

**PROSPECCION GEOQUIMICA PRELIMINAR DE SUELOS
Y SEDIMENTOS EN AREAS SELECCIONADAS DE
CHILE CENTRAL**

Por

Ann M. de Grys

CONTENIDO

ABSTRACT	247
RESUMEN	248
INTRODUCCION	248
Historia del Trabajo	248
Selección de las áreas de Estudio	249
Trabajo de Terreno	251
Preparación de las Muestras	251
Agradecimientos	252
AREA DE LA RINCONADA DE LO CERDA	252
Fisiografía e Hidrografía	252
Características Geológicas	253
Resultados	254
Conclusiones	255
AREA DE LOS RIOS ANDINOS ENTRE LATITUDES 34° Y 41°S	257
Descripción de la Zona Estudiada	257
Resultados	258
AREA DEL RIO TINGUIRIRICA	267
Resultados	268
CONCLUSIONES	272
REFERENCIAS	272

PROSPECCION GEOQUIMICA PRELIMINAR DE SUELOS Y SEDIMENTOS EN AREAS SELECCIONADAS DE CHILE CENTRAL*

Por

Ann M. de Grys**

ABSTRACT

Geochemical prospecting by soil and drainage methods were initiated by the Instituto de Geofísica y Sismología for Central Chile. A soil survey for copper was conducted in Rinconada de lo Cerda, near Santiago. Drainage methods were investigated by a reconnaissance study for copper, lead and zinc content of the principal rivers draining the Andes between latitudes 34° and 41° S. As a follow-up of the drainage survey one of the anomalous streams, the Tinguiririca, was selected for more detailed investigations.

This report, therefore, is divided into three parts:

A. Rinconada de lo Cerda: this area consists of a line of hills made up of the Porphyritic Formation and a deep valley filled with sedimentary material. A batholith is intruded into the Porphyritic Formation on one of the hills. Pumice deposits are encountered in places on the valley floor.

The copper analyses of the surface soils revealed:

1) An anomaly with values ranging from 100-800 ppm along the contact, which may be mineralized, of the batholith and Porphyritic Formation.

2) Background values of 100-300 ppm in the site of the Porphyritic Formation and in the valley sedimentary material.

3) The soils overlaying the pumice have values of only 30 ppm and these low values may be explained by the low adsorption of the highly silicious pumice soils.

B. Andean rivers between latitudes 34° and 41° S: a preliminary geochemical study for copper, lead and zinc was carried out on rivers draining the Chilean Andes between latitudes 34° and 41°. Sediments and water samples were collected, the sediments being analyzed for all three metals, and the waters for copper only. The results were plotted as histograms and several areas were found to have above the average metal content. These included:

a) The Cachapoal-Tinguiririca-Teno area with copper values, which may be due to mineralization present in the area.

b) The Chillán district with lead values, and

c) The Osorno and Lakes district with high copper and also some lead values. The copper content in this area is thought to be related to the recent basaltic flows present in the area.

Few streams had anomalous zinc values and in general these streams had also high lead or copper values.

C. Tinguiririca River: this river was sampled at 1 - 2 miles interval, and the sediments analyzed for copper, lead and zinc. Several peaks were encountered, among which one was thought to be due to additions from two tributaries and another to the presence of mineralization along a granodiorite-sediment contact zone. The copper present in the sediments is thought to be absorbed as hydroxide colloids.

No lead or zinc anomalies were encountered in the sediments except for one sample in contact with the thermal spring waters; this sample had a high zinc content.

*Recibido para su publicación en abril de 1961.

**M. Sc. London. Geólogo Instituto de Geofísica y Sismología. Universidad de Chile.

Also some igneous rocks from the area were analyzed; in general the igneous rocks had low copper and zinc content.

RESUMEN

El Instituto de Geofísica y Sismología inició un estudio preliminar de prospección en el suelo por método de drenaje en la zona central de Chile. En la Rinconada de lo Cerda, cerca de Santiago, se llevó a cabo una investigación de suelos en busca de cobre. Los métodos de drenaje se hicieron por un estudio de reconocimiento del contenido de cobre, plomo y zinc de los principales ríos andinos, entre las latitudes 34° y 41° S. Como resultado de esto se eligió el río Tinguiririca para continuar haciendo investigaciones más detalladas. Por consiguiente este informe se divide en tres partes:

A. Rinconada de lo Cerda: esta área está constituida por cerros de formación porfirítica y por un valle profundo con material de relleno sedimentario. En uno de los cerros se observa una intrusión batolítica en la formación porfirítica. Hay depósitos de piedra pómez en diversos lugares en el piso del valle.

Los análisis de cobre en la superficie del suelo revelaron:

1) Una anomalía con valores de 100 a 800 ppm a lo largo del contacto que puede encontrarse mineralizado, entre el batolito y la formación porfirítica.

2) Valores regionales de 100-300 ppm en los suelos derivados de la formación porfirítica y en el material sedimentario del valle.

3) Los suelos de piedra pómez se caracterizan por valores de sólo 30 ppm, los que se pueden explicar por la baja absorción de sus suelos altamente silicosos.

B. Los ríos chilenos entre latitudes 31° a 41° S: se efectuó un estudio geoquímico preliminar de cobre, plomo y zinc en los ríos que nacen de los Andes entre las latitudes 31° y 41°. Se juntaron muestras de agua y sedimentos. Estos últimos se analizaron para los tres metales, mientras que el agua sólo para el cobre. Se anotaron los resultados en histogramas, llegando a la conclusión de que varias zonas contenían una cantidad de metal sobre lo corriente. Estas zonas incluían:

a) El área Chachapoal-Tinguiririca-Teno, con alto contenido de cobre que tal vez se deba a la mineralización del área.

b) El distrito de Chillán con valores de plomo.

c) Osorno y la Región de los Lagos, con alto contenido de cobre y plomo. Se cree que el contenido de cobre en esta área tiene relación con las recientes efusiones basálticas existentes en la zona.

Algunos ríos contenían valores anómalos de zinc y altos contenidos de cobre y plomo.

C. Río Tinguiririca: este río fue sometido a pruebas con intervalos de 1 a 2 millas y sus sedimentos se analizaron en busca de cobre, plomo y zinc. Se encontraron varios *peaks*, entre los cuales había uno que se pensó se debía al incremento de los dos tributarios, y otro a la presencia de mineralización a lo largo de una zona de contacto con sedimento granodiorítico. El cobre presente en los sedimentos se cree que es absorbido en forma de hidróxidos coloidales.

En los sedimentos no se encontraron anomalías de plomo o zinc, con excepción de una muestra que estaba en contacto con el caudal de aguas termales y que tenía un alto contenido de zinc.

También se analizaron algunas rocas ígneas del área, las que por lo general contenían escaso cobre y zinc.

INTRODUCCION

Historia del trabajo.

Hay varios métodos para efectuar prospecciones geoquímicas. La prospección geoquímica se vale de métodos químicos para descubrir depósitos minerales sepultados bajo cubiertas de materiales sedimentarios. Un depósito mineral escondido que se esté oxidando sufrirá difusión en la sobrecarga. La presencia de la veta subterránea se puede deducir de los análisis químicos efectuados en el material de la superficie.

Eventualmente, el metal que penetra en el suelo o en cualquiera otra sobrecarga sale hacia el drenaje. Por un cuidadoso muestreo del aluvio, de las aguas, o de ambos, y aplicando técnicas químicas apropiadas, se pueden definir áreas de interés potencial apartadas de aquellas que no contienen mineralización.

En la prospección geoquímica se detectan cantidades ínfimas de metal, a menudo en partes por millón (ppm). Para ello sirven varias técnicas modernas, siendo la colorimetría la más popular. El reactivo ditizona encuentra gran aplicación en la determinación colorimétrica de muchos metales, incluyendo el cobre, plomo y zinc. Este reactivo es muy sensible a pequeños cambios en el contenido de metal y los ensayos analíticos son rápidos, exactos y fáciles de preparar. Para todos los análisis hechos en estas investigaciones se ha usado la ditizona.

Prácticamente todas las minas chilenas de metales básicos, excepto las de plomo y zinc de la provincia de Aisen (latitud $45^{\circ}45'$), se encuentran al norte de Rancagua (latitud 34° S). No existe un marcado cambio geológico hacia el sur de Rancagua y por lo tanto no hay razón aparente para el repentino término de la mineralización. Es posible que al sur de Rancagua exista una mineralización hasta ahora no detectada y con este propósito el Instituto de Geofísica y Sismología inició un programa de exploraciones geoquímicas.

Selección de las áreas de estudio.

En la Rinconada de lo Cerda se efectuó una investigación preliminar del suelo en busca de cobre. Se escogió esta área por estimarse que sus condiciones geológicas eran favorables para detectar nuevas posibilidades de mineralización.

Las investigaciones del suelo sirven para localizar la proximidad del depósito de metal, pero en muchos casos es necesario investigar grandes áreas, por lo que el muestreo sistemático a grandes trechos resulta poco económico. El muestreo de drenaje es más efectivo para dar con áreas de interés potencial para efectuar un estudio más detallado.

En Chile muchos de los depósitos de minerales se encuentran en los Andes y no siempre es fácil llegar hasta ellos; sin embargo, el drenaje sirve para mostrar más o menos lo que se va a encontrar. Chile Central se divide longitudinalmente en tres zonas, las que yendo de oeste a este son: la Cordillera de la Costa, el Valle Central y la Cordillera de los Andes. Los ríos principales nacen en los Andes y bajan, de este a oeste, atravesando estas estructuras. Resulta tentador tratar de muestrear los ríos a medida que se internan en el Valle Central, donde son fácilmente accesibles. Los ríos andinos, desde Rancagua (latitud 34° S) hasta Puerto Montt (latitud 41° S), fueron muestreados en forma estratégica o de reconocimiento. Se recogieron muestras de los sedimentos y de las aguas para analizarlas en busca de cobre, plomo y zinc.

Varios ríos contenían valores sobre lo normal o corriente, siendo uno de ellos el Tinguiririca, que fue seleccionado para hacer un estudio más profundo. Fue muestreado a intervalos de dos kilómetros en un intento de encontrar el origen de la anomalía.

En el valle del Tinguiririca hay pequeñas vetas de cobre que se encuentran en aguas de cabecera y en calizas y que ya no están en explotación. Veinte kilómetros al norte se halla el mineral más grande del área: el Ternerito. Esta mina explota vetas de calcopirita y bornita encontradas en una chimenea volcánica. Se

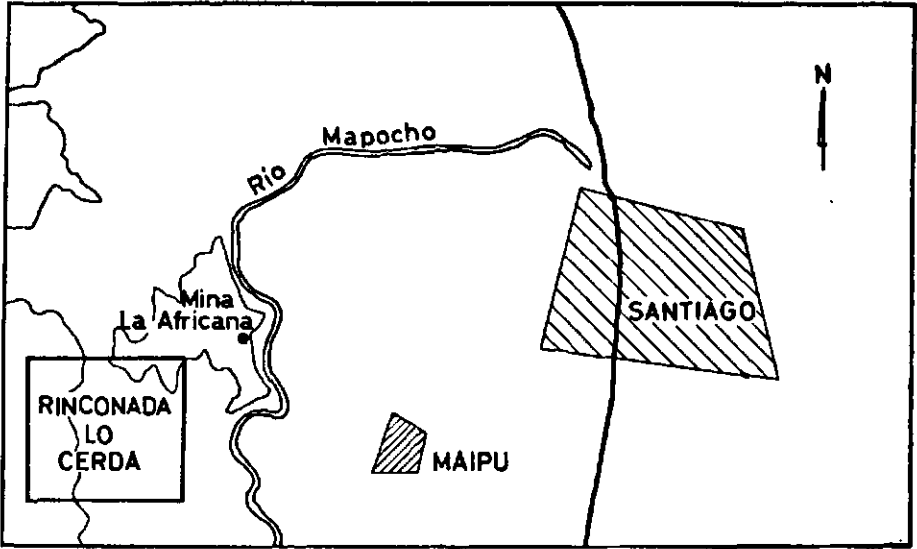


Fig. 1

0 1 2 4 6 8 10 Km.

UBICACION DEL AREA DE ESTUDIO DE RINCONADA LO CERDA

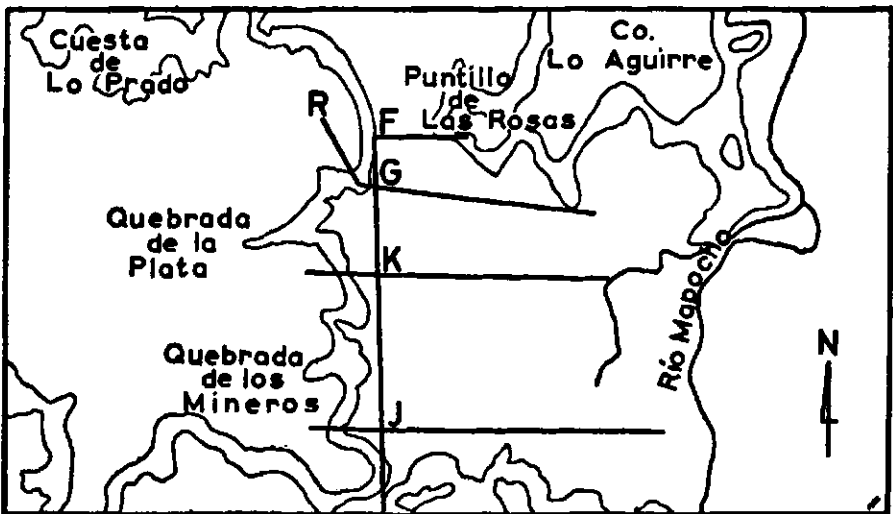


Fig. 2

0 1 2 3 4 5 Km.

UBICACION DE PERFILES DE MUESTRAS SUPERFICIALES DE LA RINCONADA LO CERDA

ha sugerido que la fuente de cobre del Tinguiririca posiblemente se deba a una gran aureola de dispersión con origen en los depósitos de El Teniente. Se cree que las soluciones cupríferas depositaron cobre en un foco de El Teniente y que la aureola de dispersión se debe al movimiento de las soluciones al acercarse o alejarse del depósito.

Los planos de falla, fisuras, grietas y rocas permeables pueden haber servido de conductores para las soluciones. También es posible que la anomalía del cobre encontrada en el Tinguiririca se deba a causas ajenas a la mineralización de El Teniente.

Trabajo de terreno:

Un perfil preliminar en los suelos de la Rinconada demostró que un intervalo de muestreo conveniente era de 200 m, que fue la distancia usada entre los puntos escogidos. Los perfiles se trazaron en líneas este-oeste, perpendicularmente a la alineación de los cerros. En éstos la recolección de muestras se hizo a distancias menores, de 50-100 m. Todas las muestras fueron tomadas justo debajo de la superficie.

Las muestras del drenaje consistían en aguas y sedimentos que se hallaban en contacto con las aguas. Durante el reconocimiento del drenaje de los ríos andinos se tomaron muestras en aquellas partes donde los ríos entran en el Valle Central y forman los tributarios, siendo fácil alcanzarlos.

En la investigación en detalle del Tinguiririca se coleccionaron muestras a intervalos de dos kilómetros a lo largo del curso del río. También se recogieron algunas rocas.

Preparación de las muestras:

a) Se filtraron las aguas y se evaporó cierto volumen para analizar el residuo en busca de cobre.

b) Se secaron la tierra y los sedimentos y luego fueron pasados por tamiz en mallas de 31,5 y de 78 por cm lineal respectivamente. Las rocas se trituraron y pasaron por cedazo de 31,5 mallas.

Análisis de las muestras:

a) Total de cobre, plomo y zinc. Se atacó una muestra de 100 mg de peso con 3 ml de ácido nítrico al 25% en un plato caliente durante una hora. Después del ataque se diluyó la solución con 10 ml de agua libre de metal y se apartaron las partes alícuotas para los diferentes análisis. Por cada una de éstas se agregó el retardador correspondiente en esta forma:

Para el cobre: 5 ml de retardador de pH 2-3 con citrato de sodio e hidrocloreuro de hidroxilamina.

Para el plomo: 5 ml de retardador de pH 8 que contiene citrato de sodio, hidrocloreuro de hidroxilamina y cianuro de potasio.

Para el zinc: 5 ml de retardador de pH6 con acetato de sodio y tiosulfito sódico.

Se agitaron el retardador y una de las partes alícuotas con una solución al uno por mil de ditizona en benzeno. El cambio de color verde a rojo indicó que el metal específico se hallaba presente. Para obtener cuantitativamente la cantidad de metal presente, se comparó la fase orgánica con la standard.

b) Cobre frío o de fácil extracción. Sólo se analizaron los sedimentos en busca de cobre de fácil extracción. Para ello se agitó una muestra de 100 mg con retardador y ditizona y se observó el cambio de color.

c) Pruebas de extracción en frío. Se determinó la cantidad de cobre extraído en frío por varios solventes: ácido acético al 2,5%, ácido clorhídrico normal al 2,5% y ácido sulfúrico al 2%. Se agitó una muestra de 100 mg con 5 ml de solvente y se dejó en reposo por media hora. Luego se filtró y se analizó para ver si contenía cobre.

Agradecimientos.

Varios miembros del Instituto de Geofísica y Sismología ayudaron a la autora en el trabajo y su cooperación ha sido muy apreciada. Queremos agradecer particularmente a la señorita M. Elisa Arancibia por su trabajo de laboratorio y excelente dibujo de los diagramas; al director, Dr. Cinna Lomnitz, y a los señores: Dr. P. St. Amand, Dr. J. S. Tooms, Prof. J. Muñoz Cristi, H. Flores y H. Cusicanqui, quienes se ofrecieron gentilmente a revisar los manuscritos para contribuir con su crítica y consejos. Igualmente a la señora Carmen Chaperó, a cuyo cargo estuvo la traducción de este trabajo.

AREA DE LA RINCONADA DE LO CERDA

FISIOGRAFÍA E HIDROGRAFÍA.

Topografía y Drenaje.

El área en estudio consta de un valle, que por el este se abre hacia el valle del río Mapocho. Por el otro lado lo limita una serie de cerros que se levantan abruptamente a una altura de 500 m sobre el nivel del valle.

Por el oeste la línea de cerros es muy pareja y forma parte de la Cuesta de lo Prado, mientras que por el este los cerros son irregulares y conocidos como Puntilla de las Rosas. Los cerros están cortados por quebradas llenas de escombros que se han desparramado como conos de rodados en el fondo del valle. Este material es transportable sólo durante la estación de las lluvias, porque en verano las corrientes están completamente secas. En general las quebradas son bastante pequeñas.

Aparte de los ríos que acarrean los escombros, las aguas subterráneas constituyen otro medio de conducción de soluciones metálicas desde las grandes profundidades hasta la superficie. El nivel de las aguas subterráneas es de alrededor de cuatro metros bajo la superficie, KARZULOVIC (1958). En el área Santiago-Maipú, a pesar de que los meses de verano son secos, la irrigación intensa es causa de que el nivel del agua se eleve. En invierno, sin embargo, la cantidad de agua de las lluvias es menor que la usada por irrigación, de manera que el nivel del agua subterránea baja, KLEIMAN (comunicación verbal). No toda la Rinconada está bajo sistema de riego, y a pesar de que existen pantanos donde el nivel del agua alcanza a la superficie, por lo general el suelo es extremadamente seco en sus capas superiores. Es posible, entonces, que en esta región las aguas subterráneas desciendan a niveles muy bajos durante los meses de verano.

Vegetación.

La vegetación está constituida principalmente de matorrales y pasto. Los primeros crecen en su mayoría en las laderas de los cerros, mientras que el césped cubre gran parte de la Rinconada.

Parte del área está cultivada, y lo más importante desde el punto de vista geoquímico son los viñedos que se encuentran en el perfil G, ya que existe un riesgo de contaminación de las fumigaciones cupríferas usadas como insecticidas en la viticultura.

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS.

Geología.

Los afloramientos de los cerros corresponden a rocas de la Formación Porfirítica, compuesta en esta parte principalmente por lavas porfiríticas del tipo denominado ocoítas. Es probable que la Formación Porfirítica esté intruida por dos pequeños cuerpos de diorita en el cerro R (Fig. 4); estos cuerpos estarían relacionados en profundidad y pueden ser parte del extenso batolito que se desarrolla hacia la Costa en esta zona.

Una serie de fallas paralelas, con dirección norte-sur, se presentan a lo largo de la ladera oriental de los cerros de Quebrada de la Plata, como también en la base de los faldeos.

La Rinconada está cubierta, en la parte occidental, por escombros de faldas y conos de deyección de las quebradas que drenan los cordones limítrofes. Gran parte del área oriental aparece cubierta por una serie numerosa de pequeños lomajes compuestos de cenizas volcánicas, las cuales, según BRUGGEN (1950), estarían asociadas a fenómenos glaciares del Cuaternario. El espesor de sedimentos se desconoce, pero tal vez sea de unos 400 m en la parte más profunda, KAUSEL (comunicación verbal).

Mineralización.

Hay pruebas evidentes de la existencia de cobre en el área. En la Quebrada de las Minas hay algunos viejos socavones actualmente abandonados. Un examen de los desmontes pone de manifiesto la presencia de minerales oxidados y sulfuros, calcopirita y pirita, incrustados en ocoíta. En los otros cerros hay numerosos fragmentos de rocas teñidos con malaquita y cuprita.

Al lado este de los cerros de lo Aguirre se encuentra la mina La Africana, cuya mineralización, consistente en pirita y calcopirita, aparece a lo largo de una zona de fallas entre diorita y ocoíta. Esta situación geológica es similar a la del Cerro R, donde los estudios geoquímicos confirmaron la presencia de mineralización de cobre (Ver más adelante).

Suelos.

En la falda de los cerros la superficie del suelo es delgada y de residuo, mientras que por contraste, en la Rinconada, la superficie es gruesa y transportada, y contiene numerosos fragmentos de roca de las lomas de los cerros.

Los suelos de la Rinconada pueden dividirse en dos tipos: blancos, que recubren piedra pómez, y café, que abarcan el resto del área. Los suelos blancos son muy finos y pulverulentos, altamente silicosos, y muestran muy poca diferencia con el perfil del suelo. Por otro lado, los suelos café tienen una capa superior de 0-0,3 m de textura arenosa granular, pero prácticamente sin humus, y una capa de 0,3-0,6 m de profundidad en que el suelo se vuelve arcilloso y arenoso y compacto. El pH de los suelos café es 7,2, STORY & MATTHEWS (1946).

RESULTADOS.

Será conveniente discutir los resultados del estudio del valle y del cerro por separado.

En los cerros de la Quebrada de la Plata los valores de cobre son los máximos, lo que coincide con la línea de falla (ver Fig. 3). Los más pronunciados de estos máximos aparecen en el perfil R donde los valores alcanzan 800 ppm. Ya se pensaba, como lo mencionara anteriormente, que las condiciones de estos cerros eran geológicamente favorables a la presencia de mineralización y los resultados geoquímicos lo confirman. Un segundo perfil, llevado a lo largo de la cresta de los cerros (Fig. 4), muestra que los valores se elevan al máximo en la proximidad del contacto de la diorita con la ocoita, lo que sugiere que la mineralización puede presentarse a lo largo de la zona de contactos. Para probar las posibilidades económicas de esta mineralización se requerían zanjas y perforaciones.

Los pequeños depósitos en la misma línea de fallas a lo largo de otras quebradas probablemente explicarían los máximos valores de cobre en los otros perfiles. Un rasgo notable de las anomalías del cerro es el factor de que no se extienden a gran distancia hacia el pie de los faldeos.

Los suelos de la Rinconada pueden dividirse, a *grosso modo*, en las siguientes áreas (ver Fig. 3):

- a) 30 ppm que se obtuvieron para los suelos de piedra pómez.
- b) 100 ppm que fueron los valores más bajos encontrados en los suelos café y que limitan al norte y al sur el área investigada.

El reducido contenido de cobre de los suelos de piedra pómez puede explicarse por el bajo porcentaje original de cobre de esos suelos, como también por su pobre capacidad de absorción del cobre.

Si los suelos café se formaron a base de sedimentación de escombros de las faldas de los cerros, el contenido de cobre de los suelos reflejará el contenido fundamental de las rocas de las cuales derivan. Esto explica, posiblemente, los valores de cobre de 100-300 ppm en los perfiles G y K en el valle, como debidos a la extensión de los productos de erosión mineralizados del cerro G. Los valores 30-100 ppm en los perfiles F y J provienen de rocas fundamentales.

El contenido original de las rocas tiene probabilidades de padecer cambios en el proceso de formación del suelo. La pérdida del cobre puede ocurrir por lixiviación de aguas subterráneas o superficiales. Esto puede ser contrapesado por la introducción de cobre desde otras fuentes, que se enumeraría como sigue:

a) Por contaminación de la agricultura. Un estudio de los resultados (Fig. 3), indica que esto no es de ninguna consecuencia seria en esta área.

b) Por aluviones desde el río durante el invierno. Sin embargo, aunque los sedimentos de río tienen un elevado contenido de cobre (400-960 ppm), no hay aumento de los valores de cobre en la proximidad del estero.

c) Por las aguas subterráneas que han extraído su cobre a mayor profundidad que el relleno sedimentario del valle. En los pantanos no se encontró ningún aumento del cobre por sobre el de los suelos vecinos, lo que destacaría el hecho de que las aguas subterráneas transportaban muy poco cobre. A causa del gran espesor del sedimento en el Valle Central parece bastante dudoso que aparezca una anomalía en la superficie como consecuencia de una posible mineralización en el basamento.

En ambas muestras, las del cerro y las del valle, los valores αCu siguen la tendencia del cobre total, y ambos podrían ser usados con propósitos de prospección. El test αCu es más rápido, pero el test del cobre total es más exacto.

El cuadro siguiente indica un resumen de los resultados alcanzados:

MUESTRA	TOTAL Cu ppm	αCu ppm	αCu Total Cu%
Suelos de piedra pómez	30	4.0	13.0
Suelos café, Rinconada, fondo	45	2.6	6.1
Suelos café, Rinconada, anómalo	153	24.6	16.9
Suelos café, ladera, fondo	240	19.7	8.0
Suelos café, ladera, anómalo	407	80.4	15.7

CONCLUSIONES.

1. En futuras inspecciones geoquímicas 200 m sería un espaciamiento conveniente para las muestras en el valle. En los cerros podrían usarse intervalos de 50 m o menos, a causa de lo inclinado de los faldeos y de la rapidez con que cambian las condiciones.

2. Los máximos de anomalías en los cerros parecen guardar relación con una línea de falla que corre de norte a sur. En cuanto al cerro R se hace necesario seguir trabajando para probar si existe mineralización en alguna medida.

3. La anomalía de cobre del Valle Central deriva, probablemente, de escombros transportados de las faldas del cerro.

4. Para ubicar mineralización bajo la profunda capa de sedimentos que rellena el Valle Central sería necesario desarrollar nuevas técnicas.

5. Los suelos de piedra pómez tienen un contenido extremadamente bajo de cobre.

6. No se tropezó con ninguna contaminación seria de campos cultivados, pero éste es un problema que debe tenerse siempre presente al efectuar inspecciones en otras áreas.

7. Para propósitos de prospección pueden usarse valores determinados en frío o de cobre total.

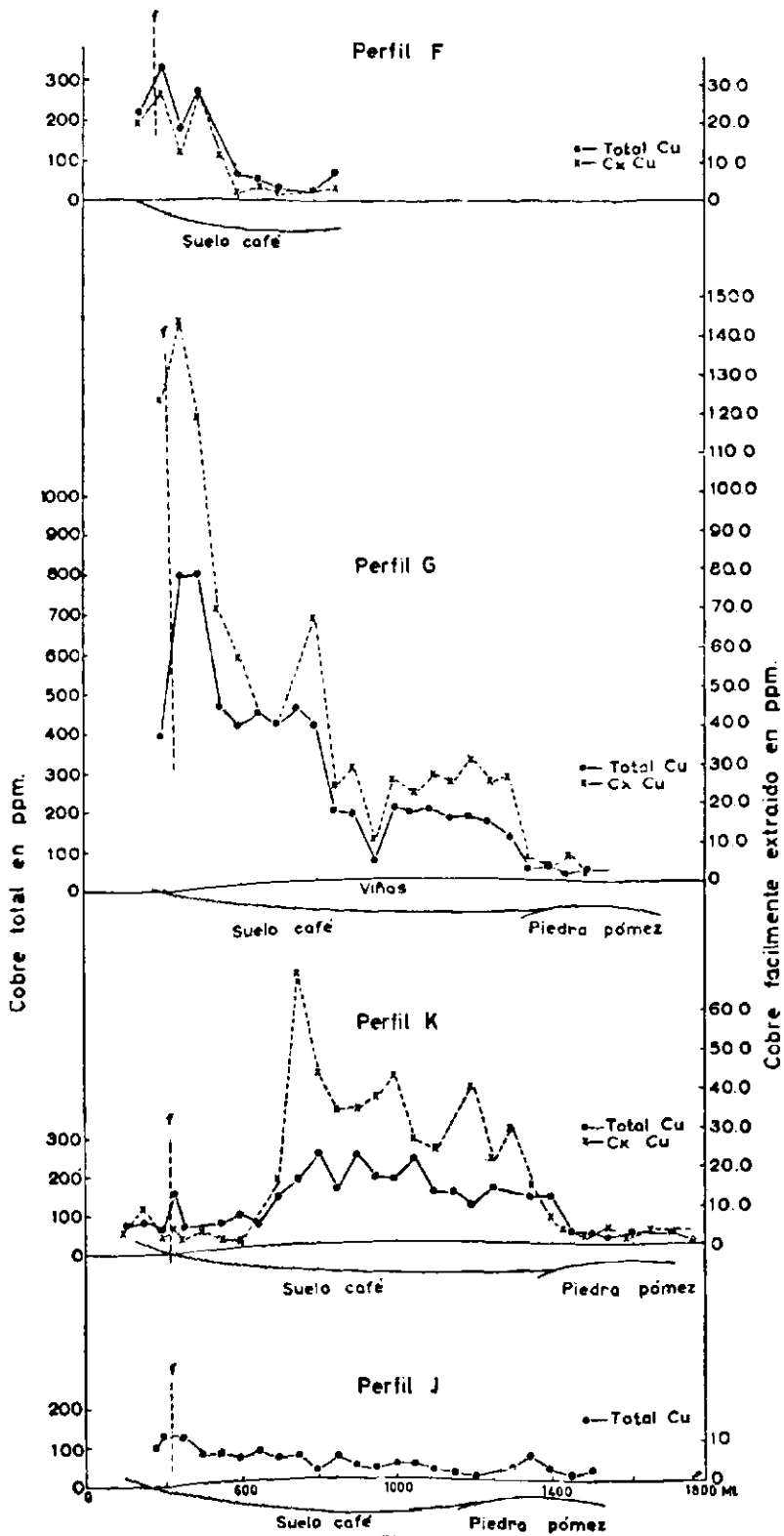
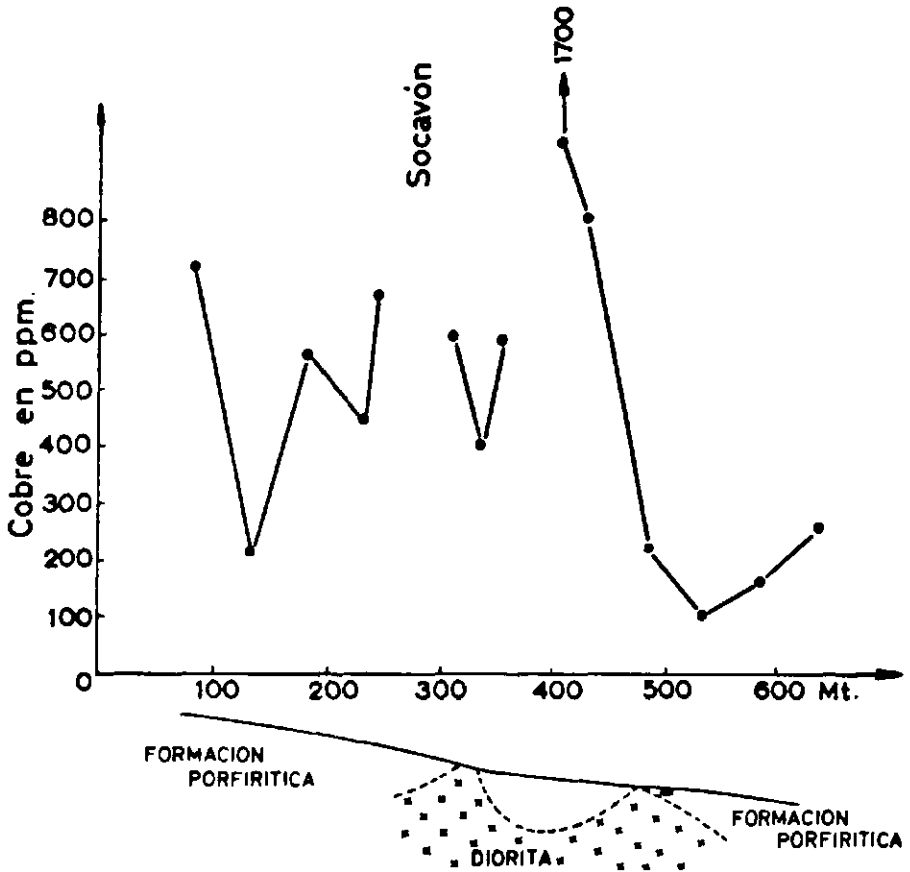


Fig 3

CANTIDAD TOTAL DE COBRE Y CANTIDAD DE COBRE FACILMENTE EXTRAIDO PARA MUESTRAS SUPERFICIALES DE LA RINCONADA LO CERDA

CANTIDAD TOTAL DE COBRE EN PERFIL 'R'
Fig. 4



AREA DE LOS RIOS ANDINOS ENTRE LATITUDES 34° Y 41° S.

DESCRIPCIÓN DE LA ZONA ESTUDIADA.

La Cordillera de los Andes tiene un núcleo de granodiorita con extensos afloramientos al sur del paralelo 38° S. Al norte de esta latitud hay una gran cantidad de granito cubierto por rocas volcánicas, incluyendo andesitas y porfiritas del Cretáceo. Una línea de volcanes recientes se extiende a lo largo de los Andes junto con grandes zonas de lava basáltica, especialmente en la parte sur de la región en estudio.

Los Andes están limitados hacia el oeste por el Valle Central, donde el cambio es abrupto y está a menudo marcado por una línea de falla norte-sur. El Valle Central ha sido rellenado por materiales de depósitos fluviales y glaciares. Desde el paralelo 38° al sur, entre la Cordillera de los Andes y el Valle Central, se presenta una línea de lagos que deben su origen a las represas for-

madas por las morenas que impidieron el paso de los ríos: BRUGGEN (1950), o por una serie de fallas: SAINT-AMAND (comunicación verbal).

Los ríos que nacen de los Andes son correntosos y de aguas claras, y el rango de los sedimentos es de guijarros a limos. El caudal de los ríos depende del clima: en la parte norte aumenta con las lluvias de invierno, existiendo un pequeño aumento durante el verano debido al derretimiento de las nieves, mientras que en los últimos meses de verano disminuye considerablemente debido a la evaporación. Más al sur la diferencia debida a las estaciones es menos marcada, y el aumento de caudal que se produce por las lluvias de invierno es compensado en verano por el derretimiento de las nieves. Los ríos que son alimentados por lagos mantienen también un caudal constante durante todo el año.

La vegetación es más densa hacia el sur debido a que el clima se torna cada vez más húmedo. La Cordillera de los Andes, en la región de los Lagos, está densamente cubierta por bosques. En los últimos años se ha producido una considerable deforestación progresiva que ha dado como resultado el desaparecimiento de la capa superficial del terreno.

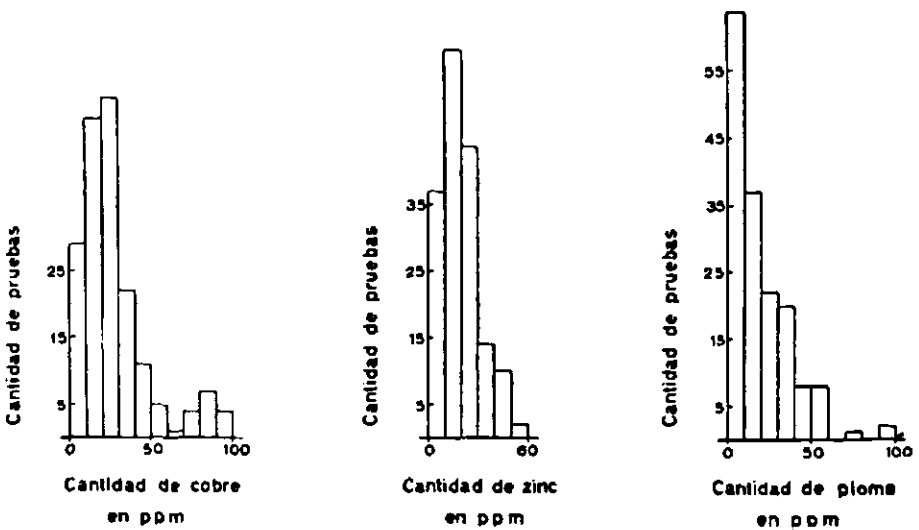
RESULTADOS.

Damos histogramas con los resultados obtenidos (ver Fig. 5), siendo el promedio de metal: 40 ppm de cobre, 25 ppm de zinc, 25 ppm de plomo y 12 ppb de cobre para el agua*. Los mapas (Figs. 6-10), muestran la distribución de los valores metálicos. Varias zonas sobrepasan el promedio y son las que se describirán a continuación:

*Nota: 1 ppb = 10⁻⁹.

HISTOGRAMA DE SEDIMENTOS (malla-200) DE LOS RIOS DE LA CORDILLERA DE LOS ANDES ENTRE LOS PARALELOS 34°y44°

Fig. 5



Región Cachapoal-Tinguiririca-Teno.

De estos tres ríos, yendo hacia el sur, el Cachapoal es el que tiene más alto contenido de cobre en los sedimentos y en el agua; el Tinguiririca tiene menos y el Teno menos aún (hasta en el promedio). Al sur del Teno los valores son bajos (—20 ppm en los sedimentos y 6 ppb en el agua). Aparece algo de zinc, pero no existe plomo asociado al cobre.

Al norte del Cachapoal se halla el conocido mineral de El Teniente y la cuenca que lo atraviesa está densamente contaminada con cobre, plomo y zinc. Río arriba de la confluencia de este tributario del Cachapoal el cobre tiene aún valores anómalos. Es posible que exista una dispersión primaria muy amplia, con El Teniente como foco. Los valores de cobre decrecen hacia el sur, lo que explicaría la dispersión que se observa. No cabe duda de que la aureola también se extiende hacia el norte, pero estas cuencas aún no han sido investigadas.

Solamente los cauces que parten de los Andes presentan anomalías, ya que los que nacen en el Valle Central presentan sedimentos con bajo contenido de cobre. Un arroyo, el Antivero, tiene un contenido de cobre de 2,6 ppb (promedio para todos los cauces = 1,2 ppb) en el agua y un análisis microscópico de los sedimentos reveló la presencia de calcopirita. No está claro por qué el cobre se halla presente en las soluciones y no en la porción fina de los sedimentos. Una posible explicación podría ser que este cambio de posición se deba a que los minerales arcillosos estén saturados y no pueda haber lugar a reemplazo por cobre. Como el Antivero nace en el Valle Central, que está inundado de material sedimentario, no parece posible que el cobre del Antivero derive de los rellenos aluviales del Valle Central; es más probable que exista una mineralización a lo largo de la línea de contacto del Valle Central y los Andes, desde donde nace este río.

Región de Chillán.

Varios cauces en la zona de Chillán muestran indicios de plomo. No se conoce mineralización en esta zona y en general en Chile los depósitos de plomo son escasos. Las razones de este contenido de plomo serán discutidas más adelante.

Villarrica.

Los ríos que nacen en la cordillera y llegan al lago Villarrica presentan un contenido de cobre algo superior al promedio, además hay indicios de plomo y zinc. Nuevamente se desconocen antecedentes de la mineralización en esa zona, pero estudios posteriores pueden ser de provecho.

Osorno y Región de los Lagos.

Varios cauces de esta zona tenían un contenido de cobre mayor que el promedio (>50 ppm) y otros arrojaban altos valores para el plomo (>50 ppm). También se registraron valores de contenido de zinc algo anormal, pero íntimamente relacionados, en todos los casos, con aquellos de plomo y cobre. En esta zona no se puede pensar que el aumento del contenido metálico se pueda deber a una mineralización; más adelante se insinuarán otras causas.

Discusión.

Un aumento del contenido de metales básicos que sobrepase el promedio se puede deber a:

- a) La presencia de mineralización dentro del área drenada, ya sea de afloramientos superficiales o subterráneos que se están oxidando y cuyo producto de oxidación se está removiendo y transportando por medio del drenaje.
- b) Las rocas de la zona de drenaje tienen un contenido de metales básicos muy superior al promedio, y este aumento se refleja en el cauce.
- c) Las rocas de la zona de drenaje tienen solamente un contenido normal de metales básicos y la sedimentación es tal que puede acumularse metal a partir del nivel de origen.

Como se ha dejado establecido, el único caso positivo de valores metálicos anómalos debidos a la mineralización es la zona Cachapoal-Teno. Aunque en la región de Osorno y de los Lagos puede aparecer una mineralización inesperada, parece más factible que este aumento del contenido metálico se deba a que las rocas de esa zona tienen un contenido base mayor que el promedio. Alrededor de los lagos se presenta gran cantidad de lavas basálticas recientes y como se muestra en la Tabla (GOLDSCHMIDT, 1954) que sigue, los basaltos contienen más cobre y zinc que el promedio en la corteza terrestre.

	Cu	Pb	Zn
a) Contenido promedio en la corteza terrestre	70 ppm	25 ppm	80 ppm
b) Contenido promedio en los granitos	100 ppm	5-50 ppm	60 ppm
c) Contenido promedio en los basaltos	200 ppm	7 ppm	130 ppm
d) Contenido promedio en los sedimentos de los ríos	40 ppm	25 ppm	25 ppm

Esta tabla muestra que el valor promedio para el cobre y zinc en los basaltos es mayor que el encontrado en los sedimentos de Chile. Además en aquellas áreas, por ejemplo Osorno y la región de los Lagos, donde los valores de cobre son superiores al promedio, pero todavía menores que el contenido promedio de los basaltos de la corteza terrestre, puede haber ocurrido una lixiviación de los metales básicos por los cauces o las aguas subterráneas. Un estudio del contenido metálico de las rocas fundamentales podría revelarlo.

Los basaltos en la región de los Lagos pueden explicar el aumento de cobre y zinc, pero no sin tomar en cuenta los valores para el plomo, tanto aquí como en la zona de Chillán. El análisis de las rocas, con respecto a los metales básicos, obviamente indicaría si existe un incremento en los yacimientos de plomo de la zona. Aun así, la anomalía en los valores para el plomo continuaría siendo un misterio porque, en contraste con el cobre y zinc que tienen un orden de dispersión extenso, los del plomo son generalmente pequeños, ya que nunca están muy lejos de su fuente de origen.

Los metales en la cuenca del río pueden ser transportados como parte de los sedimentos o llevados en solución por las aguas. En general los ríos andinos

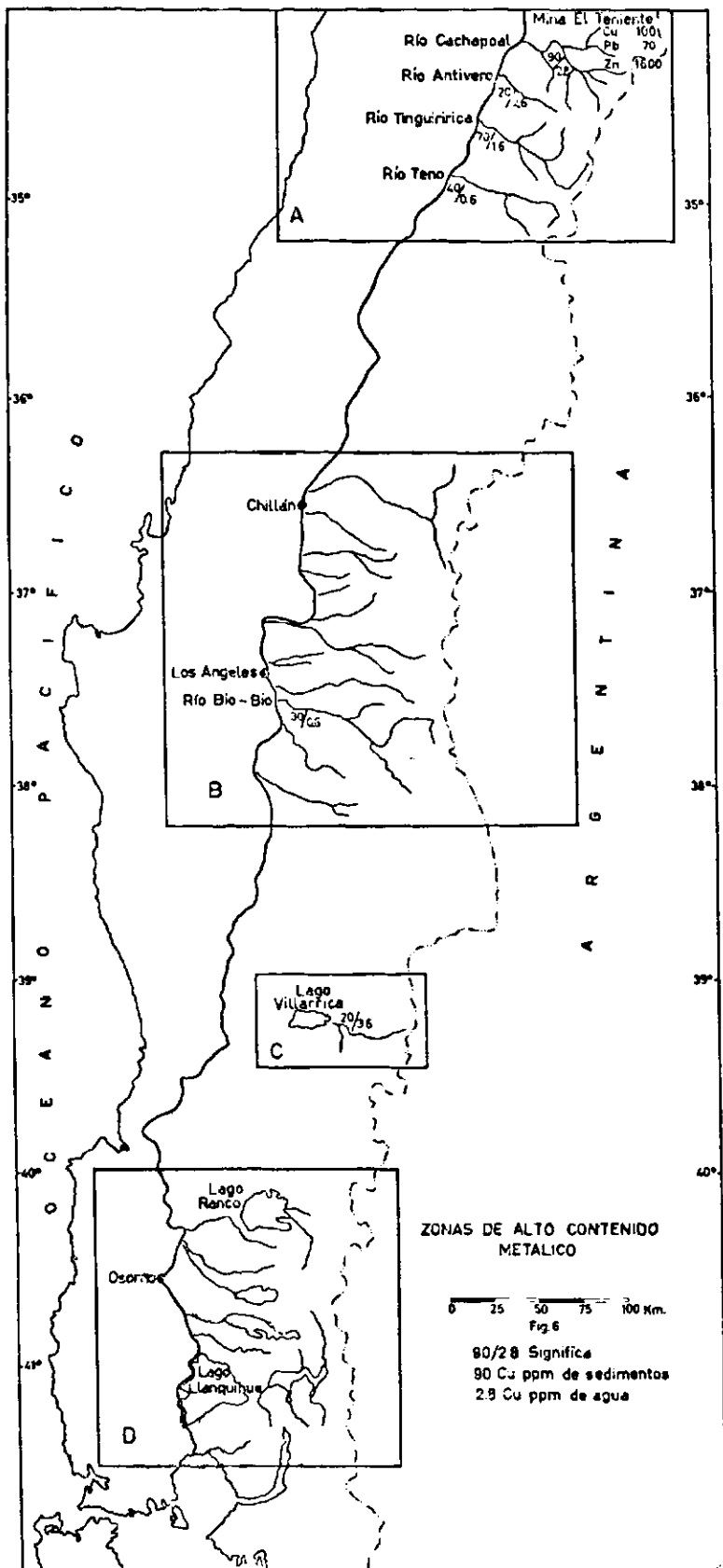
tienen una corriente rápida y una gradiente empinada, por lo que el transporte mecánico de los sedimentos es un factor importante en la dispersión de los metales. Sin embargo, aquellos elementos cuyos compuestos tienen gran solubilidad, como el cobre y el zinc, serán transportados tanto por medios químicos como mecánicos. Los metales acarreados en solución pueden ser removidos de los sedimentos por precipitación y por reacción de cambio de bases y llegar a formar parte de la carga normal de los sedimentos. Elementos de baja solubilidad, por ejemplo el plomo, serán transportados principalmente por medios mecánicos, pero éste no es el caso en los ríos chilenos (según veremos más adelante).

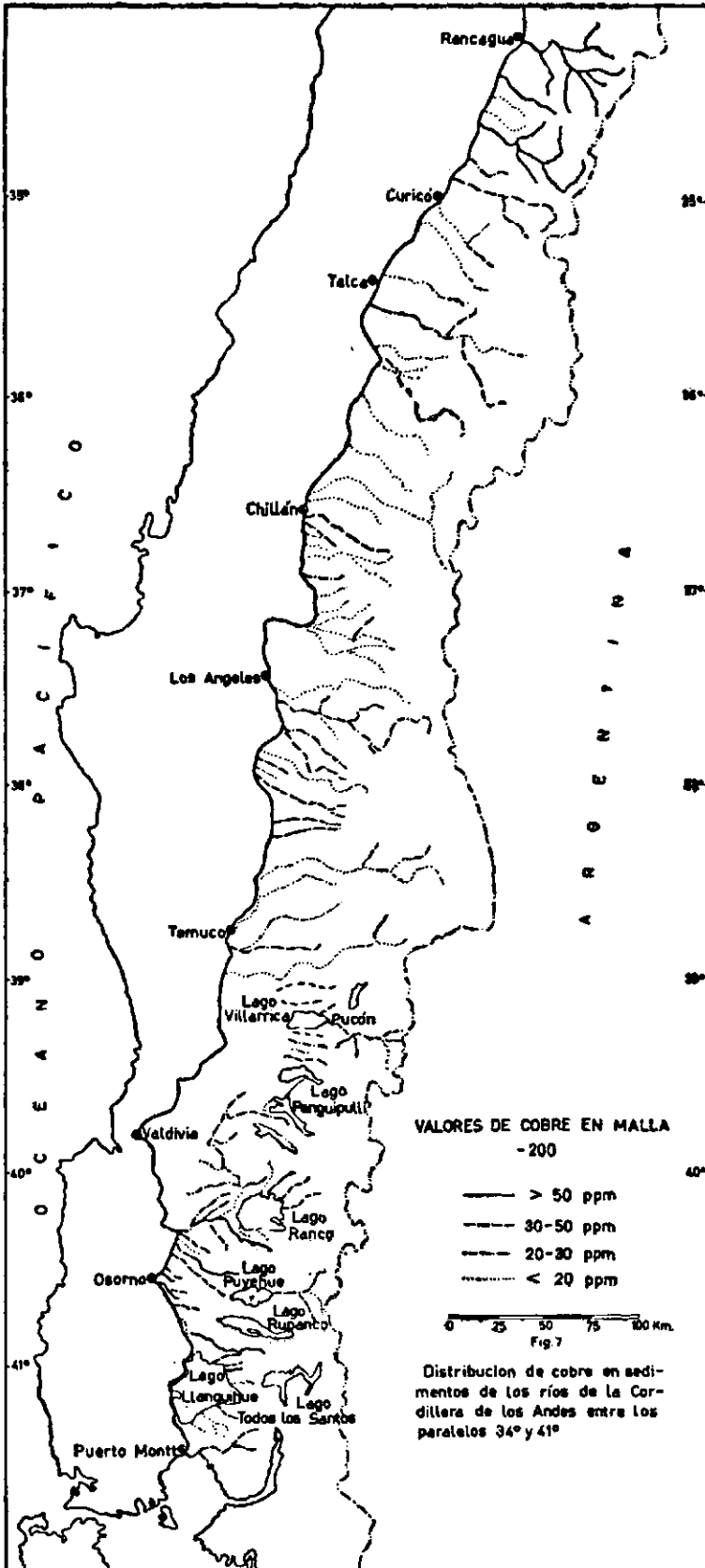
También es posible que los productos de la erosión de un yacimiento de minerales sean removidos tan rápidamente que el metal sea incapaz de disolverse. Esto podría ocurrir si no hubiera pirita en la mineralización, porque no se produciría ácido sulfúrico, que es el disolvente de los metales, ya que éste resulta de la descomposición de la pirita.

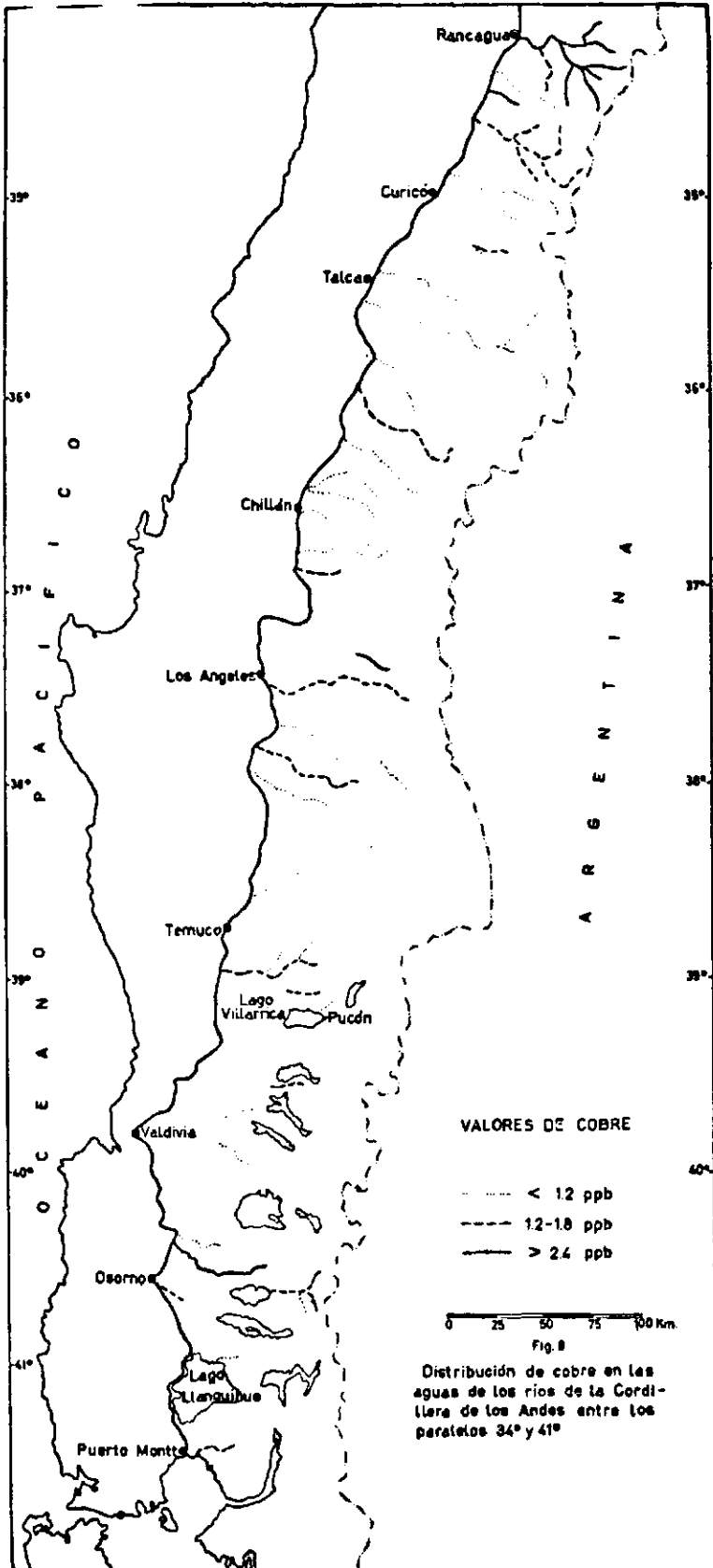
Otro factor que entra en juego en la migración mecánica o química de los metales es el clima. En las partes más áridas del norte de la región, los agentes mecánicos tienen un papel más importante que en el lluvioso sur. En la parte boscosa de la región de los Lagos, donde las lluvias son muy intensas, la lixiviación llega a ser de importancia. Como el contenido total de sales en el agua es bajo, puede creerse que gran parte del metal ha sido ya lixiviado. Sin embargo, algunos ríos en la parte sur tienen cobre en solución y una alta cantidad de cobre correspondiente en los sedimentos. Esto sugiere que la lixiviación de las lavas basálticas recientes puede ser la responsable del contenido metálico actual en las aguas de los ríos y en los sedimentos.

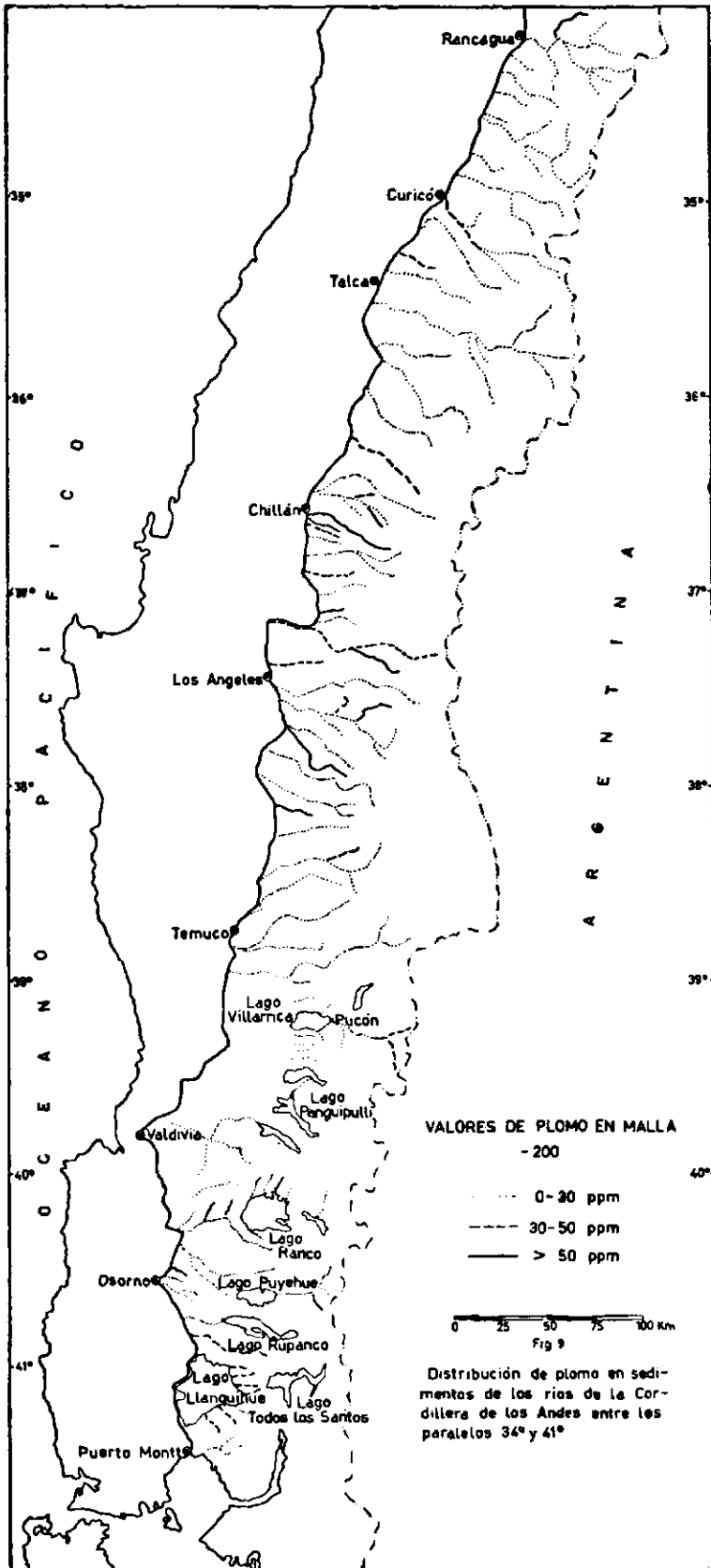
En la dispersión química los metales pueden ser disipados, dando una larguísima serie de dispersión, o pueden ser concentrados por algún constituyente del sedimento. El fierro y materias orgánicas son bien conocidos por su capacidad de absorber metales. El siguiente trabajo en el valle del Tinguiririca mostró que para el cobre el orden de dispersión puede extenderse a una gran distancia. La migración del plomo de los ríos chilenos se efectúa tal vez por medio de complejos orgánicos. Es obvio que se requieren más muestras y más análisis para poder dar un cuadro más exacto de la dispersión metálica en los ríos chilenos.

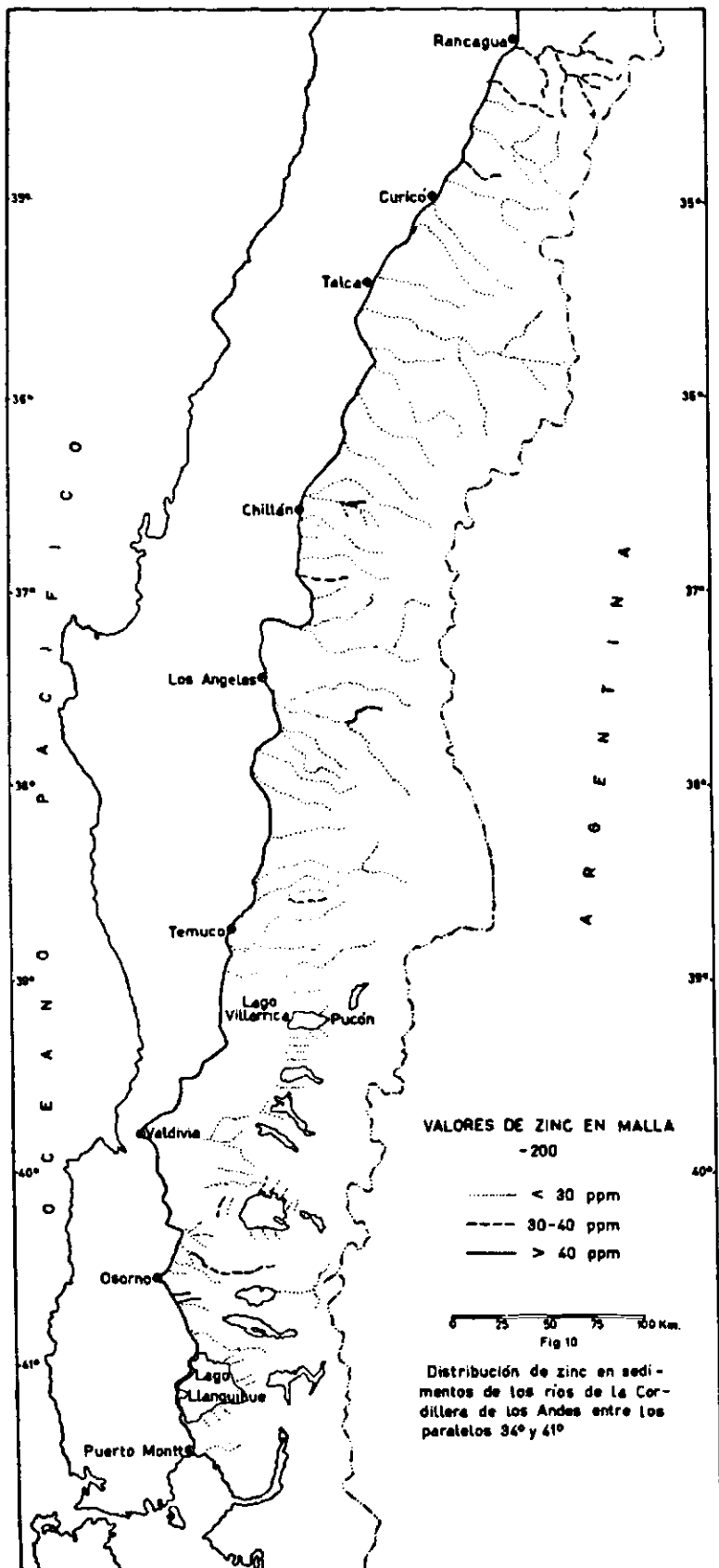
La longitud del rango de dispersión depende de las dimensiones y del volumen del río. Si se coloca cierta cantidad de metal, ya sea en solución, o como integrante de sedimentos, en un río grande y en uno pequeño, los valores serán lógicamente menores para el río grande, debido al efecto de la disolución. No siempre es posible obtener un cuadro completo del volumen y la velocidad de cada río. Por lo tanto es probable que para algunos ríos grandes no se pueda obtener el potencial metálico del área. Esto es lo que ha sucedido con el Bío-Bío. Se conocen dos depósitos de cobre en los ríos tributarios del Bío-Bío (de los que no se sacaron muestras). En los sedimentos se obtuvieron valores de solamente 30 ppm de cobre. Para evitar esta situación se tomaron muestras en tantos tributarios como fue posible, pero no se logró una investigación completa. Sin embargo los resultados son suficientes como para dar un cuadro general de la dispersión metálica de las hoyas hidrográficas de los Andes de Chile Central.











AREA DEL RIO TINGUIRIRICA

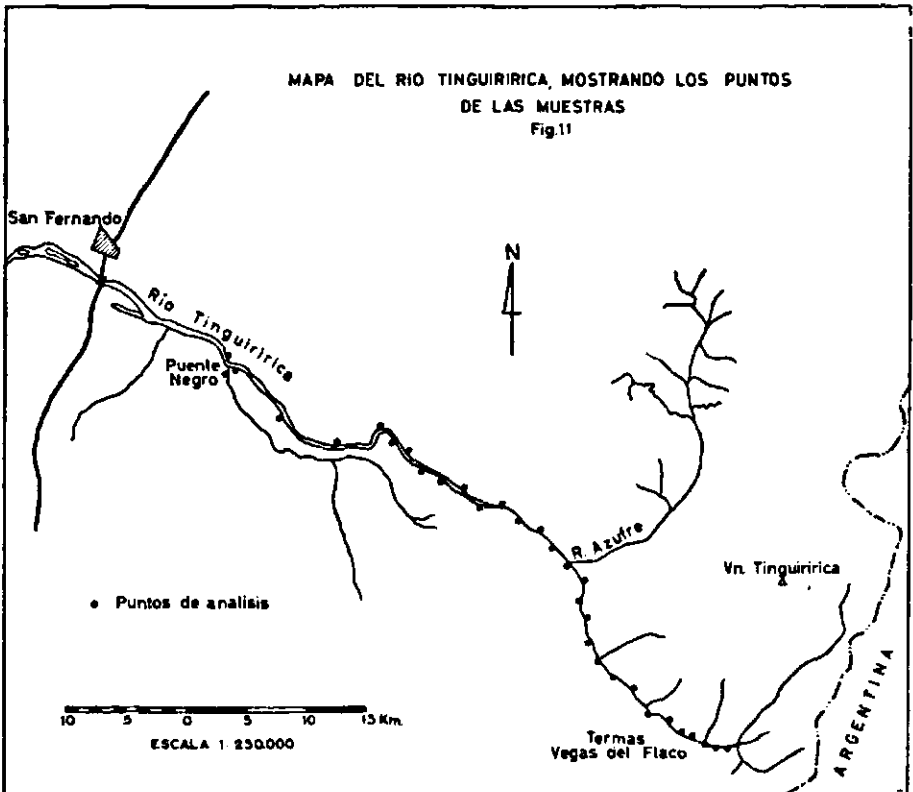
El Tinguiririca nace en el corazón de los Andes, cerca de la frontera argentina, sigue hacia el oeste para entrar en el Valle Central, en Puerto Negro, hasta salir al Pacífico. El muestreo se llevó a cabo en esa parte del río y en los tributarios que nacen en los Andes.

Cerca de su nacimiento el río corre por un valle glacial que contiene morenas. Como a 25 km de su origen el valle toma un carácter más fluvial y en la actualidad el río está abriendo un canal a través de una pronunciada garganta. El caudal es rápido y de aguas claras, y el sedimento varía desde grandes guijarros hasta limo.

Hay una considerable variación anual en el caudal del río. Aunque la zona tiene lluvias invernales el gasto máximo del agua ocurre a mediados del verano, cuando aumenta el volumen por el derretimiento de las nieves. A fines del verano disminuye por la evaporación, y los depósitos aluviales pueden verse en ambas márgenes del río.

En el curso superior del río, en las Vegas del Flaco, brotan fuentes termales. Alrededor de los manantiales hay incrustaciones de cloruro de sodio.

Las rocas predominantes en la zona corresponden a un conjunto de lavas y brechas, conglomerados y lutitas en los cuales predomina el material volcánico. Este grupo de rocas es de edad mesozoica y constituye la llamada Formación Porfirítica que ha sido subdividida por KLOHN (1957), en una serie de unidades; además se encuentran sedimentos marinos cuyos fósiles documentan una



edad neocomiana e intrusiones de rocas graníticas. Como rocas más nuevas aparecen lavas y aglomerados volcánicos, del tipo de andesitas basálticas, correspondientes seguramente al Terciario Superior y/o Cuaternario.

Existen algunos afloramientos de granodiorita cerca del río Azufre (Figura 11).

En varias de las muestras del conglomerado porfirítico y de la diorita se presentaron pequeños cristales piríticos en la matriz, y en una brecha porfirítica se observó la presencia de calcopirita. Estas rocas porfiríticas se hallaron sólo en la mitad inferior del río. Cerca de su nacimiento había otras indicaciones de cobre, según lo atestiguan las manchas de malaquita en algunas rocas de los tributarios superiores.

RESULTADOS.

Contenido total de cobre en los sedimentos.

Los análisis demostraron varios máximos de valores de cobre en el río (Fig. 12):

Máximo A, valor 600 ppm. No existe ninguna fuente segura de esta anomalía.

Máximo B a C, valor 500-250 ppm. Dos pequeños tributarios entran en el Tinguiririca, uno aguas arriba y otro aguas abajo desde el máximo B. Tienen contenidos de cobre de 800 ppm. y son seguramente causantes del contenido de cobre en el cauce principal.

Máximo D, valor 400 ppm. Punto cercano a una zona de contacto (que puede estar mineralizada) de granodiorita y de las rocas del Colimapu. El río Azufre drena parte de esta zona, lo que podría influir en el valor de 280 ppm en el sedimento de este río.

Debemos mencionar que aunque no se conoce ninguna mineralización económica en esta zona, algunas brechas porfiríticas y granodiorita halladas en los sedimentos del Tinguiririca, aguas abajo desde el río Azufre, contenían pequeños cristales de pirita, y en una ocasión se observó algo de calcopirita.

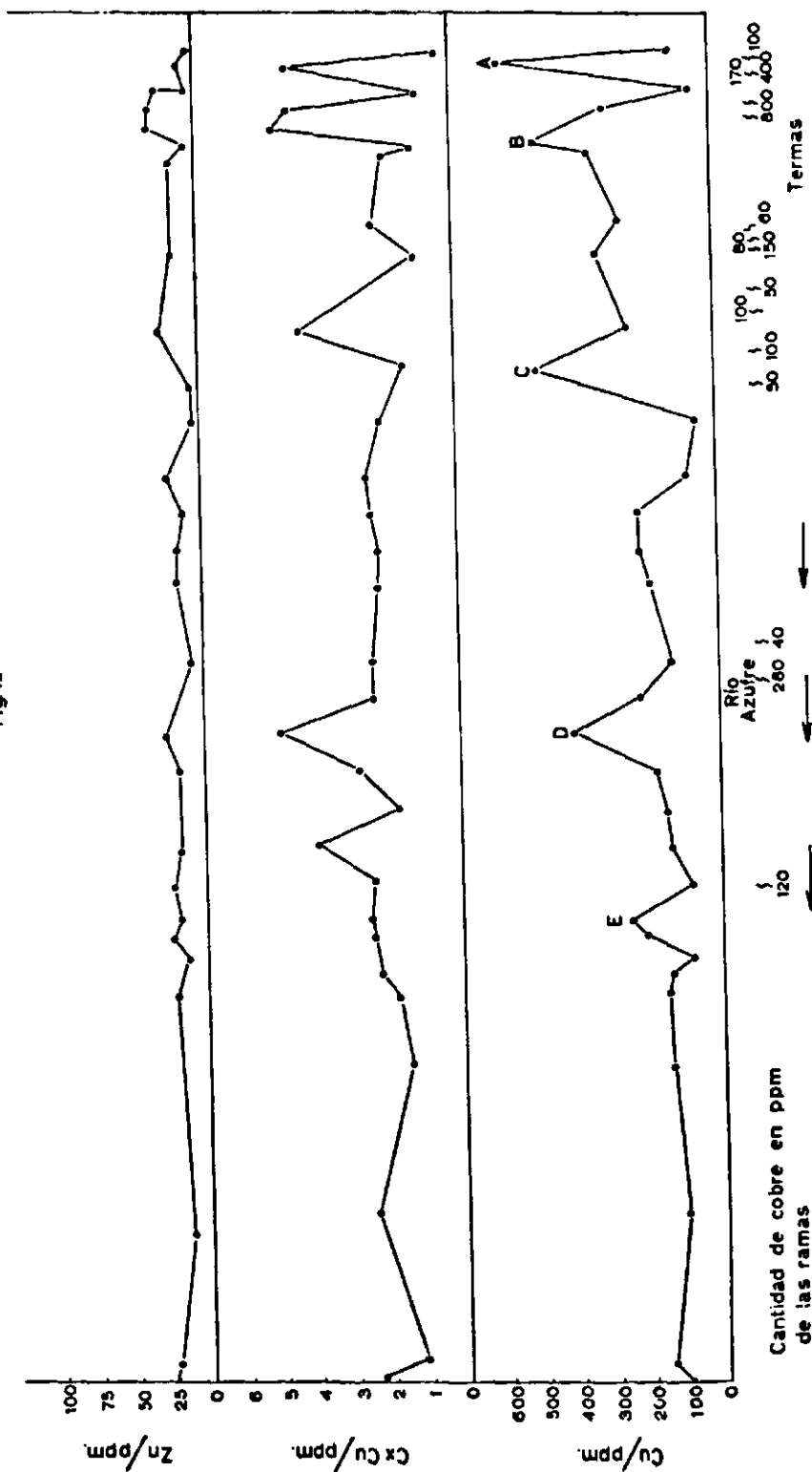
Máximo E, valor 250 ppm. Se desconoce el origen de esta anomalía. Donde se tomaron dos muestras, una del aluvio seco de la ribera del río y otra de los sedimentos en contacto con el agua, se notó una diferencia de valores como sigue:

Muestra	Aluvio Seco, Cu ppm	Sedimento en Contacto con el agua, Cu ppm
78	170	210
76	200	250
48	250	300

Estas diferencias de valor pueden deberse al hecho de que el volumen del río disminuye a fines del verano (cuando se recogieron las muestras), de modo que el sedimento que está más tiempo en contacto con las aguas, que se sabe tienen cobre en solución, posee el contenido más alto de cobre. Estos resultados también hacen pensar que la dispersión del cobre por solución es más im-

CANTIDAD DE COBRE, COBRE FACILMENTE EXTRAÍDO, (Cx Cu), Y ZINC DE LOS SEDIMENTOS DEL RIO TINGIRIRICA

Fig. 12



portante que por medios mecánicos. Se mostrará más adelante que una vez que los sedimentos se llevan el cobre no es fácil volverlo a disolver.

Cobre frío extractable de los sedimentos (cxCu).

Estos valores del cobre total extraído son bajos (término medio 2,0%), pero existen características generales semejantes a las del cobre total (Fig. 12). Los análisis de extracción en frío muestran la rapidez de solubilidad del cobre, incluyendo el cambio de posición de la base de las arcillas. Es evidente que de los sedimentos del Tinguiririca muy poco cobre es de fácil solubilidad o de base variable.

Cobre extraído de varios solventes de los sedimentos.

La tabla 1 muestra que la mayor cantidad de cobre se extrae con ácido sulfúrico y la menor con ácido acético. Los valores bajos de ambos, tanto el cobre extractable en frío como el extractable con ácido acético, sugieren que muy poca cantidad de cobre se retiene orgánicamente en los cambios de posición de las bases BEAR (1955). El señor Cusicanqui ha sugerido a la autora que el cobre tal vez se halla presente en la forma de hidróxidos coloidales y una vez que éstos son absorbidos en el sedimento, no se vuelven a disolver fácilmente.

Contenido total de cobre en las rocas.

En general las rocas en áreas mineralizadas tienen un contenido más alto de cobre que las rocas en áreas alejadas de la mineralización. Recientemente lo probaron WARREN Y DELAVault (1959), en su trabajo en el Canadá. La tabla 2 muestra el contenido medio de cobre y zinc de las rocas en el área del Tinguiririca.

Los valores para las rocas ígneas no son exagerados si se comparan con aquellos corrientes en la corteza terrestre. Sin embargo, los valores de las cuarcitas y las brechas son un poco mayores que aquellos registrados en cualquier otra parte. Sería interesante coleccionar más muestras de rocas, tanto en el Tinguiririca como en las áreas colindantes, y tomar nota de la variación en el contenido de cobre. En base al presente resultado poco se puede decir con respecto al potencial mineral del área.

Contenido de plomo y zinc en los sedimentos.

Las concentraciones de plomo y zinc eran bajas, 10 ppm y 5-35 ppm respectivamente, excepto en una muestra que estaba en contacto con las fuentes termales. Esta muestra arrojó valores de 600 ppm de cobre y 420 ppm de zinc. Los valores del cobre pueden ser parte de la anomalía de los sedimentos corrientes. La presencia del zinc es más difícil de explicar, pero puede que se deba al depósito de sustancias de las fuentes termales llevadas en solución desde la profundidad; o la acumulación puede provenir de fuentes más antiguas. Por desgracia no se recogieron muestras de agua y se necesitarían muestras de fuentes termales para ver si el zinc va acarreado en solución. Es probable que las aguas termales estén lixiviando un depósito mineral en la profundidad:

Tabla 1. Señala el cobre total y el cobre de fácil extracción en algunos sedimentos del Tinguiririca.

Muestra Nº	Cobre total en ppm	Cobre de fácil extracción en frío (ppm)	Cobre extraído por ácido acético (en ppm)	HCl N 2% (ppm)	H ₂ SO ₄ (ppm)
35	110	0.5	2.2	8.0	25.0
36	600	4.6	6.0	18.0	6.0
42	800	7.4	9.0	22.0	27.0
43	400	5.0	11.0	17.5	19.0
47	100	1.7	3.5	6.0	6.0
55	220	4.4	6.0	8.0	17.0
58	500	1.7	9.0	10.0	14.0
63	110	2.2	7.5	9.0	10.0
75	200	2.5	6.5	6.0	22.5
78	170	2.8	6.0	7.0	12.5
86	350	4.6	3.5	27.6	11.2
87	100	1.0	2.0	6.0	10.0
89	160	3.2	5.0	6.0	9.3

Tabla 2. Señala el contenido medio de cobre y zinc en las rocas de las cercanías del Tinguiririca.

Roca	Cobre-ppm	Zinc-ppm	Nº de Muestras
Diorita	50	25	4
Basalto	100	20	5
Lava porfírica	30	10	15
Brecha	180	80	3
Cuarcita	160	80	6

Conclusiones y sugerencias.

a) Se encontraron varias anomalías de cobre en el Tinguiririca. Deberían estudiarse los tributarios superiores para encontrar el origen del cobre. Debería emprenderse un estudio de la zona de contacto al oeste del río Azufre para encontrar la extensión de la mineralización en el contacto granodiorítico del sedimento. Debería ejecutarse un cuidadoso trabajo en sitios de muestreo más cercanos en las áreas alrededor de los máximos de anomalía, y deberían recogerse muestras de agua y sedimento en las rocas y orillas.

Estos estudios en detalle formarían parte de un proyecto más amplio para verificar si realmente existe la aureola de dispersión de El Teniente.

b) Sólo se podría extraer una pequeña porción de cobre total que hay en el sedimento. Es posible que el cobre se precipite como hidróxido coloidal.

c) Sería conveniente recoger muestras de agua del río y de las fuentes termales. El análisis del agua puede arrojar información útil sobre el equilibrio del cobre que hay entre el agua y el sedimento. El contenido de las fuentes ter-

males podría dar luz sobre las posibilidades de que existan depósitos de cobre en la profundidad, y tal vez, sobre el origen del depósito de cobre hidrotermal.

d) No se encontraron anomalías de plomo ni de zinc en los sedimentos del Tinguiririca.

CONCLUSIONES

En Chile Central se pueden hacer investigaciones del suelo con propósitos de prospección geoquímica en busca de cobre, pero quedan por resolver muchos problemas. Algunos de los tópicos que podrían estudiarse son: cómo se halla el cobre en el suelo; su distribución en cuanto a la profundidad, etc.

El muestreo de drenaje en busca de cobre, plomo y zinc en una base regional dio varios resultados interesantes y demostró que algunas áreas tienen un contenido de metal mayor que lo corriente. Razones hipotéticas pueden darse para estas áreas anómalas y ellas se discuten en el texto. Es necesario obtener pruebas haciendo más muestreos de los ríos y rocas en el área.

La investigación en detalle demostró que por lo menos para un río podían seguirse los valores anómalos hasta varios *peaks* río arriba. Desgraciadamente, no hubo oportunidad de estudiar los *peaks* en detalle para encontrar la fuente del metal.

El cobre encontrado en el muestreo de drenaje dio anomalías más pronunciadas que las de plomo o zinc. El zinc rara vez es anómalo y como tal se halla sólo presente en cobre o plomo anómalos. Esto en cuanto a la asociación general de metales hallados en depósitos de minerales chilenos.

Sería conveniente usar estos métodos de drenaje en gran escala en la Cordillera de la Costa.

REFERENCIAS

- BEAR, F. 1955. Chemistry of the soil. Rheinhold Publishing Co.
- BOYLE, R. E. et al. 1954. Geochemical investigations of heavy metal content of streams and springs in the Galena Hill-Mount Haldande Area, Yukon Territory. Geological Survey of Canada, Bulletin 36.
- BRUGGEN, J. 1929. Texto de Geología.
- BRUGGEN, J. 1950. Fundamentos de la geología de Chile, Instituto Geográfico Militar. Santiago de Chile.
- FLORES, H. 1959. Apuntes de Geología. Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- GEOGRAFIA ECONOMICA DE CHILE, Tomo I. CORFO, Santiago de Chile.
- GOLDSCHMIDT, V. M. 1954. Geochemistry, Clarendon Press.
- HAWKES, H. E. 1957. Principles of geochemical prospecting. U. S. Geological Survey Bulletin. 1000-F.
- HAWKES, H. E. 1956. et al. Geochemical reconnaissance in Eastern Canadá. XXth Inst. Geolog. Congress, Mexico City.
- KARZULOVIC, J. 1958. Sedimentos cuaternarios y aguas subterráneas en la cuenca de Santiago. An. de la Fac. de Ciencias Físicas y Matemáticas, Univ. de Chile, Vol. 14-15. Santiago de Chile.

- KLOHN, C. 1957. Estado actual del estudio geológico de la "Formación Porfírica". Revista del Inst. de Ingenieros de Minas de Chile, Nº 55. Santiago de Chile.
- LAKIN, H. W. 1959. Compilation of field methods used in geochemical prospecting by the U. S. Geological Survey. Survey Circular 161.
- MUÑOZ CRISTI, J. 1956. Chile. Bull. Geol. Soc. Am. Memor. 65, p. 87.
- RICHARDSON, P. W. y HAWKES, H. E. 1958. Adsorption of copper on quartz. *Geochem. et cosmochim. Acta* V. 15, p. 9.
- STORY Y MATTHEWS. 1946. A preliminary study of Chilean soils.
- WARREN, H. E., DELAVault, R. H. M. 1959. Readily extractable copper as in eruptive rocks as a guide for prospecting. *Econ. Geol.* V. 54, p. 1291.
- WEBB, J. S. y MILLMAN, A. P. 1950. Heavy metals in natural waters as a guide to ores: A preliminary investigation in West Africa. *Bull. Inst. Min. Met.* V. 518, p. 3.
- WEBB, J. S. y TOOMS, J. S. 1959. Geochemical drainage reconnaissance for copper in Northern Rhodesia. *Bull. Inst. Min. Met.* V. 68, p. 125.