

R 51

SIR.

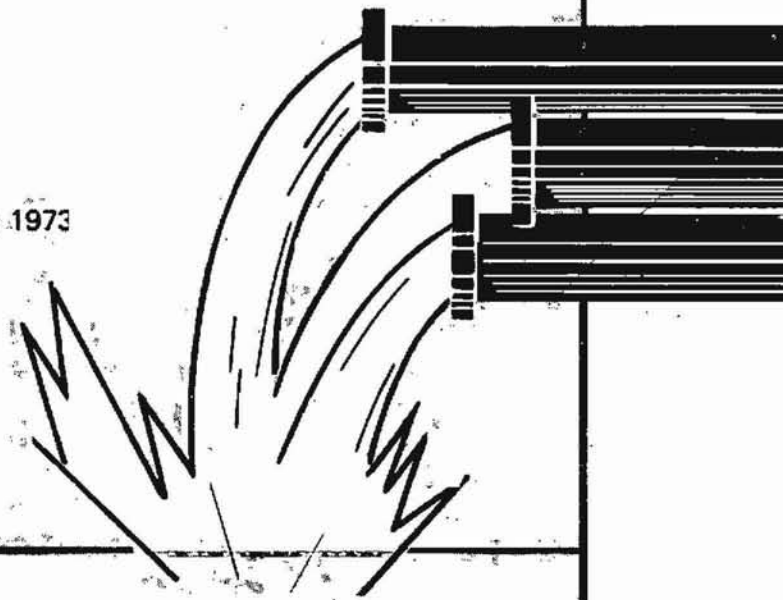
Publicación N° 51-R



Enrique Vallejos Salas
Químico U.C.

Santiago, Diciembre 1973

C797c
1590
C-1



DEPTO. DE RECURSOS HIDRAULICOS

C 797 c

1590

C 1

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRAULICOS

C H I L E



CALIDAD DEL AGUA DEL RIO CACHAPOAL
Influencia del Mineral El Teniente

Enrique Vallejos Salas
Químico U.C.

01590

Diciembre, 1973.

Publicación Nº 51-R

El autor expresa su reconocimiento a las Químicas señoras Ximena Trepiana y María Elena Bastidas y al estudiante de Química señor Nelson Martínez, quienes realizaron los análisis de las muestras de agua en el Laboratorio.

Asimismo este reconocimiento se hace extensivo al Servicio Agrícola y Ganadero; División de Pesca y Caza, por la información proporcionada y a todo el personal del Departamento de Recursos Hidráulicos de CORFO que colaboró en alguna forma en este trabajo.

P R O L O G O

El estudio que a continuación se desarrolla representa las condiciones de calidad del agua superficial de la cuenca del río Cachapoal, para el período comprendido entre Mayo de 1972 y Junio de 1973. Además, se incluyen algunos aspectos de calidad del agua subterránea de la Hoya de Rapel.

Fundamentalmente, este trabajo se orienta hacia la investigación de la influencia de las operaciones del mineral El Teniente, sobre la calidad del agua de la cuenca del río Cachapoal y su posterior incidencia sobre la Hoya de Rapel.

I N D I C E

	Pág.
Prólogo	
Introducción	1
Objetivos	2
Conclusiones	3
Recomendaciones	5
1.- Preparación del Estudio	6
2.- Hoya del Rapel	9
2.1. Río Rapel	9
2.2. Río Cachapoal	10
2.2.1. Rasgos geográficos e Hidrografía	10
2.2.2. División y régimen a lo largo del río	11
3.- Aguas Superficiales	14
3.1. Calidad del agua	14
3.1.1. Puntos de muestreo	14
3.1.2. Resultados obtenidos	15
4.- Aguas Subterráneas	29
4.1. Calidad del agua	29
4.1.1. Destinada a abastecimiento de agua potable	29
4.1.2. Destinada a uso industrial	31
4.1.3. Destinada a uso agrícola	32
4.2. Influencia de los relaves de cobre en la calidad del agua subterránea	32
Bibliografía	35

ANEXOS.-

1.- Estadística fluviométrica. Cachapoal en Pte. Termas.	37
2.- Análisis químicos de las muestras de aguas superficiales.	39
3.- Estadística fluviométrica. Coya en Puente Chico.	42
4.- Estadística fluviométrica. Canal Sauzal en tunel Nº 1.	43
5.- Estadística fluviométrica. Cachapoal en Puente Arqueado.	44
6.- Análisis químicos del agua embalsada en la central Rapel, muestras tomadas a distintas profundidades.	45
7.- Análisis químicos de las muestras de aguas subterráneas.	48

I N T R O D U C C I O N

Dada la gran importancia de la Hoya del Rapel desde el punto de vista agrícola e industrial (energía Hidro-eléctrica y producción de Cobre), se ha considerado necesario, tener un conocimiento, que aunque corresponde a un período de un año (1972-73), permita al menos una visión general de la calidad de sus aguas y de la posible influencia que sobre la agricultura y las instalaciones de las centrales hidro-eléctricas, puedan ejercer las operaciones del mineral El Teniente.

OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El principal objetivo de este estudio es conocer la calidad del agua superficial y subterránea de la Hoya de Rapel y cuantificar la contaminación que experimentan estas aguas, por efecto de las operaciones del mineral El Teniente.

Se trata además, de calificar el agua de acuerdo al uso principal a que se la destina en cada uno de los distintos lugares de muestreo.

CONCLUSIONES

- La incidencia de las operaciones del mineral El Teniente sobre la calidad del agua de la Hoya, se aprecia en el contenido de cobre en el agua superficial.
- Los contaminantes más importantes (Cobre, sulfatos y ácidos), se incorporan al sistema de la Hoya a través del río Coya, el cual recibe los afluentes de las plantas de concentración de cobre en el mineral de Sewell.
- El caudal del río Cachapoal permite amortiguar el efecto de los contaminantes que le incorpora el río Coya, mediante la dilución de éstos.
- Los relaves, que son enviados a la Laguna Cauquenes, no afectan la calidad del agua superficial ya que sus efluentes son eficientemente tratados, antes de ser evacuados al río Cachapoal.
- Las centrales hidroeléctricas de Coya, Sauzal y Sauzalito no se ven afectadas por las operaciones del mineral El Teniente, ya que sus bocatomas se ubican en el río Cachapoal, aguas ariba de su confluencia con el río Coya.
- Las aguas que alimentan las centrales hidroeléctricas mencionadas, corresponden a aguas de carácter levemente corrosivas con tendencia a la neutralidad.
- Las aguas que alimentan la central Hidroeléctrica de Rapel son de carácter levemente incrustante, por lo tanto forman películas sobre los ductos y cañerías e impiden la corrosión de estos.

- El bajo contenido de sulfatos en el agua embalsada en el Lago de Rapel, permite descartar la posibilidad de que se produzca algún ataque químico, por formación de sales complejas, sobre el hormigón del muro de contención.
- Las aguas superficiales y subterráneas de la Hoya son de excelente calidad para el uso agrícola debido a su baja salinidad y al casi nulo riesgo de absorción de sodio. Su bajisimo tenor de cloruros favorece especialmente el cultivo de cítricos y paltos.
- El agua subterránea de la Hoya no se vé afectada por las operaciones del mineral El Teniente y es de óptima calidad para los distintos usos.
- En general tanto el agua superficial como la subterránea son de muy buena calidad para cualquier tipo de uso.

RECOMENDACIONES

- Con el fin de mantener actualizado el conocimiento de la calidad del agua del río Cachapoal, y en circunstancias distintas que las dadas para este estudio, sería conveniente efectuar muestreos bimestrales en el Puente Termas, Puente Panamericana y Puente Arqueado.
- Es conveniente verificar la probable influencia de productos como pesticidas y abonos, sobre la calidad del agua superficial y subterránea de la Hoya. Para esto habría que realizar muestreos en la época de consumo masivo de dichos productos.

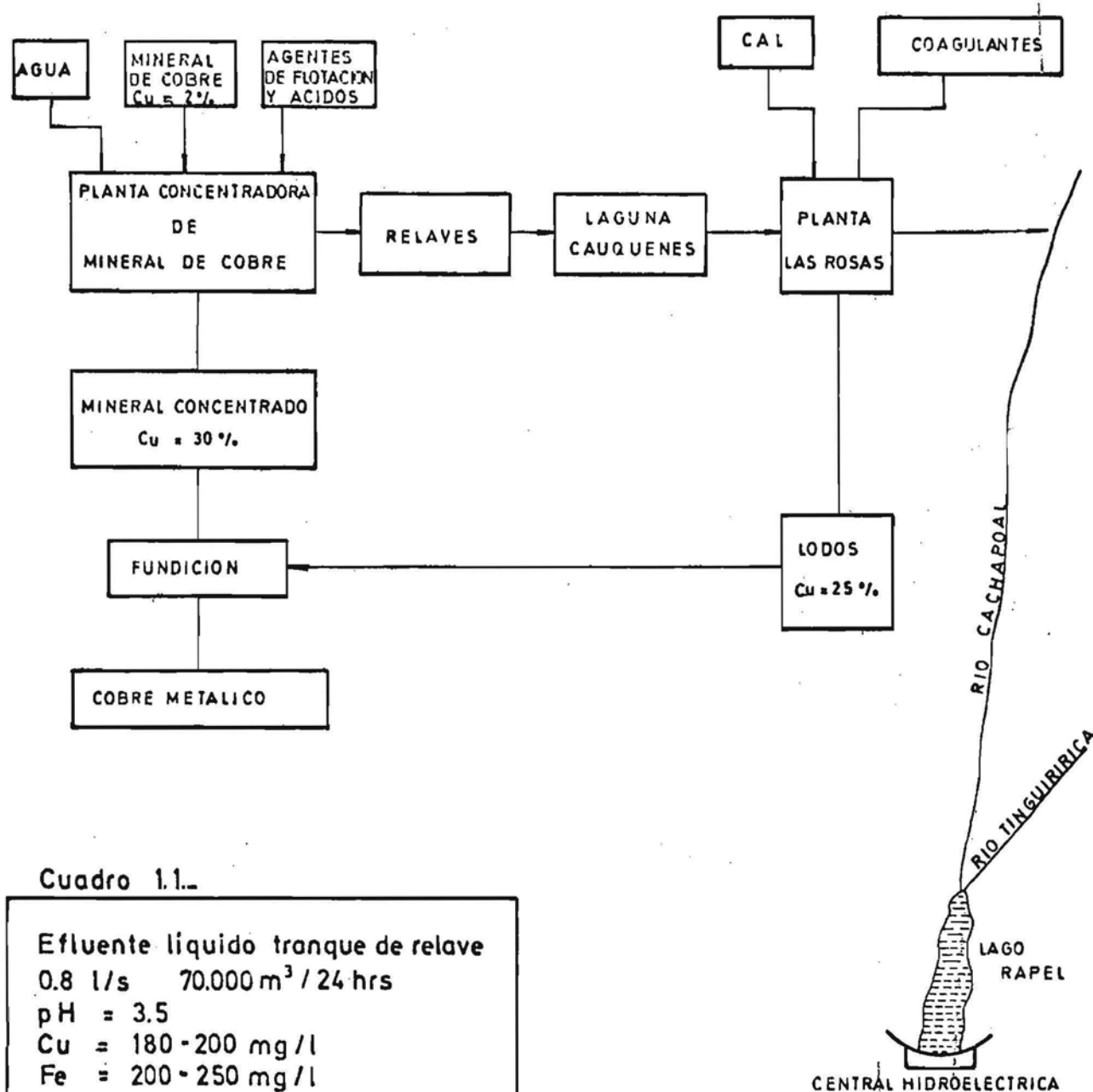
1.- PREPARACION DEL ESTUDIO.-GENERALIDADES

En gran parte, este estudio de calidad del agua de Rapel se ha centrado sobre la subcuenca del río Cachapoal por lo que interesa conocer algunos antecedentes que influyen sobre la calidad del agua de este río. Entre estos se encuentra el mineral El Teniente, el mayor yacimiento de cobre de la zona central, ubicado en la provincia de O'Higgins a unos 60 Km de la ciudad de Rancagua.

Actualmente en el mineral El Teniente se extraen aproximadamente 62500 toneladas por día (TPD) de material con una concentración promedio de 1,6% de cobre y 2,5% de azufre. Del material extraído de la mina se elimina mediante concentración, la parte no mineralizada o ganga, la que acompañada de una buena parte de agua dá origen a los relaves. Estos relaves son transportados por una canaleta de madera, de aproximadamente 66 Km. de largo hasta un gran tranque que recibe más o menos 100.000 TPD de relaves compuestos por un 70% de agua. (Tranque Cauquenes). El efluente líquido es bombeado hasta la planta de tratamiento Las Rosas, que data de 1962, donde luego de precipitar el cobre con cal y mediante un coagulante, se entrega a espesadores cuyos efluentes líquidos se envían al río Cachapoal con un contenido de cobre de 1 a 2 mg/l y pH aproximadamente 7.

FIGURA 1.-

DISPOSICION DE EFLUENTES DE RELAVES, TRATAMIENTO Y SU RELACION CON LA HOYA DE RAPEL



Cuadro 1.1.-

Efluente líquido tranque de relave
 0.8 l/s 70.000 m³ / 24 hrs
 pH = 3.5
 Cu = 180 - 200 mg/l
 Fe = 200 - 250 mg/l
 Al = 150 - 400 mg/l

La fig. Nº 1 muestra un diagrama de disposición de efluentes de relaves del mineral El Teniente.

Según las características del efluente líquido de la planta de Las Rosas, no habría ninguna influencia sobre la calidad del agua del río Cachapoal.

2.- HOYA DE RAPEL.-

Generalidades.-

La hoya del río Rapel se halla ubicada en la zona Central de Chile, situándose entre los 34° 05' y 34° 50' de latitud sur, cubre una superficie de aproximadamente 14.500 Km².

Los límites hidrológicos de la hoya de Rapel son por el norte, el cono del estero Codegua, cuyas aguas superficiales escurren hacia la cuenca del Maipo. Por el sur, el límite hidrológico de la hoya de Rapel se ubica con el camino que parte del cauce de Monterilla para dirigirse a la Laguna de Teno.

El aporte cordillerano de los principales afluentes del Rapel presenta régimen glacial, con crecidas durante los meses de verano. En cambio el régimen del río Rapel, en la localidad de Corneche, es francamente pluvial, con crecidas durante los meses invernales, esto se debe a que la caída pluviométrica en la hoya es mayor que los aportes glaciales.

2.1. Río Rapel.-

El río Rapel se constituye en el lugar denominado Las Juntas, por la confluencia de los ríos Cachapoal y Tinguiririca. El gasto promedio anual del Rapel, en la localidad de Corneche es del orden de 5 mil millones de m³.

Luego de un recorrido sinuoso de aproximadamente 75 Km. a través de la Cordillera de la Costa, durante la mayor parte del cual, escurre por un lecho labrado profundamente en la roca, desemboca al mar en la localidad vecina al pueblo de Navidad.

Aguas arriba del sitio en que el Rapel recibe las aguas del estero Quelentaro y a 40 Km. de su desembocadura en el mar, se ubica la central hidroeléctrica Rapel con una capacidad instalada de 350 MW.

El área inundada por el embalse alcanza a 8.000 Hás., extendiéndose hasta aguas arriba de la localidad de Las Juntas. El volumen de agua embalsado es del orden de 680 millones de m³.

El sector de la hoya correspondiente al río Rapel propiamente tal, carece de importancia desde el punto de vista agrícola. Las obras de riego más importantes son elevaciones mecánicas de aguas provenientes del río Rapel, mediante ellas se riegan sólo pequeñas extensiones de tierra de regular calidad.

2.2. Río Cachapoal.-

2.2.1. Rasgos Geográficos e Hidrografía.-

Nace en los faldeos del cerro Los Piuquenes (4,460 msnm) del glaciar Cachapoal y de un conjunto de otros glaciares entre los que se encuentran el glaciar del Cortaderal, el Palomo, el Cipresillo y el San Manuel, los cuales entregan directa o indirectamente sus aguas al río Cachapoal. El área total englacada de la Hoya del río Cachapoal es de 294 Km²

La cuenca andina del Cachapoal tiene varios afluentes importantes entre los cuales se destacan: por el sur, el río Claro Alto, que baja de la Cordillera de Los Melados, el río Los Cipreses, que nace de un glaciar occidental de la cordillera del Brujo, el río Cortaderal, el afluente de mayor importancia, que nace del glaciar del mismo nombre y el río Leñas.

A unos 7 Kms. al este del pueblo de Coya, se une al río Cachapoal el río Pangal, formado por los ríos Paredones y Blanco. El río Coya, importante afluente por sus características de calidad del agua, que se une al Cachapoal en el pueblo de Coya, nace en la Hoya de Sewell, inmediato a la mina de cobre del mismo nombre.

Desde su nacimiento hasta su unión con el río Tinguiririca, el Cachapoal tiene una longitud de 166 Km. Sus principales afluentes son:

Km. 20	:	río Las Leñas
Km. 22	:	" Cortaderal
Km. 30	:	" Los Cipreses
Km. 45	:	" Pangal
Km. 50	:	" Coya
Km. 61	:	" Claro Alto
Km. 84	:	Estero Las Cadenas
Km. 123	:	" Idahue
Km. 127	:	Río Claro de Rengo
Km. 133	:	Estero Zamorano
Km. 166	:	Río Tinguiririca

Drena un área aproximada de 6.500 Km² ubicada gran parte en la Cordillera de Los Andes y en el Valle Central.

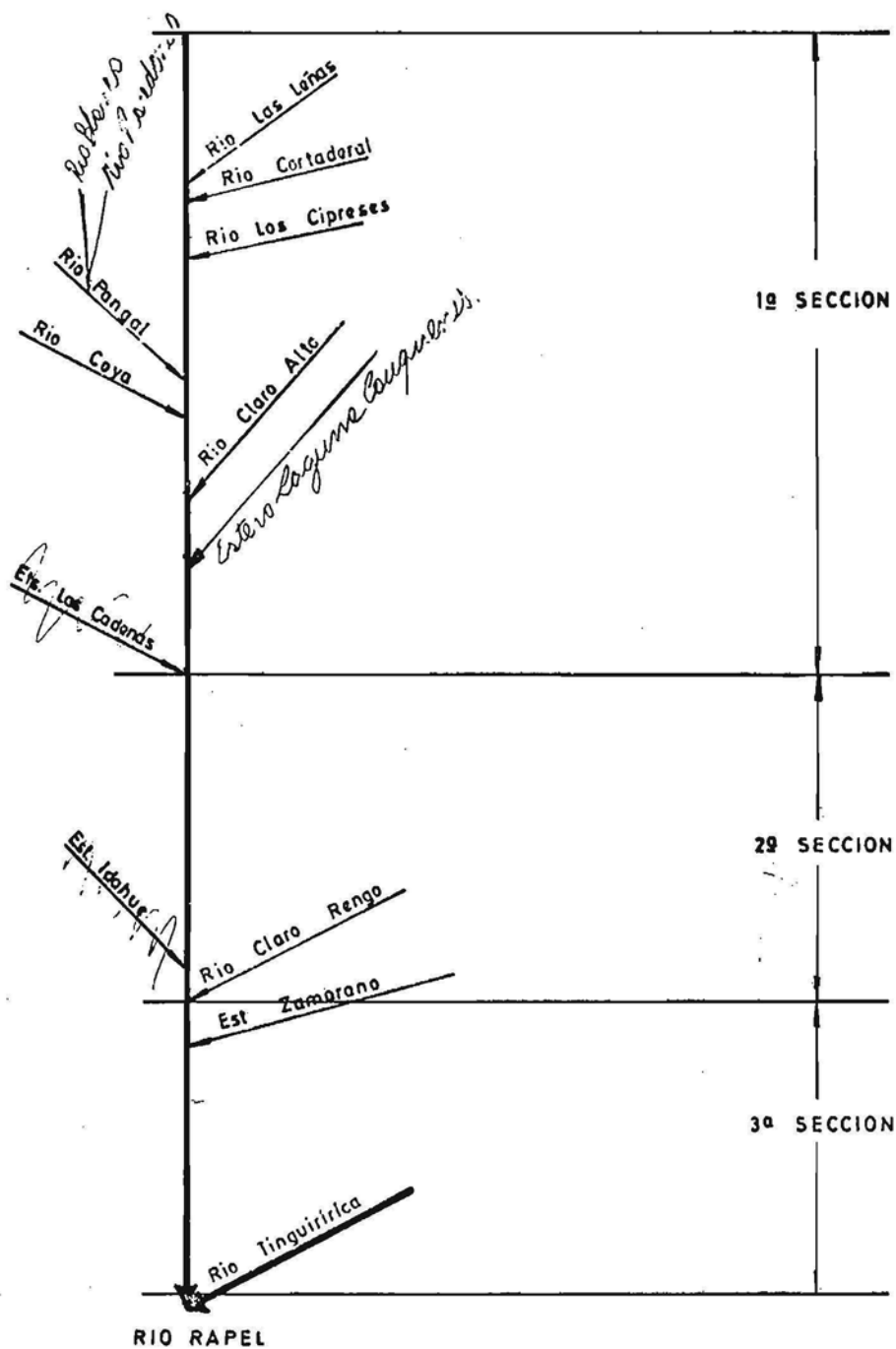
2.2.2. División y régimen a lo largo del río.-

El río Cachapoal ha sido dividido en tres secciones (Ver fig. Nº 2).

- Primera Sección: Desde su nacimiento hasta aguas arriba del río Claro de Rengo. Longitud 42 Kms.

FIGURA N° 2..

RIO CACHAPOAL SECCIONES Y PRINCIPALES AFLUENTES



- Segunda Sección: Desde el Estero Las Cadenas hasta aguas arriba del río Claro de Rengo. Longitud 84 Kms.

- Tercera Sección: Desde el río Claro hasta la confluencia con el río Tinguiririca. Longitud 40 Kms.

Debido a la gran extracción de agua durante la época de riego, al final de la primera sección, el caudal disminuye prácticamente a cero.

La segunda sección se recupera con derrames y sobrantes principalmente de la ribera Norte, y con los afloramientos, que vierten a través del Estero Las Cadenas.

La Tercera Sección se recupera con los derrames y afloramientos de las dos secciones anteriores, los que evacúan principalmente a través del río Claro de Rengo y de los esteros Idahue y Zamorano, además de otros de menor importancia.

Información Fluviométrica.-

Como es sabido, la concentración de los distintos componentes del agua de un curso, se ve muy influenciada por el caudal de este. Dicho fenómeno es mucho más notable cuando se trata de cursos de agua cuya calidad se ve afectada por residuos ya sean industriales o domésticos. En el caso del río Cachapoal, la calidad del agua está estrechamente ligada a los residuos del mineral El Teniente y es así como la concentración de cobre en el agua del río, depende exclusivamente de la que aporta el río Coya, por lo que su presencia en el río Cachapoal estará sujeta a la dilución que experimenten las aguas del río Coya en las del Cachapoal.

El período en estudio (1972-73) corresponde a un año lluvioso, por lo que las condiciones de dilución han debido jugar un papel preponderante en el estudio de calidad de aguas llevado a cabo durante ese período.

La estadística del río Cachapoal en Puente Termas

(ENDESA) para el período 1941/42 - 1973/74 demuestra que el año 72-73 es el que registra el mayor caudal promedio anual de todo el período de registro (excepto 1941-1942), por lo que las condiciones de calidad del agua del río Cachapoal pueden ser consideradas como optimizadas por el factor dilución para nuestro año del estudio.

El cuadro Nº 1 (Anexos) contiene el registro de caudales medios mensuales del río Cachapoal en Puente Termas para el período 1941/42-1973/74.

3.- AGUAS SUPERFICIALES.-

3.1. Calidad del agua.-

3.1.1. Puntos de muestreo.- Los lugares de muestreo se fijaron de manera tal que permitieran conocer:

- Identificación de las probables fuentes de contaminación.
- Variación de la calidad del agua del río Cachapoal a lo largo del curso, hasta su junta con el río Tinguiririca.
- Calidad del agua embalsada por la represa de Rapel en el muro de contención.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, los lugares de muestreo fueron los siguientes:

- 1.- Río Coya antes de Caletones (Bocatoma Caletones).
- 2.- Río Coya en Coya.
- 3.- Río Cachapoal antes de Coya.
- 4.- Río Cachapoal en Pte. Termas.

- 5.- Río Cachapcal en Pte. Panamericana.
- 6.- " " " Pte. Arqueado.
- 7.- Río Rapel antes del muro de contención (Central Hidroeléctrica).

En la figura Nº 3 se han ubicado los puntos de muestreo.

3.1.2. Resultados obtenidos.-

Los resultados obtenidos del análisis de las muestras, que se adjuntan en el cuadro Nº 2 (Anexos), han demostrado que al menos durante el período del estudio, (1972-73) se presentan situaciones peligrosas en la parte alta de la Hoya y más propiamente en el río Coya, portador de altas concentraciones de cobre disuelto, sulfatos y de un carácter francamente ácido ($\text{pH} < 5$).

Haremos un análisis de la situación por punto de muestreo y la implicancia de la calidad del agua en ese lugar sobre los usos principales a que se lo destina.

1.- Río Coya antes de Caletones (Bocatoma Caletones).

En este lugar se encuentra ubicada la bocatoma de agua que surte la Fundición de Caletones, por lo tanto el parámetro de mayor importancia será el pH del agua ya que este valor incidirá en su tendencia a la corrosión de los sistemas de refrigeración de la Fundición.

Muestras obtenidas en Noviembre y Diciembre 1972 dan un valor medio de pH 4,7 y un índice de estabilidad (Langelier) de - 4,5 lo que indica que se trataría de aguas muy fuertemente corrosivas. Debido a esto, la bocatoma se ha situado

de manera tal que se captan aguas del estero Los Sapos y solo en aquellos casos de bajo caudal en este, se utilizan mezcladas con el río Coya.

2.- Río Coya en Coya (Puente Chico).

Las muestras obtenidas en este lugar no difieren en su calidad respecto a las del lugar anterior (pto. 1), tan solo que se ven algo más diluídas por el efecto del aporte del Estero Los Sapos esto es apreciable en los sólidos disueltos y sulfatos principalmente.

Estas aguas no se utilizan en ninguna actividad en especial, pero tienen gran influencia sobre la calidad del agua del río Cachapoal ya que mediante el aporte del río Coya se introduce cobre al río Cachapoal.

Los parámetros más destacados por su posible influencia posterior sobre las aguas del Cachapoal son el contenido de cobre y los sulfatos. Según los antecedentes obtenidos, el cobre disuelto en el río Coya varía entre un mínimo de 12,7 mg/l (Julio 1972) hasta un máximo de 130 (mg/l) (Febreros 1973) con un valor medio para 3 determinaciones, de 65,8 (mg/l). Los valores mínimos se registran en la época de lluvias, incrementándose al comenzar los deshielos.

La Fig. Nº 4, muestra la característica del régimen del río Coya, en comparación con el río Cachapoal. Aquí se puede apreciar que mientras este último es de carácter típicamente nival, el Coya es de régimen mixto nival-pluvial, por lo que es explicable que los mínimos de concentración de cobre se registren en la época de lluvia y deshielo, y los máximos en los meses de verano ya que predomina el régimen pluvial. (ver fig. Nº 4). En el gráfico siguiente (Fig. Nº 5) se puede ver

FIGURA Nº 4

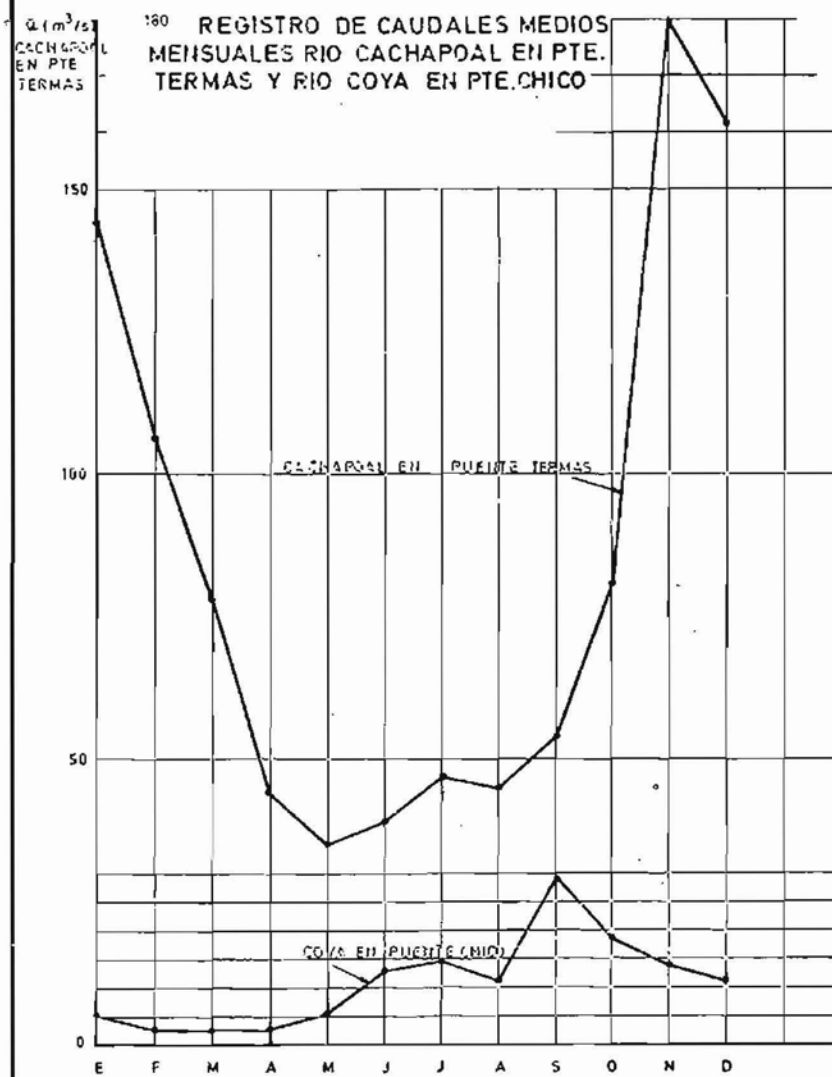
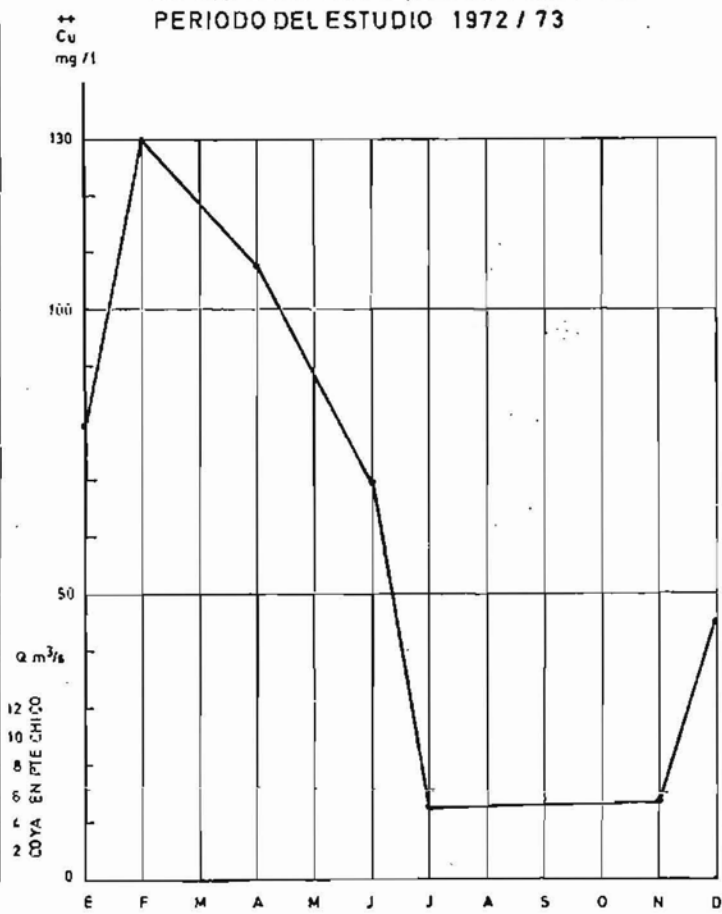


FIGURA Nº 5

VARIACION DEL CONTENIDO DE COBRE EN RIO COYA EN PTE. CHICO PARA EL PERIODO DEL ESTUDIO 1972 / 73



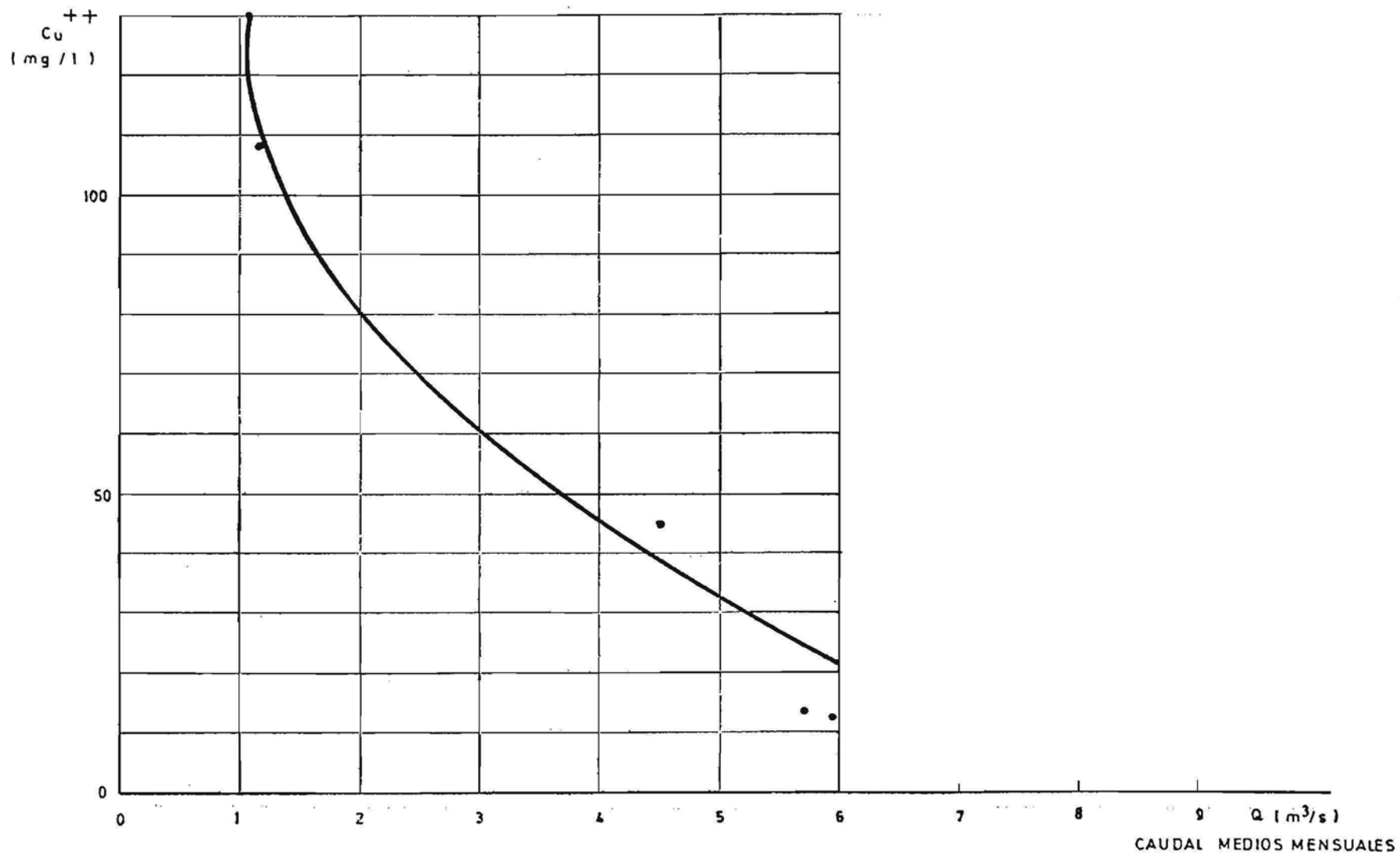
la concordancia existente entre los valores mínimos de cobre en el agua del río Coya y los meses de lluvia y deshielo, así como el incremento en los meses de verano para el período del estudio (1972-73). Aquí también se puede apreciar que existe una estrecha relación entre los valores máximos de cobre detectados y los caudales mínimos mensuales para un año 50%.

Con el objeto de definir una relación entre caudal del río Coya y contenido de cobre se graficaron las concentraciones detectadas en el período del estudio vs. caudales medios mensuales del río en la estación Puente Chico (en Coya). El resultado obtenido está expresado en la Fig. Nº 6, donde se puede apreciar que a medida que aumenta el caudal del río, el contenido de cobre disminuye hasta alcanzar valores del orden de 10 (mg/l) en los meses de máximos caudales. La estadística de la estación (anexo Nº 3) permite verificar que los máximos caudales medios anuales no alcanzan a los 10 (m^3/s) e incluso los valores medios mensuales respectivos solo en contadas ocasiones registran valores superiores a los 15 (m^3/s). Por lo que probablemente el contenido de cobre en el río Coya, para un año 50% no deba ser inferior a los 10 (mg/l). Para poder predecir con mayor seguridad el contenido de cobre en el río según su caudal, sería necesario realizar muestreos diarios, y aún mejor, horarios y graficarlos versus el registro de caudales de cada muestreo. Con ello se obtendrían curvas con una menor dispersión que la obtenida en el gráfico Nº 6 y se podría calcular más exactamente el contenido de cobre para diferentes caudales.

El contenido de sulfatos es también excesivamente alto en el río, varía entre 160 y 200 mg/l aproximadamente, hay que considerar que estas aguas en ausencia de contaminación no superarían los 150 (mg/l) (río Cachapoal antes del río Coya). El valor medio detectado en el río Coya para el período del es-

FIGURA Nº 6

RELACION ENTRE CONTENIDO DE COBRE Y REGIMEN DEL RIO COYA
EN PUENTE CHICO (COYA)



tudio es de 470 (mg/l) de sulfatos y al igual que en el caso del contenido de cobre las mayores concentraciones se registran en los meses de verano debido a los bajos caudales del río para una tasa prácticamente constante de contaminación.

3.- Río Cachapoal antes del río Coya. (en Coya)

El principal uso del agua en este sector es para hidroelectricidad. Acciona las centrales Coya, Sauzal y Sauzalito. Por lo tanto la variable de mayor interés en su calidad es el índice de estabilidad, que calculado en base a los antecedentes obtenidos en el período del estudio, oscila entre -1 y + 0,06 demostrando con ello que se trata de aguas levemente corrosivas pero con una tendencia general a la neutralidad.

En cuanto a los componentes químicos determinados en los muestreos de este lugar, se trata de aguas de excelente calidad en que los sólidos disueltos alcanzan un valor máximo de 370 mg/l. Estas aguas son las que alimentan el canal Sauzal y que según veremos son de gran importancia en la dilución del río Cachapoal.

4.- Río Cachapoal en Pte. Termas.

La calidad del agua del río Cachapoal en este punto se vé, en algunas ocasiones, fuertemente influenciada por el río Coya. Esto se aprecia especialmente en el período comprendido entre Marzo y Septiembre, durante el cual la extracción de agua que se realiza por el canal Sauzal, hace bajar el caudal del Cachapoal a niveles mínimos y que en gran parte están constituidos por aguas del río Coya.

El canal Sauzal, que alimenta las centrales Sauzal

y Sauzalito (ENDESA) registra caudales de hasta $60 \text{ m}^3/\text{s}$ o más (ver estadística para el período 1952/53 - 1969-70 en anexo N.º 4.º). Este importante caudal que se extrae al río Cachapoal, hace que en sus aguas se encuentren concentraciones de hasta 22 mg/l de cobre disuelto.

La calidad del agua del río Cachapoal en Pte. Termas no afecta mayormente algún rubro de producción ni de consumo humano, ya que si bien en este sector se encuentran algunas propiedades agrícolas, en su mayoría son regadas por aguas provenientes del río Claro y su red de canales. Posteriormente, el Cachapoal recibe el aporte del canal Sauzal (estadística publicada), el que mejora notablemente la calidad del agua ya que se trata de aguas captadas en la bocatoma ubicada sobre el río Cachapoal antes de Póys, por lo que no recibe contaminantes del río Coya. Por ello la calidad del río Cachapoal utilizado en riego corresponde a la de las muestras obtenidas en el Puente Panamericana, ya que los principales canales y bocatomas de distribución de aguas de riego se encuentran poco antes de dicho Puente.

5.- Río Cachapoal en Pte. Panamericana.

Los principales usos del río Cachapoal en esta zona son el abastecimiento de agua potable para la ciudad de Rancagua y el uso agrícola.

En cuanto a la calidad del agua respecto a su utilización como fuente de abastecimiento de agua potable hay que destacar que según los parámetros determinados en las muestras respectivas, el contenido de cobre se excede sobre los límites permisibles por las normas vigentes. El contenido de cobre disuelto oscila entre $0,5$ y $2,7 \text{ mg/l}$ y el máximo permitido es $1,5 \text{ mg/l}$ y los sólidos disueltos entre 195 y 335 mg/l , los otros componentes se encuentran muy por debajo de los máximos permisibles para el

abastecimiento de agua potable. Hay que señalar que en la estación de muestreo anterior (Cachapoal en Pte. Termas), se determinaron cantidades de hasta 22 mg/l. de cobre. Esta gran disminución, que en algunos casos registra descensos en la concentración de cobre de más de 15 veces, se debe al aporte de aguas no contaminadas del canal Sauzal, cuyo caudal medio anual del período 1965-70 registra un mínimo de 35,1 m³/s y un máximo de 49,5 m³/s (Ver anexo Nº 4), lo que permite que se produzca una gran dilución de las aguas del Cachapoal.

En la figura Nº 7, se presenta la variación del contenido de cobre y sólidos disueltos en el agua del río Cachapoal, por efecto del río Coya y su posterior dilución por el canal Sauzal.

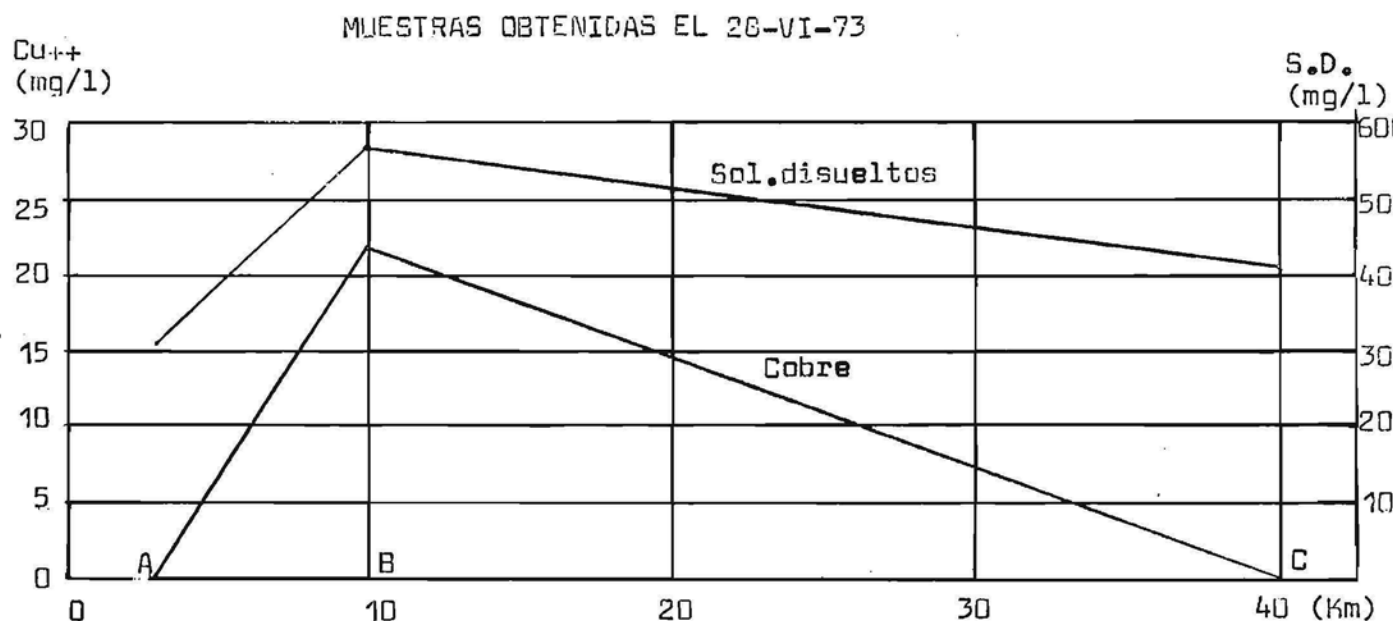


Fig. Nº 7 : Variación del contenido de cobre y sólidos disueltos en el agua del río Cachapoal.
Influencia del río Coya y del canal Sauzal.

A.- Río Cachapoal en Coya (aguas arriba del río Coya).

B.- Río Cachapoal en Puente Termas.

C.- Río Cachapoal en Puente Panamericana.

En el gráfico anterior se ha representado la fuerte contaminación que experimenta el río Cachapoal por efecto del río Coya, en los casos en que exista un bajo caudal del Cachapoal a causa de la extracción del canal Sauzal. Posteriormente se aprecia una gran dilución por las aguas de este canal que se reintegran al río a unos 10 Km. más o menos del Puente Panamericana. Las curvas trazadas están idealizadas ya que el cobre y los sólidos disueltos no suben a partir de Coya sino que una vez que se incorpora el río Coya al Cachapoal, lo mismo para el caso de la dilución por el canal Sauzal.

A través de la cuantificación del contenido de cobre, disuelto en las aguas del río Cachapoal en el Pte. Panamericana, se puede tener una idea acerca del buen funcionamiento de la Planta de tratamiento de las Rosas, ya que las aguas provenientes del tranque de relaves con más de 200 mg/l de cobre, una vez tratadas son descargadas al río Cachapoal antes del Puente Panamericana, sin que se haya detectado un aumento del contenido de cobre en los muestreos realizados en este lugar.

El otro uso, de gran importancia, que se le dé a las aguas de Cachapoal en este punto, es en el riego de una extensa zona agrícola. Para este efecto, los antecedentes de calidad del agua en el Pte. Panamericana son de gran utilidad ya que como mencionáramos anteriormente, las bocatomas de los principales canales se encuentran ubicados aguas arriba de nuestro punto de muestreo.

De acuerdo a algunos antecedentes proporcionados por agricultores de la zona de Rosario, Requínoa, El Olivar y otras, en algunas ocasiones el agua ha "quemado" algunos cultivos cuyas hojas quedan en contacto con esta. (Tomates, melones, etc.) Este fenómeno, que habría ocurrido en escasas oportunidades podría deberse al pH excesivamente ácido del agua. Esto puede originarse en aquellas ocasiones en que la planta de Las Rosas, por razones de mantenimiento o fallas en la operación, no haya estado funcionando a plena capacidad y pueda haber sido necesario traspasar agua directamente de los efluentes de los relaves al río Cachapoal, en circunstancias en que el caudal de este no haya permitido una buena dilución.

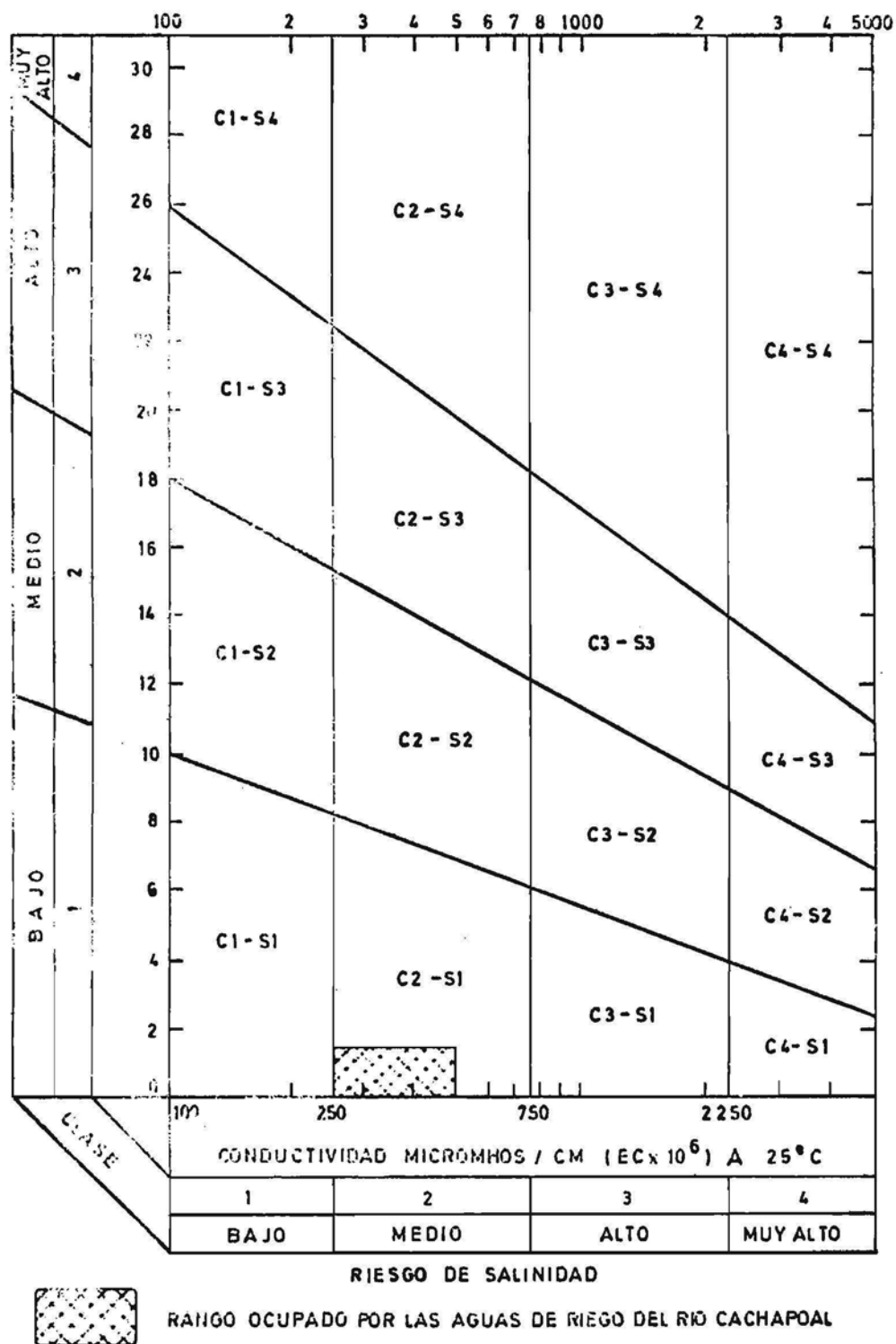
Aplicando el criterio del llamado "riesgo de absorción de sodio" (SAR), que se define por la relación:

$$SAR = \frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}} \quad \text{Cationes expresados en (meq/l)}$$

para calificar aguas desde el punto de vista agrícola. Tenemos que para las aguas del río Cachapoal en Pte. Panamericana se ha determinado que se trata de aguas calificadas en el rango C_2S_1 del diagrama para clasificación de aguas de riego (Fig. Nº 8) e incluso con valores de SAR tan bajos (máximo= 0,7), que eliminan cualquier posibilidad de desarrollar niveles perjudiciales de sodio intercambiable en los suelos. La clasificación C_2S_1 corresponde a aguas de salinidad media, que permiten su utilización en el riego de plantas de tolerancia moderada a las sales, pudiendo estas desarrollarse, sin prácticas especiales de control de salinidad.

En general, se trata de aguas de una óptima calidad para el riego, especialmente de cítricos y paltos los que

FIG. N° 8
DIAGRAMA PARA LA CLASIFICACION DE AGUAS
DE RIEGO



se ven muy favorecidos por el bajísimo nivel de cloruros presente, cuyo valor máximo registrado es de 46 mg/l con un mínimo de 17 mg/l.

6.- Río Cachapoal en Puente Arqueado.

La calidad del agua del río en este lugar es un reflejo del tipo de aguas utilizadas en el regadío de la zona agrícola de San Vicente, Peumo, Coltauco, Doñihue y otras, ya que el régimen del Cachapoal en Pte. Arqueado corresponde, a excepción de los meses en que no hay riego, a excedentes de aguas de riego (ver estadísticas en anexo Nº 5).

Estas aguas son de características muy similares a las muestreadas en el Pte. Panamericana, aunque con un menor contenido de cobre disuelto, explicable por la precipitación de este elemento a través del curso del río y por la dilución que se produce a causa de afloramientos de aguas subterráneas exentas de cobre o con escasa concentración. Por lo tanto la clasificación de estas aguas corresponde en exacta forma a las del río Cachapoal en Pte. Panamericana y son aplicables los mismos términos de calidad. Esto corrobora el buen rendimiento del sector agrícola en cuanto a producción de cítricos y paltos en la zona, ya que unido al tipo especial de clima, se cuenta con aguas de excelente calidad para estos cultivos.

7.- Río Rapel en Central Hidroeléctrica.

El aspecto de mayor importancia de la calidad del agua en este lugar es lo que dice relación con su tendencia a la corrosividad, para ello es necesario aplicar el índice de Langelier cuyos valores calculados se incluyen en la Tabla Nº 1.

Fecha Muestra	Valor Calculado	Tendencia del agua
28-7-72	+ 0,1	Levemente incrustante
7-11-72	+ 0,1	" "
14-12-72	0,0	Estable
26-1-73	+ 0,4	Incrustante
28-2-73	+ 0,4	Incrustante
27-4-73	+ 0,3	Incrustante
28-6-73	+ 0,5	Incrustante

Tabla Nº 1.- Índice Langelier calculado para algunas fechas, en aguas embalsadas en el muro de contención de Rapel.

Los valores de la tabla anterior permiten apreciar una leve tendencia del agua a formar incrustaciones o más bien una película calcárea que proteja a los metales en contacto con el agua de la posible corrosión. Esta tendencia se vé corroborada por los altos valores de pH obtenidos de mediciones a diferentes profundidades que realiza la División de Pesca y Caza del SAG con el objeto de poder definir las condiciones del agua para la vida de peces, especialmente truchas. Estos valores, se incluyen junto a otras determinaciones de importancia con este fin, en el Anexo Nº 6 (Información del SAG).

Otro aspecto de importancia de la calidad del agua en contacto con el muro de contención es el contenido de sulfatos, los cuales en concentraciones superiores a los 300 mg/l son perjudiciales (aguas selenitosas) por atacar al cemento al formar sales complejas que originan el llamado cáncer del cemento, que destruye el hormigón, este fenómeno se vé agravado en aguas de bajo contenido en cloruros. Afortunada

mente en nuestro caso no habría motivo de preocupación ya que la máxima concentración de sulfatos registrada es de 109 mg/l que distan mucho del límite considerado dañino.

4.- AGUAS SUBTERRANEAS.-

4.1. Calidad del Agua.-

Para los efectos de reunir antecedentes de calidad del agua subterránea de la Hoya, se recurrió a los datos proporcionados por el catastro de pozos de la Hoya de Rapel, realizado en colaboración por el Depto. de Recursos Hidráulicos de CORFO y el Instituto de Investigaciones Geológicas en el año 1970 y además se muestrearon algunos pozos de abastecimiento de agua potable ubicados en la primera sección del río Cachapoal.

4.1.1. Abastecimiento de agua potable.-

En la tabla Nº 2. se incluyen los valores máximos, mínimos y medios de 24 muestras de agua analizadas, como asimis mo los valores permisibles para el abastecimiento de agua potable, de acuerdo con la respectiva norma vigente.

TABLA Nº 2

Características químicas del agua subterránea de la Hoya de Rapel comparadas con los valores normalizados para abastecimiento de agua potable.

	Análisis de agua de pozos			Norma de agua potable
	V.Medio	V.Máx.	V. Min.	Valores máx. tolerables
pH	7,4	7,9	6,5	6,5 - 9,2
Sólidos dis.	330	600	96	1.500
Durez.Total CaCO ₃	177	344	60	--
Calcio (Ca)	48	112	17	--
Magnesio (Mg)	8,7	15,4	2,0	125 (*)
Sodio (Na)	23	82	12	--
Potasio (K)	3,3	6,2	0,4	--
Carbonatos (CO ₃)	0,0	0,0	0,0	--
Bicarbonatos (HCO ₃)	142	234	83	--
Sulfatos (SO ₄)	60	159	10	400
Cloruros (Cl)	23	49	6	350
Nitratos (NO ₃)	4,1	15	0,0	66 (**)
Cobre (Cu)	0,15	0,2	0,1	1,5
Silice (SiO ₂)	40	60	5	--
Anh. Carbónico Disuelto	11,4	34	2,8	--

Valores expresados en (mg/l), excepto el pH.

(*) Valor aceptado cuando los sulfatos son menos de 200 (mg/l).

(**) Para aguas subterráneas.

Según se desprende de los valores indicados en la tabla Nº 2, el agua subterránea de la Hoya de Rapel es de excelente calidad para el consumo como agua potable, aunque para ratificar este concepto, es necesario considerar algunos parámetros que no han sido determinados en este caso (DBD, análisis bacteriológicos y otros).

4.1.2. Uso Industrial.-

En cuanto al uso industrial, según los valores de dureza total detectados en las muestras analizadas y de acuerdo a la tabla Nº 3, de calificación de aguas según dureza, se trata de aguas del tipo "semiduras y duras", ya que el valor medio es de 177 (mg/l) CaCO_3 pero en algunos pozos (4 de ellos) se determinaron valores inferiores a 75 (mg/l) CaCO_3 , es decir "aguas blandas", lo que es poco común en aguas subterráneas. En general, se trata de aguas de buena calidad para el uso industrial, que deberían ser tratadas si se utilizan en calderas. Desde este punto de vista es de mejor calidad que el agua potable con que se abastece Santiago que tiene una dureza total de 400 a 500 (mg/l) CaCO_3 .

Tabla Nº 3

Clasificación de aguas según su dureza total.

Clase de Agua	Dureza Total (mg/l) CaCO_3
Agua blanda	0 - 75
Agua semidura	76 - 150
Agua dura	151 - 300
Agua muy dura	más de 300

4.1.3. Uso Agrícola.-

Clasificando las aguas para el uso agrícola según el criterio del "SAR o riesgo de absorción de sodio" y de acuerdo a su conductividad, puede decirse que el agua subterránea de la Hoya de Rapel corresponde a aguas del tipo C_2S_1 (Ver Fig. Nº 8) esto significa que según su salinidad, dichas aguas pueden utilizarse en riego de plantas con tolerancia moderada a las sales, sin prácticas especiales de control de salinidad. Según su contenido de Sodio, pueden utilizarse en casi todos los suelos, sin riesgo de desarrollar niveles perjudiciales de Sodio intercambiable. Sin embargo, cultivos sensibles al sodio como por ejemplo árboles de frutos con huesco y paltos, podrían llegar a acumular concentraciones dañinas de sodio.

En cuanto a concentraciones perjudiciales de elementos considerados tóxicos, como el Boro por ejemplo, en las muestras en que se ha determinado no se han encontrado cantidades apreciables, sino que en algún caso solamente trazas y en otros no se ha detectado.

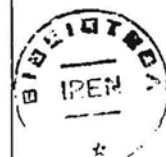
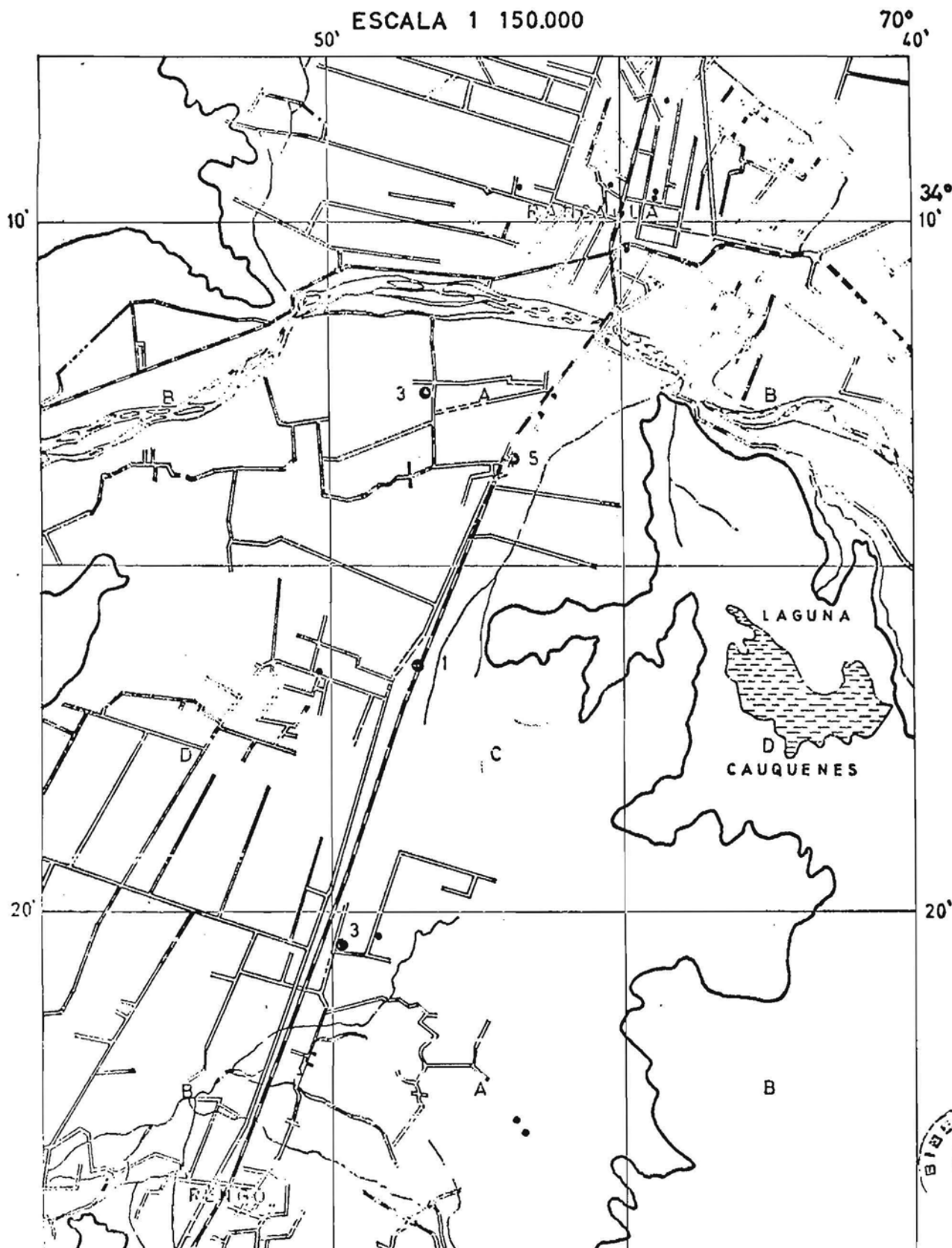
Resumiendo el punto 1, se puede decir que el agua subterránea de la Hoya de Rapel, según los antecedentes con que se cuenta, es de excelente calidad para el abastecimiento de agua potable, industrial y agrícola.

4.2. Influencia de los relaves de cobre en la calidad del agua subterránea.

A pesar de que por su ubicación y por las condiciones geológicas de la zona, (Cadenas de cerros) difícilmente podría suponerse una contaminación del acuífero por efectos del escurrimiento de aguas desde el tranque de relaves (Laguna Cauquenes), se muestrearon pozos actualmente en explotación, ubicados aproximadamente en el mismo cuadrante ($34^{\circ} 10'$ - $70^{\circ} 40'$) que el tranque de relaves (Fig Nº 9). Utilizando el contenido cobre de las muestras como indicador de la contaminación, se pudo establecer que no hay indicios de peligro en este aspecto, ya que la máxima con

FIG. N° 9
PLANO DE UBICACION DE POZOS Y SU
RELACION CON LAGUNA CAUQUENES

HOYA RAPEL
ESCALA 1 150.000



concentración de cobre disuelto, no alcanza más que a 0,2 (mg/l) lo que es un valor normal para aguas de la zona, las que al escurrir en contacto con materiales que contienen cobre, en forma de minerales sulfurados, disuelven pequeñas cantidades de cobre. Esto explicaría además, el tenor de sulfatos, que oscila entre 120 y 160 (mg/l), los que se originarían en la oxidación de los sulfuros.

Los pozos muestreados, cuyos análisis se incluyen en el anexo Nº 7, son los siguientes:

- Agua potable Oliver Alto (3410 - 7040 A-3)
- Agua potable Los Lirios (3410 - 7040 A-5)
- Agua potable Requínoa (3410 - 7040 C-1)
- Agua potable Pichiguao (Rengo) (3420 - 7040 A-3)

En base a los antecedentes obtenidos, se podría descartar la posibilidad de contaminación del acuífero por infiltración de los relaves de la Laguna Cauquenes, ya que si esto estuviese ocurriendo, las concentraciones de cobre y sulfatos serían mucho mayores que las detectadas.

B I B L I O G R A F I A

- Corporación de Fomento de la Producción
Instituto de Investigaciones Geológicas
Catastro de Pozos - Hoya Nº 309 RAPEL
Santiago - Chile 1970.
- American Public Health Association Inc.
Standards Method for the Examination of Water
and Waste Water, 12a. edición
Boyd Printing Co. Inc. Albany N.Y. 1965.
- Instituto Nacional de Investigaciones Tecnológicas y
Normalización - Norma de Agua Potable NCH - 409 n 70 (1970).
- Merino Raúl.
"La Contaminación del agua con Residuos Industriales Líquidos"
Memoria de Prueba para optar al Título de Ingeniero Civil Químico
Universidad de Concepción. 1966
- Servicio Agrícola y Ganadero (SAG)
División de Pesca y Caza. Información proporcionada verbalmente.
- Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Universidad de Chile - Calidad del Agua Potable
Santiago 1965.
- De Grys, Ann, Copper, Lead and Zinc in rivers draining Chilean
Andes, Econ. Geol. 56 pp.
Santiago - Chile 1961.
- Klohn, C., Geología de la Cordillera de los Andes de Chile Cen-
tral, provincias de Santiago, O'Higgins, Colchagua y Curico.
Stgo., IIG. Bol. Nº 8, 1960.

- ENDESA. Información fluviométrica proporcionada por la División de Hidrología.
- González del Riego F., Recuperación de Azufre Elemental a partir de gases de Fundición de Caletones. Memoria de Prueba para optar al título de Ingeniero Civil Industrial. Universidad de Chile 1971.

A N E X O N^o 1

* CACHAPOAL EN PTE. TERMAS

(Período 1941/42 - 1973/74)
Caudales medios mensuales (m³/seg)

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	$\bar{Q}_a$
41/42	67	127	102	109	112	70	134	144	133	280	238	167	149
42/43	75	45	32	28	80	45	77	131	171	136	169	97	96
43/44	43	27	26	27	29	78	83	108	152	156	125	67	77
44/45	40	26	31	37	59	72	90	143	235	200	138	104	98
45/46	67	51	32	27	37	50	66	83	113	131	129	101	74
46/47	56	36	28	42	23	28	44	97	117	129	115	97	68
47/48	35	22	33	25	19	26	54	102	112	93	91	51	55
48/49	31	30	23	58	39	58	87	117	200	176	147	98	89
49/50	72	99	63	36	39	37	69	97	101	104	84	72	73
50/51	50	77	58	39	52	66	82	105	184	164	107	83	89
51/52	53	38	49	99	59	70	81	117	168	155	108	82	90
52/53	48	38	51	60	39	55	79	100	163	135	112	82	80
53/54	54	55	48	54	84	113	83	142	232	201	152	115	111
54/55	60	37	60	46	41	42	60	110	132	138	84	65	73
55/56	33	25	35	29	24	40	56	106	117	94	24	56	58
56/57	33	29	20	43	47	48	74	120	138	115	96	75	70
57/58	34	36	33	41	45	42	66	108	144	121	87	69	69
58/59	32	41	63	34	44	41	84	116	154	117	101	59	74
59/60	58	54	42	90	49	66	80	134	208	160	115	75	95
60/61	36	30	35	29	28	32	60	101	107	87	80	76	58
61/62	24	16	34	29	33	71	131	193	224	163	121	88	94
62/63	42	28	30	28	31	30	67	120	134	97	93	59	63
63/64	33	28	23	45	38	63	92	115	250	252	154	91	99
64/65	47	24	23	30	28	40	55	36	97	116	88	69	59
65/66	54	44	54	55	93	63	102	175	164	237	146	115	108
66/67	61	39	43	51	39	50	135	127	153	192	144	87	93

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	$\bar{Q}_a$
67/68	56	33	27	27	32	39	55	106	155	132	113	68	71
68/69	41	28	22	19	17	18	21	53	59	88	72	33	39
69/70	26	27	52	39	44	41	44	96	205	113	82	58	69
70/71	40	30	24	37	38	39	57	92	116	85	79	50	57
71/72	30	23	25	45	46	56	100	166	161	148	91	51	78.5
72/73	31	81	117	57	86	84	113	130	290	262	220	141	134.3
73/74	76	56	40	56									

* Régimen natural (incluye caudal del canal Sauzal).

ANEXO Nº 2.- Análisis químicos de muestras de aguas superficiales. Hoya Rapel

Lugar de Muestreo: 1 Río Coya antes de Calatones.

FECHA	Ca	Mg	Na	K	CO ₃	HCO ₃	Cl ⁻	SO ₄	RSD	C.Esp.	pH	Cu	B	NO ₃	Dureza Total
7/11/72	87,4	9,3	6,0	1,6	0,0	7,1	4,9	287,2	455	520	4,7	--	0,0	2,1	259
14/12/72	--	--	4,6	1,4	0,0	13,2	8,2	299,5	448	580	4,7	45,0	--	0,5	202

2. Río Coya en Coya.

FECHA	Ca	Mg	Na	K	CO ₃	HCO ₃	Cl ⁻	SO ₄	RSD	C.Esp.	pH	Cu	B	NO ₃	Dureza Total
11/5/72	103,0	15,0	15,0	3,9	0,0	34,0	6,0	372,0	540	565	--	--	--	--	330
27/7/72	72,0	12,0	15,0	3,7	0,0	24,0	7,0	254,0	451	460	4,5	12,7	--	--	230
7/11/72	52,5	5,7	7,2	1,6	0,0	7,1	4,9	162,0	318	370	5,0	13,8	0,0	1,0	158
14/12/72	--	--	6,4	2,2	0,0	9,6	5,9	256,0	408	500	4,7	45,0	--	0,5	161
25/1/73	--	--	9,0	3,6	0,0	9,6	6,8	516,0	784	860	4,5	79,0	--	0,0	--
27/2/73	--	--	14,8	8,4	0,0	19,2	4,3	768,0	1111	1240	4,4	130,0	--	--	--
26/4/73	--	--	15,6	4,6	0,0	13,0	--	755,0	1292	1140	4,2	103,0	0,0	0,6	--
12/6/73	--	--	15,6	3,6	0,0	23,8	6,7	633,0	1015	910	4,5	70,0	--	1,3	--
28/6/73	--	--	13,4	6,7	0,0	5,5	9,5	456,0	799	790	4,9	66,0	--	1,7	--

3. Río Cachapoal antes de Coya.

FECHA	Ca	Mg	Na	K	CO ₃	HCO ₃	Cl ⁻	SO ₄	RSD	C.Esp.	pH	Cu	B	NO ₃	Dureza Total
11/5/72	45,0	2,0	16,0	2,4	0,0	67,2	33,8	109,5	249	300	--	--	--	--	128
27/7/72	46,9	5,2	22,0	2,8	0,0	80,8	40,2	83,9	266	340	7,5	0,0	--	--	139
7/11/72	36,5	4,5	15,0	2,2	0,0	71,3	29,4	44,4	220	280	7,5	0,0	0,0	2,1	110
14/12/72	35,3	4,1	6,7	1,5	0,0	67,2	13,6	64,7	190	255	7,5	0,5	--	1,4	105
25/1/73	47,7	2,2	9,4	1,9	0,0	81,6	18,8	76,5	174	305	7,3	0,5	--	1,6	145
27/2/73	53,4	6,4	11,6	2,2	0,0	72,0	23,5	97,9	234	360	7,7	0,1	--	--	160
26/4/73	69,4	8,4	25,2	3,5	0,0	71,3	52,0	106,6	350	472	7,8	0,1	0,0	6,1	208
12/6/73	55,3	12,6	24,9	3,7	0,0	50,7	51,3	131,3	371	410	7,5	0,0	--	1,0	190
28/6/73	55,8	5,8	24,5	4,5	0,0	76,0	60,6	102,0	317	410	8,2	0,0	--	3,0	166

4. Río Cachapoal en Puente Termas.

FECHA	Ca	Mg	Na	K	CO ₃	HCO ₃	Cl ⁻	SO ₄	RSD	C.Esp.	pH	Cu	B	NO ₃	Dureza Total
27/7/72	32,2	5,2	16,0	2,4	0,0	76,0	30,0	105,0	293	342	7,5	3,2	--	--	152
8/11/72	41,2	4,9	14,0	2,0	0,0	61,8	25,4	71,2	212	300	7,5	2,4	0,0	4,0	123
25/1/73	54,5	5,2	9,2	1,9	0,0	79,2	18,6	97,6	196	340	7,6	3,4	--	1,5	157
27/2/73	60,2	7,2	11,8	2,2	0,0	79,2	25,4	121,8	311	400	7,6	4,2	--	--	161
26/4/73	--	--	27,2	3,5	0,0	52,3	44,4	126,0	386	515	7,3	8,5	0,0	5,3	246
12/6/73	66,0	19,6	21,6	3,6	0,0	50,7	41,8	82,3	361	450	7,4	3,7	--	1,6	246
28/6/73	--	--	15,6	4,8	0,0	19,0	22,8	276,3	501	570	6,7	22,0	--	2,1	--

5.- Río Cachapoal en Puente Panamericana.

FECHA	Ca	Mg	Na	K	CO ₃	HCO ₃	Cl ⁻	SO ₄	RSD	C.Esp.	pH	Cu	B	NO ₃	Dureza Total
11/5/72	43,7	3,2	14,0	2,0	0,0	72,0	26,0	108,0	230	310	--	--	--	--	122
27/7/72	54,3	6,5	20,0	3,2	0,0	72,4	34,0	110,0	333	370	--	1,6	--	--	163
8/11/72	40,8	3,1	13,4	2,2	0,0	66,5	25,0	56,8	202	285	7,5	1,3	0,0	2,2	114
14/12/72	39,5	4,6	6,5	1,9	0,0	72,0	17,6	73,3	195	280	7,3	2,7	--	1,4	118
25/1/73	52,0	6,8	9,5	2,0	0,0	72,0	19,3	91,0	213	330	7,5	2,5	--	1,5	157
27/2/73	59,4	7,2	12,2	2,4	0,0	72,0	24,1	120,6	244	360	7,5	1,5	--	--	175
26/4/73	55,6	19,9	24,0	3,3	0,0	66,5	46,3	140,7	334	475	7,7	1,8	0,0	6,1	220
12/6/73	63,2	9,7	20,6	3,7	0,0	72,3	45,6	146,9	335	410	7,7	1,3	--	1,5	198
28/6/73	55,3	9,7	20,6	4,8	0,0	74,8	44,7	113,6	327	410	7,6	0,5	--	1,2	178

6.- Río Cachapoal en Puente Arquero.

FECHA	Ca	Mg	Na	K	CO ₃	HCO ₃	Cl ⁻	SO ₄	RSD	C.Esp.	pH	Cu	B	NO ₃	Dureza Total
10/5/72	61,8	7,8	16,0	2,4	0,0	122,4	27,9	137,9	355	440	--	--	--	--	186
28/7/72	54,3	11,1	13,0	2,8	0,0	121,2	29,2	102,9	351	382	8,0	0,4	--	--	193
9/11/72	50,9	7,2	15,2	2,6	0,0	99,0	25,0	76,5	270	355	7,5	0,8	0,0	5,6	157
15/12/72	43,7	6,1	10,0	2,0	0,0	91,2	18,6	73,7	252	320	7,3	2,9	--	39,0	134
26/1/73	53,4	7,3	11,5	2,2	0,0	94,6	20,7	115,6	240	370	7,7	2,3	--	2,3	176
28/2/73	63,5	9,0	14,0	2,6	0,0	104,4	27,9	116,9	285	420	7,7	0,9	--	--	195
13/6/73	64,8	19,4	17,6	2,8	0,0	132,9	35,1	127,6	343	440	7,8	0,7	--	3,8	241
28/6/73	55,3	17,1	16,6	2,9	0,0	123,5	32,8	86,4	348	410	8,2	0,0	--	4,6	209

7.- Río Rapel en Central Rapel.

FECHA	Ca	Mg	Na	K	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	RES	C.Esp.	pH	Cu	Z	NO ₃	Dureza Total
10/5/72	44,7	8,4	14,0	2,8	0,0	100,8	21,2	109,0	252	305	--	--	--	--	146
25/7/72	36,2	6,5	13,0	2,0	0,0	52,7	17,2	66,0	234	257	6,0	0,0	--	--	117
9/11/72	37,3	6,7	12,4	1,9	0,0	95,0	17,6	52,7	197	280	7,9	0,0	0,0	4,4	122
15/12/72	37,0	7,2	13,7	2,0	0,0	96,0	21,5	66,7	213	310	6,2	0,0	--	35,4	122
26/1/73	36,6	5,7	5,2	1,8	0,0	75,6	17,4	76,2	137	270	6,4	0,5	--	1,2	115
28/2/73	42,0	6,9	10,4	2,1	0,0	79,2	16,7	79,8	126	300	6,3	0,1	--	--	133
27/4/73	73,5	2,0	14,8	2,4	0,0	92,6	34,7	79,8	233	350	6,0	0,0	0,0	4,7	175
13/6/73	44,3	11,6	12,6	3,0	0,0	104,5	22,3	99,3	234	320	7,5	0,0	--	2,3	159
25/6/73	47,4	11,6	12,6	2,9	0,0	108,0	23,8	85,9	272	340	6,4	0,0	--	4,6	166

N o t a : Valores expresados en mg/l, excepto pH y Conductividad (C. Esp. $\frac{\text{mmho}}{\text{cm}}$).
El valor de pH es medido en terreno, las otras determinaciones corresponden al Laboratorio de la División de Minería de CORFO.

A N E X O N º 3

GASTO. COYA EN PTE. CHICO

Altura : 774 m.
m³/seg.

Area Cuenca: 245 km²

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Qa
1950	0.77	0.6	0.88	0.98	4.6	2.6	0.7	1.5	3.5	2.5	3.5	4.0	2.17
1951	1.5	0.8	0.6	0.5	0.9	4.9	7.7	2.1	1.5	2.0	2.8	1.7	2.2
1952	0.7	0.4	0.3	0.3	4.9	6.7	2.95	1.86	2.85	3.05	3.25	2.8	2.5
1953	1.3	0.86	0.84	1.08	2.16	3.1	4.8	22.4	47.7	8.73	13.9	12.2	9.92
1954	6.97	4.35	2.05	1.71	2.09	7.83	4.52	4.1	2.55	2.95	5.32	2.92	3.96
1955	1.2	0.7	0.55	0.475	0.68	6.58	2.05	1.05	3.14	3.6	5.84	2.76	2.38
1956	1.39	0.348	1.2	1.51	2.41	1.44	3.83	5.76	3.81	4.09	1.93	0.839	2.36
1957	0.631	0.669	0.778	0.824	2.64	3.76	3.44	3.59	2.72	3.33	3.58	2.47	2.37
1958	1.28	0.622	0.679	0.543	2.49	13.6	2.41	7.43	3.99	5.52	3.34	1.68	2.62
1959	0.973	0.425	0.372	1.84	2.86	4.33	8.39	2.81	5.88	3.82	2.96	3.00	3.10
1960	1.2	0.551	0.41	0.622	0.641	4.33	3.48	2.56	3.2	3.61	3.23	--	2.21
1961	0.805	0.29	2.6	0.324	1.34	6.57	4.5	4.31	11.9	8.09	5.86	5.74	4.36
1962	2.36	1.23	1.08	1.12	1.03	7.21	3.15	3.38	3.34	6.47	6.79	2.97	3.34
1963	1.23	--	0.4	0.355	1.2	3.07	27.0	10.4	13.0	8.65	11.9	15.2	2.40
1964	6.45	1.9	1.39	0.8	1.02	3.35	3.8	2.3	7.5	4.9	4.55	2.3	3.38
1965	1.38	0.45	0.22	4.0	3.5	--	--	--	7.25	9.8	9.62	6.1	
1966	4.4	3.07	2.7	3.0	0.812	6.48	12.3	5.87	8.32	8.8	8.14	5.13	5.79
1967	1.75	Suprimida 31 - I - 1967.											

A N E X O N º 4

CUENCA DEL RIO RAPEL

CANAL SAUZAL EN TUNEL Nº 1
ENDESA
(m³/seg)

Latitud : 34º 16'
Longitud : 70º 36'

Altura: 749 m.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	$\overline{Q_a}$
1952	--	--	--	--	--	--	--	--	--	38.0	35.0	--	--
1953	41.5	46.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	45.0	--
1954	45.5	52.0	55.0	46.5	37.0	45.0	37.5	38.5	43.0	52.5	52.0	48.0	46.0
1955	49.5	43.0	49.0	32.5	23.5	24.0	25.5	27.0	33.5	44.5	57.0	54.0	38.5
1956	39.5	46.5	47.0	34.0	34.5	26.5	27.5	38.5	42.0	--	35.7	25.6	36.1
1957	29.1	--	47.0	30.8	--	--	30.6	29.5	35.0	27.8	22.3	41.0	--
1958	46.2	46.8	52.7	33.3	28.0	35.4	36.8	33.5	43.4	--	55.2	39.7	41.0
1959	--	--	--	43.8	44.3	41.5	54.0	40.8	38.9	38.3	44.4	46.1	--
1960	38.7	40.4	50.6	39.7	29.2	30.6	31.2	31.3	34.6	47.8	55.2	58.8	40.7
1961	57.2	56.1	54.7	36.0	29.5	39.9	38.7	40.5	47.4	52.8	49.0	46.9	45.7
1962	--	--	--	--	27.9	30.3	31.8	32.8	34.5	47.4	53.4	63.3	--
1963	58.9	--	--	34.1	25.8	24.2	41.2	38.7	--	--	61.2	--	--
1964	--	--	--	--	--	--	28.6	35.4	49.0	60.0	60.5	58.6	--
1965	59.0	58.1	55.9	49.6	40.5	47.8	43.0	41.5	50.3	59.0	49.8	40.2	49.5
1966	43.1	53.8	59.8	47.2	37.4	36.2	43.5	39.0	50.5	59.0	47.4	41.4	46.5
1967	46.5	50.5	53.1	45.6	31.5	26.0	24.4	28.8	34.7	54.8	60.4	60.6	43.0
1968	59.2	60.4	51.4	36.5	26.2	21.0	12.4	16.7	15.5	20.0	45.8	51.1	35.1
1969	59.7	54.3	42.8	24.0	25.3	33.8	32.1	38.9	37.2	42.6	58.8	60.4	42.4
1970	53.6	53.1	53.3	37.4	25.8	21.7	28.0	29.8	36.9	48.6	59.5	63.3	43.5

A N E X O N º 5

CUENCA DEL RIO RAPEL

CACHAPOAL EN PUENTE ARQUEADO

Latitud : 34º 17' Altura : 117 m

ENDESA (m³/seg.)

Longitud: 71º 21' 30" Area : 6.481 Km²

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1954									49.0/1	20.0	51.0	70.0	
1955	5 90.0	22.0	25.0	35.0	50.0 3	176	104	62.0	53.0 70	21.5	36.0	70.0	
1956	11 36.0	11.0	27.0	39.5	-- 17	41.5	74	147	69.0 8	17.5	31.0	34.0	
1957	12 24.5	17.0	15.8	26.0	91.0 8	97.0	92.0	92.0	48.5 12	11.4	25.5	58.0	
1958	10 36.0	4.55	13.4	23.5	25.0 1	210.	97.0	166.0	93.0 6	50.0	73.0	77.0	
1959	9 52.0	27.5	22.0	--	-- 4	156	255	132	108 5	40.5	100	146	
1960	3 112	36.0	29.5	37.5	47.5 7	106	120	95.0	47.5 3	166	39.5	55.0	
20% 1961	13 20.5	12.0	66.0	29.5	28.0 6	136.	116	106	186 1	39.0	110	142	
1962	6 74.0	43.0	24.5	--	33.5 13	49.0	98.0	78.0	129.0 15	30.0	48.0	48.0	
1963	15 8.90	5.30	24.0	19.6	34.0 12	66.0	176	170	184 2	52.0	76.0	--	
1964	1 235	52.0	4.50	3.70	6.40 16	26.0	42.5	52.0	70.0 7	7.70	9.40	36.0	
1965	14 14.8	5.90	14.2	108	91.5 9	95.2	198	380	129 3	75.0	146	140	
1966	2 149	55.5	37.0	71.5	70.5 1	276	258	140	120 4	67.5	96.3	101	
1967	4 95.7	69.0	43.4	43.6	57.9 10	79.2	102	82.2	111.5 16	24.7	39.6	38.0	
1968	3 53.9	31.7	30.9	36.6	37.7 15	26.2	27.0	24.5	10.2 1	2.07	0.524	0.053	
1969	16 3.60	4.01	3.56	11.4	69.7 5	141	100	134	80 14	42.4 14	4.56	26.6	127
1970	7 59.5	19.5	21.1	18.2	40.7 11	66.8	162	123	56.6 9	24.4	45.7	55.1	

ANEXO NO 6.- Análisis químicos muestras de agua en Central de Rapel.

FECHA	Profundidad (m)	Temp H ₂ O ° C	Ox. disuelto mg/l	pH	Alcalinidad mg/l CaCO ₃	Cobre mg/l	Hierro mg/l	Manganeso mg/l	Zinc mg/l	CO ₂ mg/l
30 AGOSTO 1972	1	12,6	9,5	7,7	--	--	--	--	--	--
	5	11,6	9,5	8,0	--	--	--	--	--	--
	10	11,4	9,5	7,5	--	--	--	--	--	--
	15	11,4	9,0	7,7	--	--	--	--	--	--
	20	11,4	9,0	7,5	--	--	--	--	--	--
	25	11,4	8,5	7,5	--	--	--	--	--	--
14 SEPTIEMBRE 1972	1	15,0	11,1	8,9	15,0	1,4	1,4	1,7	1,8	(0,0)
	5	13,7	10,8	8,4	14,0	1,4	1,6	1,3	1,7	(0,0)
	10	12,4	8,1	8,3	14,0	1,3	1,8	1,5	1,7	(0,0)
	15	12,8	9,8	8,2	15,0	1,3	1,9	0,5	1,9	(0,0)
	20	12,4	9,6	8,1	14,0	1,4	2,0	1,2	1,7	(0,0)
	25	11,2	10,9	7,9	14,0	1,2	1,8	1,3	1,7	(0,0)
3 OCTUBRE 1972	1	15,1	8,7	8,6	64,0	1,6	2,2	0,3	--	(3,0)
	5	14,9	8,8	8,2	65,0	1,6	2,2	0,3	--	(3,0)
	10	14,9	9,0	8,1	64,0	1,5	2,1	0,4	--	(3,0)
	15	14,9	8,9	8,1	64,0	1,6	2,2	0,3	--	(2,0)
	20	14,9	9,0	9,0	65,0	1,6	2,1	0,3	--	(2,5)
	25	14,9	--	8,0	65,0	1,6	2,2	0,4	--	(2,5)

FECHA	Profundidad (m)	Tempe. H ₂ O ° C	Op. disuelto mg/l	pH	Alcalinidad mg/l CaCO ₃	Cobre mg/l	Hierro mg/l	Manganeso mg/l	Zinc mg/l	CO ₂ mg/l
NOVIEMBRE 1972	1	18,2	8,6	7,9	63,0	1,7	2,0	0,4	--	4,0 (1,5)
	5	18,5	8,6	7,7	74,0	1,8	2,4	0,3	--	2,0 (2,0)
	10	17,6	8,2	7,6	70,0	1,9	1,0	0,3	--	2,0 (1,5)
	15	17,4	8,0	7,8	72,0	1,7	1,0	0,3	--	4,0 (2,0)
	20	17,3	8,0	7,7	74,0	1,7	1,1	0,4	--	6,0 (1,5)
	25	17,0	8,0	7,7	74,0	1,7	1,2	0,4	--	6,0 (1,5)
DICIEMBRE 1972	1	24,0	9,8	8,8	85,0	2,1	6,6	0,3	2,9	0,0 (0,0)
	5	22,4	9,2	8,0	83,0	2,0	6,6	0,3	2,8	0,0 (2,0)
	10	21,0	7,0	8,7	81,0	2,4	6,5	0,3	2,7	2,0 (2,0)
	15	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	20	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	25	--	--	--	--	--	--	--	--	--
DICIEMBRE 1972	1	24,9	9,4	8,5	74,0	2,7	6,7	0,3	2,7	0,0 (0,0)
	5	23,4	8,2	8,5	75,0	2,8	6,6	0,3	2,7	0,0 (0,0)
	10	22,5	8,0	8,5	77,0	3,1	6,8	0,3	2,7	1,0 (0,0)
	15	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	20	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	25	--	--	--	--	--	--	--	--	--

FECHA	Profundidad (m)	Temp. H ₂ O ° C	Ox. disuelto mg/l	pH	Alcalinidad mg/l CaCO ₃	Cobre mg/l	Hierro mg/l	Manganeso mg/l	Zinc mg/l	CO ₂ mg/l
3 ENERO 1973	1	25,2	9,6	8,9	65,0	0,3	10,1	0,2	3,1	0,0 (1,0)
	5	24,2	9,4	9,0	68,0	0,4	8,5	0,2	3,2	0,0 (1,0)
	10	23,5	9,0	9,0	68,0	0,4	9,9	0,2	3,3	0,0 (1,0)
	15	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	20	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	25	--	--	--	--	--	--	--	--	--
15 ENERO 1973	1	24,4	10,0	9,0	58,0	0,3	8,9	0,2	3,0	0,0 (1,0)
	5	23,8	9,6	8,8	58,0	0,4	8,8	0,2	3,0	0,0 (0,0)
	10	22,8	7,2	8,4	66,0	0,4	9,5	0,2	2,9	2,0 (1,0)
	15	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	20	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	25	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6 EBRERO 1973	1	23,4	10,4	7,9	61,0	0,3	9,5	0,2	2,9	0,0 (0,0)
	5	22,1	9,2	7,8	64,0	0,4	8,9	0,2	2,9	0,0 (0,0)
	10	19,4	7,0	7,9	63,0	0,4	9,9	0,2	2,8	2,0 (1,0)
	15	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	20	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	25	--	--	--	--	--	--	--	--	--

N o t a : Trabajo desarrollado y proporcionado por la División de Pesca y Caza del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG)

(xx) Valores CO₂ determinados con posterioridad en el laboratorio.

ANEXO NR 7.- Análisis Químicos de Aguas Subterráneas. Hoya de Rapel.

(Valores en mg/l, excepto pH)

Coordenadas	Sector	Fecha de Análisis	Ca	Mg	Na	K	CO ₃	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃	SiO ₂	B	pH	Sólidos disuelt.	Dureza Total	Cu
3400 - 7040	D-3	1/10/57	36,0	10,0	--	--	--	--	119,0	32,0	--	32,0	--	--	340	--	--
3410 - 7040	B-1	2/10/63	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	7,4	344	240	--
3410 - 7040	A-3	1/3/73	112,3	13,3	22,0	2,4	0,0	201,6	156,8	41,6	--	--	--	7,8	497	335	0,1
3410 - 7040	A-5	1/3/73	108,1	13,9	13,6	2,1	0,0	186,0	159,2	40,2	--	--	--	7,9	464	327	0,2
3410 - 7040	B-2	2/3/60	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	7,9	600	325	--
3410 - 7040	C-1	20/8/69	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	7,4	360	164	--
3410 - 7040	E-1	1/3/73	62,4	13,3	17,4	2,0	0,0	150,0	123,0	34,9	--	--	0,0	7,9	379	263	0,2
3410 - 7040	C-2	26/2/60	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	7,8	550	250	--
3410 - 7050	B-1	6/1/64	72,0	7,0	19,0	4,0	0,0	129,0	98,0	34,0	2,0	15,0	--	7,4	320	209	--
3410 - 7110	C-1	30/8/58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	7,5	542	336	--
3410 - 7130	D-5	25/2/62	21,0	12,0	44,0	5,0	0,0	134,0	17,0	49,0	0,5	46,0	--	7,1	269	102	--
3420 - 7040	A-3	1/3/73	112,7	15,4	18,4	2,4	0,0	234,0	151,8	33,0	--	--	0,0	7,8	495	344	0,1
3420 - 7040	A-5	16/10/68	29,0	2,0	12,0	0,4	0,0	93,0	10,0	7,0	15,0	43,0	--	7,0	174	81	--
3420 - 7120	C-3	25/11/65	31,0	0,0	31,0	2,4	0,0	162,0	19,0	19,0	5,0	58,0	--	7,9	260	110	--
3420 - 7120	C-4	14/9/66	20,0	9,2	21,0	4,2	0,0	120,0	17,0	14,0	3,2	58,0	--	7,6	212	89	--
3420 - 7120	D-3	10/3/60	19,0	3,2	42,0	4,5	0,0	145,0	23,0	8,0	0,0	42,0	--	7,8	212	60	--
3420 - 7120	D-4	14/3/53	35,0	7,1	28,0	4,6	0,0	146,0	44,0	14,0	0,5	45,0	--	7,8	260	117	--
3430 - 7050	C-1	27/10/58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	6,7	337	86	--
3430 - 7050	C-2	27/10/58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	6,7	337	136	--
3430 - 7110	C-1	1/3/57	45,0	13,0	--	--	--	--	119,0	32,0	--	32,0	--	7,2	256	169	--
3430 - 7120	B-1	10/3/60	43,0	5,9	14,0	2,5	0,0	111,0	54,0	11,0	0,0	39,0	--	7,3	240	132	--
3430 - 7120	B-3	18/8/60	10,0	4,4	19,0	6,2	0,0	83,0	26,0	6,0	12,0	53,0	--	6,8	190	64	--
3430 - 7120	B-4	6/6/61	19,0	6,6	19,0	4,7	0,0	95,0	36,0	4,3	5,4	60,0	0,1	7,3	207	74	--
3440 - 7110	A-1	10/3/67	17,0	4,0	--	--	--	--	11,0	12,0	-1,5	5,0	--	6,5	96	62	--

