bloques y grandes unidades morfo estructurales en Chile. En tal sentido gran parte de la Cordillera de Domeyko corresponde a la dorsal mesoliminar levantada en su máxima expresión), permite en general un adecuado nivel de erosión y muchas veces una lixiviación favorable para la formación de zonas de enriquecimiento secundario. Los factores antes enunciados son de tipo general, válidos para toda la extensión de la cuenca. Existen, sin embargo otros de orden más localizado pero igualmente importantes con relación a la mineralización de cobre diseminado, ellos son:
- La existencia de fallamientos transcurrentes (Terciario-Cuaternario) de dimensiones continentales (fig. 5) levógiros y dextrógiros, constituyendo diedros de cizalle, en que el esfuerzo

* Este arqueamiento de la dorsal así como los ejes de compresión ENE en esa zona, coinciden con el esquema tectónico regional que presenta el oroclinal andino o Codo de Santa Cruz.



CONTROL TECTÓNICO DE LOS PORFIDOS CUPRIFEROS

Ubicación de los principales yacimientos sobre un MAPA TECTÓNICO DE CHILE DE PROVINCIAS TECTÓNICAS

CICLOS TECTÓNICOS PRE-FANEROZOICOS PRECAMBRICO A CAMBRICO INFERIOR

Regiones de plegamiento precámbrico subestables, subpositivas. Rocas precámbricas indiferenciadas.

CICLO TECTÓNICO PALEOÍDICO CAMBRICO INFERIOR A TRIÁSICO MEDIO

Probable ámbito miogeosinclinal. Durante el paleozoico superior queda segmentado por la emersión de la dorsal pampeana. (Nesocratón de la S. Pampeana)

Probable ámbito Eugeosinclinal. Indica además extensión máxima hacia la zona interna de los granitoides del ciclo.

Rocas sedimentarias principalmente marinas. Probablemente extrageosinclinales de plataforma marina oceánica.

Máxima extensión probable del ambiente marino Geosinclinal. Marcará además el límite máximo de los granitoides del ciclo hacia la zona interna (Límite sur-occ)

Posible eje de la zona de transición entre ámbito interno y externo de la cuenca.

CICLO TECTÓNICO ANDINO TRIÁSICO MEDIO A RECIENTE.

Era tectónica comprendida entre el Triásico Medio y el Reciente durante la cual se desarrolla a través de las fases tectónicas típicas: Eu y Miogeosinclinal, Anatóxica, Orogénica, Tafrogénica, el Tectomagmático completo.

Fase Eu y Miogeosinclinal

Jurásico a Cretácico Inferior en la Cuenca Andina. Jurásico a Terciario Inferior en la Cuenca Magallánica.

Jurásico a Cretácico Inferior en la Cuenca Andina. Jurásico a Terciario Medio en la Cuenca Magallánica.

Límite máximo del ambiente marino de la Cuenca. Hacia la zona interna se relaciona con depósitos extrageosinclinales principalmente marinos. Hacia la zona externa se relaciona con depósitos continentales de plataforma.

Zona de transición entre los ámbitos internos y externos o dorsal mesoliminar.

Fase Anatóxica

Zona de granitoides Jurásicos y Cretácicos.

Zona de granitoides del Terciario.

Fase Orogénica

Los plegamientos corresponden a la etapa inicial de la Fase Orogénica del Ciclo Andino (diastrofismo de los pisos estructurales Araucano y Pacífico, Jurásico y Cretácico Inferior respectivamente). Afecta principalmente a rocas que se ubican en la zona interna de la Cuenca.

En la etapa final de la Fase Orogénica del Ciclo Andino, los diastrofismos de los pisos estructurales Cordillerano y Diaguita (Cretácico Superior, Terciario Inferior y Mioceno Superior, respectivamente) afecta principalmente a las rocas que se ubican en la zona externa.

En esta etapa emerge en sobresurrimiento hacia el antepais la dorsal mesoliminar o franja de transición entre el Eugeosinclinal y el Miogeosinclinal (Accidente mayor andino, Vicente J.C., 1972).

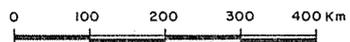
Fase Tafrogénica

Ambito del volcanismo de la Fase Tafrogénica Terciario Superior-Reciente. Representa el volcanismo subsiguiente de la fase en la etapa final de la evolución tectónica del ciclo.

Fosa marina. Se usó la curva de 5.000 m. de profundidad.

Fosas tectónicas. Corresponde también a la Fase Tafrogénica con la que finaliza el ciclo.

● Pórfidos cupríferos importantes



Por: J. Frutos, 1973.

Figura 5

principal máximo sería la dirección norte-sur y el esfuerzo principal intermedio, vertical. Estas zonas de fallamiento al cortar la franja de cobre porfídico, controlada por la dorsal meso-liminar, produce concentraciones de cuerpos mineralizados, debido posiblemente al mayor fracturamiento y a la mayor profundidad, que es una característica propia de las fallas transcurrentes. Como ejemplo puede mencionarse la región de Chuquicamata, El Abra, Copaquire y la región de Cerro Colorado de Zaldívar, Chimborazo. De especial interés resulta la ubicación de la mina Mantos Blancos, en la Provincia de Antofagasta, que estaría controlada estructuralmente por el cruce de dos zonas de fallamiento transcurrente. En este yacimiento se observan claramente gran cantidad de grietas de tensión E-O que representarían estructuras secundarias del fenómeno antes señalado.

- El espesor de la corteza bajo la cadena Andina disminuye de norte a sur, desde un máximo de 60 - 70 km en el norte de Chile, Perú y Bolivia hasta 40 km aproximadamente en el sur de Chile (fig. 1). Es probablemente debido a este fenómeno que los magmas cambian de composición de norte a sur, siendo más ácidos, alcalinos y con mayor contenido de agua en el norte y más básicos y menos acuosos en el sur. Así la capacidad de los magmas para generar fluidos hidrotermales disminuye de norte a sur.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El posible control tectónico-estructural de los yacimientos de cobre diseminado y la gran utilidad que puede prestar en la exploración de nuevas riquezas naturales de este tipo, hacen recomendable lo siguiente:

- Continuar con mayor intensidad los estudios geotécnicos y profundizar los trabajos de geología regional en los aspectos de paleogeografía, paleoecología, facies y geocronología a través de dataciones radiométricas, para fijar con mayor exactitud los elementos geológico-estructurales que condicionan el emplazamiento y formación de los cuerpos mineralizados.
- Siguiendo esta línea de investigación, estudiar con mayor precisión, los factores geológicos que estarían controlando el emplazamiento de cuerpos mineralizados de otros elementos metálicos como Ag, Ni, U, Va, Au, Pb, etc. Es factible y de gran utilidad económica este tipo de investigación metalogénica. En este aspecto es muy importante la relación entre geotectónica y geoquímica. Debería estudiarse futuros proyectos

de investigación integrados por estas disciplinas.

- Los antecedentes presentados en este trabajo permiten sugerir especial atención en la exploración de ciertas áreas que teóricamente serían favorables.

4. AGRADECIMIENTOS

Este autor agradece especialmente la efectiva colaboración de los geólogos del Instituto de Investigaciones Geológicas, María Angélica Fortt y Guillermo Alfaro, quienes aportaron datos y antecedentes de gran interés en apoyo de la hipótesis presentada. Además, agradece también la valiosa crítica y diálogo constructivo de los geólogos Beatriz Levi, Alvaro Tobar, Carlos Münchmeyer y Harry Neumann, de la misma institución.

BIBLIOGRAFIA

- Armbrust, G., A.**, 1970, *Advanced Economic Geology: Curso dictado Escuela de Geología*, Univ. Chile, Santiago.
- Aubouin, J.**, 1965, *Geosynclines*: Elsevier Publish Co.
- Aubouin, J., Borrello, A.V., Cecioni, G., Charrier, R., Chotin, T., Frutos, J., Thiele, R., Vicente, J.C.**, 1971, *Esquisse Paleogeographique et Structurale Des Andes Meridionales*: Próxima publicación *Rev. de Geogr. Physique et de Geol. Dynamique*.
- Barnes, H.L.**, 1967, *Geochemistry of Hydrothermal ore deposits*: Holt, Rinehart and Winston, New York U.S.A.
- Barnes, H.L. y Czamansk, G.K.**, 1967, *Solubilities and Transport of ore minerals: En geochemistry of Hydrothermal ore deposits*; ed. Barnes. Holt, Rinehart and Winston, New York U.S.A. p. 335 - 378.
- Brousse, R. y Oyarzún, J.**, 1971, *Les complexes calco-alcalines et la Province cuprifere circumpacifique. Colloque Scientifique E. Raguin. Paris.*
- Burnham, C.W.**, 1959, *Metallogenic Provinces of the southwestern U.S. and northern Mexico*, New Mexico Bur. Mines Bull.
- _____, 1967, *Hydrothermal fluids at the magmatic stage*: En Barnes, H.L.
- _____, 1967, *Geochemistry of Hydrothermal ore deposits*: Holt, Rinehart and Winston, New York.
- Cecioni, G.**, 1970, *Esquema de paleogeografía chilena*: Edit. Universitaria, Santiago, Chile.
- Dana, J.D.**, 1873, *On some results of the earth's contraction from cooling, including a discussion of the origin of mountains, and the nature of the earth's interior*, *Am. Jour. Science*, series 3, v. 5, p. 423-443; v. 6, p. 6-

14, 104-115, 161-172.

Frutos, J., 1972, Esquema Tectónico y Paleogeográfico de los Andes Meridionales en el Norte de Chile y su importancia económica en posibilidades petrolíferas: Inf. Inéd., Inst. Invest. Geol., Chile.

_____, 1972, Ciclos Tectónicos sucesivos y direcciones estructurales sobreimpuestas en los Andes del Norte Grande de Chile: Simposium sobre Problemas de la Tierra sólida. Comité Argentino del Manto Superior, Buenos Aires, 1970, Argentina.

_____, 1972, Perfiles Tectónico-Estratigráficos en los Andes del Norte de Chile: Inf. Inéd. Prox. publicación Inst. Invest. Geol. Chile.

Gilluly, J., 1971, Plate Tectonic and Magmatic Evolution: Geol. Soc. America Bull., v.82, p.2383-2396.

James, D.E., 1971, Plate Tectonic Model for the Evolution of the Central Andes: Geol. Soc. America Bull. v.82, p.3325 - 3346.

Krauskopf, K.B., 1967, Source rocks for Metal-bearing fluids: En Geochemistry of Hydrothermal ore deposits, Ed. H.L.Barnes, Holt, Rinehart and Winston, New York, U.S.A.

Lindgren, W., 1933, Mineral Deposits: Mc Graw Hill New York, U.S.A.

Oyarzún, J., 1972, Algunas características geoquímicas de las rocas volcánicas y plutónicas de Chile: Coloquio sobre fenómenos de alteración y metamorfismo en rocas volcánicas e intrusivas. Escuela Geol. Univ. Chile, Santiago.

Ruiz, C., Aguirre, L., Corvalán, J., Klohn, C., Klohn, E. y Levi, B., 1965, Geología y Yacimientos Metalíferos de Chile: Inst. Invest. Geol. Santiago, Chile. 385 p., 23 figs., 10 mapas.

Turekian, K.K., and K.H. Wedepohl, 1961, Distribution of elements in some major units of the earth's crust: Bull. Geol. Soc. Am., 72, p. 175 - 192.

Vinogradov, A.P., 1962, Sredniye sodержaniya Khimicheskikh elementov v glavnykh tipakh isverzhennylch gornykh porod zemnoi kory: Geokhimiya, 1962, p. 555 - 571.

Wells, F. G., 1956, Relation entre gites minéraux et géosinclinaux: Rev. de l'industrie minérale. Número Special IR, p. 95 - 107.