



1.- INTRODUCCION

El lago Pirihueico presenta algunos puntos de infiltración que pueden observarse a simple vista, con un caudal de cierta importancia.

Por otro lado el río Fui, que desagua el Lago, presenta a lo largo de su recorrido pérdidas y recuperaciones, que en cierta medida siguen una ley con la cota del lago Pirihueico, según está expresado en el informe ICOI 2/76, de la División de Estudios Hidrológicos de ENDESA.

Los aportes superficiales al río Fui son principalmente el estero Llallalca, que nace en un afloramiento llamado Ojos de Agua, en las cercanías de Neltume, y el río Triful que se junta al río Fui a unos 900 m. aguas abajo del Salto Huilo-Huilo. La mayor parte del caudal del río Triful corresponde a los afloramientos que se producen en los últimos dos kilómetros de su recorrido.

El objetivo del presente trabajo es por un lado estudiar, por medio de técnicas isotópicas, las filtraciones del lago Pirihueico y las relaciones que puedan existir con los afloramientos al río Fui, río Triful y Es



tero Llallalca, y por otro lado adiestrar a personal de ENDESA en la utilización de estas técnicas.

Un plano general de la zona en estudio se muestra en la figura 1.

2.- FUNDAMENTOS TEORICOS

El estudio se realiza mediante el uso de isótopos ambientales y la inyección de trazadores radiactivos artificiales, por lo que se darán a continuación algunos fundamentos teóricos sobre la aplicación de éstas técnicas.

2.1. Isótopos Ambientales : Esta técnica se basa en la medición de la variación del contenido de los isótopos estables o radiactivos que existen en forma natural en el medio ambiente.

Los isótopos que nos preocupan en el presente trabajo son aquellos que forman parte de la molécula de agua, como es el caso de los isótopos del oxígeno y del hidrógeno.

2.1.1. Isótopos Estables : Las tres especies principales de la molécula de agua que se encuentran en estado natural son $H_2^{16}O$, HDO y $H_2^{18}O$, de peso molecular 18, 19 y 20 respectivamente y la concentración relativa de



- 3 -

ellas depende de la presión de vapor de cada una de las especies que varía en forma inversa con el peso molecular.

Todo proceso que involucra un cambio de estado, tiene como consecuencia un fraccionamiento isotópico y podemos definir los coeficientes de fraccionamiento α_D o α_{18} , como una relación entre las presiones de vapor de los componentes considerados :

$$\alpha = \frac{P_a}{P_b}$$

Donde P_a representa la presión de vapor de $H_2^{18}O$ y P_b la correspondiente de HDO ó $H_2^{18}O$.

Dicho en otras palabras, toda vez que se produce un proceso de evaporación o condensación, la fase líquida estará enriquecida en isótopos pesados, con respecto a la fase gas.

El coeficiente fraccionamiento, es función de la temperatura y es mayor a menores temperaturas. Es por esto que las aguas serán más livianas (isotópicamente



- 4 -

hablando), cuando precipitan a mayores alturas, latitudes mayores o en las estaciones frías. Igualmente, debido al proceso de evaporación, en el agua de lluvia, el contenido de isótopos pesados será menor cuando las precipitaciones son muy intensas.

La medición de los isótopos estables se efectúa por medio de los espectrómetros de masa, pero es difícil medir con precisión las pequeñas variaciones naturales que se producen en las cantidades absolutas de las especies moleculares indicadas, por lo que comúnmente se utiliza las variaciones producidas, relativas a un standard, que en este caso es una mezcla de aguas de diferentes océanos y que se denomina SMOW (Standard Mean Ocean Water), y así definimos :

$$\delta^0 /_{00} = \frac{R_m - R_{st}}{R_{st}} \times 1000$$

Donde R_m es la relación isotópica de la muestra y R_{st} la relación isotópica del SMOW ($\delta \text{ SMOW} = 0$).

Debido a que, isotopicamente hablando, la mayoría de las aguas en el ciclo hidrológico son más livianas que el agua de mar, los valores de los δ así defini-



- 5 -

dos, generalmente tienen valores negativos.

Si graficamos los $\delta^{18}\text{O}$ v/s δD , de las precipitaciones, el resultado será una línea recta llamada "línea meteórica" y está definida por Craig, según la expresión :

$$\delta\text{D}^0 / 100 = 8 \delta_{18}^0 / 100 + 10$$

Cuando el agua se evapora de superficies libres, tales como lagos, ríos, etc., no encontramos frente a un proceso de no equilibrio, y debido a efectos cinéticos se produce un enriquecimiento preferencial de Oxígeno - 18 con respecto al Deuterio, lo que significa que las variaciones del contenido isotópico de las aguas no se mueva a través de la línea meteórica de pendiente igual a 8, sino que en líneas rectas de menor pendiente, generalmente entre 4 y 6, lo cual nos permite detectar si una muestra de agua ha sufrido un proceso de evaporación.

2.1.2. Isótopos Radiactivos : Los isótopos naturales radiactivos basan su aplicación en que son producidos en forma constante por bombardeo de las radiaciones cósmicas, sobre los componentes de la atmósfera, alcanzando una composición de equilibrio entre la producción, por el mecanismo indicado y la desaparición por decaimiento radiacti



- 6 -

vo, Este equilibrio se rompe, cuando las aguas se infiltran y pierden contacto con la atmósfera, vale decir con la fuente de producción, ya que sólo funciona el mecanismo de desintegración radiactiva y ello nos permite determinar la "edad" de las aguas subterráneas, es decir, el tiempo transcurrido desde que una muestra tomada en un lugar determinado se introdujo como recarga al sistema.

La datación radiactiva se basa en la ley de desintegración radiactiva, definida por :

$$A_0 = A_t e^{-\lambda t}$$

Donde A_0 es la actividad inicial, función de entrada al sistema, A_t es la actividad medida al tiempo t y λ , la constante de desintegración radiactiva, que es caracte_rística para cada radioisótopo y está definida como:

$$\lambda = \frac{0.693}{t_{1/2}}$$

Donde $t_{1/2}$ es el período de semidesintegración o vida media, que es el tiempo necesario para que su actividad decaiga a la mitad.



- 7 -

En nuestro caso, el isótopo radiactivo natural de interés, es el isótopo del hidrógeno de masa 3 llamado tritio, que tiene un período de semidesintegración 12.26 años y que nos permite, de acuerdo a la precisión de los sistemas de medidas actuales, determinar edades de hasta 50 años.

Las concentraciones de éste radioisótopo se expresan en unidades de Tritio.

(1 U.T. = 1 átomo de T / 10^{18} átomos de H)

2.2. Isótopos Radiactivos Artificiales : La aplicación de los isótopos radiactivos en hidrología se basa en su utilización como trazadores salinos o colorantes.

La ventaja que presentan los trazadores radiactivos es la propiedad de ser detectados y mensurados in situ, en muy pequeñas concentraciones. Por otro lado, podemos elegir aquellos que tengan un período de semidesintegración compatible a la experiencia que se realice y podemos obtenerlos en diferentes formas químicas que sean adecuados al medio en el cual se usan, y así no se produzcan pérdidas del trazador entre los puntos de inyección y de medición.

Aplicaciones típicas de ellos, son las medi



- 8 -

ciones de caudales, interconexión de sistemas, velocidad y dirección del escurrimiento subterráneo, medición de flujos en lagos y embalses, etc.-

3.- PROGRAMA DE TRABAJO

El programa de trabajo fue básicamente establecido por el experto del Proyecto PNUD/CHI/545/06, Señor ANTONIO PLATA BEDMAR, y se encuentra indicado en el informe ICOI 2/76 de ENDESA.

Dicho programa fue ligeramente modificado por especialistas de la C.CH.E.N. y de ENDESA.

Los resultados obtenidos de los trabajos efectuados durante Enero y Febrero 1978, así como una experiencia preliminar en Abril de 1977, indicaron que era conveniente hacer un replanteamiento del problema antes de continuar el programa establecido, por lo que es el presente informe se limitará, con carácter de preliminar, a considerar sólo aquella parte del programa realizado y a dar algunas recomendaciones sobre las experiencias a realizar, las cuales deberán ser evaluadas en conjunto con el nuevo planteamiento del problema por parte de ENDESA.



4.- RESULTADOS OBTENIDOS

4.1. Estudios de Interconexión entre el Sondaje 27
el estero Llallalca y el río Triful:

En Abril de 1977 se presentó un problema re_lacionado con la perforación del Sondaje 27 y manifesta_ciones de turbidez en el estero Llallalca.

El sondaje 27 se encuentra ubicado a unos 400 m. al norte de Puerto Fui y a unos 6 km. del nacimien_to del estero Llallalca.

Se inyectaron 107 mCi de ¹³¹I en forma de yo_duro de sodio, seguido de inyección continua de agua para el arrastre del trazador. Desde el momento de la inyec_ción, se comenzó a medir la actividad de trazador, en for_ma continua cada 30", en dos estaciones ubicadas la pri_mera en el estero Llallalca y la otra en el río Triful an_tes de la junta con el río Fui.

4.1.1. Estación estero Llallalca : La estación se ubi_có aproximadamente a 1 km. aguas abajo del nacimiento del estero.

La medición de la actividad se efectuó median_te equipo portátil de conteo BASC, con una sonda de cente_



- 10 -

lleos sumergida libremente en el escurrimiento, a unos 30 cm. de profundidad.

Los resultados obtenidos, se encuentran en la Tabla I y la figura 2.

El análisis de la figura muestra un aumento de un 100% de la actividad a las 72 hrs. de efectuada la inyección.

Este tiempo de tránsito da como resultado una velocidad de escurrimiento de aproximadamente 4 - 5 m/hora.

4.1.2. Estación río Triful : La estación se ubicó antes de la junta con el río Fui y el equipo utilizado fue el mismo tipo que en la estación Llallalca.

El detector se colocó libremente sumergido en el escurrimiento a una profundidad aproximada de 25cm.

Los datos que se encuentran en la Tabla II y figura 3, que muestran una actividad prácticamente constante, con variaciones máximas del orden de 18% y que están de acuerdo con las variaciones del nivel del río, y por lo tanto con la profundidad a que está sumergido el detector, que es un factor que influye en el conteo de fondo.



Se debe hacer notar, sin embargo, que estas pequeñas variaciones "podrían" indicar la presencia del trazador, y por lo tanto una interconexión, pero debido a la baja actividad inyectada y al mayor caudal del río Triful, el trazador pudo haberse diluido a concentraciones que caen dentro de las variaciones estadísticas de conteo.

4.2. Inyección de Trazadores en el río Fui:

Con el objeto de establecer las relaciones existentes entre las pérdidas por infiltración en el río Fui y los afloramientos al mismo río, como también aquellos al río Triful y el estero Llallalca, se efectuaron dos inyecciones en el río Fui, en el puente ubicado a unos 400 m. aguas abajo del desague.

La medición del trazador se efectuó en forma continua, en cuatro estaciones permanentes montadas en los siguientes puntos : Estero Llallalca, Triful antes junta con Fui, Fui antes junta con Neltume y en una estación transitoria ubicada en la estación de aforo, "Fui" antes del Salto" en la cual se midió sólo el paso del trazador por el río.

Para efectuar las inyecciones, se colocó en el lado sur del río, un tambor de 200 Lts. en el cual se



- 12 -

preparó la solución radiactiva, a la que se agregó portador inactivo de bromuro de potasio y/o yoduro de potasio, según el caso, además de una pequeña cantidad de fluores cína para controlar la inyección.

Las inyecciones mismas se realizaron por medio de una manguera unida al tambor a través de una válvula y cuyo otro extremo estaba conectado a una segunda válvula; a esta última se conectó una manguera con lastre, que se sumergió en la parte principal del escurrimiento a media profundidad.

Este montaje, permitió mantener un contacto mínimo con las altas actividades involucradas durante todo el período de inyección, las que duraron alrededor de 30 minutos.

4.2.1. Primera Inyección : Se inyectaron 1.25 Ci de ⁸²Br, en forma de bromuro. El caudal del río que era de 52 m³/seg.

4.2.1.1. Estación Llallalca : La medición de la actividad se efectuó de la misma forma que la indicada en el punto 4.1.1.

Durante los dos meses de medición continúa no se detectó aumento de la actividad en el estero, como se puede observar en la Tabla III. Esto estaría indicando



- 13 -

do que no existe conexión directa entre el río Fui y el estero Llallalca.

4.2.1.2. Estación Triful : La estación ubicada en el río Triful ante la junta con el río Fui, se montó con equipo de conteo SAPHYMO-SRAT, cuya sonda de centelleos se colocó en un tubo cerrado de polietileno, el cual se sumergió en el río.

Los datos obtenidos se encuentran en la Tabla IV y Figura 4 .

La figura nos muestra un fuerte aumento de la actividad 17 horas después de efectuada la inyección. Se observa además otras pequeñas variaciones de la actividad, las cuales pueden ser interpretadas en la misma forma como se indica en 4.1.2.

4.2.1.3. Estación Fui ante Junta Triful : La estación se ubicó en el río Fui ante junta con el río Triful. Se montó un equipo NARDEUX y la sonda de centelleos se sumergió protegida en el río, en forma fija. Tanto la estación indicada, como la del río Triful ante junta Fui se controlaron desde un mismo campamento.

Los resultados, que se encuentran en la Tabla V y representados en la figura 5, muestran el paso



- 14 -

de la nube de trazador inyectado en el río, transportado por éste en forma superficial. Posteriormente no se observan aumentos de la actividad debidos al trazador. A la 50 horas, se observa un aumento de la actividad debido al cambio de condiciones de conteo, que permanece constante por aproximadamente 40 horas, no significando esto, paso de actividad de trazador por el río.

4.2.1.4. Estación Fui ante Junta Neltume : Esta estación se ubicó en la estación de aforo del río Fui ante junta con el río Neltume. Para la medición de la actividad se utilizó un equipo BASC y una sonda de centelleos que se colocó dentro de un tubo cerrado de polietileno sumergido en el río.

Los resultados indicados en la Tabla VI y representados en la Figura 6, muestran el paso del trazador correspondiente a la inyección en el río. Posteriormente, a las 35 horas transcurridas desde la inyección, se produce un pequeño, pero notorio aumento de la actividad, seguido por otras pequeñas variaciones de actividad. Esto estaría indicando una conexión entre el agua infiltrada en el río Fui, aguas abajo del punto de inyección y los afloramientos que se producen en el río Fui, después de la junta con el río Triful.



- 15 -

4.2.1.5. Estación Neltume : Para controlar el paso de la nube de trazador, se ubicó una estación auxiliar en la estación de aforo Fui arriba del Salto.

Esta estación se montó con equipo SPP-2 SAPHYMO-SRAT conectado a un registrador.

El registro se muestra en la Figura 6 A.

4.3. Segunda Inyección en el río Fui : El día 18 de Enero de 1978 a las 13,15 hrs, se efectuó una segunda experiencia, en la cual se inyectaron 3 Ci de ^{82}Br y 0,85 Ci de ^{131}I , en el mismo lugar de la experiencia anterior. El caudal del río en este caso, era de $41,7 \text{ m}^3/\text{seg}$.

La medición de la actividad se efectuó en las mismas estaciones anteriores.

4.3.1 Estación Llallalca : No se observó en el río aumento de la actividad, igual que durante la 1ª inyección.

4.3.2. Estación Triful ante junta con Fui : Esta estación tuvo problemas con el equipo de medición y los datos representados en la Figura 7 corresponden a la curva de conteo a tiempo cero v/s tiempo que se estimó de los datos obtenidos. Se observan tres picos de actividad a las 14, 17 y 18,5 horas respectivamente, considerando la hora



- 16 -

a que se efectuó la inyección como tiempo cero.

Esto estaría corroborando una conexión río Fui - río Triful, como en la primera inyección, aunque estos datos serán discutidos posteriormente, en conjunto con los otros antecedentes.

4.3.3. Estación Fui ante Junta con Triful : Los datos de la medición de la actividad se encuentran indicados en la Tabla VII y la figura 8. No se observan cambios significativos de la actividad, después de la pasada de la nube de trazador inyectado, lo cual es concordante con lo observado en la 1ª inyección.

4.3.4. Estación Fui ante Junta Neltume : Los datos de la Tabla VIII, que se encuentran representados en la Fig. 9 nos muestran el paso de la nube de trazador por el río, seguida de tres picos de actividad posteriores a las 16, 43, y 66 horas desde la inyección.

4.3.5. Estación Neltume: Al igual que en la primera inyección se montó la estación auxiliar en la estación de aforo Fui arriba del Salto, para controlar el paso de la nube radiactiva. La Fig. 10 muestra los resultados obtenidos.

4.4. Balance de Trazador Inyectado: Con el objeto de efectuar un balance del trazador inyectado, para determinar



- 17 -

la pérdida del trazador debido a las infiltraciones, se tomaron muestras de aguas en dos estaciones, Neltume y Fui ante Neltume, durante el paso de la nube del trazador.

El muestreo se efectuó en forma intermitente o continua y el agua se acumuló en tambores de 200 lts., cuya concentración representaba la concentración promedio durante el paso del trazador.

Posteriormente se realizó el conteo de las muestras en recipientes de 20 litros, de acuerdo al esquema de la figura 11. Paralelamente se contó, en las mismas condiciones, una muestra sacada de la solución inyectada en el río, y se efectuó el balance de acuerdo a los cálculos siguientes :

$$\frac{A_m}{A_i} \times \frac{V_T}{V_m} = 1 - F_i \quad (4.1)$$

$$y \quad V_T = t_m \times Q_m \quad (4.2)$$

$$A_i = \frac{A_p \times V_i}{V_p} \quad (4.3)$$

Donde A_m = Actividad de la muestra en CPM



- 19 -

A_i = Actividad inyectada en CPM totales

Q_m = Caudal en l/seg.

A_p = Actividad del patrón en CPM

t_m = Tiempo muestreo en seg.

V_T = Volúmen de agua durante el paso del trazador

V_m = Volúmen de la muestra.

F_i = Fracción de trazador infiltrado

V_p = Volúmen del patrón en litros

V_i = Volúmen inyectado en litros.

Se intentó hacer un balance durante la primera inyección, pero debido a que se produjo una fuerte contaminación de la muestra tomada en la estación Fui ante Junta Neltume, no fue posible conocer el valor de la actividad total que pasó por esta estación.

Durante la segunda inyección se pudo tomar correctamente las muestras y los resultados se muestran a continuación.

4.4.1. Preparación del Patrón : Se tomó una muestra de 5 c.c., de la solución inyectada en el río, la cual se colocó en el recipiente de medida completando los 20 lts. de capacidad de este recipiente, con agua del río sin trazador. El patrón se contó durante 7 minutos con lo cual se obtuvo A_p , la que multiplicada por la relación del vo



COMISION CHILENA DE ENERGIA NUCLEAR
LOS JESUITAS 645 - CASILLA 188 D. SANTIAGO DE CHILE
FONO 259542 - CABLES: NUCLEAR CHILE

- 20 -

lúmen de la muestra tomada para preparar el patrón, nos da la actividad total inyectada, expresada en CPM.

<u>CPM PATRON</u>	<u>CONTEO DE FONDO</u>	<u>CPM NETAS PATRON</u>
1.440.480	595	1.439.885
1.433.400	595	1.432.805
1.462.200	595	1.461.605
1.456.000	595	1.455.405
1.460.840	595	1.460.245
1.474.000	595	1.473.905
1.500.000	595	1.499.405

El promedio de las CPM netos del patrón nos da el valor de A_p .

$$A_p = 1.460.465 \text{ CPM}$$

$$V_i = 94.4 \text{ litros.}$$

$$V_p = 0.005$$

Colocando estos valores en la fórmula (4.3) obtenemos el valor de la actividad inyectada, A_i , en CPM.

21.-

$$A_i = \frac{1.46 \times 10^6 \times 94,4}{0,005} = 2.756 \times 10^{10}$$



- 21 -

4.4.2. Estación Neltume : En esta estación se montó una bomba peristáltica que tomó una muestra continua de agua del río, con un caudal aproximadamente 0.6 l/min., durante las 5.7 horas que duró el paso del trazador. El agua muestreada, se acumuló en un tambor de 200 lts.

La muestra se midió contando durante 10 minutos una alícuota de 20 litros, resultando una actividad de 565 CPM netas. El caudal del río, en esta estación era de 37,6 m³/seg.

Al llevar estos datos a las ecuaciones (4.1) y (4.2) y utilizado el dato calculado de A_i,

$$\frac{A_m \times V_T}{A_i \times V_m} = 1 - F_i$$

$$\frac{565 \times 37,600 \times 3.600 \times 5,7}{2,756 \times 10^{10} \times 20} = 1 - F_i$$

$$F_i = 0,237$$

Donde F_i representa la fracción de trazador infiltrado



- 22 -

4.4.3. Estación Fui ante Junta Neltume : El muestreo se efectuó en forma discontinua tomado 3 lts. de agua cada 15 minutos durante 12,5 hrs. El agua se acumuló en un tambor de 200 litros representando asím la concentración promedio durante el paso del trazador. Se tomó luego una alícuota de 20 litros, que fue contada en las mismas condiciones anteriores. La actividad resultante fue de 131 CPM netas. El caudal del río era de 76,5 m³/seg..

Utilizando estos datos en las ecuaciones (4.1) y (4.2) y utilizando el valor calculado de A_i, tenemos :

$$\frac{A_m \times V_T}{A_i \times V_m} = 1 - F_i$$

$$\frac{131 \times 76.500 \times 3.600 \times 12,5}{2.756 \times 10^{10} \times 20} = 1 - F$$

$$F_i = 0,182$$

Donde F_i representa la fracción de trazador infiltrado.

El valor de F_i calculado en este caso, es menor que en la estación Neltume, lo cual puede explicar



- 23 -

se en el sentido que se tomó parte del segundo pico de actividad, que según se indica en la interpretación de los resultados, correspondería a una fracción de trazador infiltrado, que aparece como afloramiento después de la estación Fui ante Junta con Triful.

4.5. Inyecciones en el Lago : El lago presenta varios puntos de infiltración, algunos de los cuales se pueden apreciar a simple vista y alcanzan, según estimaciones, a varios centenares de litros por segundo.

De estos los más importantes son los conocidos como "Cueva de la Rana", y filtración Punto Cero, ubicada en el 2° dedo de lava de la margen izquierda del lago y en el desague del lago frente a Puerto Fui, respectivamente.

Con el objeto de establecer la probable conexión entre estas filtraciones localizadas y los afloramientos al río Fui, estero Llallalca y río Triful, se efectuaron inyecciones de radioisótopos en los puntos mencionados, manteniendo las mismas estaciones de medición, utilizadas durante las inyecciones en el río Fui. Además, se colocaron bolsas con resina de intercambio iónico en algu



- 24 -

nos puntos del río Fui y río Triful, como adsorbedores de trazador y detectar un posible paso de trazador por dichos puntos.

Estas bolsas de resina, no pudieron ser recuperadas al término de las experiencias. Las inyecciones fueron de 5.8 Ci de ^{82}Br en la Cueva de la Rana el día 25 de enero de 1978 a las 19;30 hrs. y de 2.5 Ci de ^{131}I en la filtración Punto Cero, el 1^a de febrero de 1978.

Por otro lado, se trató de colocar recipientes con resina en los sondajes ubicados en los dedos de lava, con el mismo objeto, pero debido a que los sondajes se encuentran habilitados como piezómetros con cañería de 3/4" ya que su superficie interna no es la adecuada para este efecto, no fue posible llevar a cabo esta experiencia, que hubiera dado información valiosa sobre el paso del trazador a través de ellos.

En todas las estaciones de medición no se registro aumento de la actividad, durante el período que duró la experiencia, el cual se prolongó hasta que el radioisótopo hubo decaído por debajo de los límites de detección. Las estaciones se levantaron a fines de febrero.



- 25 -

4.6. Mediciones de velocidad en el vaso del Lago

El objetivo de estas mediciones era tratar de localizar zonas de infiltración midiendo velocidades y dirección de corrientes, en la zona del lago con mayores probabilidades de infiltraciones. Dado a que sus costas están principalmente formadas por lava permeable, mediante un mapeo de velocidades se podría estimar el área de infiltración y el caudal infiltrado.

Con este objeto se programó una serie de mediciones de velocidades, tanto verticales como horizontales, en la zona sospechosa. Los puntos de mediciones se ubicaron entre 10 y 20 m. de la costa, a diferentes profundidades y con una separación de 20 a 40 metros entre ellos.

Las mediciones se iniciaron en el desague del lago (río Fui), siguiendo su costa sur.

En el curso de estas mediciones se constató que la dirección y velocidad de las corrientes medidas, eran debidas a las producidas por el desague del lago, no detectándose otro tipo de flujos.

En la Tabla IX se presenta las direcciones y velocidades medidas en esta primera parte, y en la Figura 12 se indica la ubicación de los puntos en que se



- 26 -

efectuaron las mediciones.

Ante los primeros resultados obtenidos, se decidió comprobar el procedimiento de operación, realizando mediciones a diferentes distancias frente a una infiltración puntual conocida (Cueva de la Rana). Se observó que las mediciones efectuadas a 10 o más metros de la costa no acusaban ningún tipo de flujo en dirección a la infiltración, sólo a menos de 8 m. de la costa se evidenció la presencia de flujos preferenciales hacia la zona de infiltración.

En la Tabla X se muestran los resultados obtenidos y en la Figura 13 un esquema del lugar en que se efectuaron las mediciones.

Posteriormente se cambió el procedimiento de operaciones. Bolsas conteniendo Rodamina o Fluorescina, se situaron aproximadamente cada 10 m. y a 5 m. de la costa. Así se pudo observar la dirección de las corrientes y en los lugares en que se sospechase la presencia de infiltraciones se efectuaban mediciones de velocidades, a menos de 5 m. de la costa.

En la Tabla XI se muestra los resultados obtenidos y en la Figura N° 12 se da la ubicación de los lugares en que se midió.



- 27 -

Durante el transcurso de las mediciones no se detectaron nuevas infiltraciones puntuales. Aparentemente, el agua se infiltra en una gran superficie provocando sólo corrientes débiles de difícil detección.

4.7. Mediciones de Isótopos Ambientales : La Tabla XII muestra los datos de cinco muestreos efectuados en distintos puntos de la zona en estudio, con el objeto de determinar el contenido de ^{18}O .

El primer muestreo, de varios puntos del río Fui y otras aguas superficiales de la zona, se efectuó durante la visita del experto Señor Antonio Plata, en Octubre de 1976, con el objeto de conocer en forma general, el contenido de ^{18}O en las aguas de la zona.

Posteriormente se efectuó una segunda toma de muestras en Abril de 1977, durante las experiencias de inyección de trazador en el sondaje 27. En esa oportunidad, se muestrearon los mismos puntos anteriores y además otros que, evidentemente tienen un origen diferente.

En Diciembre de 1977 se efectuó un tercer muestreo de algunos puntos con el objeto de comprobar los datos con aquellos obtenidos en otras épocas del año.

El cuarto muestreo se efectuó en Febrero de



- 28 -

1978 y fue el más extenso de todos, ya que se tomaron muestras de la mayoría de las aguas que llegan al río Triful en ambas riberas.

En Abril y Mayo de 1978 se muestrearon varios de los puntos anteriores, después de un período escaso en precipitaciones y en que el río Fui se secó en gran parte de su curso superior.

En general, los resultados muestran variaciones pequeñas, pero muy significativas y constantes, en el contenido de ^{18}O .

El agua del lago Pirihueico y del río Fui, presentan en general, pocas variaciones en su contenido isotópico en las diferentes épocas del año, con la excepción de la muestra tomada en Abril de 1978 en el río Fui después de la junta con el río Triful, lo cual se explica por el aporte del río Triful, que es relativamente más importante en esta ocasión que en los otros muestreos.

Un análisis más detallado, se efectuará en el capítulo siguiente.

5.- INTERPRETACION DE RESULTADOS

Los resultados indicados en el capítulo anterior, señalan que existe una situación bastante comple



ja en todo el sistema hidrológico de la zona.

Las inyecciones de trazador en el río Fui demostraron que no existe comunicación directa entre el río y el estero Llallalca, el que parece estar conectado al lago, según lo demostraron los resultados de la inyección en el sondaje 27, que se encuentra muy cercano a la ribera del lago, como también de observaciones efectuadas durante la perforación del sondaje y la inyección del trazador. La conexión es a través de una vía preferencial, lo que se deduce del corto tiempo de tránsito entre el sondaje y la estación de medida en el estero.

En el río Fui se observó una pérdida de trazador entre el lugar de inyección, ubicado en el puente que cruza el río un poco más abajo del desagüe y la estación de medida ubicada en la estación de aforo, Fui arriba del salto. Esta pérdida se estimó en 24% de acuerdo a la medición de balance de trazador efectuada en dicha estación.

Existen recuperaciones en el río Fui antes del salto del Huilo-Huilo, que no parecen provenir de las filtraciones producidas aguas arriba, ya que en la estación Fui ante junta con Triful, sólo se detectó el paso de la nube de trazador correspondiente al transpor



- 30 -

te del mismo por el agua no infiltrada y no se detectó una segunda nube de trazador más retardada como hubiera sucedido, si el agua infiltrada aguas abajo del puente, aflorara nuevamente en esta sección del río. Como el contenido de ^{18}O a lo largo del río Fui, no muestra variaciones apreciables, como hubiera sucedido si estas recuperaciones provinieran de otra fuente que tenga un contenido isotópico diferente al agua del río o del lago, se concluye que el probable origen de estas recuperaciones es el lago, ya que, por lo expresado anteriormente, se ha descartado que su origen sea el río mismo.

En la estación Fui ante junta con Neltume, se observaron, sin embargo, la aparición de varios picos de actividad, posteriores al paso de la nube principal, que estarían indicando que las aguas del río infiltradas aguas abajo del lugar de inyección, afloran nuevamente al río en la sección comprendida entre la junta con el río Triful y la junta con el río Neltume. También estaría indicando, que la conexión entre ambas secciones del río se estaría efectuando por tres subterráneos diferentes.

La situación en el río Triful es diferente y algo más compleja, ya que los datos muestran un pico de actividad en el río en ambas inyecciones. Una esti



- 31 -

mación aproximada de esta actividad, arroja un valor de sólo un 5% de la cantidad de trazador infiltrada en el río Fui. Esto corresponde sólo a un 10-12%, del aumento del caudal del río Triful entre, el puente y la junta con el río Fui.

El análisis de los datos de ^{18}O tomados en varios puntos del río Triful y las filtraciones que a él afluyen, muestran que existe una diferencia pequeña, pero significativa en el contenido isotópico. En general, se observa (con la excepción del muestreo efectuado en Diciembre de 1977). :

- a) Una disminución del contenido isotópico entre el puente y la junta con el río Fui.
- b) El contenido isotópico de las filtraciones es mayor que el correspondiente, a las aguas provenientes del lago Pirihueico.
- c) El contenido isotópico es superior al de las aguas provenientes del volcán Choshuenco, el cual es estimado de los muestreos en estero Ranquintoleufú, quebrada Honda, Triful en puente y estero Punahue.

Esto estaría indicando que las filtraciones al río Triful, son en parte provenientes del lago (y/o del río) y en otra provenientes de la zona del volcán



- 32 -

Choshuenco. Si efectuamos un balance, considerando los aportes al río Triful, tenemos :

$$Q_F \times C_F = (Q_F - Q_P - q_L) C_a = q_L \times C_L + Q_P \times C_P \quad (4.4)$$

donde C_F = Contenido de ^{18}O en Triful ante Junta Fui

C_a = Contenido de ^{18}O en afloramientos, provenientes del volcán Choshuenco.

C_P = Contenido de ^{18}O en Triful en puente.

Q_F = Caudal en Triful ante junta con Fui.

Q_P = Caudal en Triful en puente.

q_L = Caudal de filtraciones provenientes del lago.

Reemplazando en la ecuación (4.4), los valores correspondientes al muestreo del 11 al 12 de Abril de 1978, suponiendo que los afloramientos corresponden a agua del lago (o del río) con un contenido de ^{18}O de -10,04 expresado como $\delta^0/00$ respecto a SMOW, que se mezcla con agua del volcán Choshuenco de contenido de $^{18}\text{O} = -9.41$ expresado en las mismas unidades y tomando los valores de caudal promedio de los días de muestreo, de $1,05 \text{ m}^3/\text{seg.}$ en Triful en puente y $8.5 \text{ m}^3/\text{seg.}$, en Triful ante Junta con Fui, resulta :



- 33 -

$$8,5 \times 9,50 = (7,45 - q_L) 9,41 = q_L \times 10,04 - 1,05 \times 9,13$$

$$q_L = 1,68 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Este valor de q_L , representaría el caudal de los afloramientos que tienen su origen en el lago y corresponde a aproximadamente a un 20% del caudal total del río Triful, para el período considerado.

Las experiencias de inyecciones en los puntos importantes de infiltración en el lago son aún menos concluyentes, ya que no se observó aparición de trazador en ninguna de las estaciones durante el período de mediciones que fue de 1 mes. Esto puede significar que, o no existe conexión entre el lago y los afloramientos mencionados, o que el tiempo de tránsito de las filtraciones es mayor al período de medición. Esto último parece ser lo más probable, ya que, el escurrimiento podría producirse a través de sedimentos antiguos acarreados y depositados por el río Fui, antes de que las corridas de lava lo forzaran a cambiar su curso, lo cual provocaría una velocidad de escurrimiento propia de cualquier acuífero desarrollado en rellenos aluviales. También puede suceder que el escurrimiento sea a través de fisuramientos de la lava, lo cual justificaría un escurrimiento relativamente lento. Por otro lado, se postula existencia de un embal



se subterráneo en el antiguo cauce del río, lo cual tendría como consecuencia por un lado la dilución del trazador bajo los límites de detección y por otro, un retardo en el tiempo de tránsito.

En base a lo antes expuesto, se tomaron muestras en el lago, afloramientos y algunas aguas superficiales de la zona, para ser analizadas en su contenido de tritio.

Los resultados de estos análisis, que se encuentran en la Tabla XIII muestran que un afloramiento al río Triful, en la ribera derecha, tiene un contenido de tritio, bastante menor que las aguas superficiales de la zona, lo cual indica un tiempo de tránsito de algunos años. Sin embargo la filtración B (río subterráneo) de la ribera izquierda, presentó un contenido de tritio mayor, lo cual podría indicar un tiempo de tránsito relativamente corto, si suponemos que el contenido de tritio de las muestras de agua del lago tomadas antes del período de lluvias, representa el contenido promedio de las precipitaciones anuales en la zona y por lo tanto, el de las aguas provenientes del volcán Choshuenco.

El valor del estero Llallalca de 16,3 UT



- 35 -

en la muestra tomada el 5 de Mayo de 1978, luego de un período de lluvias, estaría indicando una rápida respuesta a las variaciones del sistema. Por otro lado, la muestra tomada el 11 de Abril de 1978, tiene un valor de 9,7 UT., la cual es similar al valor de 9,3 del lago Piri hueico, tomada en la misma fecha, en la desembocadura.

Lo anterior estaría corroborando las conclusiones de las experiencias con trazadores, en el sentido que el estero Llallalca tiene su origen en el lago con un tiempo de tránsito muy corto.

6.- CONCLUSIONES

6.1. Experiencias con isótopos radiactivos artificiales

Las experiencias con trazadores radiactivos artificiales permiten sacar las siguientes conclusiones de los resultados obtenidos.

- En la sección del río Fui comprendida entre el punto de inyección y la estación Fui antes del Salto, se producen filtraciones del orden del 20% para los caudales a los cuales se efectuaron las experiencias.
- Los afloramientos en el cauce del río Fui antes del Salto de Huilo-Huilo, no son provenientes del agua infil_



- 36 -

trada aguas arriba y probablemente tienen su origen en el lago Pirihueico.

- Las aguas infiltradas en el curso superior del río Fui, afloran en la sección comprendida entre la junta con el río Triful y la junta con el río Neltume, a través de tres vías subterráneas.
- Existe aportes del río Fui al río Triful, aunque la magnitud de estos no es muy grande.
- No existe conexión entre el río Fui y el estero Llallalca.
- El estero Llallalca tiene su origen en el lago Pirihueico. La conexión entre ambos se produce a través de un escurrimiento subterráneo muy rápido.

6.2. Experiencias con Isótopos ambientales

Aunque los muestreos de aguas de la zona, no han sido sistemáticos, sino más bien de orientación general, los resultados obtenidos, permiten elaborar algunas teorías respecto al origen de los afloramientos en la zona en estudio.:

- Los afloramientos al río Triful tienen su origen tanto de la zona del volcán Choshuenco, como de aportes del lago Pirihueico, aunque el tiempo de tránsito, en este



- 37 -

- Último caso sería de orden de algunos años.
- Los afloramientos al cauce del río Fui, entre la junta con el río Triful y la junta con el río Neltume, tendrían aportes de la zona del lago Pirihueico además de los ya indicados, provenientes de las infiltraciones producidas en el mismo río.
 - Los afloramientos que aparecen en el río Fui antes del Salto del Huilo-Huilo, tienen un origen probable en la zona del lago Pirihueico.
 - Se corrobora, el hecho que estero Llallalca tiene su origen en el lago Pirihueico con una respuesta muy rápida a las variaciones del sistema.

7.- RECOMENDACIONES

Las técnicas que utilizan isótopos ambientales han demostrado ser una herramienta eficaz para el conocimiento del complejo sistema hidrológico de la zona, por lo que un muestreo sistemático de puntos convenientemente escogidos nos puede entregar información valiosa, acerca del origen de los afloramientos, tiempos de tránsito y cuantificación de los aportes relativos de las distintas fuentes.



El estudio, debe considerar muestreos en varios puntos del lago Pirihueico; algunos sondeos de la zona en estudio; todas las estaciones de aforo del río Fui, río Triful y estero Llallalca, como asimismo los aportes superficiales y subterráneos a estos, debidamente cuantificados (o estimados al menos) y agua de las precipitaciones, tomada de las estaciones meteorológicas existentes.

Los estudios con trazadores radiactivos artificiales, deben efectuarse sólo cuando se conozca en más detalle los parámetros que inciden en el sistema.

Se debe considerar igualmente, la posibilidad de habilitar convenientemente, algunos de los sondeos que se perforen, para el estudio con trazadores.



- 39 -

TABLA I

ESTACION ESTERO LLALLALCA

TIEMPO (Horas)	C.P.M. Brutas	TIEMPO (Horas)	C.P.M. Brutas	TIEMPO (Horas)	C.P.M. Brutas
0.00	199	20.00	184	80.00	184
0.50	231	20.50	204	80.50	177
1.00	199	21.00	191	81.00	192
1.50	208	21.50	192	81.50	200
2.00	208	22.00	194	82.00	210
2.50	197	22.50	191	82.50	195
3.00	195	23.00	191	83.00	198
3.50	216	23.50	187	83.50	199
4.00	199	24.00	192	84.00	194
4.50	198	24.50	189	84.50	197
5.00	198	25.00	201	85.00	201
5.50	207	25.50	198	85.50	199
6.00	194	26.00	195	86.00	198
6.50	197	26.50	191	86.50	
7.00	197	27.00	200	87.00	
7.50	194	27.50	196	87.50	
8.00	189	28.00	195	88.00	191
8.50	193	28.50	190	88.50	176
9.00	206			89.00	
9.50	211	69.50	190	89.50	
10.00	192	70.00	188	90.00	181
10.50	193	70.50	203	90.50	179
11.00	206	71.00	192	91.00	190
11.50	213	71.50	229	91.50	189
12.00	201	72.00	367	92.00	182
12.50	200	72.50	349	92.50	187
13.00	198	73.00	274	93.00	191
13.50	217	73.50	265	93.50	193
14.00	205	74.00	207	94.00	178
14.50	207	74.50	189	94.50	186
15.00	192	75.00	185	95.00	194
15.50	192	75.50	186	95.50	197
16.00	202	76.00	208	96.00	210
16.50	195	76.50	227	96.50	180
17.00	196	77.00	191	97.00	185
17.50	192	77.50	191	97.50	188
18.00	199	78.00	184	98.00	202
18.50	194	78.50	193	98.50	184
19.00	192	79.00	180	99.00	189
19.50	197	79.50	178	99.50	188



COMISION CHILENA DE ENERGIA NUCLEAR
LOS JESUITAS 645. CASILLA 188 D. SANTIAGO DE CHILE
FONO 259542. CABLES: NUCLEAR CHILE

- 40 -

TIEMPO (Horas)	C.P.M. Brutas
100.00	188
100.50	188
101.00	195
101.50	183
102.00	185
102.50	197
103.00	192
103.50	185
104.00	112
104.50	188
105.00	186
105.50	182
106.00	195
106.50	192
107.00	198
107.50	185
108.00	195
108.50	186
109.00	201
109.50	199
110.00	202
110.50	191
111.00	180



- 41 -

TABLA II

ESTACION RIO TRUFUL

TIEMPO (Horas)	C.P.M. Brutas	TIEMPO (Horas)	C.P.M. Brutas	TIEMPO (Horas)	C.P.M. Brutas
0.00	541	20.00	617	45.00	619
0.50	559	21.00	622	45.50	620
1.00	544	21.50	625	46.00	633
1.50	557	22.00	564	46.50	629
2.00	572	22.50	630	47.00	638
2.50	598	23.00	613	47.50	627
2.60	642	23.50	614	48.00	625
2.70	620	24.00	613	48.50	612
3.00	559	24.50	613	49.00	638
3.50	569	25.00	568	49.50	626
4.00	582	25.50	614	50.00	630
4.50	607	25.75	595	50.50	617
5.00	593	26.50	598	51.00	629
5.50	619	27.00	601	51.50	-
6.00	605	27.50	625	52.00	627
6.50	619	28.00	614	53.00	619
7.00	630	28.50	609	54.00	631
7.50	626	29.00	615	55.00	610
8.00	632	29.50	609	57.50	636
8.50	615	30.00	620	59.50	648
9.00	629	30.50	611	60.50	610
9.50	633	31.00	609	61.50	614
10.00	633	31.50	627	62.00	630
10.50	627	32.00	625	62.50	621
11.00	633	33.00	605	63.00	627
11.50	633	34.00	620	63.50	634
12.00	615	35.00	613	64.00	635
12.50	596	36.00	609	64.50	607
13.00	610	37.00	609	65.00	618
13.50	616	38.00	627	65.50	609
14.00	616	39.00	634	66.00	609
14.50	634	40.00	629	66.50	597
15.00	622	41.00	625	67.00	585
15.50	624	41.50	640	67.50	596
16.00	622	42.00	635	68.00	603
16.50	677	42.50	621	68.50	598
17.00	624	43.00	632	69.00	623
17.50	638	43.50	627	69.50	598
18.00	610	44.00	635	70.00	608
19.00	625	44.50	645	70.50	606



COMISION CHILENA DE ENERGIA NUCLEAR
LOS JESUITAS 645 - CASILLA 188 D - SANTIAGO DE CHILE
FONO 259542 - CABLES: NUCLEAR CHILE

- 42 -

TIEMPO (Horas)	C.P.M. Brutas	TIEMPO (Horas)	C.P.M. Brutas	TIEMPO (Horas)	C.P.M. Bruta
71.00	603	103.00	603		
71.50	599	104.00	602		
72.50	568	105.00	613		
73.00	495	106.00	591		
74.00	620	107.00	610		
75.00	612	108.00	636		
76.00	620	109.00	596		
77.00	605	110.00	570		
78.00	623	110.50	586		
79.00	601	111.00	591		
81.00	612	111.50	569		
82.00	598	112.00	578		
83.00	609	112.50	584		
84.00	572	113.00	589		
85.00	612	113.50	586		
85.50	623	114.00	569		
86.00	625	114.50	579		
86.50	617	115.00	580		
87.00	610	115.50	-		
87.50	607	116.00	590		
88.00	612	116.50	575		
88.50	628	117.00	578		
89.00	608	117.50	574		
89.50	605				
90.00	621				
90.50	593				
91.00	603				
91.50	601				
92.00	624				
92.50	601				
93.00	613				
93.50	595				
94.00	-				
94.50	-				
95.00	608				
96.00	610				
97.00	609				
98.00	616				
99.00	616				
100.00	609				
101.00	616				
102.00	593				



- 43 -

TABLA III

ESTACION LLALLALCA

TIEMPO (Horas)	C.P.M. Brutas	TIEMPO (Horas)	C.P.M. Brutas	TIEMPO (Horas)	C.P.M. Brutas
0.00	53.6	26.50	56.0	46.00	53.6
0.50	52.2	27.00	52.8	46.50	52.4
1.00	55.4	27.50	52.0	47.00	50.6
1.50	53.3	28.00	54.0	47.50	53.2
2.00	42.6	28.50	50.0	48.00	49.4
2.50	51.8	29.00	48.8	48.50	54.4
3.00	51.8	29.50	61.0	49.00	48.2
3.50	46.8	30.00	53.8	49.50	50.0
4.00	51.8	30.50	53.5	50.00	57.5
5.00	52.2	31.00	51.8	50.50	54.0
6.00	51.0	31.50	65.0	51.00	59.5
7.00	52.2	32.00	51.4	51.50	51.6
8.00	53.6	32.50	57.5	52.00	50.5
9.00	51.2	33.00	59.8	52.50	48.6
10.00	-	33.50	53.5	53.00	46.5
11.00	55.2	34.00	48.8	53.50	57.4
12.00	54.6	34.50	60.0	54.00	55.0
13.00	60.1	35.00	53.4	54.50	53.8
13.50	60.5	35.50	46.0	55.00	51.5
14.00	53.4	36.00	55.8	55.50	54.6
15.00	55.2	36.50	54.0	56.00	52.0
16.00	54.4	37.00	47.4	56.50	54.6
17.00	42.0	37.50	53.8	57.00	55.0
18.00	52.8	38.00	44.4	57.50	48.4
19.00	52.6	38.50	54.2	58.00	56.0
19.75	57.6	39.00	57.4	58.50	47.6
20.00	55.0	39.50	52.8	59.00	42.0
20.50	47.0	40.00	52.8	59.50	53.4
21.00	47.2	40.50	55.4	60.00	48.5
21.50	56.4	41.00	51.4	60.50	51.6
22.00	47.8	41.50	46.4	61.00	55.0
22.50	54.2	42.00	51.2	61.50	50.4
23.00	52.0	42.50	56.0	62.00	59.4
23.50	63.8	43.00	46.8	62.50	55.2
24.00	51.2	43.50	56.2	63.00	54.6
24.50	53.8	44.00	50.6	63.50	51.6
25.00	53.0	44.50	50.0	64.00	44.8
25.50	51.0	45.00	52.4	64.50	47.4
26.00	55.2	45.50	52.0	65.00	57.8



COMISION CHILENA DE ENERGIA NUCLEAR
LOS JESUITAS 645. CASILLA 188 D. SANTIAGO DE CHILE
FONO 259542. CABLES: NUCLEAR CHILE

- 44 -

TIEMPO (Horas)	C.P.M. Brutas	TIEMPO (Horas)	C.P.M. Brutas	TIEMPO (Horas)	C.P.M. Brutas
65.50	56.0				
66.00	50.8				
66.50	46.4				
67.00	52.6				
67.50	55.0				
68.00	57.6				
68.50	53.6				
69.00	50.4				
69.50	56.0				
70.00	45.2				
70.50	57.4				
71.00	48.8				
71.50	51.4				
72.00	51.0				
72.50	54.2				
73.00	51.8				
73.50	53.0				
74.00	51.8				
74.50	50.4				
75.00	56.8				
75.50	52.0				
76.00	52.4				
76.50	48.0				
77.00	53.0				
77.50	52.1				
78.00	55.2				
78.50	55.4				
79.00	56.8				
79.50	51.0				
80.00	52.2				
80.50	50.0				
81.00	58.0				
81.50	54.6				
82.00	53.4				
82.50	57.8				
83.00	47.2				
83.50	48.8				
84.00	56.2				
84.50	51.0				
85.00	52.6				



- 45 -

TABLA IV

ESTACION TRUFUL

TIEMPO (Horas)	C.P.M. Brutas	TIEMPO (Horas)	C.P.M. Brutas	TIEMPO (Horas)	C.P.M. Brutas
0.00	70	18.50	262	42.00	44
1.00	70	18.70	38.0	43.00	45
2.00	70	18.97	131.0	44.17	34
3.00	70	19.00	114.0	45.00	50
4.00	70	19.05	116.0	46.00	54
5.00	70	19.08	60.0	47.00	53
6.00	70	19.13	47.0	48.00	52
7.00	70	19.50	90.0	49.00	41
8.00	70	20.00	67.0	50.00	54
9.00	70	20.30	79.0	51.50	48
10.00	70	21.00	40	52.00	72
11.00	70	23.00	56	52.50	82
12.00	70	24.17	67	53.00	64
13.00	70	25.00	79	53.50	62
14.00	70	26.00	40	54.00	62
15.00	70	27.33	36	54.50	79
16.00	70	28.16	51	55.00	83
16.50	70	28.50	54	55.50	68
16.75	855.60	29.00	42	56.00	40
16.92	744.50	30.50	41	56.50	50
16.98	655.00	31.00	47	57.00	47
17.03	657.50	31.50	45	57.50	46
17.10	523.50	32.00	47	58.00	75
17.13	525.00	32.50	55	58.50	90
17.17	568.0	33.00	62	59.00	82
17.20	515.0	33.50	78	59.50	70
17.23	459.0	34.00	83	60.00	80
17.27	437.0	34.50	79	60.50	86
17.30	416.0	35.00	72	61.00	77
17.33	418.0	35.50	78	61.50	83
17.42	395.0	36.00	82	62.00	84
17.50	367.0	36.50	72	62.50	97
17.58	330.0	37.00	79	63.00	93
17.67	280.0	37.50	80	63.50	78
17.75	281.0	38.00	60	64.00	40
18.00	382.0	39.00	69	65.00	56
18.08	386.0	40.00	51	66.00	59
18.25	364.0	41.00	43	67.00	44



COMISION CHILENA DE ENERGIA NUCLEAR
LOS JESUITAS 645. CASILLA 188 D-SANTIAGO DE CHILE
FONO 259542. CABLES: NUCLEAR CHILE

- 46 -

TIEMPO (Horas)	C.P.M. Brutas
68.17	46
69.00	53
70.00	49
71.00	45
72.00	45
73.00	52
74.00	36
75.00	94
75.50	46
76.00	39
76.50	56
77.00	43
77.50	52
78.00	41
78.50	43
79.00	30
79.50	40
80.00	45



- 47 -

TABLA V

ESTACION FUI ANTE JUNTA TRUFUL

TIEMPO (Horas)	C.P.M. Brutas	TIEMPO (Horas)	C.P.M. Brutas	TIEMPO (Horas)	C.P.M. Brutas
0.00	173	20.00	210	56.00	371
1.00	173	21.00	210	56.50	367
1.50	215	23.00	210	57.00	318
2.00	182	24.17	210	57.50	300
2.50	182	25.00	210	58.00	346
3.00	190	26.00	210	58.50	343
3.50	192	30.17	210	59.00	346
4.00	192	30.50	204	59.50	305
4.20	467	31.00	210	60.00	329
4.33	631	31.50	210	60.50	328
4.50	780	32.00	216	61.00	333
4.70	1050	33.00	198	61.50	341
4.83	1198	33.50	186	62.00	321
5.00	1376	34.00	228	62.50	357
5.25	1460	34.50	216	63.00	318
5.30	1320	35.00	180	75.00	331
5.50	1176	35.50	204	75.50	355
5.80	721	36.00	216	76.00	359
6.50	463	36.50	210	76.50	316
7.00	324	37.00	216	77.00	352
7.50	238	37.50	210	77.50	374
8.00	221	38.00	210	78.00	385
8.50	215	39.00	180	78.50	339
9.00	198	40.00	210	79.00	396
9.50	205	41.00	210	79.50	369
10.00	217	42.00	210	80.00	361
10.50	215	43.00	212	80.50	360
11.00	218	44.17	160	81.00	380
11.50	206	45.00	209	81.50	353
12.00	214	46.00	270	82.00	345
12.50	203	47.00	205	82.50	362
13.00	205	48.00	267	83.00	326
13.50	188	49.00	205	83.50	322
14.00	205	50.00	224	84.00	340
14.50	209	51.50	327	84.50	316
15.00	205	52.00	320	85.00	366
16.00	210	52.50	338	85.50	355
16.30	210	53.00	314	86.00	372
17.00	210	53.50	317	86.50	338
17.25	210	54.00	342		
17.50	210	54.50	338		
18.00	210	55.00	396		
19.00	210	55.50	364		



- 48 -

TABLA VI

ESTACION FUI ANTE JUNTA NELTUME

TIEMPO (Horas)	C.P.M. Brutas	TIEMPO (Horas)	C.P.M. Brutas	TIEMPO (Horas)	C.P.M. Brutas
0.00	50	21.00	86.1	41.00	79.0
1.00	50	21.50	91.3	41.50	73.0
2.00	50	22.00	87.1	42.00	77.0
3.00	50	22.50	82.5	42.50	81.0
4.00	50	23.00	81.9	43.00	85.0
4.50	51.1	23.50	92.4	43.50	93.0
5.00	192.2	24.00	87.0	44.00	88.0
5.50	271.1	24.50	89.6	44.50	82.0
6.00	488.4	25.00	89.3	45.00	81.0
6.25		25.50	84.6	45.50	76.0
6.50	684.4	26.00	81.3	46.00	80.0
6.75	670.3	26.50	82.0	46.50	80.0
7.00	624.9	27.00	82.5	47.00	79.0
7.50	404.2	27.50	85.0	47.50	76.0
8.00	237.0	28.00	85.0	48.00	76.0
8.50	156.7	28.50	91.0	48.50	78.0
9.00	133.0	29.00	81.0	49.00	77.0
9.50	111.5	29.50	87.0	49.50	72.0
10.00	96.0	30.00	82.0	50.00	75.0
10.50	94.9	30.50	87.0	50.50	71.0
11.00	95.3	31.00	82.0	51.00	68.0
11.50	96.1	31.50	77.0	51.50	68.0
12.00	95.9	32.00	77.0	52.00	80.0
12.50	98.3	32.50	88.0	53.00	76.0
13.00	100.0	33.00	87.0	54.00	70.0
13.50	88.9	33.50	87.0	54.50	71.0
14.00	97.7	34.00	92.0	55.00	68.0
14.50	86.6	34.50	105.0	56.00	62.0
15.00	91.0	35.00	107.0	57.00	63.0
15.50	90.6	35.50	113.0	58.00	65.0
16.00	83.6	36.00	105.0	59.00	60.0
16.50	90.2	36.50	98.0	60.00	72.0
17.00	90.0	37.00	92.0	61.00	63.0
17.50	84.9	37.50	86.0	62.00	61.0
18.00	97.5	38.00	84.0	63.00	62.0
18.50	94.0	38.50	87.0	63.50	64.0
19.00	94.5	39.00	86.0	64.00	62.0
19.50	95.7	39.50	88.0	64.50	71.0
20.00	93.4	40.00	83.0	65.00	65.0
20.50	95.8	40.50	80.0	65.50	67.0



COMISION CHILENA DE ENERGIA NUCLEAR
LOS JESUITAS 645 - CASILLA 188 D - SANTIAGO DE CHILE
FONO 259542 - CABLES: NUCLEAR CHILE

- 49 -

TIEMPO (Horas)	C.P.M. Brutas
66.00	70.0
66.50	71.0
67.00	67.0
67.50	67.0
6.80	65.0
68.50	67.0



- 50 -

TABLA VII

ESTACION FUI ANTE JUNTA TRUFUL

TIEMPO (Horas)	C.P.M. Brutas	TIEMPO (Horas)	C.P.M. Brutas	TIEMPO (Horas)	C.P.M. Brutas
0.25	196.6	7.33	399.0	31.75	270.0
0.75	184.2	7.75	361.2	32.25	229.0
1.25	203.4	8.80	332.0	32.75	234.0
1.75	189.0	8.25	319.2	33.25	256.0
2.25	179.4	8.50	264.6	33.75	250.0
2.75	185.4	8.75	289.8	34.25	278.0
3.25	197.4	9.00	289.6	34.75	247.0
3.50	182.4	9.25	267.6	35.25	240.0
3.75	240.6	9.50	288.0	35.75	228.0
4.00	332.4	9.75	288.2	36.25	252.0
4.08	414.6	10.00	285.0	36.75	261.0
4.20	604.8	10.25	280.8	37.25	265.0
4.25	716.4	10.75	262.8	37.75	259.0
4.28	866.4	11.25	279.6	38.25	253.0
4.32	972.6	11.75	274.8	38.75	251.0
4.35	1180.8	12.25	246.0	39.25	234.0
4.38	1237.8	12.75	273.0	39.75	252.0
4.45	1319.4	13.25	270.0	40.25	247.0
4.52	1453.8	19.45	268.0	40.75	270.0
4.55	1588.2	20.25	254.0	41.25	224.0
4.58	1763.4	20.75	265.0	41.75	244.0
4.62	1761.0	21.25	252.0	42.25	258.0
4.65	1956.0	21.75	272.0	42.75	241.0
4.68	2023.2	22.25	249.0	43.25	252.0
4.72	2220.6	22.75	246.0	43.75	248.0
4.75	2278.2	23.25	258.0	44.25	239.0
4.83	2302.8	23.75	255.0	44.75	241.0
4.95	2307.6	24.25	265.0	45.25	268.0
5.00	2225.0	24.75	246.0	45.75	240.0
5.08	2127.6	25.25	250.0	46.25	235.0
5.16	2104.8	25.75	251.0	46.75	228.0
5.25	2007.6	26.25	250.0	47.25	244.0
5.33	1925.4	26.75	261.0	47.75	253.0
5.56	1875.0	27.25	222.0	48.25	232.0
5.75	1650.6	27.75	242.0	48.75	244.0
5.92	1260.0	28.25	226.0	49.25	235.0
6.08	1024.8	28.75	239.0	49.75	239.0
6.25	856.2	29.25	244.0	50.25	234.0
6.42	676.0	29.75	252.0	50.75	239.0
6.58	586.2	30.25	253.0	51.25	232.0
6.83	555.6	30.75	270.0	51.75	223.0
7.08	432.0	31.25	263.0	52.25	224.0



- 51 -

TABLA VIII

ESTACION FUI ANTE JUNTA NELTUME

TIEMPO (Horas)	C.P.M. Brutas	TIEMPO (Horas)	C.P.M. Brutas	TIEMPO (Horas)	C.P.M. Brutas
3.75	47	23.25	130	51.25	82
4.25	56	23.75	120	51.75	86
4.75	57	24.75	100	52.25	80
4.25	65	25.75	99	52.75	86
4.75	216	26.75	93	53.25	78
6.00	518	27.75	102	53.75	66
6.08	630	28.75	120	54.25	80
6.25	864	29.75	110	54.75	81
6.50	1080	30.75	90	55.25	75
6.58	1212	31.75	86	55.75	76
6.67	1400	32.75	84	56.75	78
6.75	1456	33.75	82	57.75	74
7.00	1554	34.75	306	58.75	76
7.25	1520	35.75	344	59.75	86
7.50	1390	36.75	282	60.75	108
7.75	1300	37.75	242	61.75	136
8.00	1110	38.75	306	63.25	244
8.25	990	39.75	356	63.75	256
8.33	910	40.25	358	64.25	382
8.75	700	40.75	374	65.25	384
9.00	710	41.25	396		
9.25	644	41.75	392		
9.50	642	42.25	386		
10.25	320	42.75	404		
10.75	304	43.25	402		
11.75	356	43.75	300		
12.75	456	44.25	252		
13.75	488	44.75	174		
14.75	458	45.25	166		
15.75	534	45.75	140		
16.75	508	46.25	127		
17.75	512	46.75	112		
18.75	272	47.25	129		
19.75	200	47.75	128		
20.25	150	48.25	102		
20.75	160	48.75	96		
21.25	150	49.25	95		
21.75	120	49.75	89		
22.25	120	50.25	84		
22.75	120	50.75	81		



COMISION CHILENA DE ENERGIA NUCLEAR
LOS JESUITAS 645 - CASILLA 188 D - SANTIAGO DE CHILE
FONO 259542 - CABLES: NUCLEAR CHILE

- 52 -

TIEMPO (Horas)	C.P.M. Brutas
52.75	254.0
53.25	259.0
53.75	240.0
54.25	245.0
54.75	248.0
55.25	254.0
55.75	276.0
56.25	260.0
56.75	258.0
57.25	258.0
57.75	258.0
58.25	268.0
58.75	257.0
59.25	251.0
59.75	271.0
60.25	251.0
60.75	285.0
61.25	265.0
61.75	267.0
62.25	292.0
62.75	267.0
63.25	267.0
63.75	254.0
64.25	272.0
64.75	253.0
65.25	270.0
65.75	245.0
66.25	274.0



- 53 -

TABLA IX

VELOCIDADES Y DIRECCIONES MEDIDAS

PUNTO	DIRECCION °	PROFUNDIDAD m	TIEMPO DE TRANSITO seg.	VELOCIDAD ESTIMADA cm/seg.	VELOCIDAD PROMEDIO cm/seg.
A	240	1,2	10	10	7,78
	240	1,2	15	6,7	
	240	1,2	15	6,7	
	260	1,2	32	3,13	2,95
	260	1,2	35	2,86	
	260	1,2	35	2,86	
B	220	3,2	25	4	3,43
	220	3,2	35	2,86	
	220	5,2	35	2,86	3
	220	5,2	32	3,13	
	230	1,2	35	2,86	3,1
	230	1,2	30	3,33	
C	230	3,2	30	3,33	3,21
	230	3,2	35	2,86	
	230	3,2	30	3,33	
	230	3,2	30	3,33	
	240	1,2	25	4	3,52
	240	1,2	33	3,03	
D	240	3,2	30	3,33	3,1
	240	3,2	35	2,86	



COMISION CHILENA DE ENERGIA NUCLEAR
 LOS JESUITAS 645 - CASILLA 188 D - SANTIAGO DE CHILE
 FON O 269542 - CABLES: NUCLEAR CHILE

- 54 -

PUNTO	DIRECCION	PROFUNDIDAD	TIEMPO DE TRANSITO	VELOCIDAD ESTIMADA	VELOCIDAD PROMEDIO
	°	m	seg.	cm/seg.	cm/seg.
E	235	1,2	60	1,67	1,67
	235	1,2	60	1,67	
	250	1,2	60	1,67	1,67
F	245	1,2	00	0	0
	250	1,2	00	0	0
	245	1,2	50	2	
G	245	1,2	60	1,67	1,83
	245	3,2	55	1,82	
	245	3,2	55	1,82	1,73
	245	3,2	65	1,54	
	245	5,2	70	1,43	1,43
	VERTICAL	3,2	00	0	0
H	285	1,2	80	1,25	1,25



- 55 -
TABLA X

VELOCIDADES MEDIDAS ANTE UNA FILTRACION PUNTUAL

DISTANCIA DE COSTA	PROFUNDIDAD	DIRECCION	TIEMPO DE TRANSITO	VELOCIDAD ESTIMADA	VELOCIDAD PROMEDIO
m	m	°	seg.	cm/seg.	cm/seg.
11	1,2	195	120	0,83	0,83
	0,8	160	00	0	0
8	0,8	140	120	0,83	0,83
	0,8	160	00	0	0
5	1	155	30	3,33	2,99
5	1	155	40	2,5	
5	1	140	35	2,86	2,86
5	1	110	50	2	2
5	1	145	35	2,86	2,68
5	1	145	40	2,5	
8	1	145	60	1,67	
8	1	145	50	2	1,96
8	1	143	45	2,22	
10	0,8	145		0	0
5	0,8	150	40	2,5	2,5



- 56 -

TABLA XI

VELOCIDADES Y DIRECCIONES MEDIDAS

PUNTO	DIRECCION	PROFUNDIDAD	TIEMPO DE TRANSITO	VELOCIDAD ESTIMADA	VELOCIDAD PROMEDIO
	°	m	seg.	cm/seg.	cm/seg.
J	160	1,2	55	(*) 1,82	1,82
K	145	0,8	00	0	0
L	245	1,2	00	0	0
M	VERTICAL	1,2	00	0	0
N		1,2	00	0	0

(*) Se constató que esta corriente era producida por el viento.



- 57 -

TABLA XII

RESULTADOS ¹⁸O EN δ c/r SMOW

LUGAR	10/76	04/77	12/77	02/78	04/78	05/78
Triful en Puente.	- 9.99	-10.10	-10.07		- 9.13	
Llallalca		-10.26	- 9.79	- 9.84		-10.16
Fui bajo Huilo-Huilo		-10.35	-10.46		-10.04	
Esteron/n		- 9.99				
Fui en nacimiento.	-10.39	-10.36	-10.33	-10.20	-10.04	
Fui puente Huilo		-10.29				
Salto Huilo-Huilo		-10.49				
Chan Chan (cota 600)	- 9.95	- 9.63		- 9.24		
Ranquinto leufu		- 8.97		- 9.24	- 9.41	
Llallalca bocatoma	-10.02	-10.27	- 9.75		-10.01	
Fui bajo junta Triful	-10.32	-10.36		-10.00	- 9.74	
Llallalca Ojos	- 9.12	-10.34				
Q. Honda		- 9.52			- 9.27	
Triful ante junta Fui	- 9.93	-10.24	- 9.52	- 9.56	- 9.50	- 9.70



COMISION CHILENA DE ENERGIA NUCLEAR
LOS JESUITAS 645 - CASILLA 188 D-SANTIAGO DE CHILE
FONO 259542 - CABLES: NUCLEARCHILE

- 58 -

LUGAR	.10/76	04/77	12/77	02/78	04/78	Q5/78
Fui ante junta Truful		-10.33		-10.15		
Fui ante Junta Neltu me	-10.31		-10.17	-10.07	- 9.83	
Lago Piri_ hueico.			-10.26			-10.23
Truful A				- 9.81		
Truful B				- 9.55	- 9.54	- 9.75
Truful C				- 9.56	- 9.73	
Truful D				- 9.63		
Truful E				- 9.81	- 9.83	- 9.90
Truful F				- 9.89		
Truful G				- 9.76		
Truful H				- 9.82		
Truful Filtr.				- 9.41		
Filtr. Fui ante junta Truful.				-10.27		- 9.81
Río Punahue				- 9.48		
Fui ante Q. Honda					-10.11	
Fui salto La Leona.					-10.07	
Fui pozon Calichera.					- 9.62	



COMISION CHILENA DE ENERGIA NUCLEAR
LOS JESUITAS 645 - CASILLA 188 D - SANTIAGO DE CHILE
FONO 259542 - CABLES: NUCLEAR CHILE

- 59 -

LUGAR	10/76	04/77	12/77	02/78	04/78	05/78
Fui ante sal to Huilo					-10.09	
Filtr. Fui Huilo-Huilo O. izquierda					- 9.88	
Filtr. Fui Huilo-Huilo O. derecha					- 9.79	

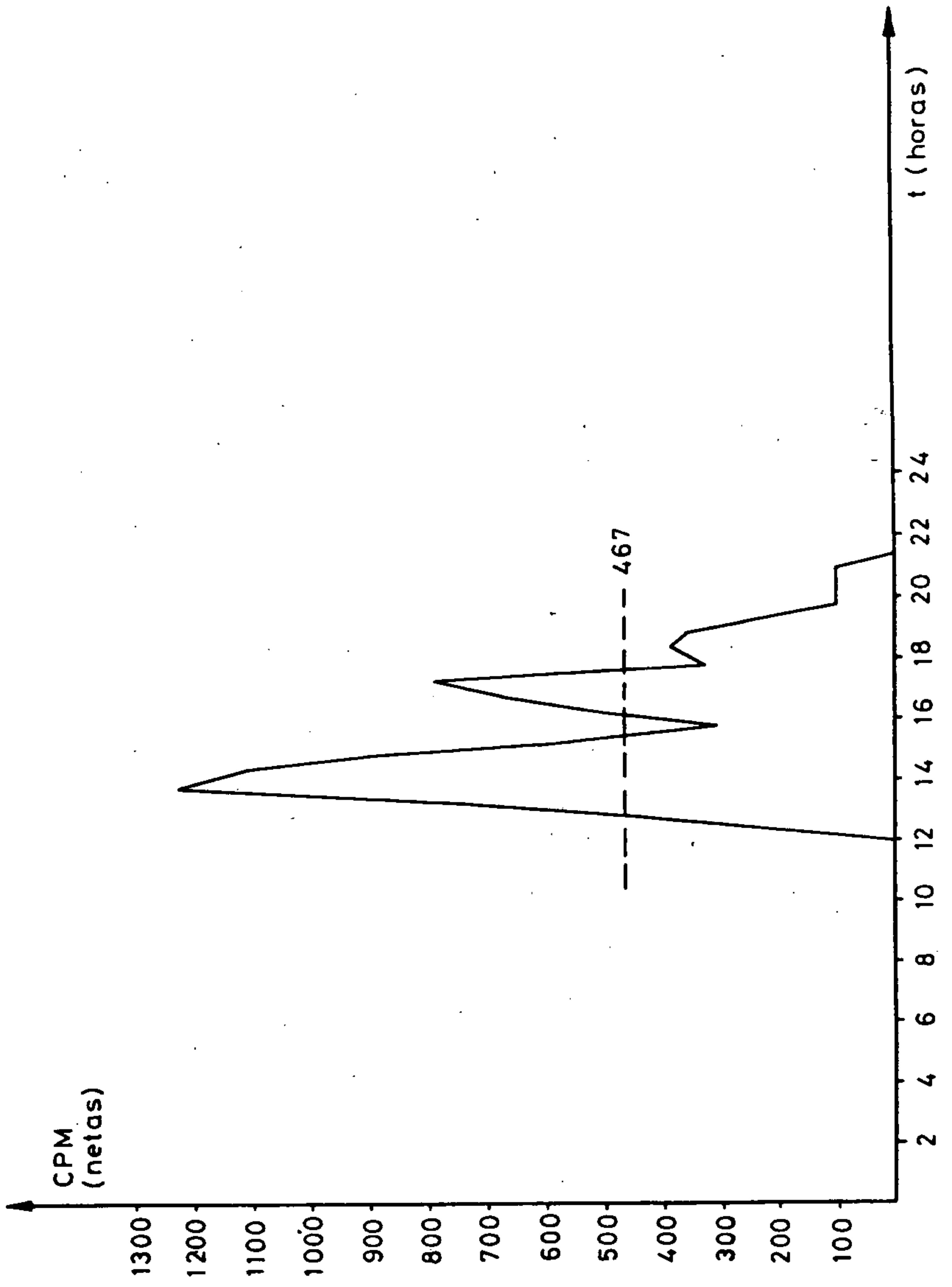


TABLA XIII

RESULTADOS CONTENIDO DE TRITIO

UBICACION	FECHA MUESTREO	U.T.
Filtración Triful izquierdo. (río subterráneo punto B)	12 Abril de 1978	9,6
Fui en desembocadura	11 Abril de 1978	9,3
Llallalca	11 Abril de 1978	9,7
Triful ante junta Fui	11 Abril de 1978	10,0
Triful ante junta Fui	5 Mayo de 1978	13,7
Llallalca	5 Mayo de 1978	16,3
Lago Pirihueico	5 Mayo de 1978	11,4
Afloramiento Triful derecha.	5 Mayo de 1978	7,9
Afloramiento Fui ante Triful.	5 Mayo de 1978	12,4

FIGURA 7
TRUFUL



ESTACIONES FLUVIOMETRICAS Y METEOROLOGICAS INSTALADAS EN

LA ZONA DEL PROYECTO

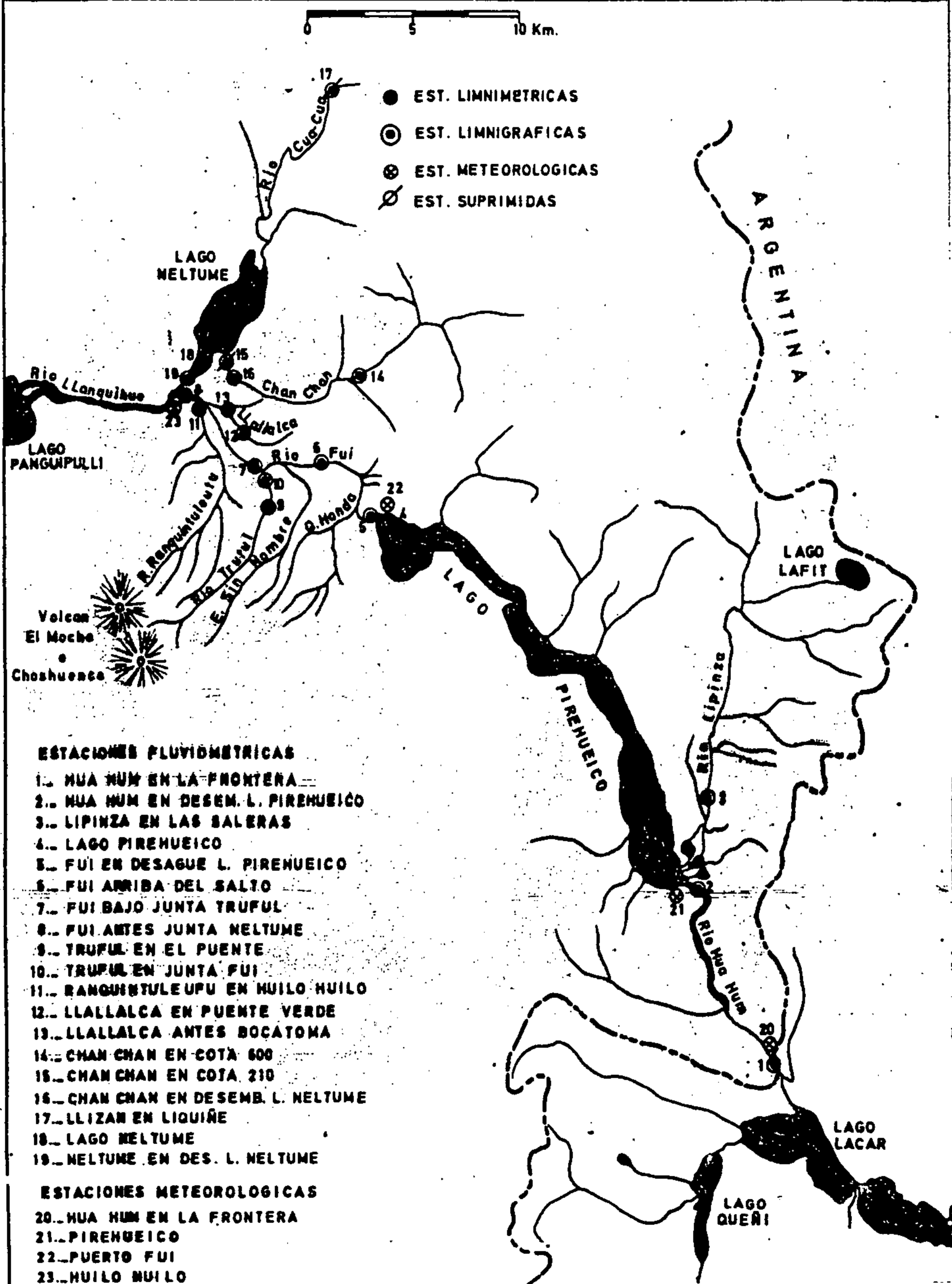


FIGURA 2

ESTACION LLALLALCA

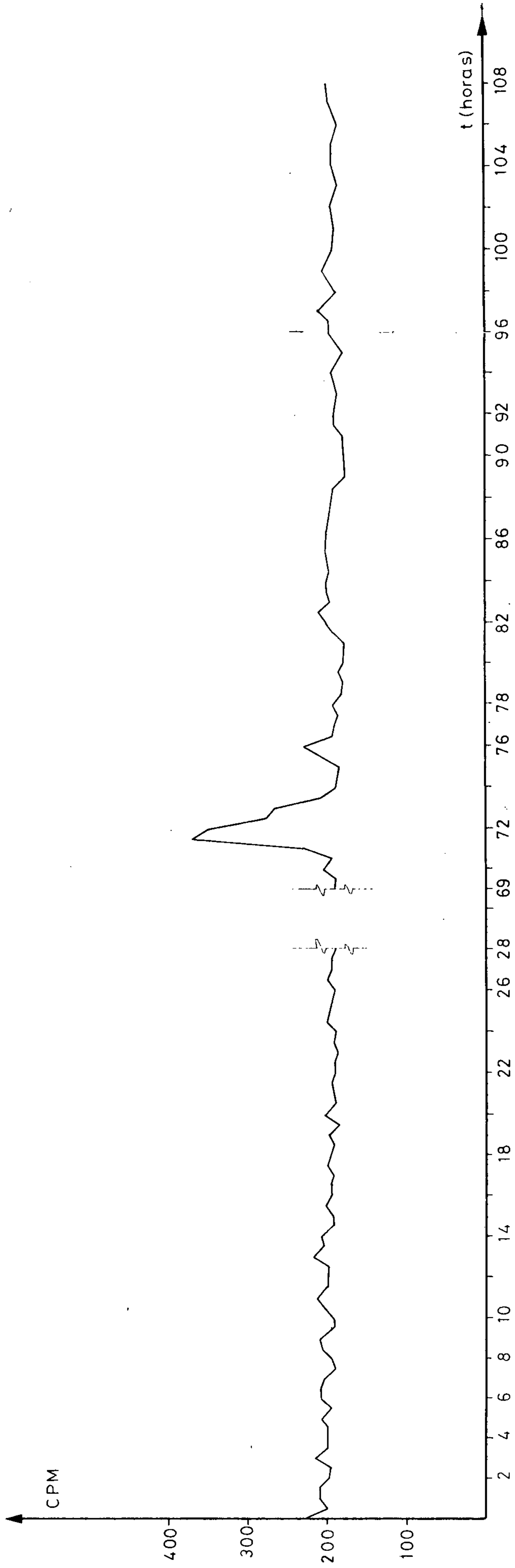
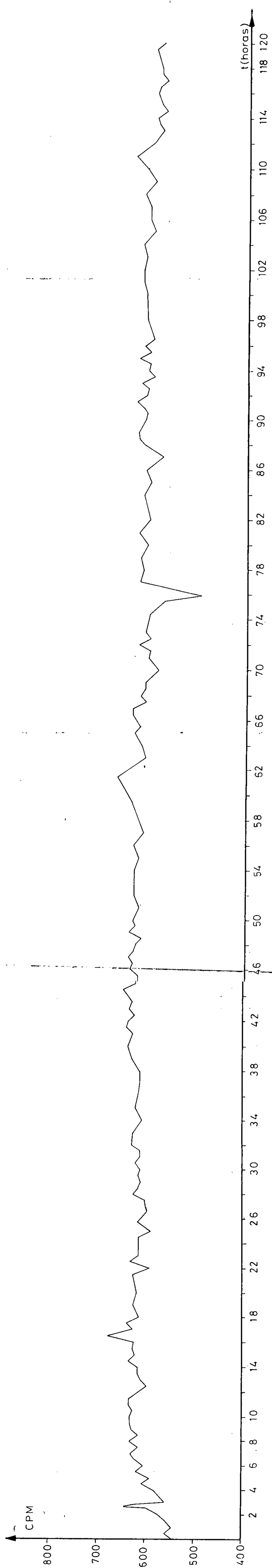


FIGURA 3

TRUFUL ANTE JUNTA FUI



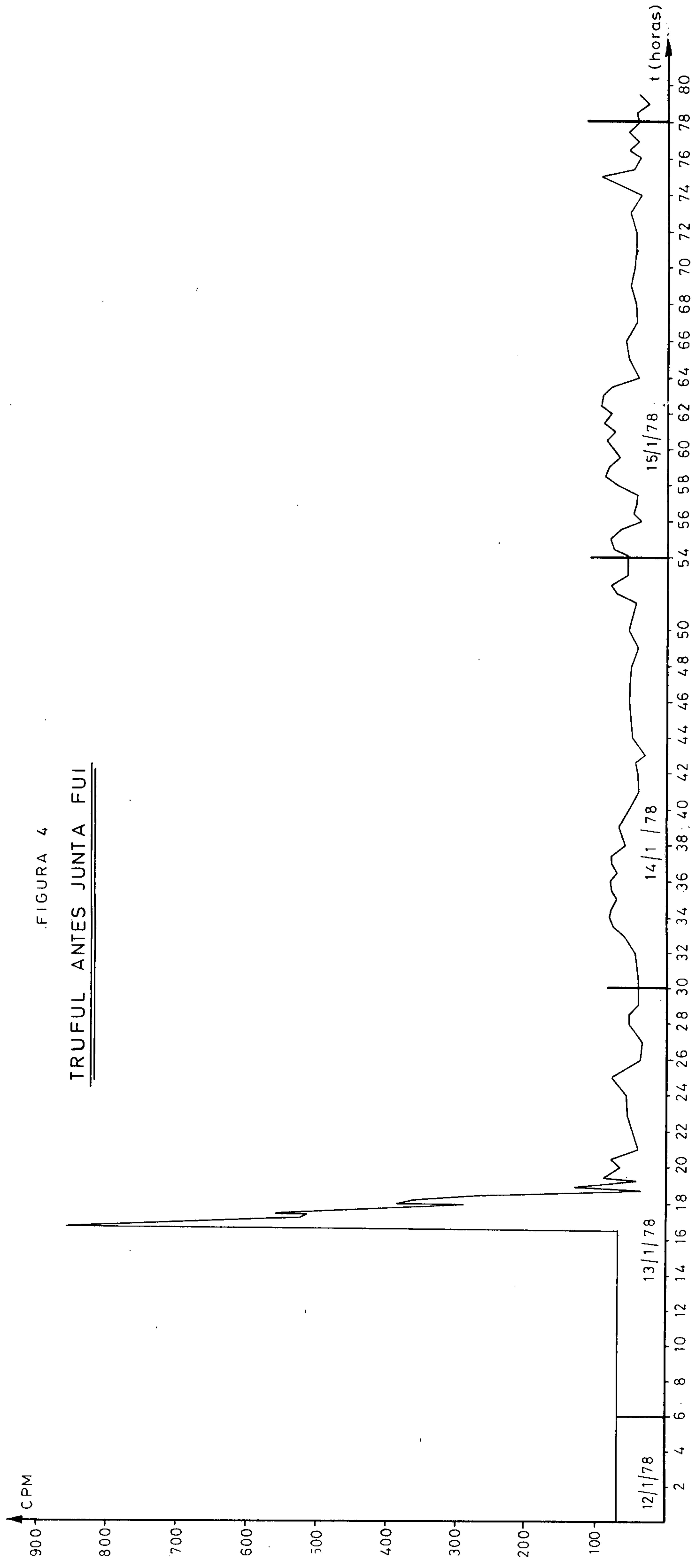


FIGURA 4
TRUFUL ANTES JUNTA FUI

FIGURA 5.

FUI ANTES JUNTA TRUFUL

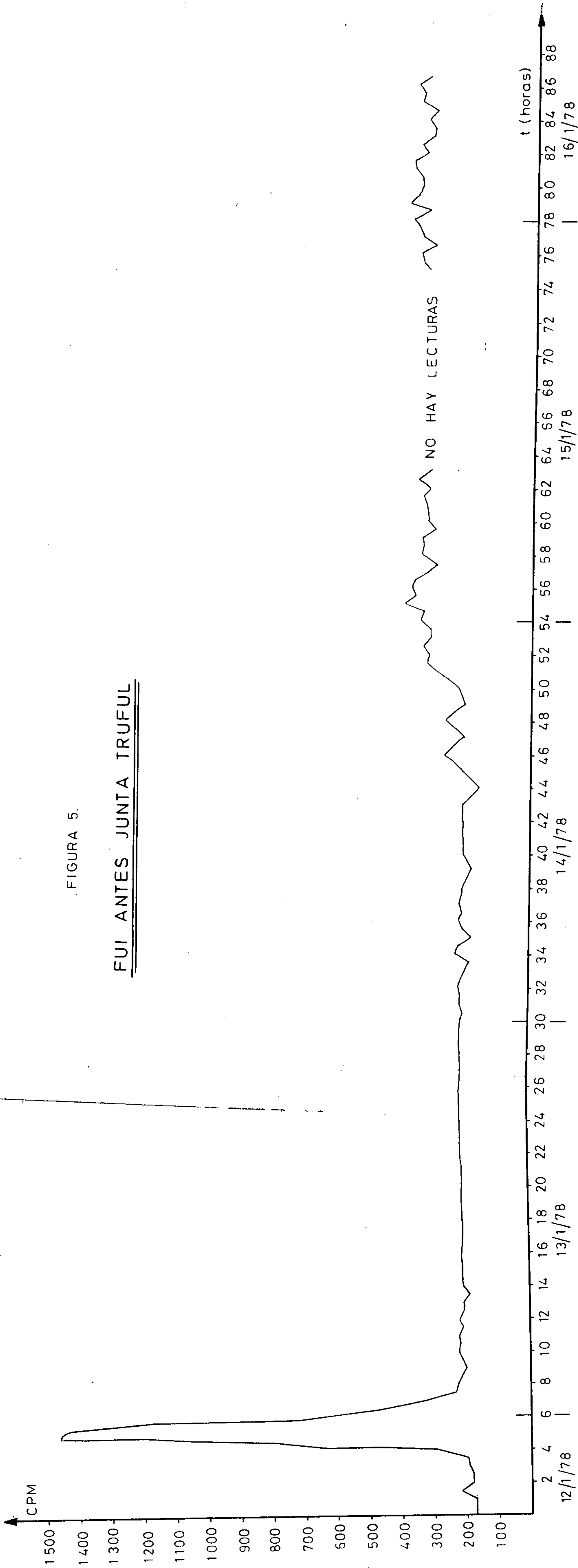


FIGURA 6
FUI JUNTA Neltune

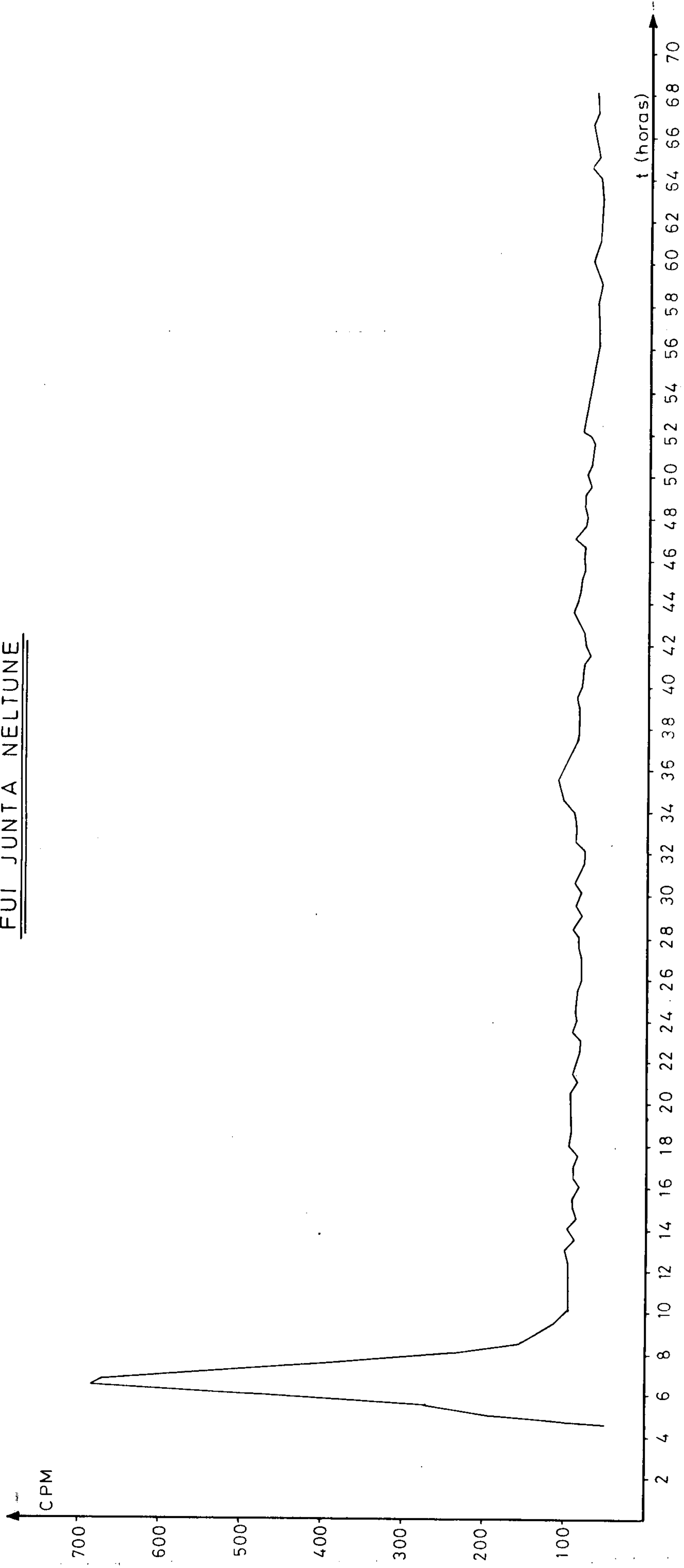


FIGURA 6A

ESTACION NULTUME

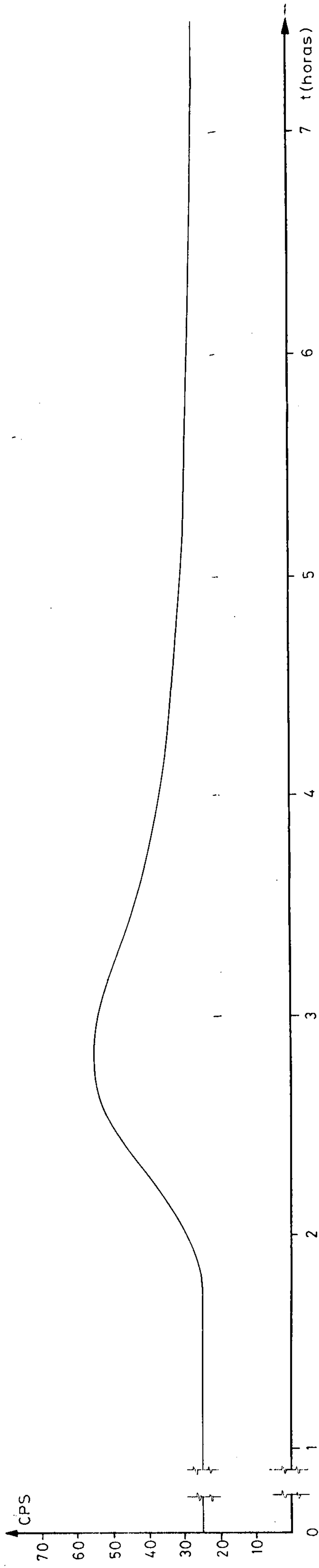


FIGURA 8

FUI ANTES TRUFUL

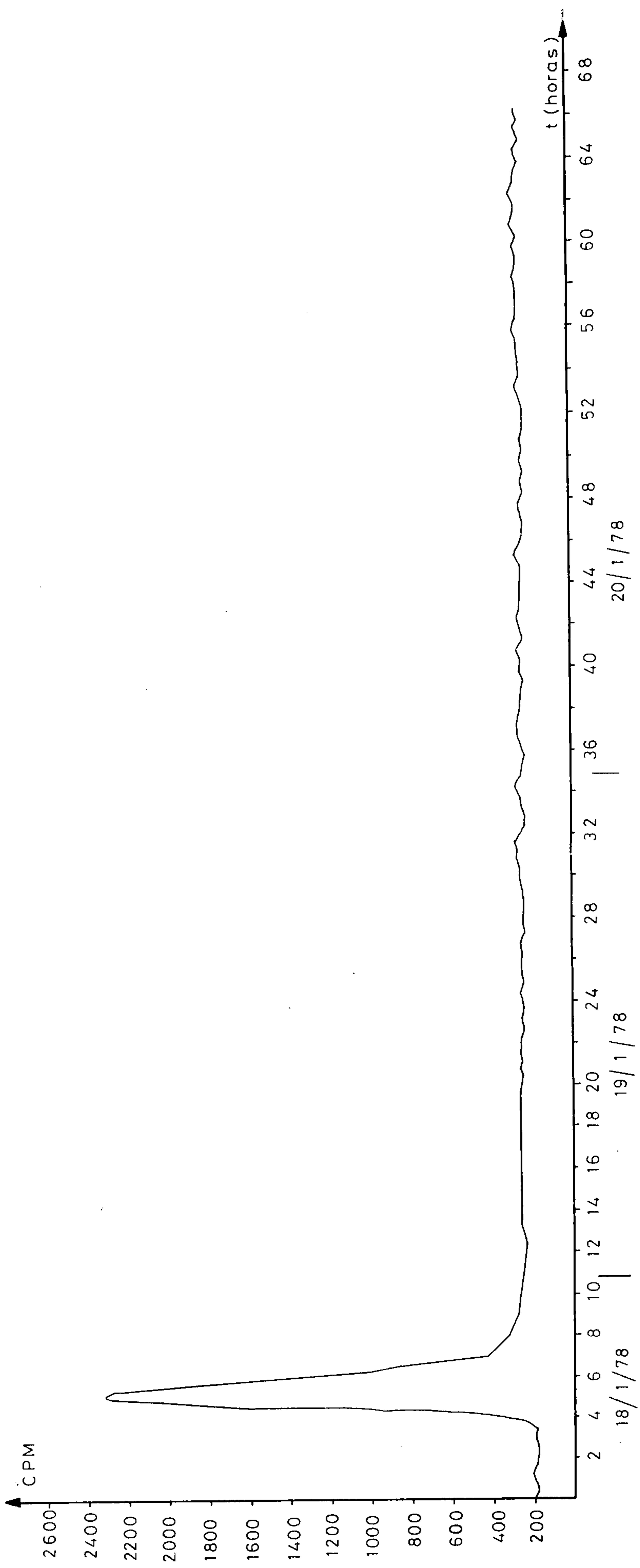


FIGURA 9
FUI ANTE JUNTA NELTUME

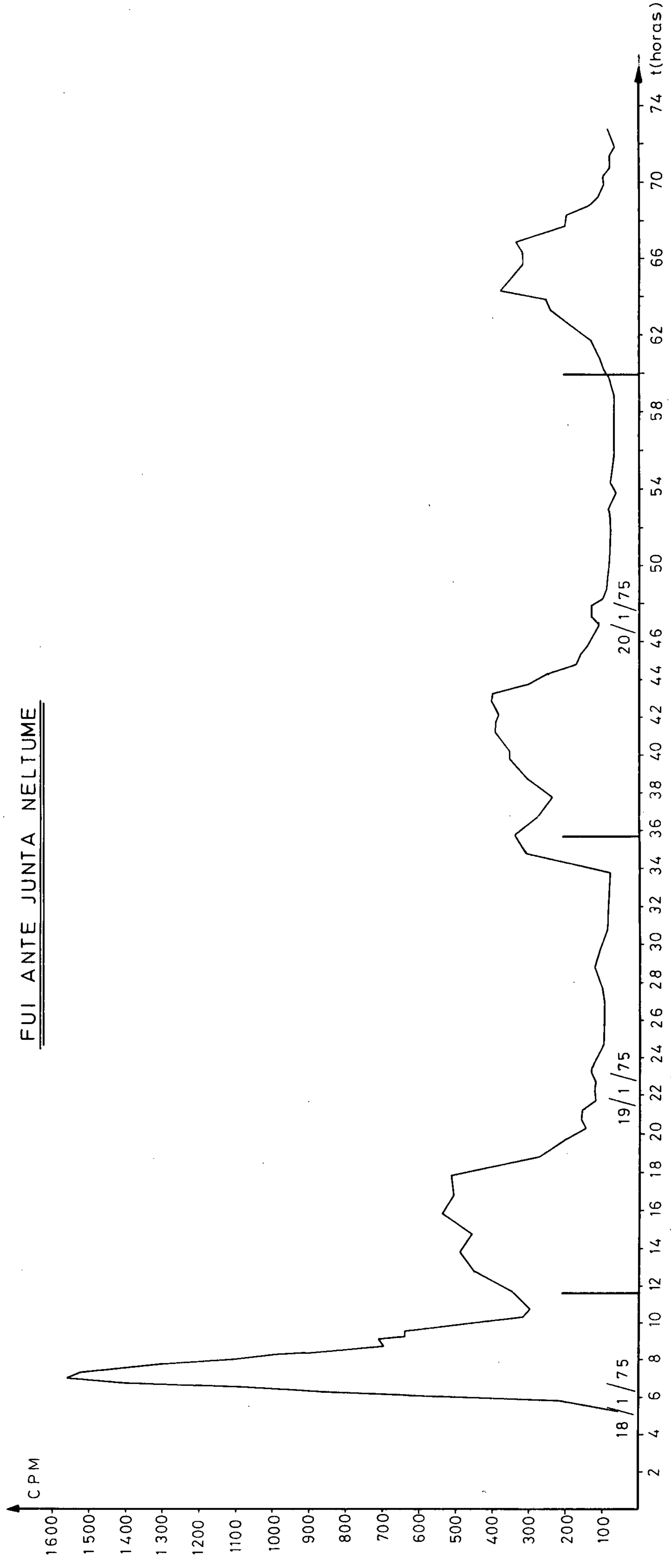


FIGURA 10

NELTUME

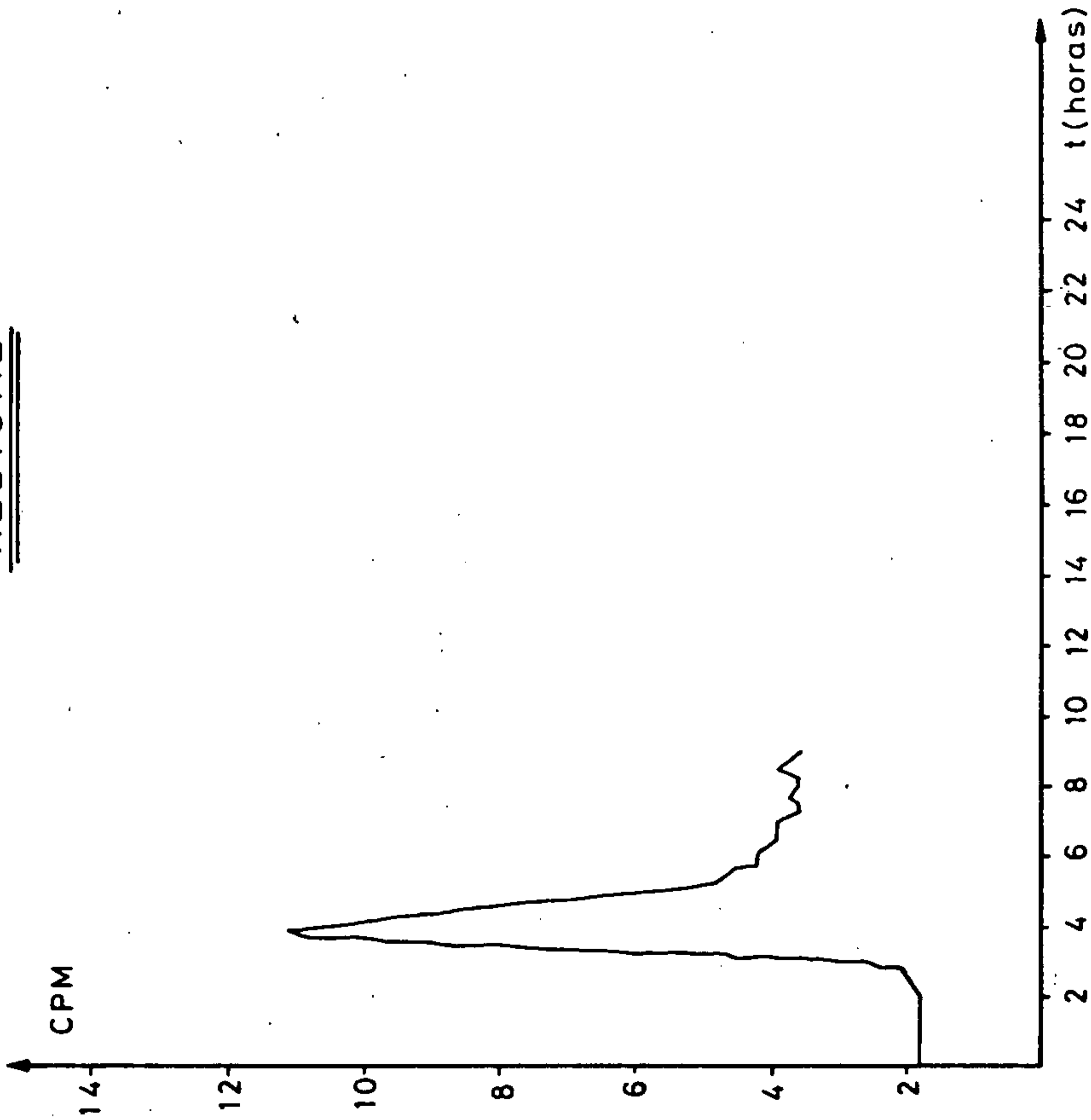


FIGURA 11

SISTEMA DE MEDICION EN ESTUDIO
DE BALANCE

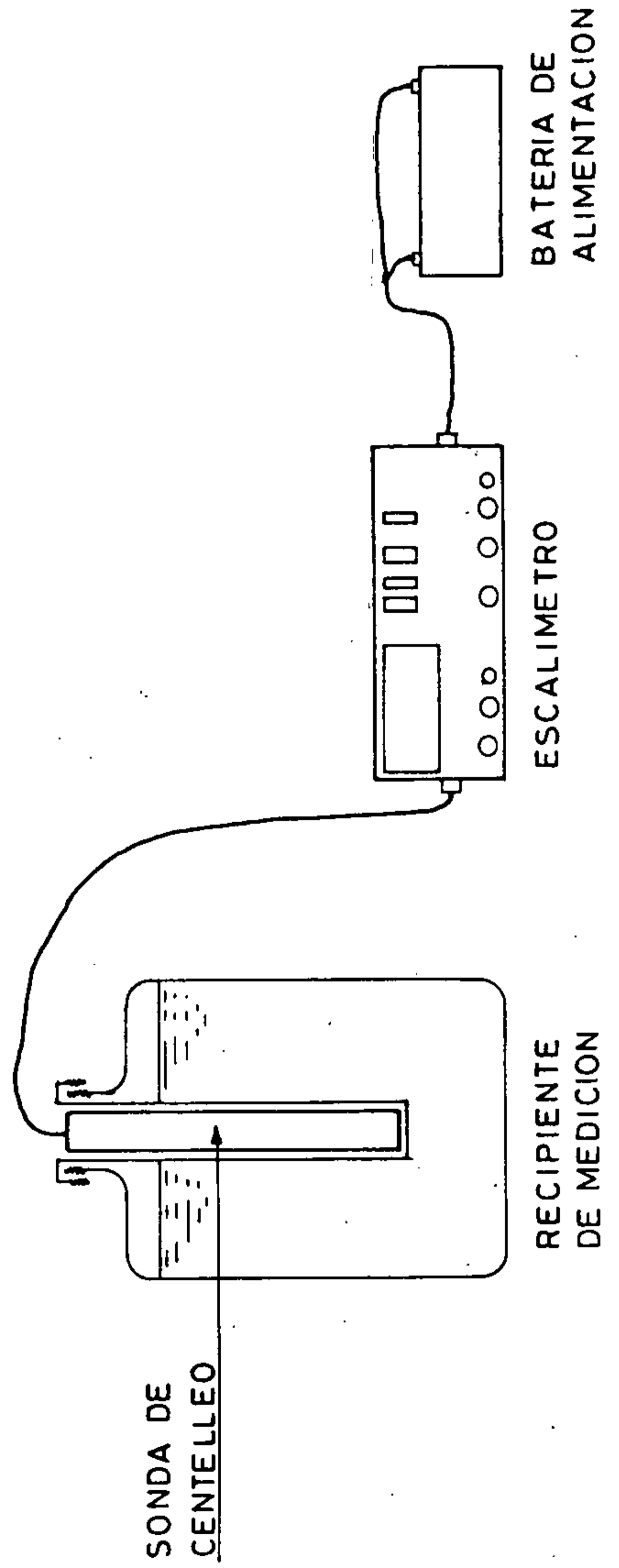


FIGURA 12

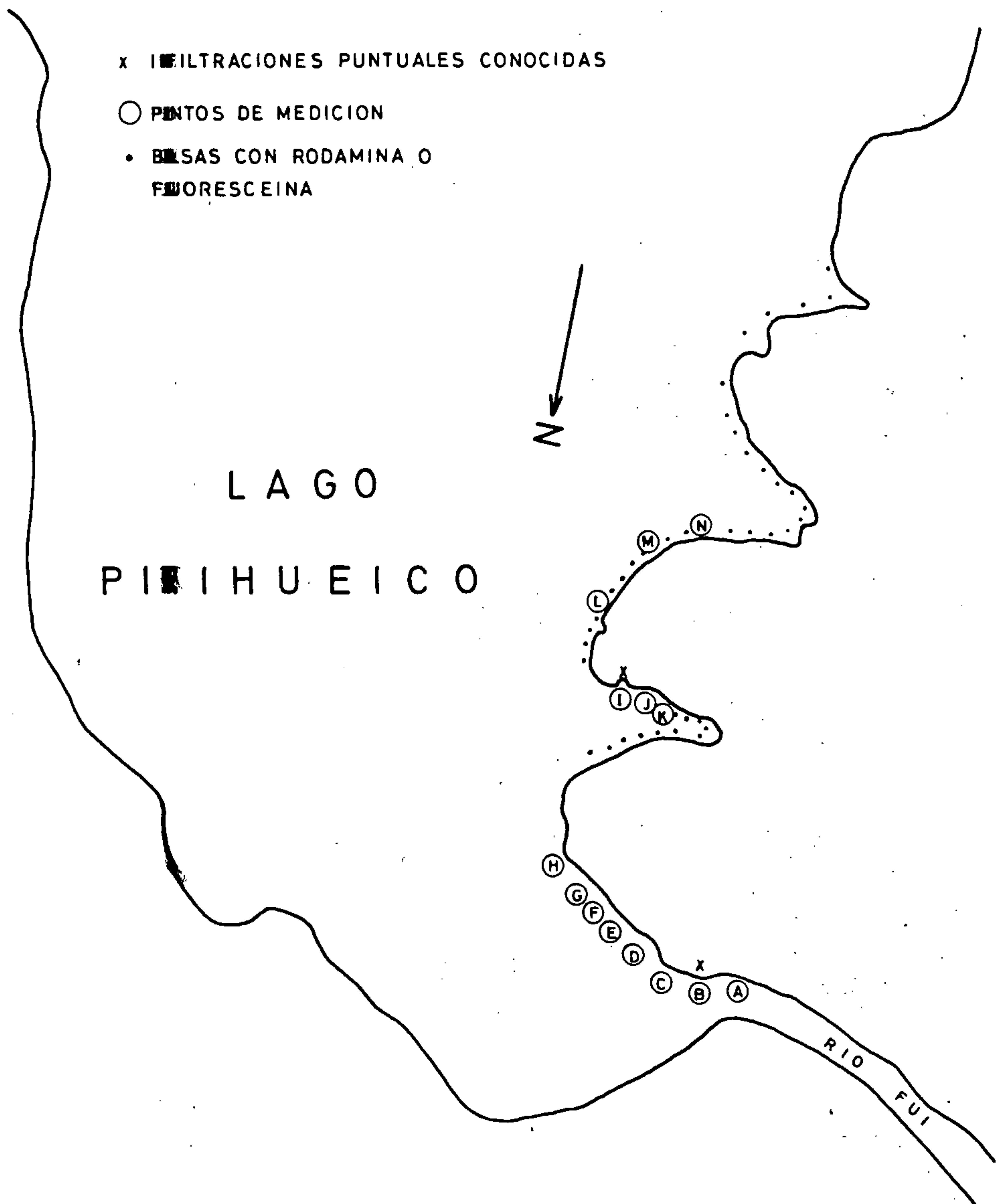
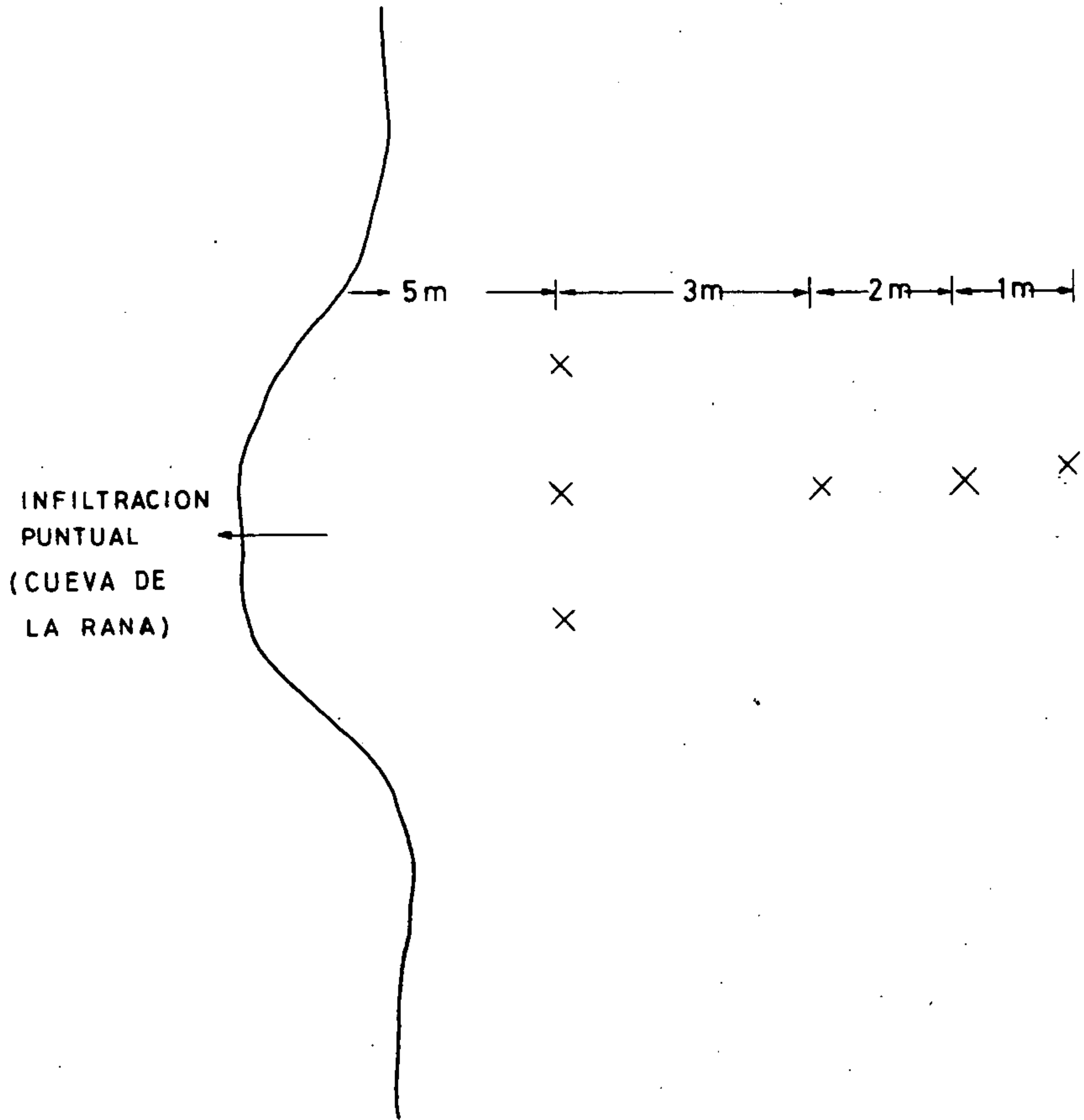


FIGURA 13



_UBICACION APROX. DE LUGARES DE MEDICION FRENTE A LA INFILTRACION PUNTUAL.

MINUTA OICOI N° 3/80

REACTUALIZACION DEL ESTUDIO DE LA LEY DE
FILTRACIONES DEL LAGO PIREHUEICO

En el estudio de la hidrología del Alto Valdivia se definió una Ley de Filtraciones del Lago Pirehueico, con información hidrológica hasta principios de 1970.

El año 1978, es decir, con 8 años más de estadísticas, se reactualizó el estudio pudiéndose definir en forma más precisa los caudales aportados por la cuenca intermedia existente entre el desague del lago y el río Fui antes de la junta con el río Neltume.

Por otra parte, los meses de Febrero, Marzo y Abril de 1978 y 1979 se presentaron sumamente secos, debido a lo cual los niveles del lago Pirehueico llegaron a los valores más bajos de la estadística y secándose el río Fui en parte de su recorrido.

Aprovechando esta circunstancia, se realizaron varios aforos simultáneos, efectuándose mediciones en todos los cursos de agua de la cuenca del río Fui. Esto permitió definir en mejor forma la parte baja de la Ley de Filtraciones, determinándose que para niveles inferiores a 3,90 m las filtraciones eran constantes y del orden de 23 a 25 m³/s, lo que indica que corresponderían a infiltraciones profundas:

Con estos antecedentes se definió una nueva Ley de Filtraciones.

Las dos leyes de Filtraciones se han definido suponiendo que todos los afloramientos que aparecen en la cuenca intermedia entre el desague del lago y la sección Fui Ante Junta Neltume provienen de filtraciones del Lago Pirehueico.

Como de los balances hídricos realizados no queda claro que se cumpla lo anteriormente señalado, se está llevando a cabo un programa de toma de muestras de agua que permita compararlas mediante el uso de isótopos ambientales y poder definir en mejor forma la procedencia de dichos afloramientos.



v°B°
Andrés Benítez G.
JEFE

DIVISION ESTUDIOS HIDROLOGICOS



Harry King F.
INGENIERO

DIVISION ESTUDIOS HIDROLOGICOS

LEY DE FILTRACIONES LAGO PIREHUEICO

$Q_F = 8 \times H_{LP} - 7,4 \quad H_{LP} > 3,80 \text{ m}$

$Q_F = 23 \text{ m}^3/\text{s} \quad H_{LP} \leq 3,80 \text{ m}$

PARA $H_{LP} = 0$ LA COTA ES 595,68 m

• OBTENIDOS CON CORRIDAS DE AFOROS EFECTUADAS EN ABRIL DE 1978

■ CORRIDAS DE AFOROS ENTRE FEBRERO Y ABRIL DE 1979

