

INSTITUTO DE GEOFISICA Y SISMOLOGIA

FACULTAD DE CIENCIAS
FISICAS Y MATEMATICAS

UNIVERSIDAD DE CHILE



VARIACIONES ESTACIONALES DEL CONTENIDO
DE COBRE EN ALGUNAS CORRIENTES ANDINAS
DE CHILE CENTRAL

Por

Ann M. de Grys.

Dpto. de Geoquímica.



VARIACIONES ESTACIONALES DEL CONTENIDO
DE COBRE EN ALGUNAS CORRIENTES ANDINAS
DE CHILE CENTRAL.

Por

Ann M. de Grys.°



RESUMEN

Durante un año se extrajeron muestras a intervalos regulares de 12 ríos andinos al entrar en el Valle Central. Las aguas se analizaron sólo para cobre, y los sedimentos para zinc y cobre. Los valores se han relacionado con los cambios estacionales. Durante el invierno los valores metálicos son bajos pero en primavera aumentan. Después de un período de solución debido a la fusión de las nieves se observó que a fines del verano cuando el caudal del río decrece, los valores vuelven a aumentar. En otoño se produjo una repentina caída de los valores, que persistió durante todo el invierno.

ABSTRACT.

Twelve streams rising in the Andean Cordillera were sampled where they enter the Central Valley at regular intervals over the period of a year. The waters were analyzed for copper only and the sediments for zinc and copper. Values were related to seasonal changes. During the winter metal values were low but increased during the spring. After a period of dilution from the snow melt waters, a second increase in values occurred when the river volume decreased during the late summer. A sudden drop of values occurred in the autumn which continued throughout the winter.

° M. Sc. London, Geólogo Dpto. Geoquímica, Instituto de Geofísica y Sismología, Universidad de Chile.

VARIACIONES ESTACIONALES DEL CONTENIDO
DE COBRE EN ALGUNAS CORRIENTES ANDINAS
DE CHILE CENTRAL.

CONTENIDO.

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCION

DESCRIPCION DEL AREA:

Clima y Vegetación.
Drenaje y Topografía.
Geología.
Mineralización.

METODOS

RESULTADOS

CONCLUSIONES

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS.

TABLAS.

- I. Cantidad de lluvia caída en el área desde Octubre de 1960 hasta Octubre de 1961.
- II. Contenido metálico en los ríos Maipo, Claro, Tinguiririca y Teno.

DIAGRAMAS.

1. Ubicación y puntos de toma de muestras de las corrientes estudiadas.
2. Geología del área.
3. Valores de cobre y zinc en los sedimentos y valores de cobre en las aguas de los ríos Maipo, Paine, Pueco, Codedgua, San Francisco, Cachapoal, Claro, Cuenca, Antivero, Tinguiririca, Chimbarongo y Teno.
4. Contenido total de sólidos, sulfato, calcio, magnesio, carbonato, sodio y potasio, y cloruro en el Río Maipo.
5. Relación entre la variación del caudal y contenido metálico de un río.

INTRODUCCION.

De la bibliografía examinada se desprende que la composición de las aguas de los ríos es variable. COLBY y col. (1956) demostraron que las propiedades químicas de las aguas del río Wind en Wyoming están relacionadas con las crecidas del caudal. Al aumentar la velocidad de la corriente se observó un aumento de los sedimentos y una disminución en la cantidad de elementos disueltos. En Chile, DONOSO (1953) recogió muestras de agua del Río Maipo cerca de Santiago durante un año. La composición no era constante; la concentración máxima ocurrió en primavera (Octubre a Noviembre) disminuyendo luego en verano (Enero a Febrero) cuando el volumen del río llegó a su mínimo. ATKINSON (1957) midió el contenido de cobre de corrientes ubicadas en regiones mineralizadas de Angola y encontró que las variaciones estaban relacionadas con la cantidad de lluvia y con los niveles crecientes de las aguas subterráneas.

Este trabajo se basa en el estudio de muestras tomadas mensualmente en doce ríos que nacen de Los Andes, en la región central de Chile. El Maipo es el que se encuentra más al Norte, cerca de Santiago, y el Teno cerca de Curicó, es el más austral. (Para la ubicación de los ríos, ver fig.1). Se abarcó una distancia de 150 km aproximadamente, siendo el área total que riegan los ríos de $10,500 \text{ km}^2$. Se recogieron muestras de agua y sedimentos y se analizaron para el cobre; los sedimentos para el zinc y cobre. Se intentó estudiar las variaciones del contenido metálico y averiguar si existe una relación entre éstas y las variaciones climáticas.

DESCRIPCION DEL AREA.

Clima y Vegetación.

El área se caracteriza por un clima más bien seco con lluvias invernales. Las temperaturas no son extremas; en el Valle Central el término medio es de 8°C en invierno y 20°C en verano (KLOHN, 1960). En invierno llueve debido a los vientos que soplan del Pacífico a través del territorio chileno. En la alta cordillera la precipitación ocurre en forma de nieve. El lado oeste de la cordillera está expuesto a los vientos, debido a lo cual la nieve es barrida rápidamente, pero en la ladera este la nieve queda protegida y forma los campos nevados de donde originan los glaciares. Durante el verano los días son agradables y sin precipitación.

La vegetación se reduce a arbustos y bosques. Cerca de Curicó abundan especialmente los bosques de cipreses. Las laderas de lo más alto de la cordillera generalmente carecen de vegetación.

Drenaje y Topografía.

Longitudinalmente, Chile ha sido dividido en tres zonas: la Cordillera de la Costa, el Valle Central y la Cordillera de los Andes. El Valle Central se encuentra aproximadamente a un término medio de 500 m sobre el nivel del mar. Del valle se levanta bruscamente la cordillera de los Andes para alcanzar una altura que fluctúa entre los 3.000 y 6.000 m. Los ríos principales corren de este a oeste a través de los sistemas montañosos más importantes y los afluentes generalmente vienen del norte o sur. Los ríos principales estudiados son el Maipo, Cachapoal, Tinguiririca y Teno; todos ellos nacen cerca de la línea divisoria

de las aguas. El más grande es el Cachapoal al que se incorporan varios tributarios de tamaño apreciable. Luego está el Maipo y por último, el Tinguiririca y Teno que son mucho más pequeños tanto en lo que se refiere a longitud, como área de drenaje y número de afluentes. Cerca del nacimiento de todos estos ríos hay nieves perpetuas que en algunos casos forman lenguas glaciares que a su vez alimentan a los tributarios. El más importante de estos centros de glaciación se presenta cerca del nacimiento del Cachapoal. Además de las actuales manifestaciones de actividad glaciar, el curso superior de los ríos principales y los afluentes muestran características glaciares tales como: anfiteatros naturales (de erosión glaciaria), valles en forma de herradura, afluentes en pendiente, suelo glaciar y depósitos de morrena que indican una glaciación previa muy extensa.

En general, los afluentes superiores tienen características juveniles: son correntosos, su sedimento es grueso y corren por valles abruptos y angostos. En el curso medio los valles fluviales se ensanchan y el cauce del río está cortado en una amplia llanura aluvial limitada por pendientes. El fondo del valle está cubierto por una miscelánea de bloques, guijarrones y fragmentos de rocas. La corriente arrastra una cantidad considerable de aluvión con depósitos anastomados en el centro. Cerca del Valle Central los ríos tienen de 3 a 4 terrazas escalonadas. Al entrar al Valle Central, los ríos adquieren las características de una corriente madura, formando por lo general un amplio canal entrecruzado con depósitos de aluvión.

Como las corrientes menores no nacen cerca de la línea divisoria de las aguas, carecen de las características gla-

ciars de las corrientes mayores. Fuera de esto, las corrientes menores tienen mucha semejanza con las mayores.

Se observaron ciertos cambios en la posición del lecho de los ríos principales. En el invierno quedaron algunos cauces secos y el curso del río se reanudó en diferentes partes del valle de aluvión cuando la corriente empezó a crecer. Tres de los ríos menores, el Claro, Cuenca y Antivero, quedaron secos en el mes de Mayo, pero al desatarse las lluvias simplemente reanudaron su antiguo curso. Los ríos Codegua y Pueco se alimentan de las lluvias invernales, permaneciendo secos durante el resto del año.

Geología. (Ver figura 2).

Lo que se expone a continuación está basado en un informe de KLOHN (1960) y en una tesis inédita de GONZALEZ Y VERGARA (1961).

En el área figuran rocas del Jurásico a la Era Cuaternaria. El Jurásico, incluyendo los Sistemas Terciarios Superiores, se compone de rocas volcánicas (andesitas, riolitas y basaltos) y de rocas marinas y continentales derivadas de esa época. Todas las formaciones han sido envueltas por procesos orogénicos que sucedieron en dos fases, la primera a mediados del Cretáceo y la segunda de menor intensidad, ocurrió en el período Senoniano. La estructura de los estratos del Mesozoico consiste en anticlinales y geosinclinales que yacen aproximadamente al Norte. Durante la primera fase orogénica el batolito andino fué emplazado. El batolito pertenece a un ciclo plutónico más antiguo como lo indica la presencia de bloques graníticos en los sedimentos jurásicos. En el área, especialmente en los valles, hay numerosos afloramientos del batolito.

La actividad volcánica en el área ha sido reciente. En la zona este hay una cadena de volcanes con extensos afloramientos de andesitas y basaltos. Además, abundan las fuentes termales. La composición de las aguas es variable, pudiendo ser salina, sulfurosa, calcárea o silícea.

Se observaron numerosas fallas que van generalmente de norte a sur. La más importante es la gran falla que separa la Cordillera de los Andes del Valle Central.

El área fué afectada por glaciaciones como lo demuestran los depósitos de morrena. Los más recientes de todos son los actuales depósitos de los ríos. La angostura de los valles y la existencia de 3 o 4 terrazas, indican que ha ocurrido un levantamiento reciente.

Mineralización.

El único depósito mineral importante que se encuentra en el área es el de cobre de El Teniente (Braden). El mineral rodea una antigua chimenea volcánica rellena con brechas de material dacítico. La fase de mineralización principal consistió en calcopirita y bornita junto con algo de molibdenita, calcoeíta y bornita; todo esto acompañado por la formación de brecha anterior a la de la chimenea. También tuvo lugar el rompimiento y alteración hidrotermal al mismo tiempo que se depositaba turmalina. Fuerzas de acción ascendente empujaron el tapón pero no llegaron nunca a expulsarlo. A esto siguió un asentamiento y una mineralización progresiva con una serie de minerales igual a la anterior. Finalmente, se depositaron minerales que consistían en tenanita, esfalerita y molibdenita. (HOWELL Y MOLLOY, 1960).

La oxidación en El Teniente es variable y depende de la topografía, tipo de roca y estructura. En el afloramiento

to de brecha y andesita se encuentra la oxidación más profunda, que alcanza 1,150 pies de profundidad. Hay lugares en que la oxidación penetra la zona de enriquecimiento supérgeno demostrando que el área ha sufrido un levantamiento reciente. Los minerales que predominan en la zona oxidada son limonita oxidada, crisocola, malaquita y azurita. La cuprita penetra en la zona supérgena y el cobre puro se extiende al límite inferior de oxidación.

Los otros depósitos que se conocen en el área son de menor importancia y prácticamente en todos los valles principales hay vetas de calcopirita y pirita. En el Valle del Maipo se explotan varios minerales pequeños. En el nacimiento del Cachapoal se asocia la mineralización de cobre con un contacto diorita-pórvido. Se acostumbraba a explotar pequeñas minas a lo largo del valle del Tinguiririca, cerca de la frontera. En el lado argentino se encuentra el mineral Las Choicas que se trabajó a comienzos de este siglo. Sus vetas eran de bornita y calcopirita cerca de un contacto de diorita con brechas porfiríticas del Jurásico. (ANGELELLI, 1950)

Fuera de cobre hay también cobalto, plomo y zinc. En el Río Paredones un afluente del Cachapoal, hay algunas vetas de cobalto. En el Río Cortedral, afluente del Cachapoal y a lo largo del Río Vergara, en el nacimiento del Teno, se encuentra plomo y zinc.

MÉTODOS.

Cada cuatro semanas se extraían muestras de los ríos al entrar al Valle Central. Por conveniencia, la toma de muestras se ejecutó solamente río arriba desde la carretera longitudinal principal que se extiende de Santiago al Sur. Se recogió agua y sedimentos; de los ríos más grandes

se sacaron 2 o más muestras. (Ver figura 1 para la ubicación de los puntos de muestreo).

Las aguas fueron aciduladas, filtradas y probadas para el contenido de cobre. Una vez secos los sedimentos fueron pasados por un tamiz con una malla de -200 y analizados para cobre y zinc después de una absorción de ácido nítrico. Para todos los análisis se usaron los rápidos métodos standard de ditizona. Se alcanzó una precisión del orden del 10%.

RESULTADOS.

Los resultados están mejor ilustrados gráficamente, ver figura 3. Como materia de discusión los ríos se pueden dividir en cuatro grupos:

- i) Los ríos principales Maipo, Tinguiririca y Teno que nacen cerca de la línea divisoria de las aguas. Se extrajeron siempre dos o más muestras de estos ríos; en la Tabla II aparecen los valores obtenidos. En general, las diferencias no son grandes aunque se daban excepciones cuando una muestra era alta y la otra baja, por ejemplo: en Enero, Febrero y Octubre para el Tinguiririca y en Enero y Octubre para el Teno. Como se verá más adelante estos períodos parecen coincidir con el incremento de los valores metálicos y probablemente están relacionados al aumento de la intensidad erosional. Los sedimentos nuevos que son arrastrados y los más antiguos removidos, pueden explicar esta falta de uniformidad, especialmente porque los ríos son extensos.

En general, el aspecto de los valores metálicos para las tres corrientes, es similar durante todo el año. El contenido de cobre en las aguas llegó al má-

ximo a fines del verano, (Febrero a Marzo) sufriendo después una repentina caída. Los valores se mantuvieron bajos hasta Julio, y en Agosto comenzaron a aumentar lenta y progresivamente hasta alcanzar un segundo máximo en Octubre. El contenido de cobre en los sedimentos se comportó en forma semejante, pero el máximo correspondiente al verano tuvo lugar en Enero-Febrero, antes que el máximo del agua. En general, el curso del zinc es parecido pero algo más errático.

Resulta interesante comparar los valores metálicos con el desagüe del río, que se ha ilustrado también en la figura 3. El desagüe máximo de estos tres ríos no ocurrió en el mismo mes. En el Maipo el desagüe culminó en Enero, en cambio para el Tinguiririca y Teno fué en Noviembre. No se sabe a ciencia cierta la causa de estas diferencias. En el Maipo, el desagüe máximo coincidió con el contenido máximo de cobre en los sedimentos seguido más tarde por el contenido máximo en las aguas. En el Tinguiririca el contenido metálico máximo en las aguas y sedimentos tuvo lugar desde Diciembre a Febrero, después de haberse reducido el volumen de la corriente. En el caso del Teno el desagüe llegó al máximo en Diciembre cuando aumentaron los valores de cobre en los sedimentos, seguidos en Marzo por el máximo en las aguas. En estos tres ríos, los valores metálicos bajos en el invierno coincidieron con el desagüe mínimo, pero aumentaron en primavera. En Noviembre de 1961, los valores metálicos disminuyeron mientras que el desagüe aumentó. Según estos ante-

cedentes hay un cambio cíclico manifiesto del contenido metálico en el drenaje.

Durante el invierno el caudal del río es mínimo. Las lluvias de invierno no aumentan el volumen de las aguas pues la mayor parte de la precipitación queda trabada en forma de nieve en la región superior de la Cordillera. Esta capa de nieve y el congelamiento impiden temporalmente se realice la oxidación y en el drenaje no hay señales de nuevos materiales. Esto explica el volumen decreciente y los bajos valores metálicos. En Agosto y Septiembre la temperatura comienza a subir, disminuyen las lluvias y parte de la capa de nieve empieza a derretirse. A medida que aumenta el caudal, aumenta también el poder erosivo y la cantidad de sedimentos arrastrada por la corriente. Parte de este material puede provenir de los efectos del hielo y haber sido desplazado por el congelamiento y deshielo. Este nuevo material desgastado provendrá de todas las clases de roca que hayan en el área, no pudiendo esperarse que aumenten los valores metálicos de los sedimentos. Es obvio que las vetas de mineral en proceso de oxidación proveerán también nuevo material que podría llegar a producir valores anómalos especialmente en ríos de mayores dimensiones. Parte del efecto aumentativo de este nuevo material de las vetas será anulado por la solución de otros materiales sedimentarios producida por el desgaste.

Como la temperatura empieza a ascender tan pronto llega la primavera, se reanuda la oxidación después de un período de inactividad durante los meses

de invierno. Este nuevo metal recientemente oxidado entra a la cuenca del río pudiendo ser responsable por los altos valores metálicos. Probablemente, a medida que aumenta el caudal del río, los niveles de aguas subterráneas también varían. Las aguas subterráneas suben arrastrando el metal del aluvio o suelos, que fuera depositado en niveles inferiores debido a una filtración previa.

De Noviembre a Diciembre los valores metálicos vuelven a decrecer, cuando uno podría esperar que aumentarían o por lo menos permanecieran constantes. Durante primavera y verano, las aguas puras provenientes del derretimiento de las nieves incrementan el caudal de los ríos diluyendo el contenido metálico de las aguas; el poder erosivo de la corriente aumenta como asimismo la cantidad de material sedimentario. No se puede observar aumento alguno del contenido metálico.

El contenido metálico sube bruscamente de Diciembre a Enero para los sedimentos, y de Enero a Marzo para las aguas. En otras palabras el máximo sedimentario tiene lugar antes que el de las aguas. Durante Diciembre y Enero se observó que los sedimentos de todos los ríos estaban cubiertos de materias orgánicas color castaño. Se sabe muy bien que el metal puede ser acumulado por materias orgánicas (Goldschmidt, 1954) y probablemente es esto lo que ocurre en los ríos chilenos. Usando el método de Walkley (1947) se analizó sedimento para carbón orgánico, lo que demostró que de Noviembre a Marzo el carbón orgánico varía con el contenido metálico. El bajo

contenido metálico de las aguas que contienen gran cantidad de sedimentos puede explicarse de una de las dos maneras siguientes: o bien la mayor parte del metal es retenido por las materias orgánicas de los sedimentos y las aguas son verdaderamente bajas; o el cobre está presente en solución en una forma compleja y no reacciona bajo las condiciones del análisis de ditizona fría. Hacia fines del verano se desintegran o desaparecen las materias orgánicas de los sedimentos y el cobre queda libre en las aguas. A esto sigue un brusco descenso de los valores metálicos y del caudal mismo. Parte del metal podría haber sido arrastrado lejos o bien depositado en los aluvios por filtración de las aguas subterráneas. RILEY (1939) demostró un caso semejante de transformación cíclica del cobre en la Laguna de Linsley de Wisconsin. En la primavera el cobre fué absorbido por las plantas litorales y en otoño cuando las plantas se marchitaron, fué devuelto a las aguas. Es posible que en los ríos chilenos ocurra algo parecido, pero el cobre sería absorbido por materias bacterianas o algáceas.

Es interesante comparar el comportamiento de otros elementos con el del cobre y zinc. DONOSO (1953) sacó muestras de agua del Río Maipo durante un año y las analizó para el total de sólidos, magnesio, sodio, potasio, cloruros, carbonatos y sulfatos. Desgraciadamente, las muestras no se tomaron a intervalos regulares; en algunos casos las muestras se recogieron cada dos semanas y en otros una vez cada dos meses. Por esta razón se perdió gran parte de

la utilidad de sus investigaciones, pero se puede obtener alguna información de provecho. El calcio, magnesio y carbonatos permanecieron más bien constantes durante todo el año; no así el total de sólidos, sodio y cloruros, cuyos valores presentaron los mayores contrastes. Desde Enero a Abril los valores se mantuvieron bajos al contrario del cobre que llegó a su máximo. Sin embargo, el cloruro de sodio, como el cobre, alcanzó el máximo entre Septiembre y Octubre. El cloruro de sodio debe tener su origen en los vientos cargados de humedad que provienen del océano. DONOSO sugiere que los cloruros pueden derivarse de las fuentes termales que abundan en el área. El cloruro de sodio aportado por las fuentes termales es probablemente el de las aguas subterráneas en circulación. No se sabe nada acerca de la cantidad de cloruro de sodio introducido por las fuentes termales ni en que forma esto afecta la composición total de las aguas de los ríos; probablemente la influencia es insignificante. En el caso del Maipo el contenido menor de sal coincidió con el caudal máximo, pero el contenido mayor de sal tuvo lugar después que el caudal llegó a un mínimo. Por las mismas razones es posible que esto pueda aplicarse al aumento de cobre ya descrito. Desgraciadamente, de Octubre a Febrero la toma de muestras se efectuó a intervalos irregulares, debido a lo cual la información correspondiente a este período puede conducir a conclusiones erróneas y puede haber lugar a cambios considerables del contenido químico.

ii) Debido a la contaminación del mineral del Teniente, el Cachapoal siempre tuvo un alto contenido de cobre tanto en las aguas como en los sedimentos. Cualquier variación del contenido metálico de este río se debería a causas artificiales que podrían disimular cualquier cambio en la composición por fenómenos naturales. Sin embargo, el cuadro de valores resultó semejante al de los ríos ya mencionados.

Para este río sólo se dispone de información de desagüe en verano. En la figura 3 se indica una relación inversa entre el desagüe del río y los valores metálicos. El contenido máximo de cobre en los sedimentos tiene lugar en Febrero y para las aguas en Marzo. Los valores de zinc no varían mayormente durante el año.

iii) Los ríos menores Paine, San Francisco, Claro, Cuenca, Antivero y Chimbarongo, no nacen cerca de la línea divisoria de las aguas. El comportamiento del metal en estos ríos fué fundamentalmente el mismo que el de los ríos principales aunque algo más errático, siendo más constante para las aguas que para los sedimentos. Como estos ríos no nacen cerca de las nieves perpetuas el derretimiento de estas no los afecta tanto como a los ríos principales. Las irregularidades no son fáciles de explicar. Sin lugar a dudas predomina la influencia de las variaciones de la cantidad de lluvia caída. A continuación se describe brevemente cada río.

Paine. De Noviembre a Marzo el contenido de cobre en las aguas fluctuó de 3 a 28 ppb y en Mayo

llegó a un mínimo de 8 ppb. Después de esto, hubo un ligero aumento hasta Octubre de 1961, en cuya fecha se observó que los valores habían subido apreciablemente. Los sedimentos tuvieron el máximo de cobre en Enero, Abril, Julio y Noviembre; y el de zinc en Noviembre, Enero, Junio y Septiembre. Los aumentos de primavera y fines de verano fueron semejantes a los de los ríos principales pero se desconoce la razón del máximo de invierno.

San Francisco. Los valores de cobre para el agua fueron bastante constantes no mostrando ningún aumento hasta Octubre mientras que los valores metálicos de los sedimentos tuvieron tendencia a la erraticidad. No se encontró correlación entre el contenido de carbón orgánico y el contenido metálico.

Claro. El desagüe mayor del río se produjo de Noviembre a Diciembre. Durante Enero y Febrero cuando el caudal fué mínimo, los valores metálicos alcanzaron su máximo; de Enero a Febrero para los sedimentos y de Febrero a Marzo para las aguas. Tanto el caudal como los valores sedimentarios permanecieron bajos hasta Junio pero en Julio se observó un notable aumento de ambos. Los análisis del contenido de carbón orgánico en los sedimentos demostró que este varía con el contenido de cobre. Los valores de zinc no presentaron mayor variación.

Cuenca. En este río, el máximo de cobre en los sedimentos y en las aguas, tuvo lugar a comienzos de primavera y fines de verano. Los valores de zinc fueron más bien erráticos.

Antivero. Las características de este río son semejantes a las de los principales. Los máximos de cobre y zinc para fines de verano se produjeron en Febrero-Marzo y coincidieron con el máximo de cobre en las aguas. Los valores de cobre y zinc para primavera, llegaron a su máximo en Agosto para los sedimentos y en Noviembre para las aguas. Este río en comparación al resto, mostró valores anómalos de zinc.

Chimbarongo. Los valores de cobre en las aguas culminaron en Febrero y desde Julio a Octubre. En el contenido de cobre de los sedimentos se observó un ligero aumento en Enero, Mayo y nuevamente en Noviembre. Los valores de zinc permanecieron bastante constantes durante todo el año. Debido a las lluvias de invierno, los valores máximos del desagüe tuvieron lugar en Junio, hecho que coincidió con un período de valores metálicos bajos.

- iv) Los ríos menores Codegua y Puelco. Estos ríos llevan agua sólo en los meses de invierno, quedando secos el resto del año. Las muestras se recogieron únicamente en Marzo al reintegrarse el curso del río. Al comienzo los valores tanto en los sedimentos como en las aguas fueron bajos, pero luego aumentaron en forma gradual hasta alcanzar el máximo en Octubre. Este es un caso muy diferente al de Angola (ATKINSON, 1957), en el que se comprobó que después de las rigurosas lluvias que siguen a la estación seca se produce un aumento de la cantidad de metal.

Hasta ahora sólo se ha considerado a los ríos en una dimensión. Durante todo el año se extrajeron muestras en un mismo punto de los diferentes ríos; por este motivo no se sabe si los resultados allí registrados se deben a variaciones locales o si reflejan cambios del río en toda su extensión. El área de drenaje y número de depósitos, conocidos o desconocidos allí dentro, se manifestaron indudablemente por los resultados. La distancia entre las vetas y los puntos de muestreo es muy importante. Muchos de los depósitos conocidos se encuentran en la región superior de la cordillera cerca de la línea divisoria de las aguas, por lo cual permanecerán durante más tiempo bajo la capa de nieve y los productos de erosión de allí derivados serán los últimos en llegar a los puntos de muestreo en el Valle Central. Otros depósitos, en laderas protegidas de los Andes, tampoco entregaron productos de oxidación hasta muy entrado el verano. Por consiguiente, y basándose en lo dicho, se puede explicar los resultados obtenidos de otra manera. El primer máximo a comienzos de la primavera estaría relacionado a las vetas en oxidación de la parte más occidental de la cordillera. Los altos valores a fines del verano, se deberían a las vetas superiores de la cordillera y más lejanas del Valle Central.

Lo dicho sólo puede aplicarse a los ríos principales cuya longitud es apreciable. Los ríos menores no tienen que esperar a que se desvanezca la capa de nieve para obtener nuevos productos oxidados, ya que en ellos esto no influye de la misma manera que en los grandes ríos. Esto sugiere que la variación del contenido metálico a través del año, depende más de los cambios estacionales que de la ubicación de las vetas. En la figura 6 aparece el contenido de cobre

en las aguas en Marzo y Junio con relación a la longitud total del río más la de los tributarios. En Marzo, excepto en el Claro, el contenido metálico es proporcional al caudal, pero no así en Junio, en que los valores tienden a ser uniformes. El hecho de que los ríos más grandes tengan un contenido metálico mayor que los más pequeños, puede deberse a que el área de drenaje de los primeros contiene más depósitos que el área drenada por los segundos, en otras palabras, los depósitos metálicos se concentran principalmente en la parte superior de la Cordillera; o bien el número de depósitos es proporcional a la extensión del área drenada. Es obvio que para llegar a alguna conclusión, primero hay que conocer el largo total del río y la hoya de drenaje.

CONCLUSIONES.

1. Las variaciones del contenido metálico de los ríos estudiados son estacionales:

- a) El máximo de primavera se relaciona al aumento del poder erosivo del río a medida que la cubierta de hielo de la alta cordillera es removida.
- b) El máximo de verano ocurre cuando el caudal disminuye después del derretimiento de las nieves.
- c) El máximo de verano para los sedimentos tiene lugar antes que el de las aguas. Esto parece estar relacionado a la producción de materia orgánicas en los sedimentos, que absorben el metal y luego lo entregan al agua al desintegrarse.
- d) Los valores metálicos durante el invierno son bajos.

2. No se espera que el comportamiento metálico sea idéntico año tras año, pues los cambios dependen de las variaciones de la temperatura y cantidad de lluvia.

3. Valdría la pena efectuar muestreos durante otro año y hacer análisis más completos de pH, total de sólidos, cloruros, sulfatos y cationes para compararlos con el comportamiento del cobre y zinc.
4. No se sabe hasta que punto los valores registrados a medida que los ríos se internan en el Valle Central, reflejan cambios sufridos por el río en toda su extensión o se deban a variaciones locales. Sería necesario tomar muestras de todo el río y sus tributarios.
5. El contraste mayor entre los valores metálicos reales de los ríos ocurre durante el máximo metálico. En los períodos de contenido metálico mínimo, los valores de todos los ríos tienden a ser semejantes.

Agradecimientos.

El autor desea agradecer al personal del Instituto de Geofísica y Sismología por la colaboración prestada a este proyecto y en especial a la Srta. M.E. Arancibia por su muy valiosa asistencia.

La información sobre el desagüe de los ríos se debe a la cortesía del Departamento de Riego del Ministerio de Obras Públicas de Chile y a la Empresa Chilena Nacional de Electricidad; la información sobre lluvias fué facilitada gentilmente por la Fuerza Aérea de Chile.

El manuscrito fué revisado por W.D. Carter, R. Dueval, J. Karzulovic, C. Lomnitz y J. Muñoz, cuyos comentarios sirvieron de gran ayuda.

REFERENCIAS.

- ANGELELLI, V., 1950
Recursos minerales de la República Argentina, 1. Yacimientos metalíferos. Buenos Aires.
- ATKINSON, D.J., 1957
Heavy metal concentration in streams in Northern Angola. Econ. Geol. v52 p652.
- COLBY, B.R., et al., 1956
Sedimentation and chemical quality of surface waters in the Wind River Basin, Wyoming. US Geol. Surv. Water Supply Paper 1373.
- DONOSO, W., 1953
Características químicas de las aguas del Río Maipo. Informaciones Geográficas (Chile) año 111, nº 3 y 4, p49.
- GOLDSCHMIDT, V.M., 1954
Geochemistry. Oxford University Press.
- GONZALEZ, O., Y VERGARA, M., 1961
Reconocimiento geológico de la alta Cordillera de los Andes entre los paralelos 35° y 38° latitud sur. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Memoria inédita.
- HOWELL, F.G., and MOLLOY, J.S., 1960
Geology of the Braden ore body, Chile, South America. Econ. Geol. v.55 p.863
- KLOHN, C., 1960
Geología de la Cordillera de los Andes de Chile Central Instituto de Investigaciones Geológicas de Chile, Bol.8.
- RILEY, G.A. 1939
Limnological studies in Connecticut. Part II. The copper cycle. Ecol. Monogr. v9 p66.
- WALKLEY, 1947
A critical method examination of a rapid method for determination of organic carbon in soils. Soil Sci. v43 p251.

TABLA I.

Cantidad de lluvia caída en el área entre Octubre de 1960 y Octubre de 1961.

<u>Fecha</u>	<u>Santiago</u>	<u>Rancagua</u>	<u>San Fernando</u>	<u>Curicó.</u>
Oct/60	3.0 mm	14.9 mm	26.5 mm	40.9 mm
Nov/60	-	-	-	-
Dic/60	-	-	-	-
Ene/61	1.2	14.0	23.0	49.2
Feb/61	-	-	-	-
Mar/61	13.0	38.6	28.5	84.0
Abr/61	-	-	4.5	7.6
May/61	21.7	26.5	34.0	19.9
Jun/61	74.4	133.0	281.5	120.1
Jul/61	16.7	44.4	93.0	120.1
Ago/61	67.7	79.0	156.0	191.4
Sep/61	32.3	46.8	108.0	160.3
Oct/61	26.4	12.3	23.0	10.6

TABLA II.

Valores metálicos para varias muestras de los ríos Maipo, Tinguiririca y Teno.

Valores de cobre en ppb para las aguas.

<u>Fecha</u>	<u>Maipo</u>			<u>Tinguiririca</u>		<u>Teno</u>	
3/11/60	22.2	11.6		8.9		8.9	
29/11/60	24.0	10.0	16.0	6.0	8.0	4.0	2.0
28/12/60	20.0	40.0	16.0	12.0	8.0	8.8	8.8
26/ 1/61	8.0	6.4	24.0	60.0	56.0	6.4	8.0
22/ 2/61	64.0	70.0	40.0	50.0	40.0	12.0	17.6
22/ 3/61	56.0	56.0	70.0	28.0	50.0	30.0	30.0
17/ 4/61	16.0	9.6	16.0	16.0	16.0	8.0	8.0
17/ 5/61	8.0	8.0	12.0	12.0		12.0	
14/ 6/61	14.8	8.0		12.0	8.0	12.0	12.0
13/ 7/61	26.0	26.0	14.0	10.0	12.0	12.8	12.0
9/ 8/61	32.0	16.0		16.0	16.0	16.0	16.0
5/ 9/61	20.0	19.0	27.0	15.6	13.6	20.8	15.2
3/10/61	70.8	86.4	59.7	40.0	55.2	40.0	34.3
2/11/61	76.4	80.0	63.6	55.2	52.6	43.5	29.0

Valores de cobre en ppm para los sedimentos.

<u>Fecha</u>	<u>Maipo</u>			<u>Tinguiririca</u>		<u>Teno</u>	
3/11/60	65	60		40	50	75	60 60
29/11/60	40	40	50	45	70	50	60
28/12/60	60	35	50	60	120	55	50
26/ 1/61	110	135		125	60	70	150
22/ 2/61	55	100	50	120	100	100	125
22/ 3/61	50	60	50	80	50	50	50
17/ 4/61	70	50	50	50	50	70	55
17/ 5/61	90	70	85	50	80	50	50
14/ 6/61	70	90		50		60	50
13/ 7/61	50	60	40	55	50	50	40
9/ 8/61	70	130	130	75	55	75	55
5/ 9/61	60	125	100	70	70	90	90
3/10/61	75	105	140	60	50	70	85
2/11/61	80	80	80	70	110	100	80

Valores de zinc en ppm para los sedimentos.

<u>Fecha</u>	<u>Maipo</u>			<u>Tinguiririca</u>		<u>Teno</u>	
3/11/60	115	75		65	55	70	60 70
29/11/60	60	65	45	55	65	60	70
28/12/60	70	50	45	60	65	65	55
26/ 1/61	95	70	65	70	90	60	60
22/ 2/61	65	70	70	75	65	90	80
22/ 3/61	65	70	60	70	65	75	45
17/ 4/61	80	100	60	90	60	70	65
17/ 5/61	60	85	95	65		70	
14/ 6/61	70	70		40	55	55	50
13/ 7/61	60	60	40	50	40	50	50
9/ 8/61	60	80	75	50	45	55	60
5/ 9/61	70	75		60	50	60	80
3/10/61	85	85	85	75	50	70	65
2/11/61	100	60	60	65	70	70	70

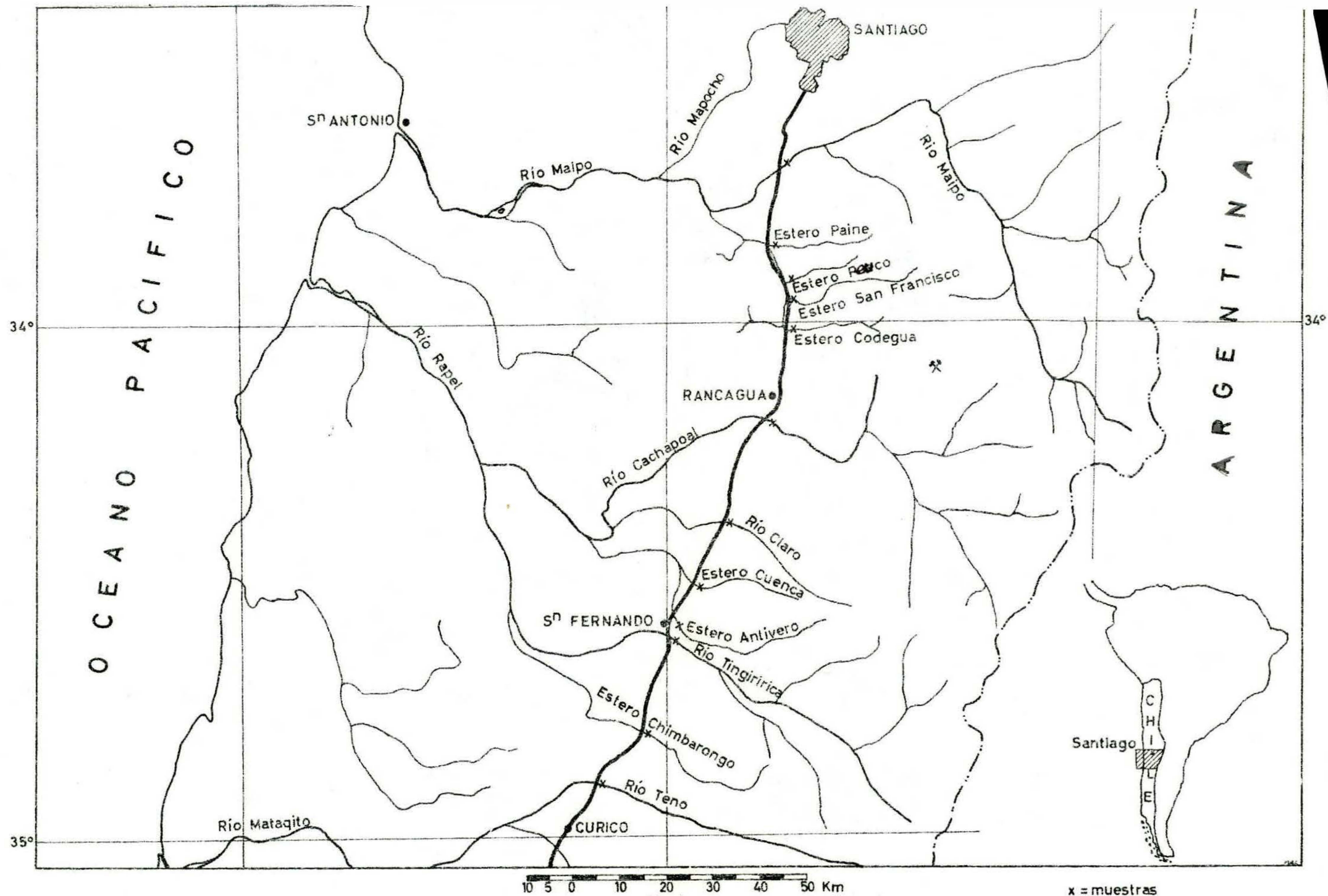


Fig.1
UBICACION DE LOS RIOS, ESTEROS Y MUESTRAS ESTUDIADAS

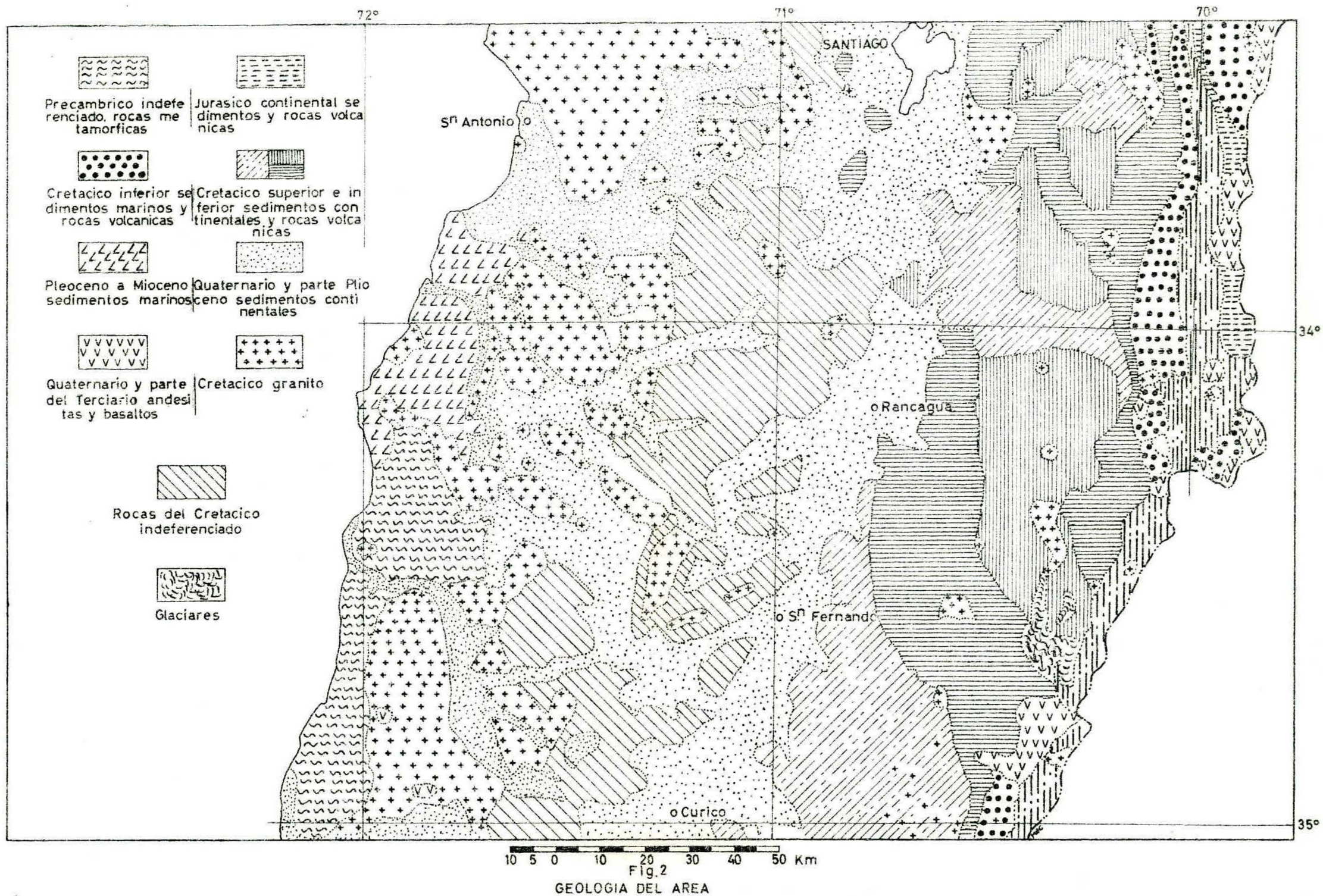


Fig. 3b
ESTERO PAINE

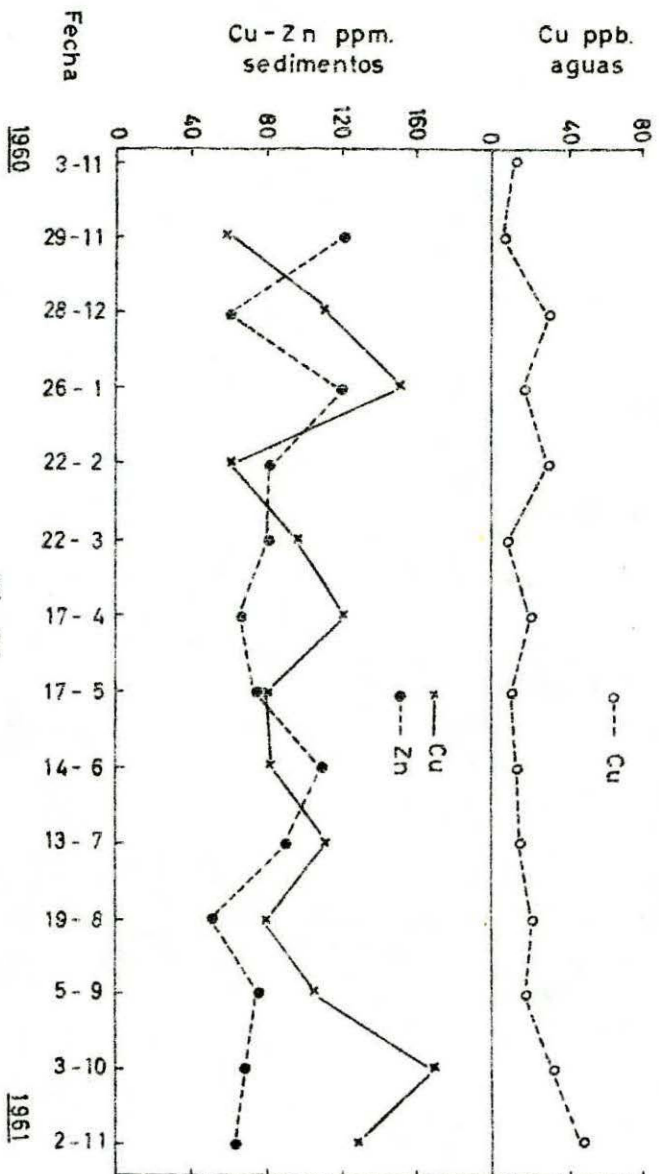
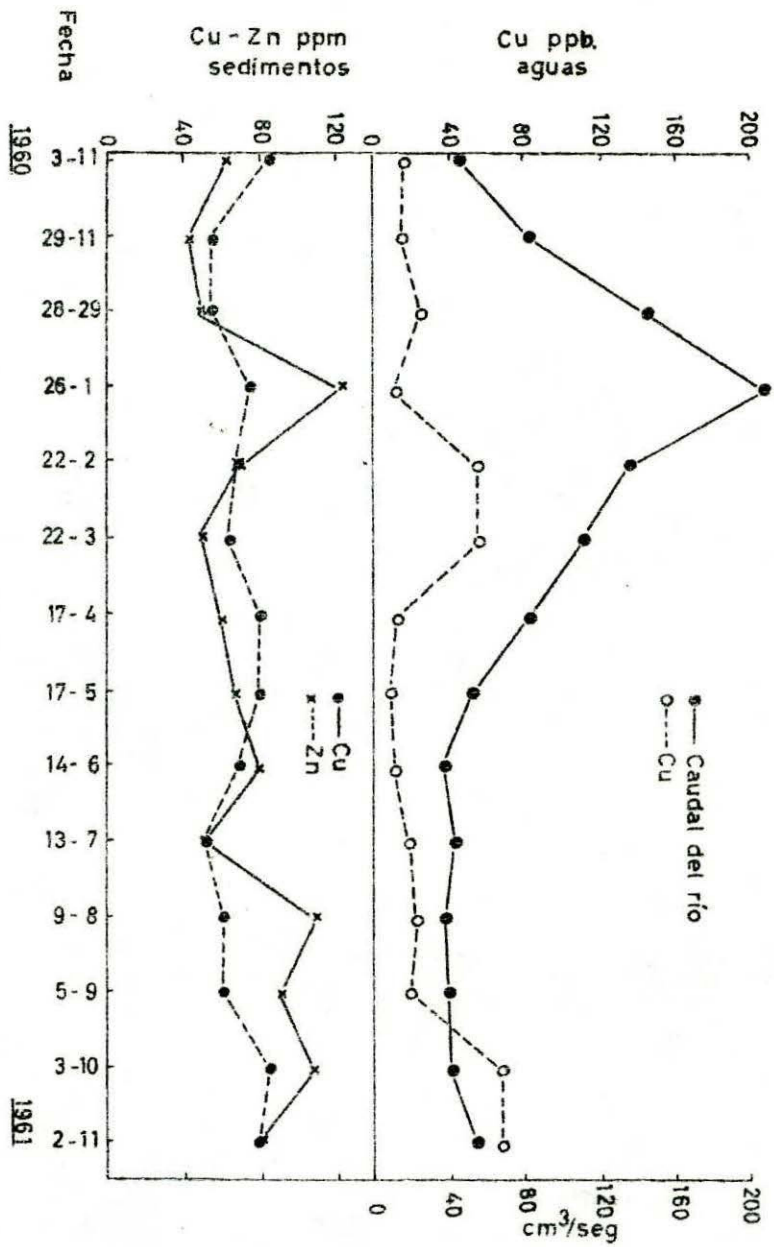
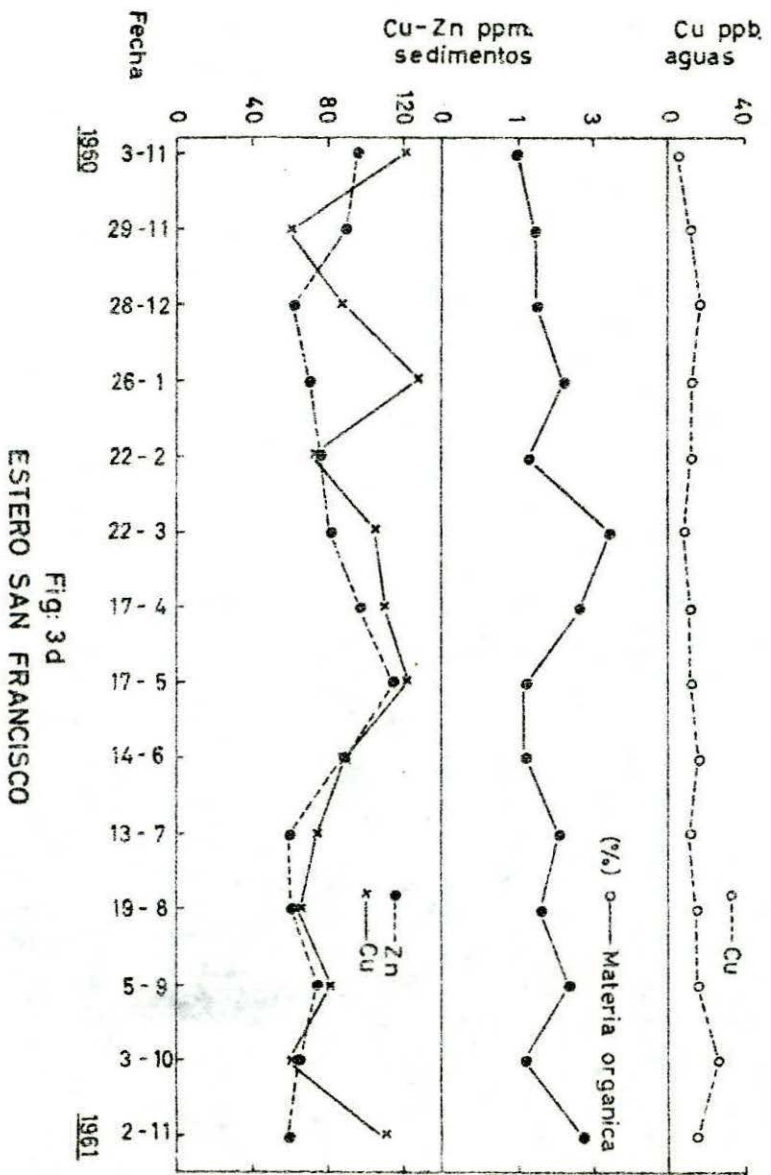
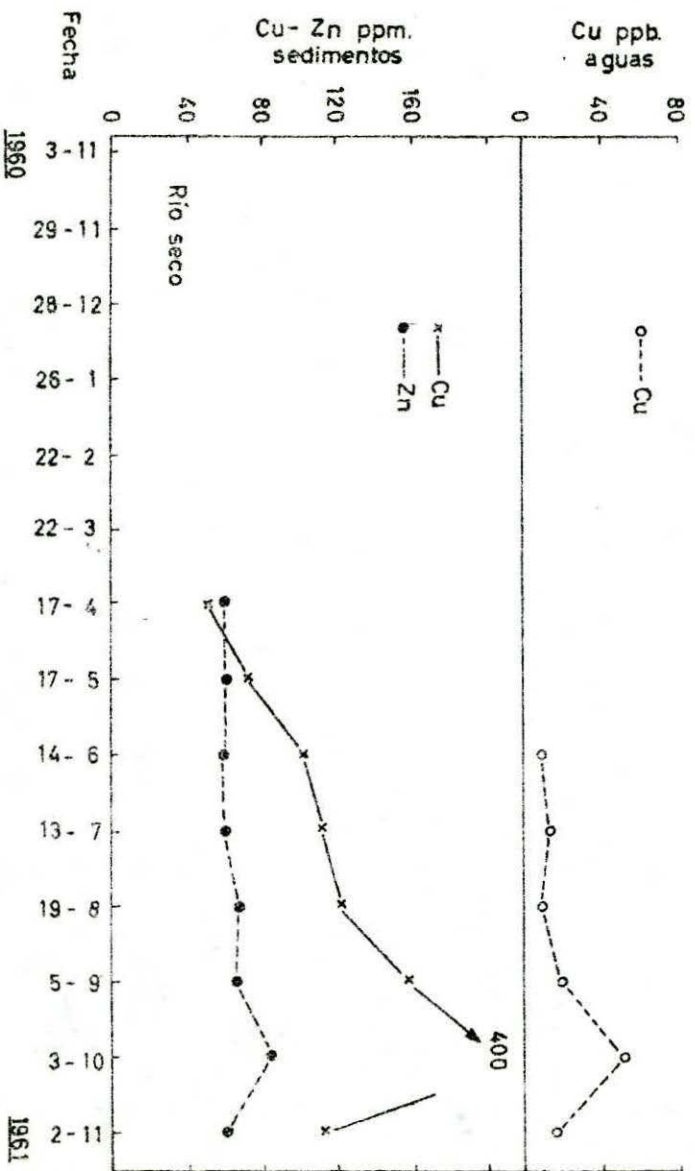


Fig. 3a
RIO MAIPO





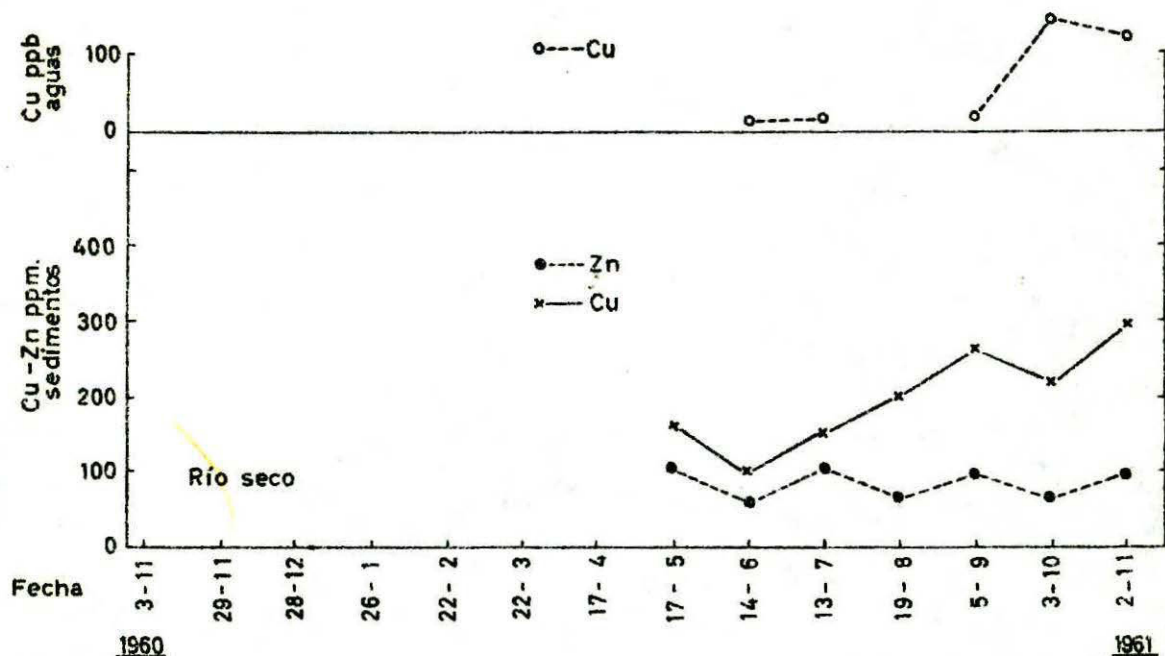


Fig. 3e
ESTERO CODEGUA

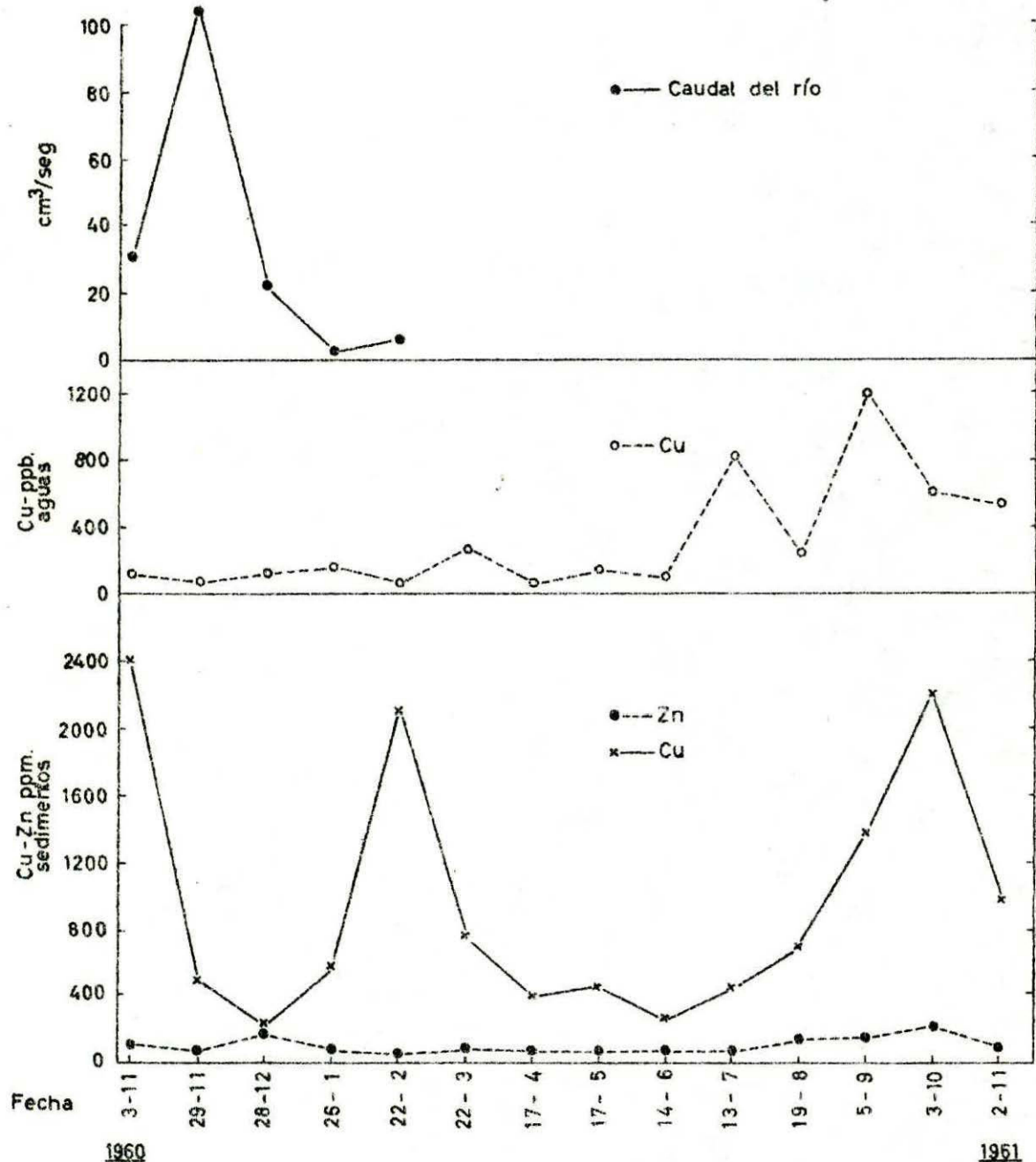


Fig. 3f
RIO CACHAPOAL

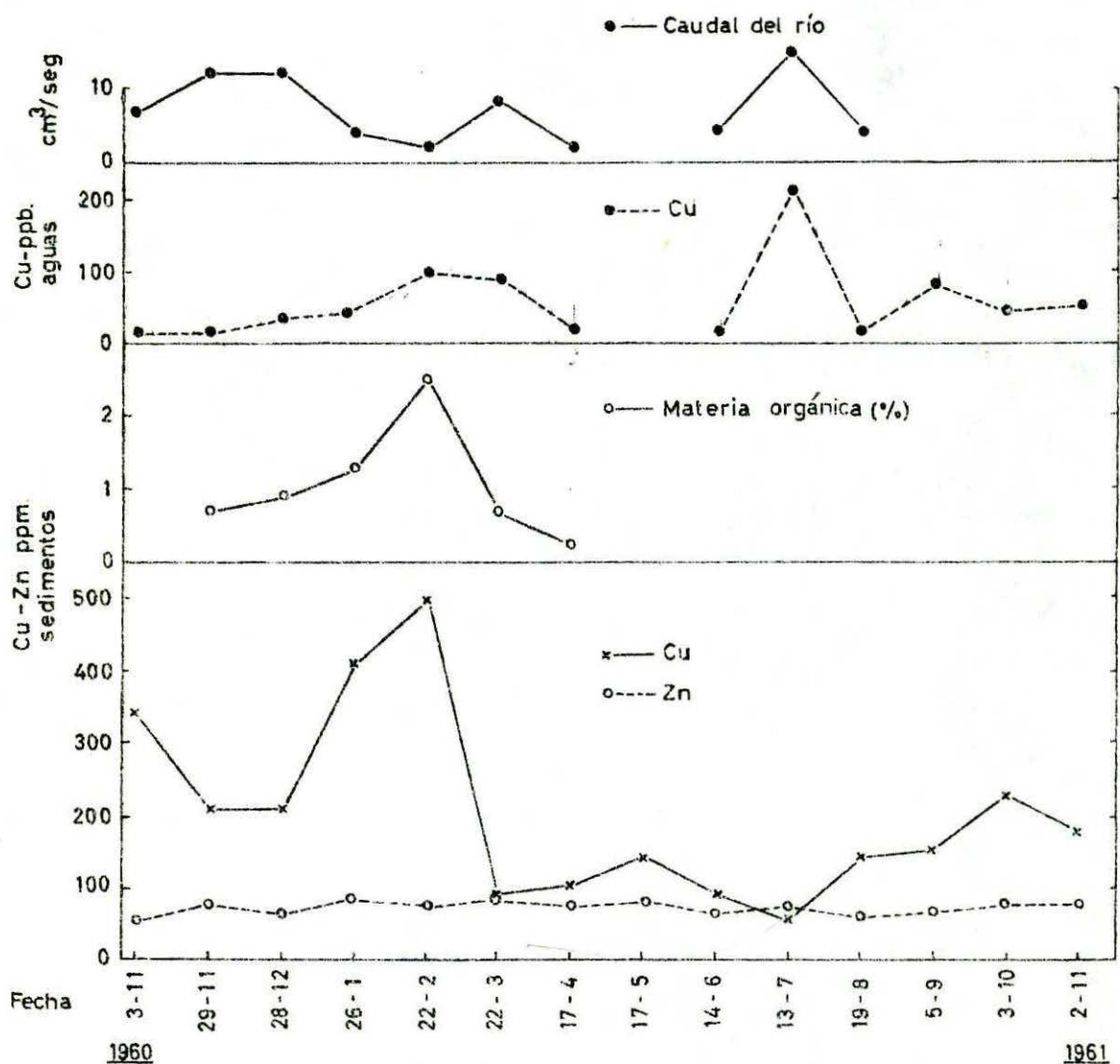


Fig. 3g
RIO CLARO

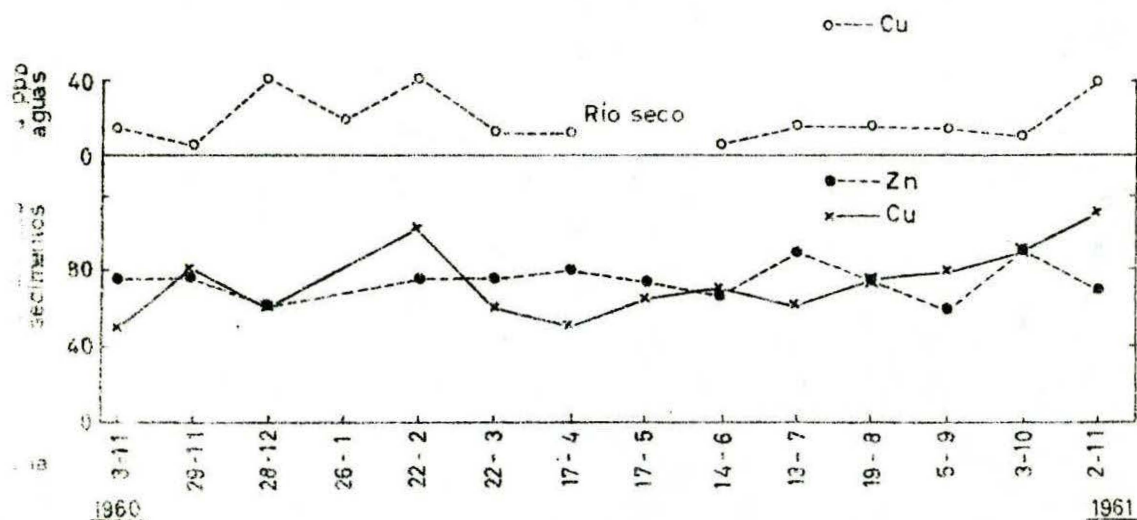


Fig. 3h
ESTERO CUENCA

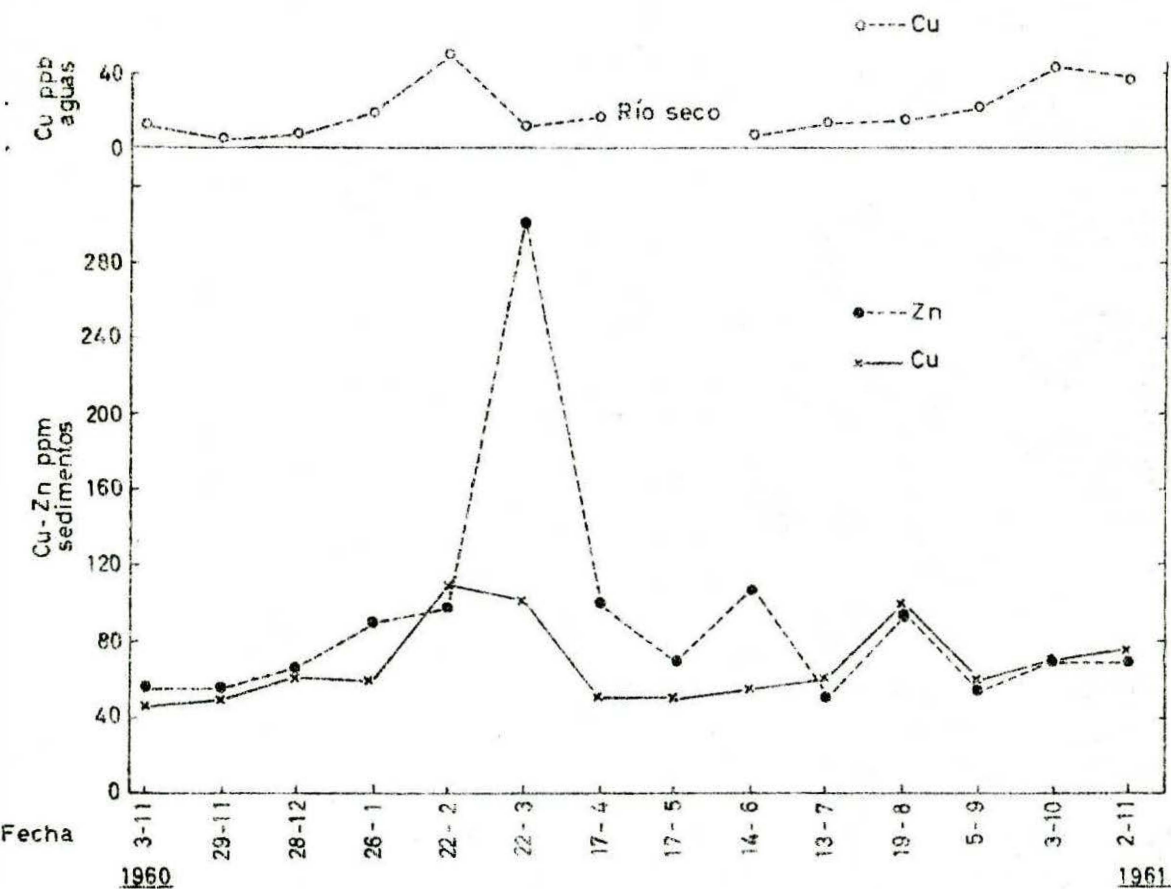


Fig. 3i
ESTERO ANTIVERO

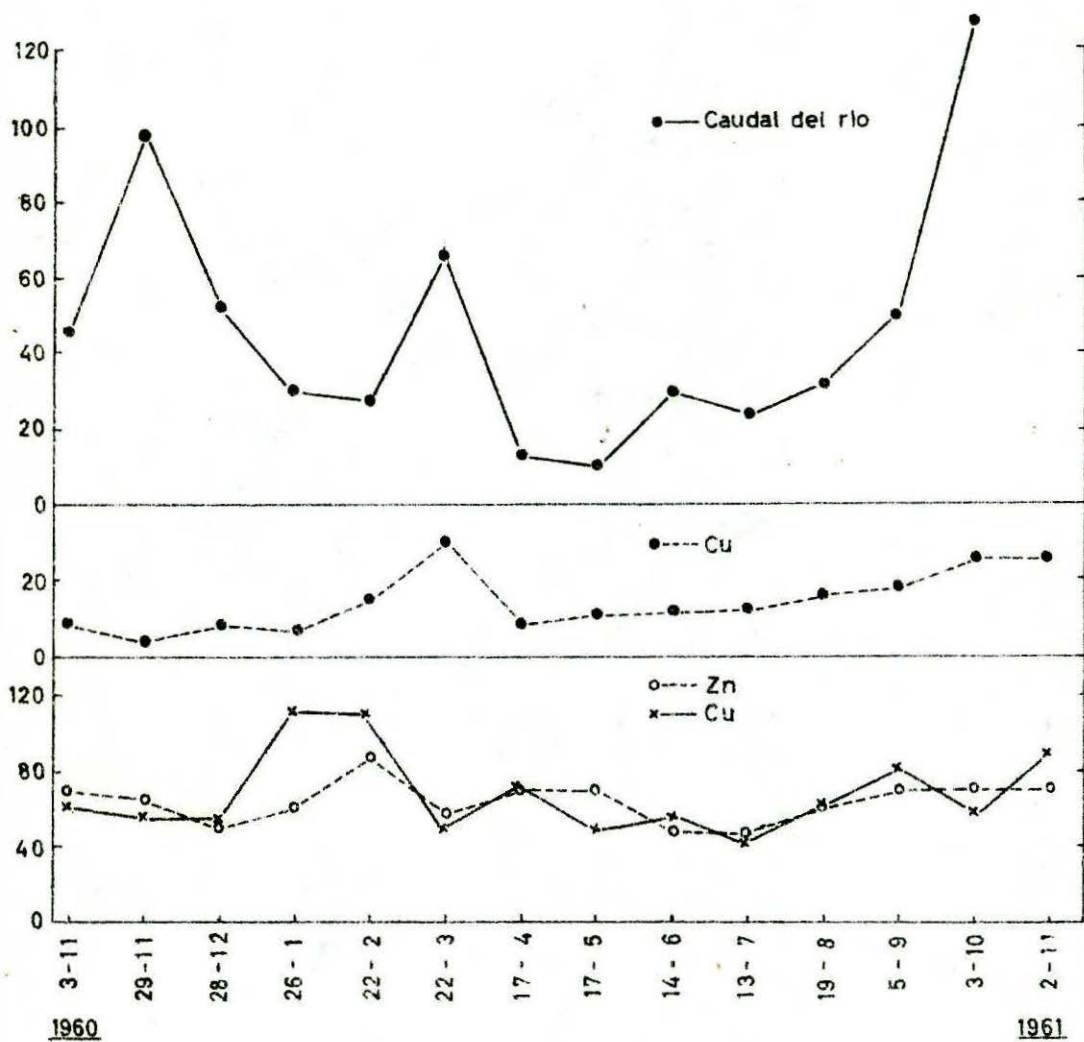


Fig. 31
RIO TENO

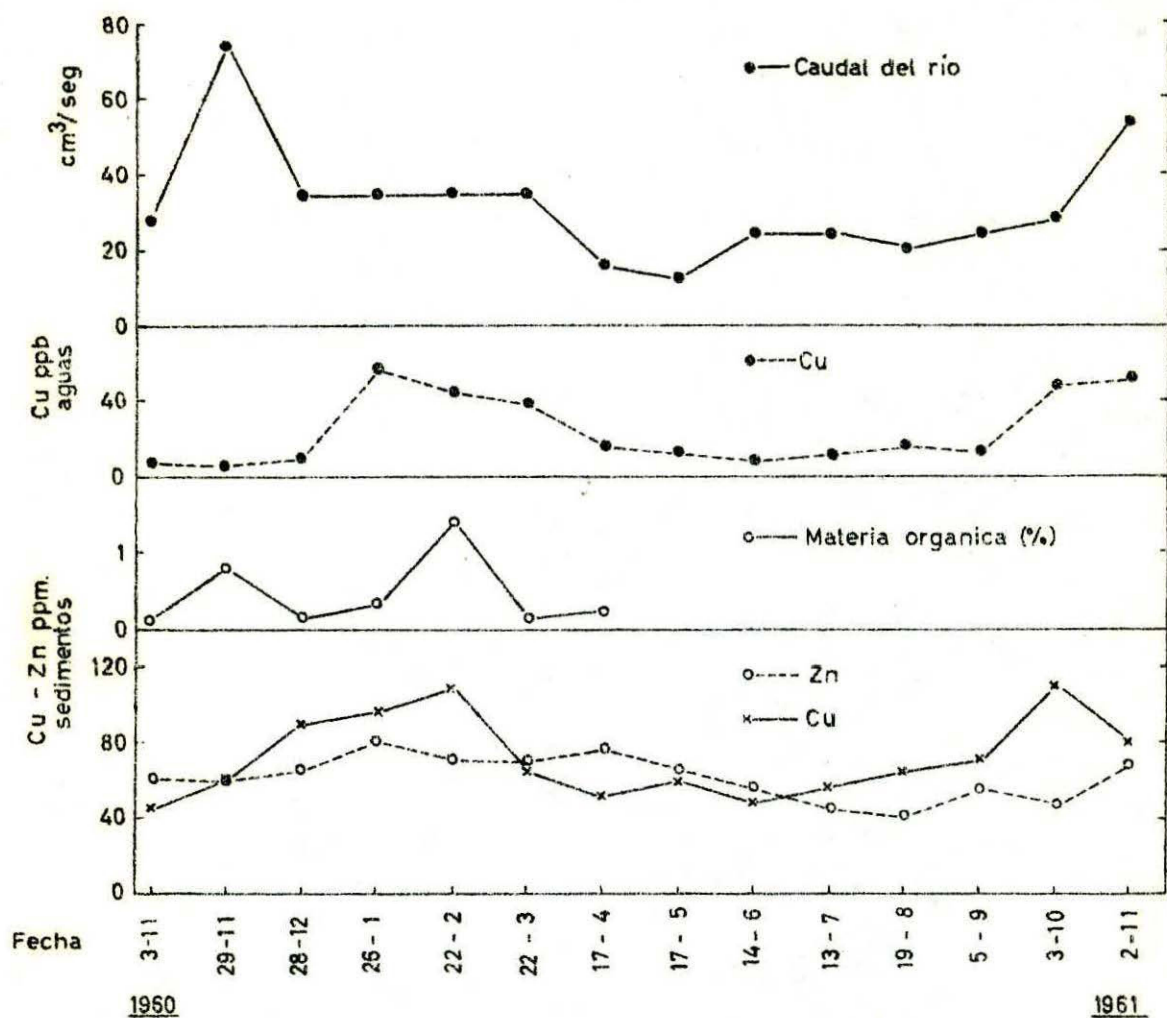


Fig:3 j
RIO TINGIRIRICA

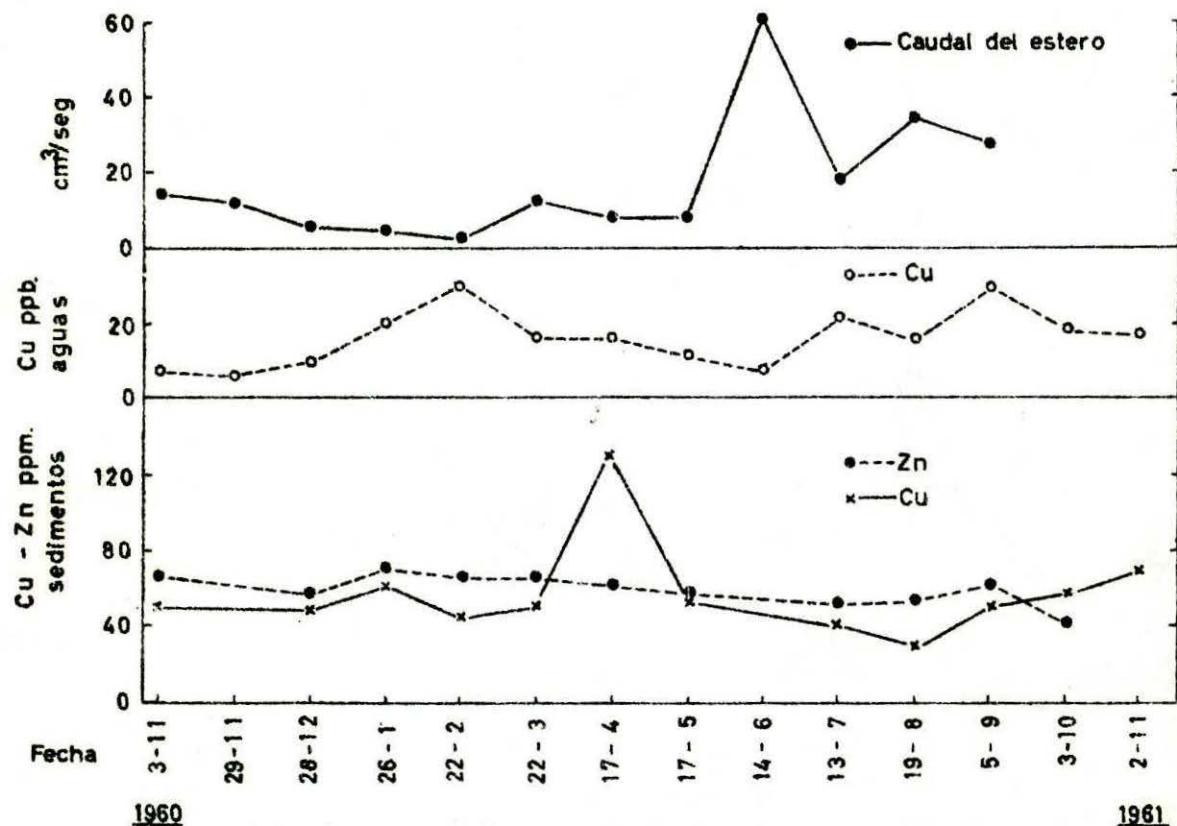
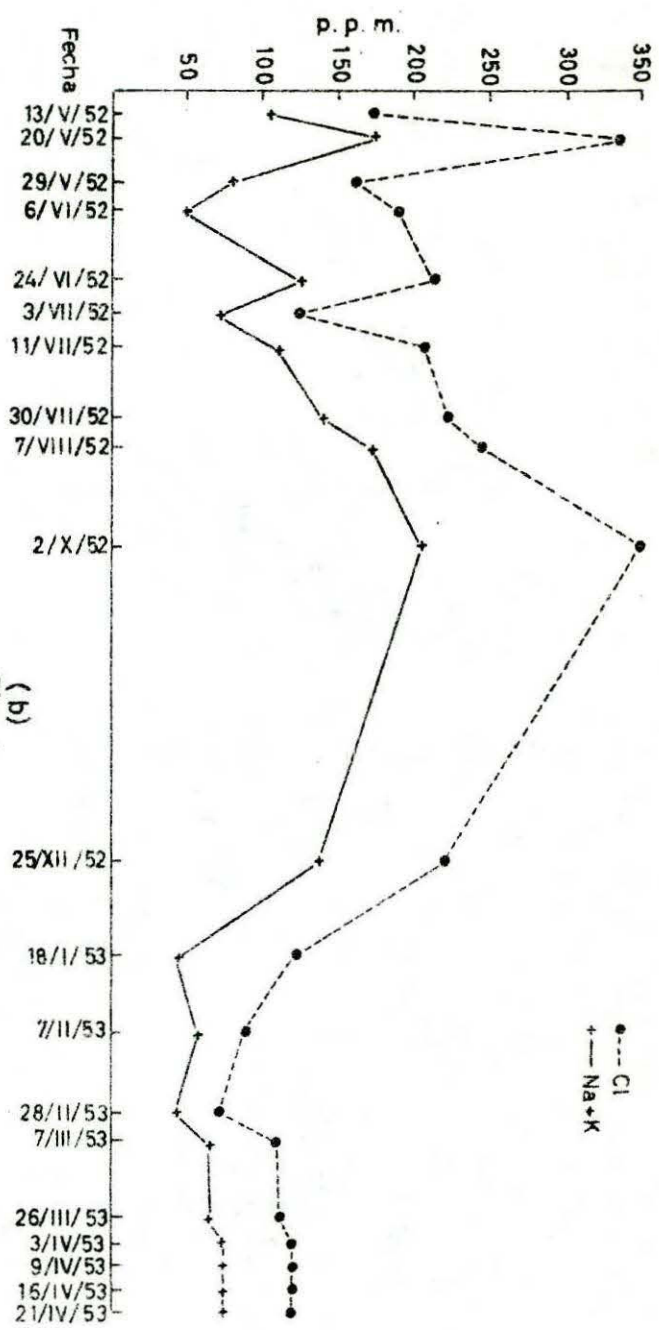
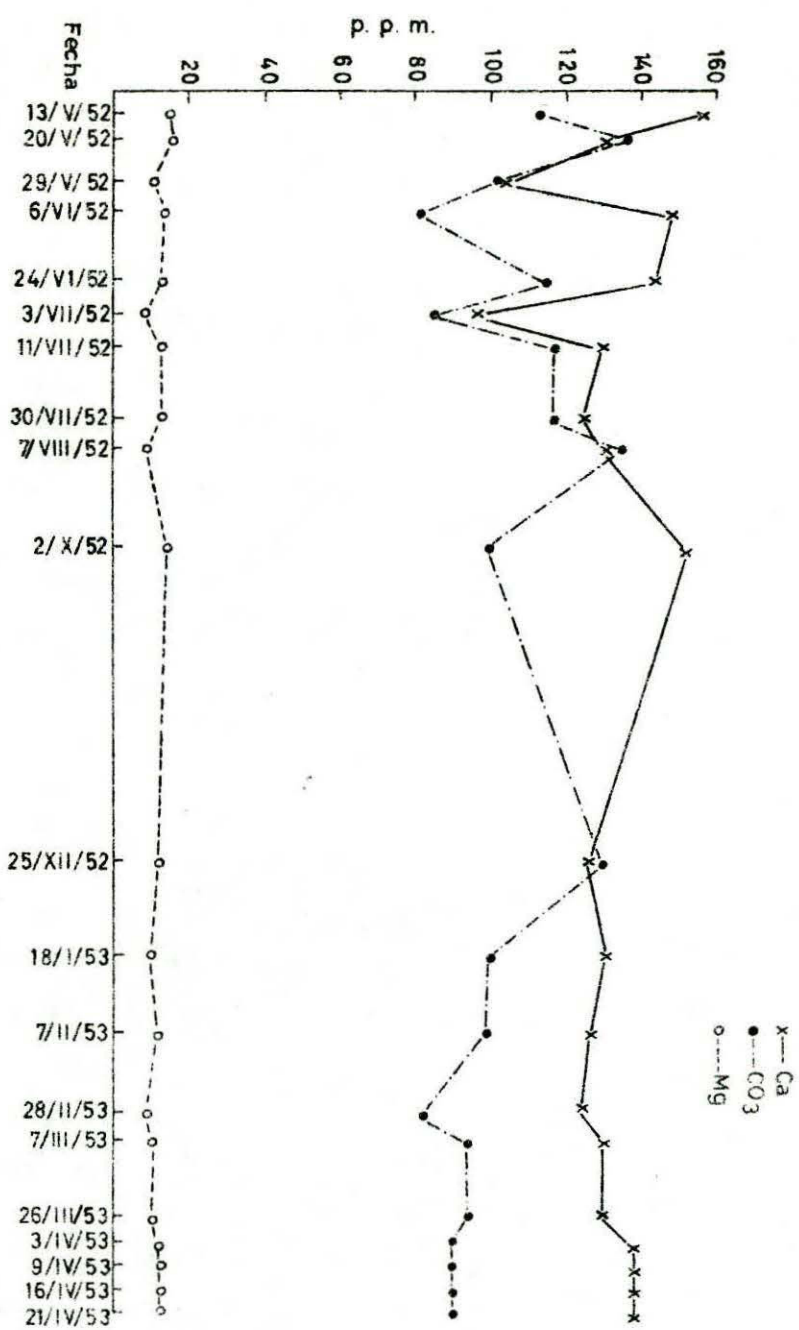


Fig. 3k
ESTERO CHIMBARONGO



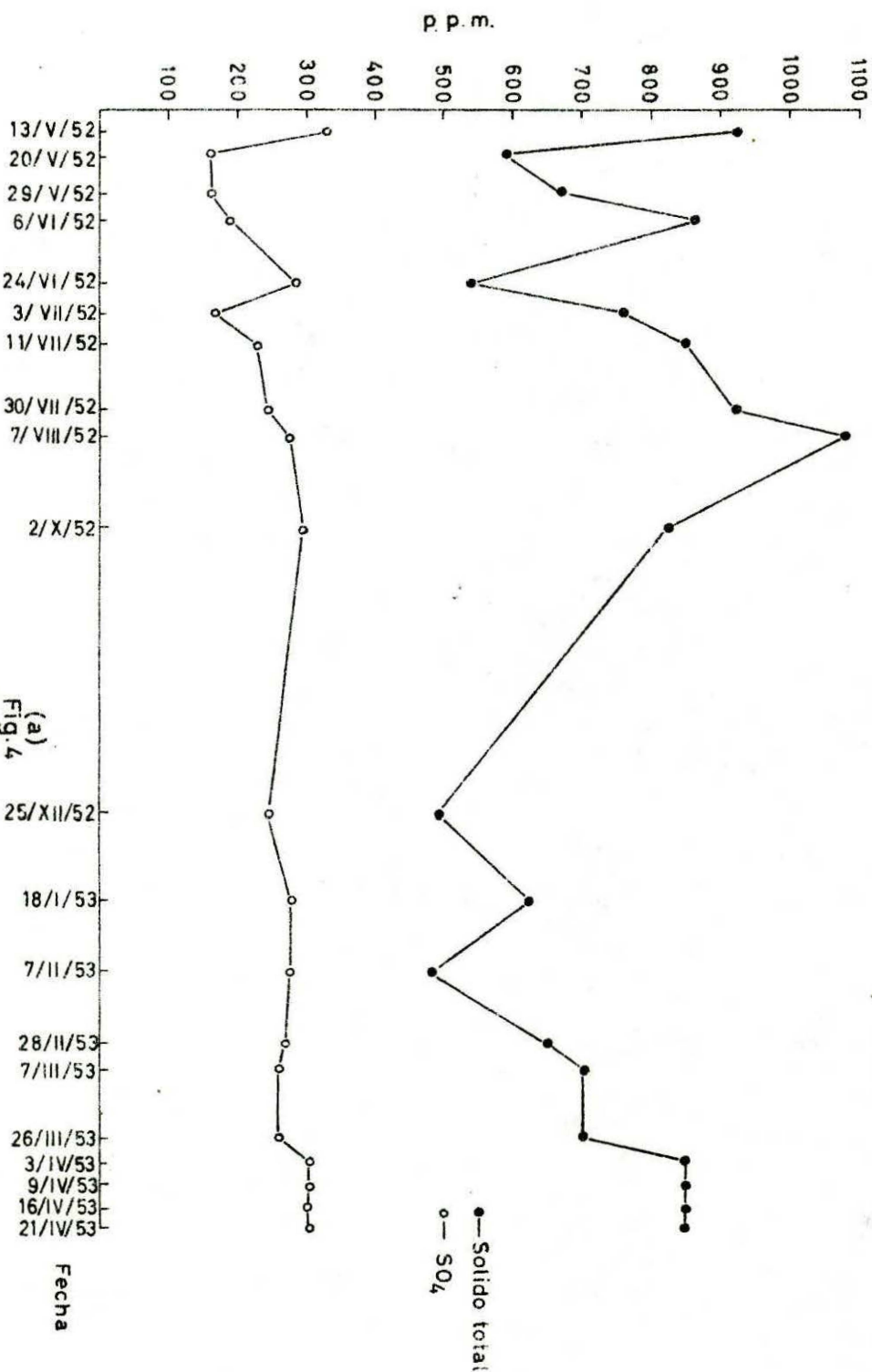


(b)
Fig. 4
RIO MAIPO
(DATOS TOMADOS DE DONOSO 1953)

(DATOS TOMADOS DE DONOSO 1953)

RIO MAIPO

Fig. 4



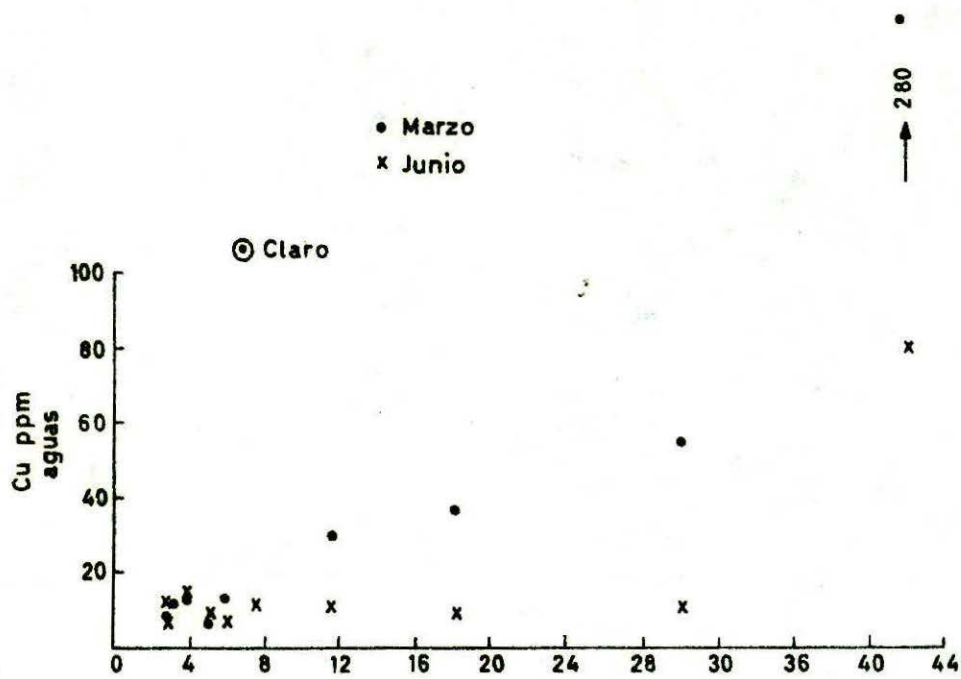


Fig. 5

Longitud estero + tributarios en Km

VARIACION DEL TAMANO DEL RIO PARA EL CONTENIDO METALICO