

Contenido de Cu, Zn, Pb, Ni y Co en Rocas Extrusivas,
Intrusivas y Sedimentarias del Norte de Chile

por Patricio Campano^{B+}, Nelson Guerra S⁺
y Jorge Oyarzún M⁺⁺

Resumen

El trabajo presenta datos de concentración para Cu, Zn, Pb, Ni y Co en rocas ígneas de edad jurásica a terciaria, y en rocas sedimentarias jurásicas del Norte de Chile. Los resultados se discuten con respecto a factores composicionales (Mg y K en rocas ígneas, CaCO₃ y C orgánico en rocas sedimentarias), edad de las rocas y procesos de alteración y mineralización que las afectan.

Los datos se comparan con los publicados para rocas de tipos y edades similares de Chile Central, y para rocas cuaternarias del Norte de Chile, así como con promedios mundiales.

Entre los resultados obtenidos en rocas ígneas destacan la disminución del contenido de Cu desde las rocas más antiguas a las más jóvenes, la que es paralela a la evolución petrológica hacia términos más félsicos, así como el menor valor de la razón Cu/Zn en rocas cenozoicas.

En rocas sedimentarias es significativa la correlación positiva de las razones promedio Cu/Zn con el contenido de C orgánico de las muestras. Las rocas sedimentarias del distrito argentífero de Caracoles presentan enriquecimiento moderado en Zn y en Cu, pero no en Pb.

Abstract

The paper presents abundance data for Cu, Zn, Pb, Ni and Co in igneous rocks of Northern Chile that range in age from Jurassic to Upper Tertiary, and in Jurassic sedimentary rocks of the same region. The results are discussed with reference to compositional factors (Mg and K in igneous rocks, CaCO₃ and organic carbon in sedimentary ones), age, and alteration and mineralization of the rocks.

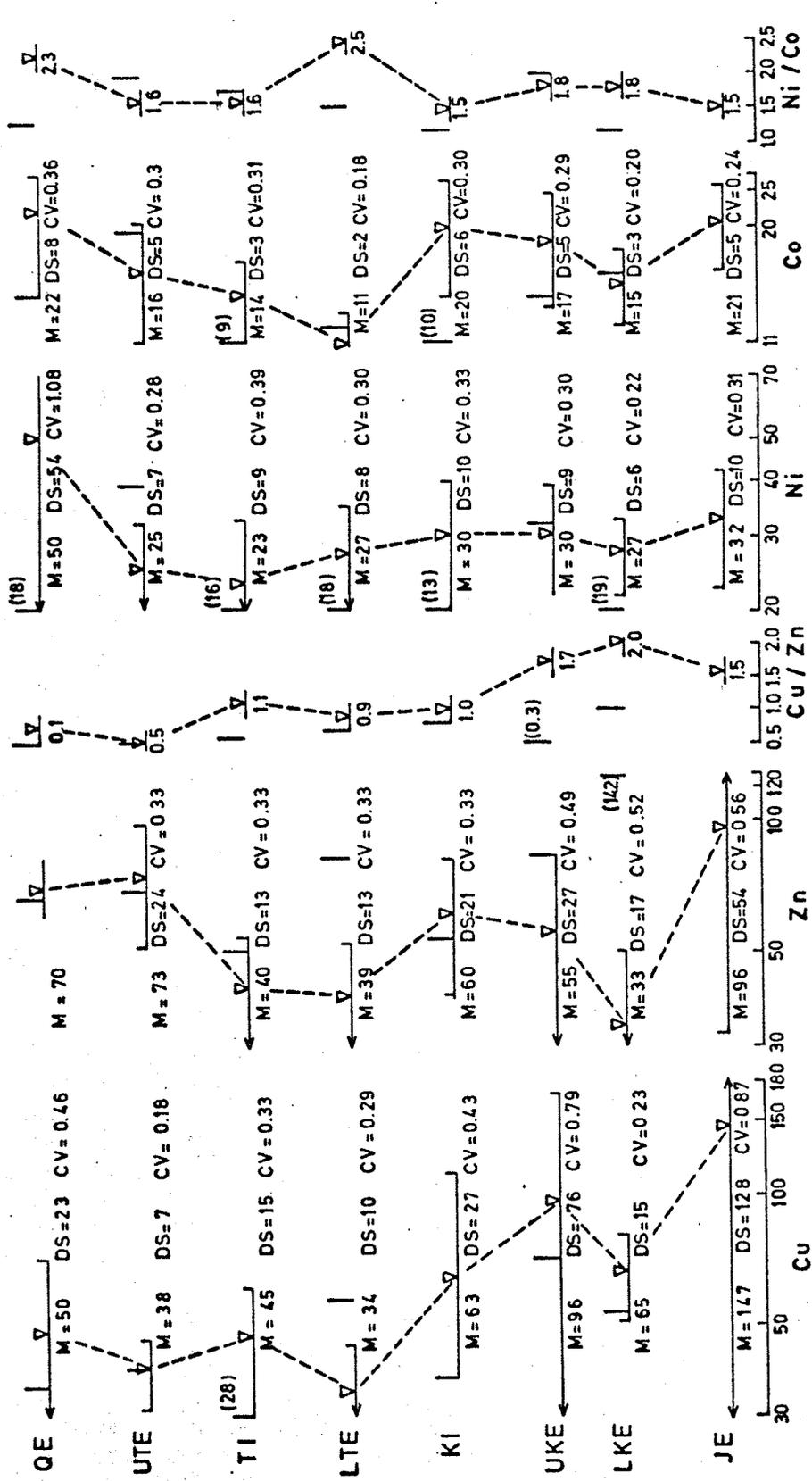
The data are compared with that published for rocks of similar type and age of Central Chile and for Quaternary rocks of Northern Chile, and with world's averages.

Among the results obtained for igneous rocks are the decrease in Cu concentration from the older to the younger rock units, that is related to the petrologic evolution toward felsic magmas, and also the smaller value of the Cu/Zn ratio in Cenozoic rocks.

There is a positive correlation between the average Cu/Zn ratios and the organic carbon content of sedimentary rocks. Those of the Caracoles silver district present a moderate enrichment in Zn and Cu, but not in Pb.

⁺Univ. del Norte, Antofagasta, Chile. Becario Gov. Francia. Labo. Geologie Appliquee, Univ. de Paris.

⁺⁺ Univ. del Norte, Antofagasta. Becario Humboldt. Mineral. Petrographische Inst. Univ. Heidelberg. R. F. de Alemania.



DISTRIBUCION DE Cu, Zn, Ni y Co EN ROCAS EXTRUSIVAS E INTRUSIVAS

QE: R. EXTRU. CUATERNARIO KI: R. INTRU. CRETACICO M: MEDIO ARITMET DS: DESVIAC STD M-1DS M+1DS
 UTE: R. EXTRU. TERC. SUP. UKE: R. EXTRU. CRET. SUP. CV: COEF. DE VARIACION ESCALA (LOG)
 TI: R. INTRU. TERCARIO LKE: R. EXTRU. CRET. INF M: ROCAS NORTE CHILE
 LTE: R. EXTRU. TERC. INF JE: R. EXTRU. JURASICO M: ROCAS CHILE CENTRAL
 Dia R. Muñoz

Fig: 1

Goosens, 1972, considera como fuente de los metales involucrados en ciclos posteriores de mineralización.

Los procesos de alteración hidrotermal en la F. La Negra alcanzan fuerte intensidad en áreas asociadas a mineralización. Losert, 1974, determinó para el área de la mina Buena Esperanza los valores siguientes, que se comparan con los promedios regionales:

	Cu(ppm)	Zn(ppm)	Cu/Zn
Extrusivos epidotizados	20	50	0.4
" " "no alterados"	45	120	0.4
Promedio regional	147(90)	96	1.5(1.0)

El promedio regional de Cu incluye algunos valores anómalos (210-665 ppm) y es probable que el quiebre de la recta de distribución (Fig. 2A) en 90 ppm, valor cercano al de la mediana, represente una mejor aproximación al background regional. En todo caso es significativo el empobrecimiento en Cu de los extrusivos del área del yacimiento, que alcanza su máximo en las rocas epidotizadas que lo subyacen. En cambio, el Zn sólo está empobrecido en estas últimas y el promedio aritmético de Zn en rocas epidotizadas y "no alteradas" del área (85 ppm) es similar al promedio regional. Lo anterior puede ser interpretado de acuerdo al esquema siguiente, que coincide con el modelo genético propuesto por Losert para el yacimiento Buena Esperanza:

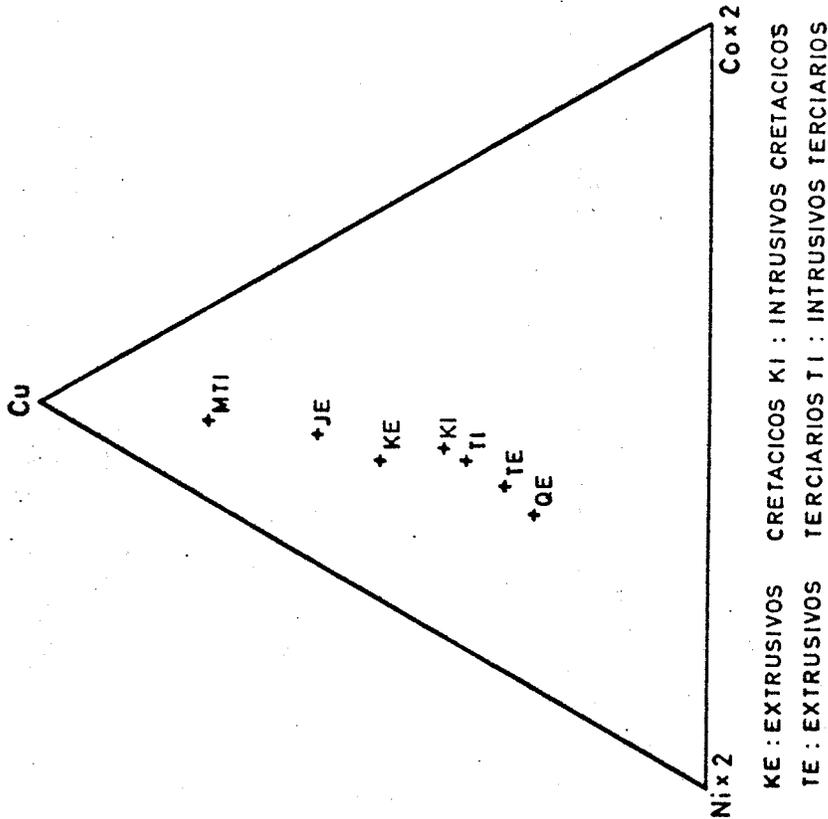
- La concentración original de Cu de los efusivos sería próxima a 90 y la razón Cu/Zn a 1.0
- En áreas de alteración asociada a mineralización se habría producido la segregación del Cu hacia horizontes de concentración. En cambio, el Zn sólo se habría redistribuido migrando de los efusivos epidotizados a aquellos no afectados por ese tipo de alteración (Losert, 1974).
- Algunas rocas aparentemente no alteradas incluídas en el muestreo regional incluyen contenidos de Cu anómalo, debido a aportes secundarios de este elemento.

Rocas Sedimentarias Jurásicas

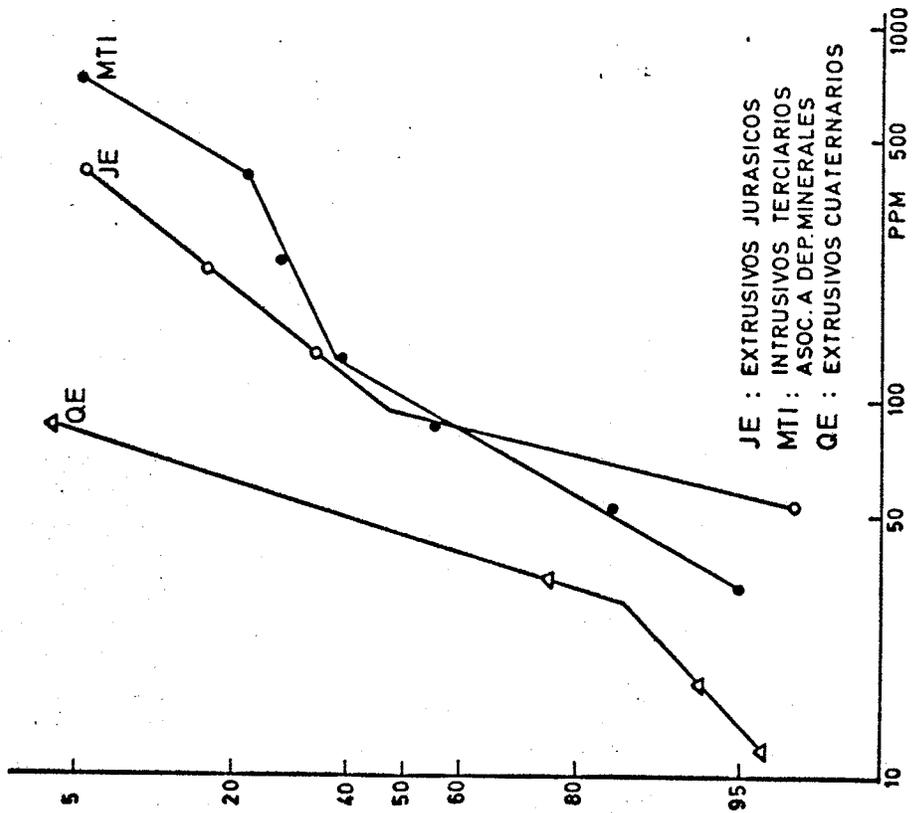
Las muestras analizadas (181) corresponden a 12 perfiles situados entre las latitudes 21°39' y 25°38'S, y entre las longitudes 68°50' y 70°30W. Uno de dichos perfiles incluye rocas del distrito argentífero de Caracoles, y otros tres están situados respectivamente a 2, 3 y 4 Km. al sur. Las rocas fueron divididas de acuerdo a criterios geográficos (subgrupos) y litocronológicos (grupos). Estos últimos comprenden calizas, areniscas y lutitas, tanto del Jurásico Inf. como del Jurásico Medio a Sup. (Tabla 2 y Fig. 3).

Entre las características de la distribución observada, son de interés las siguientes:

B



A



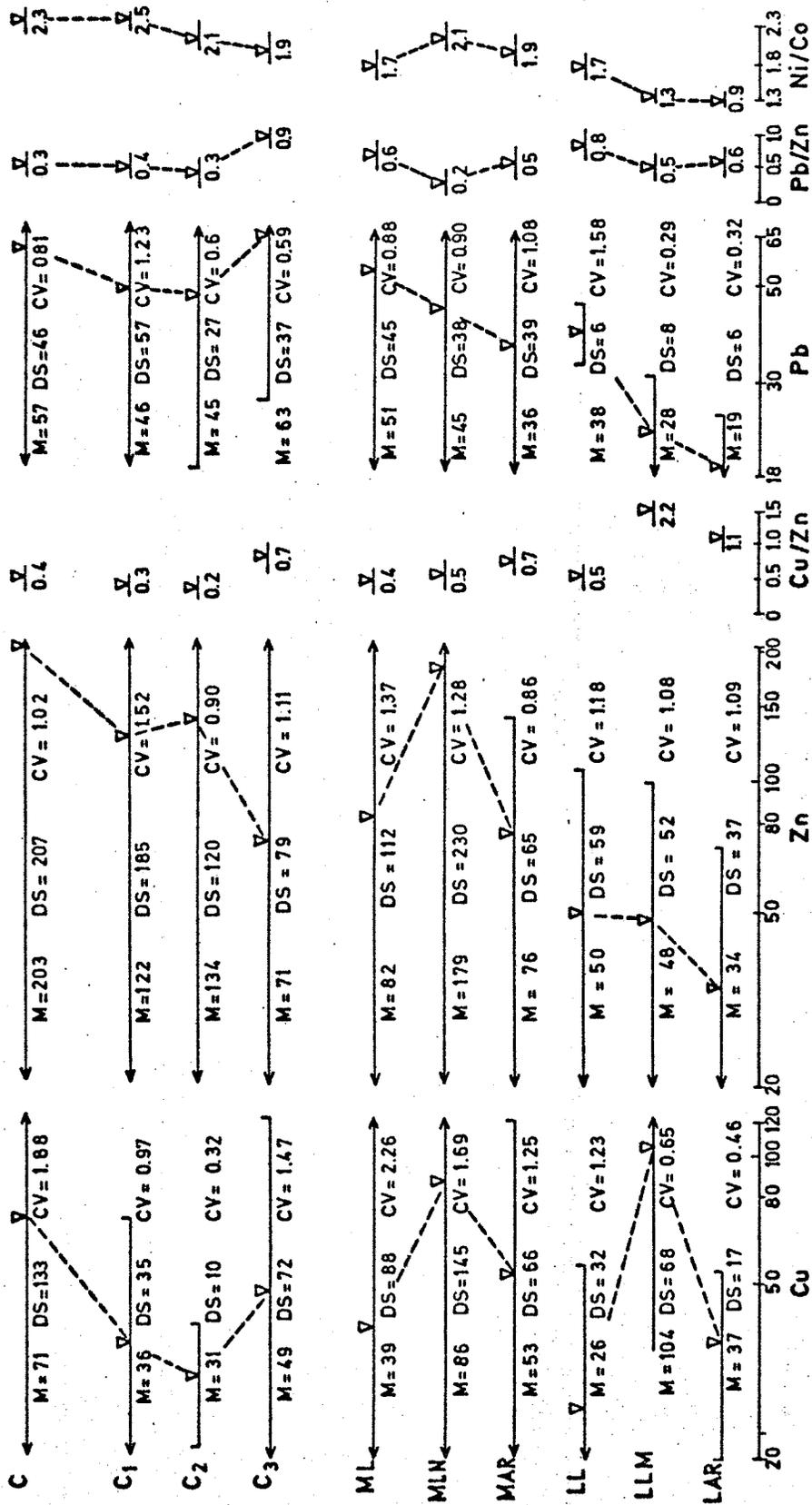
DISTRIBUCION DE LAS CONCENTRACIONES DE
 Cu EN ESCALA LOG - PROBABILIDADES
 VARIACION DE LAS CONC. RELATIVAS DE Cu, Ni y Co.

Fig : 2

Dib. R. Muñoz B.

Rocas	Ni (ppm)	Co (ppm)	Ni/Co	Cu/Zn	Pb/Zn	C org.	CaCO ₃
R. S. Dtr. Caracoles	30(18)	13(3)	2.3	0.4	0.3	0.16	47
" " " (2 Km al S)	40(21)	16(4)	2.5	0.3	0.4	0.23	48
" " " (3 Km al S)	33(11)	16(5)	2.1	0.2	0.3	0.14	49
" " " (4 Km al S)	35(4)	18(3)	1.9	0.7	0.9	0.09	62
Calizas Juras. M-Sup.	31(12)	18(6)	1.7	0.5	0.6	0.18	65
Lutitas " "	32(17)	15(4)	2.1	0.5	0.2	0.23	24
Areniscas " "	30(19)	16(5)	1.9	0.7	0.5	0.26	31
Calizas Juras. Inf.	31(7)	18(5)	1.7	0.5	0.8	0.15	65
Lutitas " "	18(7)	14(4)	1.3	2.2	0.5	0.47	22
Areniscas " "	13(7)	14(4)	0.9	1.1	0.6	0.39	16

Tabla 2 Valores para rocas sedimentarias del distrito de Caracoles y para grupos litocronológicos regionales.



DISTRIBUCION DE Cu, Zn, y Pb EN ROCAS SEDIMENTARIAS VOLCANICAS

C: R. SED. DISTR. CARACOLES ML: CALIZA JURAS. M SUP. LLM: LUTITAS JURAS. INFERIOR
 C1: " " (2 Km al S.) MLM: LUTITAS " " LAR: ARENISCAS " " "
 C2: " " (3 Km al S.) MAR: ARENISCAS" " " Fig: 3
 C3: " " (4 Km al S.) LL: CALIZAS JURAS INF. OTRA SIMBOLOGIA VER: FIG 1.

Dib: R. Muñoz B.

— Cu y Zn presentan sus contenidos mayores en las lutitas (de ambos grupos cronológicos): En cambio Pb, Ni y Co están enriquecidos en las calizas.

— Zn y Pb son más altos en rocas del Jurásico Medio-Sup., mientras Cu, Ni y Co dependen principalmente del tipo litológico.

— Existe correlación positiva entre los promedios de la razón Cu/Zn de los grupos y el contenido de carbono orgánico, así como entre las razones Zn+2Pb/Cu y CO₂/C orgánico.

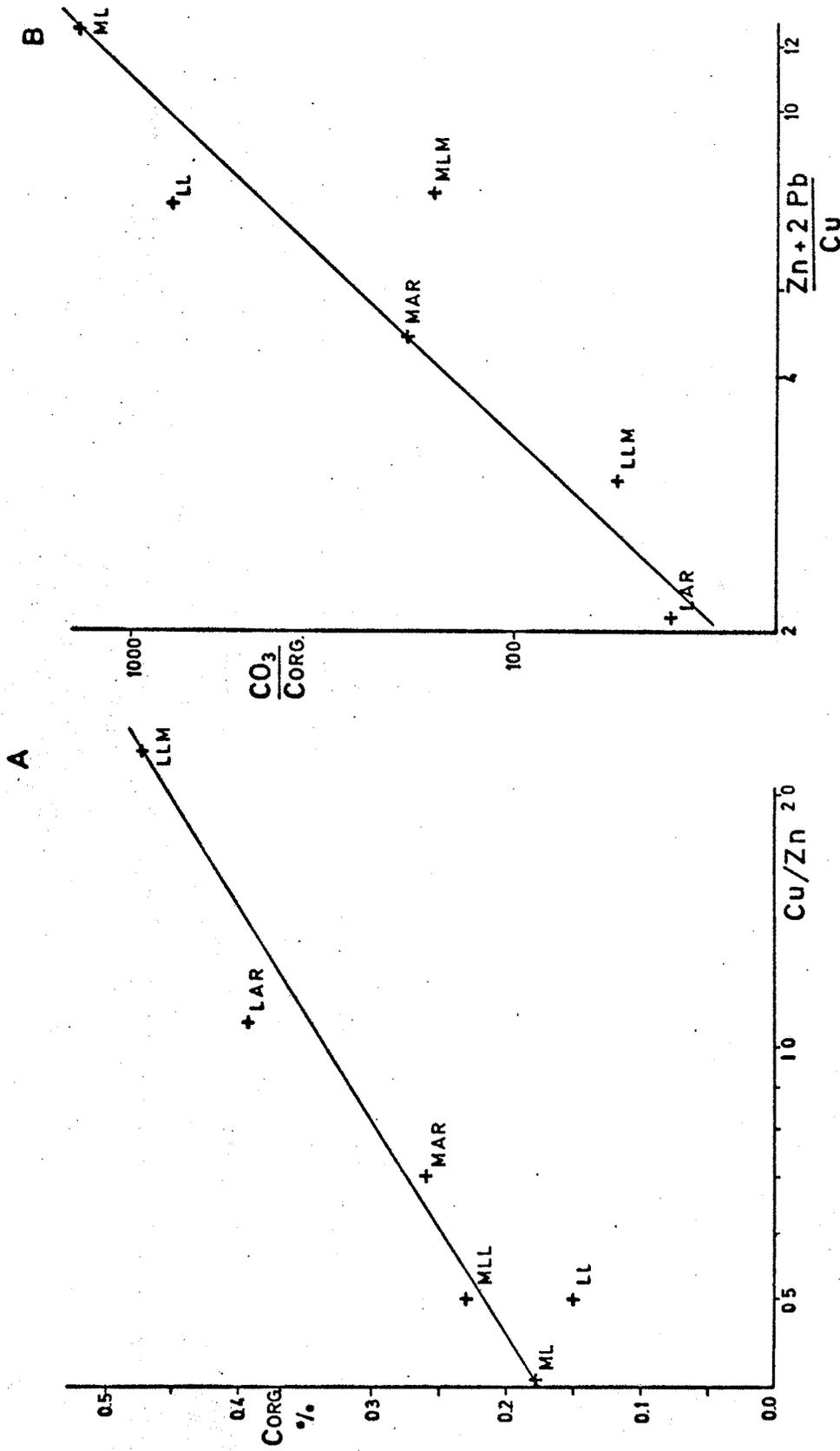
— Las rocas del distrito de Caracoles presentan sólo contenidos moderadamente altos de Cu, Zn y Pb, los que muestran una disminución en los perfiles situados a 2 y 3 Km. al Sur.

El contenido de elementos en las lutitas es de especial interés metalogénico. Krauskopf, 1971, considera que las "lutitas negras" pueden ser capaces de concentrar grandes cantidades de metales y pueden constituir la primera etapa de enriquecimiento metalogénico, completada posteriormente por los procesos ígneos, que serían mecanismos de concentración más efectivos en las etapas finales. Vine y Tourtelot, 1970, han señalado el enriquecimiento local de "lutitas negras" en Cu, Zn, Ag, Mo, Ni, etc. Este enriquecimiento puede alcanzar cifras elevadas, del orden de 0.1% en el caso del Cu. Jensen, 1971, sugirió que el contenido metálico de los pórfidos cupríferos podía provenir de lutitas ricas en materia orgánica, y ser incorporado a los magmas durante su ascenso en los niveles corticales superiores. Frutos, 1973, propuso un mecanismo similar para depósitos chilenos, el que explicaría la coincidencia de la línea de pórfidos cupríferos con el borde miogeosinclinal jurásico, emplazamiento paleogeográfico de las facies sedimentarias marinas. Gross, 1975, reportó valores del orden de 8 ppm de Ag y 4.000 ppm de S en lutitas negras mesozoicas del distrito argentífero de Guanajuato (México) y consideró que estas rocas constituyeron la fuente para la mineralización. Sin embargo, las mismas rocas tienen sólo contenidos normales o bajos de Cu (40 ppm), Pb (50 ppm) y Zn (15 ppm).

Aunque el presente trabajo no incluyó determinaciones de Ag (actualmente se efectúan sus análisis en rocas de Caracoles: Campano y Guerra en prep.) es de interés considerar las cifras siguientes:

	Cu	Zn	Pb	Ni	Co	Cr
Lutitas Jurásico Inf.	104	48	28	18	14	73
" " M-Sup.	86	174	42	32	15	78
Perfil Caracoles	71	203	57	30	13	62
Promedio (Turekian y Wedepohl, 1961)	45	95	20	68	19	90

Ellas indican que la lutitas del Jurásico Inf. estarían enriquecidas en Cu, y aquellas del Jurásico Medio y Sup., así como las rocas del perfil de Caracoles, en Zn y Pb (metales incluidos en las paragénesis de dicho distrito). Sin em-



RELACIONES Cu-Zn-Pb-CORG. - CO₃ EN ROCAS SEDIMENTARIAS JURASICAS
(SIMBOLÓGIA: VER FIG. 3)

Fig: 4

Dib: R. Muñoz B.

bargo, sus contenidos en esos metales no llegan al orden de los encontrados en lutitas negras, pese a la presencia de facies reductoras, con abundante contenido fosilífero. En consecuencia, su rol metalogénico como fuente de metales es menos probable, aunque esta conclusión podría modificarse de acuerdo al resultado que entreguen los análisis de Ag.

Rocas Igneas Cretácicas

Comprenden 18 rocas extrusivas de composición riódacítica a andesítica y 15 intrusivas de tipo granodiorítico. Los extrusivos se muestrearon en un cuadrado de 30' de lado, con centro en 24°00'S/69°15'W, y los intrusivos en un rectángulo limitado por las latitudes 23°00' y 23°45'S y por las longitudes 68°45' y 69°00'W. Aunque el número de muestras consideradas es insuficiente para establecer conclusiones de validez general, los resultados obtenidos presentan algunas tendencias de interés que se indican a continuación:

- El contenido de Cu de los extrusivos es más alto, y el de Zn más bajo, que el de rocas de edad equivalente y composición andesítica de Chile Central (Oyarzún, 1971). Los valores de Cu y Zn mayores se presentan en rocas del Cretácico Superior. Las razones Cu/Zn de los extrusivos cretácicos son las más altas determinadas en rocas ígneas chilenas no mineralizadas.
- Los contenidos promedio de Cu y Zn de los intrusivos son similares (63 y 60 ppm respectivamente), y ambos presentan bajos coeficientes de variación. Los intrusivos están enriquecidos en Cu con respecto a rocas de edad y petrografía equivalente de Chile Central, mientras que su contenido de Zn es similar.
- Ni y Co no muestran relaciones de interés, salvo la homogeneidad de sus contenidos en rocas cretácicas (similares promedios y bajos coeficientes de variación).

Los datos con que se cuenta son aún insuficientes para una interpretación metalogénica válida. Dado que estas rocas presentan también contenidos altos de Rb, es probable que el enriquecimiento se deba a procesos hidrotermales, posiblemente relacionados con intrusivos terciarios. En todo caso, cualquiera sea el origen de esa concentración, los datos disponibles indican que tanto las rocas ígneas jurásicas como las cretácicas, presentan un moderado enriquecimiento en Cu, el que se puede interpretar ya sea como causa o como efecto de las mineralizaciones asociadas.

Rocas Igneas Terciarias

Comprenden 9 muestras del Terciario Inf., correspondientes

a vidrios volcánicos ácidos y dacitas, tomadas de un área en torno a 25°00'S/69°30'W; 12 muestras de ignimbritas, domos e intrusivos comagmáticos asociados del área de El Tatio (Lat. 22°15'-22°30'S; Long. 67°57'-68°10'W); 7 intrusivos terciarios granodioríticos no relacionados con mineralización, de igual zona de muestreo que los intrusivos cretácicos; 11 muestras del pórfido de Caracoles (23°03'/68°56'), que incluyen 3 dioritas y 8 dacitas, y 7 muestras de rocas del depósito cuprífero de El Salvador (4 intrusivos y 3 extrusivos).

a) Rocas Extrusivas. Los resultados obtenidos presentan las siguientes características:

— Existe homogeneidad de contenidos entre las ignimbritas y los cuerpos comagmáticos asociados, como se desprende de las cifras siguientes:

Elemento (ppm)	Cu	Zn	Pb	Ni	Co
Ignimbritas	33	82	18	29	20
Domos dacíticos	39	67	14	20	16
Cuerpos granodioríticos	42	87	26	22	13

— La única diferencia significativa de las rocas ignimbríticas (y cuerpos asociados) respecto a los extrusivos del Terciario Inf., está en el mayor contenido de Zn de las primeras.

— No se detectaron contenidos anormalmente elevados de Cu, como los indicados por El Hinnawi *et al.*, 1969. Sin embargo, dada la petrografía de las rocas analizadas, sus contenidos de Cu, Zn, Ni y Co son relativamente altos.

— No hay variaciones significativas en el contenido de metales respecto a la edad de los flujos ignimbríticos, por el contrario, los valores determinados son muy homogéneos, lo que se traduce en bajos coeficientes de variación.

El contenido de Zn constituye el rasgo más interesante de las rocas ignimbríticas. Es posible que él se deba a la tendencia de este elemento a enriquecerse en las fases residuales, equivalentes a los primeros fundidos de anatexia, (Dissanayake y Vincent, 1972). Es curiosa la coincidencia de los contenidos de Cu, y Zn de estas rocas (que presentan la razón Cu/Zn más baja determinada en este trabajo: 0.5), con los de la F. Cola de Zorro, de Chile Central-Sur, de edad equivalente pero cuya petrografía (andesítico basáltica) es muy distinta.

b) Rocas Intrusivas. Los resultados obtenidos se resumen en la tabla siguiente:

Elemento (ppm)	Cu	Zn	Pb	Ni	Co
Intrusivos no mineralizados	45	40	26	23	14
Pórfido Caracoles (diorita)	100	96	23	27	24
" " (dacita)	56	60	18	17	12
Intrusivos El Salvador	341	35	23	27	18
Extrusivos "	536	39	12	21	16

La única diferencia significativa entre los contenidos de intrusivos asociados y no asociados a mineralización es la mayor concentración de Zn en las facies del pórfido de Caracoles (cuyo núcleo es diorítico), aparte de la lógica concentración de Cu en rocas de El Salvador.

La diferenciación petrográfica del pórfido de Caracoles se traduce en contenidos mayores de Cu, Zn, Ni y Co en su núcleo diorítico. La concentración de Pb en este pórfido es parecida a la de otros intrusivos terciarios, en cambio, su contenido de Zn es de orden similar al de las rocas ignimbríticas.

Las rocas intrusivas y extrusivas de El Salvador (andesitas con metasomatismo de K) son relativamente bajas en Zn, lo que es coincidente con la baja proporción de este elemento en piritas de ese yacimiento (Alonso, 1975) y con la probable migración del Zn hacia zonas periféricas al depósito (Ej.: Zona Km. 14, Oyarzún R., 1975).

Tendencias Generales (Cu y Zn)

La evolución de los contenidos de Cu y Zn presenta tendencias definidas, que se resumen en las cifras siguientes:

	Cu(ppm)	Zn(ppm)	Cu/Zn
Rocas ígneas cuaternarias	50	70	0.7
" " terciarias	34-45	39-73	0.5-1.1
" " cretácicas	63-96	33-60	1.0-2.0
" " jurásicas	147	96	1.5

Aunque la evolución de los promedios de Cu y Zn en rocas de distintas edades (Fig. 1) es semiparalela, excepto en el caso de las rocas ignimbríticas, la razón Cu/Zn tiene valores más bajos en las rocas cenozoicas. La disminución del contenido de Cu sigue a la evolución petrológica hacia términos más ácidos y en el diagrama Cu-Ni-Co, ella es casi paralela al lado Cu-Ni del triángulo (Fig. 2B). La concentración de Cu aumenta en rocas cuaternarias como corresponde al carácter más básico (andesítico) de ese volcanismo. En cambio, el Zn presenta contenidos similares en las ignimbríticas del Terciario Sup. y en los efusivos cuaternarios.

Un problema de especial interés es el de la posible provincia geoquímica rica en Cu asociada a la provincia metalogénica cuprífera chilena (Ruiz, 1965). Los datos expuestos en el presente trabajo son favorables a un enriquecimiento

moderado en Cu. Sin embargo, éste no es de un orden tan alto como el supuesto por otros autores (Ruiz, 1965; El Hinnawi et al, 1969) ni constituiría una explicación suficiente para la marcada especialización cuprífera de esta provincia metalogénica, excepto si se considera el fuerte carácter sulfófilo del Cu, que le permite competir ventajosamente por el azufre con otros metales (Ej.: Zn) presentes en los magmas en concentraciones similares.

Reconocimientos

Los autores expresan su agradecimiento a los investigadores del Dept. de Geología de la Univ. del Norte que facilitaron muestras consideradas en el presente trabajo; así como a todas las personas cuya colaboración permitió completarlo, y cuyos nombres se señalan en la tesis de Campano y Guerra, 1975.

La redacción del trabajo se efectuó durante la estadía de los dos primeros autores en el Labo. de Geología Aplicada de la Univ. de París y del tercer autor en el Instituto Mineralógico Petrográfico de la Univ. de Heidelberg (becario F. Humboldt), instituciones a las que se hacen extensivos los reconocimientos.

Referencias

- Alonso H. Elementos en trazas en sulfuros de yacimientos cupríferos del Norte de Chile. Tesis M.Sc. Univ. del Norte, Antofagasta, (1975).
- Ando A., Kurasawa H., Ohmori T. y Takeda E. *Geochemical Journal* 5, 151-164, (1971).
- Campano P. y Guerra N. Distribución de Cr, Ni, Co, Cu, Zn y Pb en rocas ígneas y sedimentarias del Norte de Chile. Tesis MSc. Univ. del Norte, Antofagasta, (1975).
- Campano P. y Guerra N. D.E.A. en prep. Labo. Geol. Appliqué Univ. de París, (1976).
- Dissanayake y Vincent. *Chem. Geol.* 9, 285-297, (1972).
- El Hinnawi E., Pichler H. y Zeil W. *Contr. Mineral. and Petrol.* 24, 50-62, (1969).
- Frutos J. *Revista Geológica de Chile* N° 1, 103-113, (1973).
- Goossens P. J. *Econ. Geol.* 67, 458-468, (1972).
- Gross W. H. *Econ. Geol.* 70, 1.175-1.189, (1975).
- Krauskopf K. B. *Geochim. Cosmochim. Acta* 35, 643-659, (1971).
- Losert J. en Publ. N° 41 Dept. Geología Univ. de Chile (Santiago), 51-86, (1974).
- Oyarzún J. Contribution a l'etude geochimique des roches volcaniques et plutoniques du Chili. Tesis D. U. París, (1971).
- Oyarzún R. Estudio geológico y geoquímico del prospecto Kilómetro Catorce, El Salvador, III Región Chile. Memoria de Título. Dept. Geología Univ. del Norte, (1975).
- Roubault M., La Roche H. et Govindaraju K. *Sc. de la Terre*

- (Nancy) XV, N^o 4, 351-393, (1970).
- Ruiz C. y colaboradores. Geología y yacimientos metalíferos de Chile. Inst. Invest. Geolog., Santiago, (1965).
- Taylor S. R. en Proceedings Andesite Conference (Oregon), 43-63, (1968).
- Taylor S. R., Capp A. C., Graham A. L. y Blake D. H. Contr. Mineral. and Petrol. 23, 1-26, (1969).
- Turekian K. K. y Wedepohl K. H. Geol. Soc. América Bull. 72, 175-192, (1961).