
SEGUNDO COLOQUIO NACIONAL
SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA

**"USO DE TECNICAS ISOTOPICAS EN EL ESTUDIO HIDROLOGICO
DE LA CUENCA DEL RIO ACONCAGUA - CHILE"**

CONTRATO Nº 809/R2/RB

Investigación realizada por el Departamento de Recursos Hidráulicos de la Corporación de Fomento de la Producción, Chile, con la cooperación técnica y financiera de la Internacional Atomic Energy Agency con sede en Viena, Austria.

Investigador Principal : Fernando Alamos Cerda
Investigadores Ayudantes: Fernando Rodríguez Roa
Osamu Suzuki Sone

Julio 1970 - Junio 1973

ABSTRACT

Se hace una descripción breve de la hidrología del Valle del Aconcagua, Chile, en forma independiente para cada una de sus 4 secciones en que está legalmente dividido, con el objeto de familiarizar al lector de las interrelaciones entre aguas superficiales y subterráneas; también se da una breve visión de los principales consumos del agua.

Entre los objetivos de la investigación, pueden citarse:

- medición de caudales turbulentos;
- medición de caudales máximos o peaks, provocados por los deshielos;
- determinación del origen de la recarga para los diferentes acuíferos existentes en el valle;
- determinar dirección y velocidad del escurrimiento subterráneo;
- Formar personal familiarizado con el uso de radioisótopos en hidrología.

Para la medición de caudales, se utilizó el Método de Cuentas totales, desarrollado por HULL, usándose un escalímetro y una sonda gamma Basc.

Para detectar la dirección y velocidad del escurrimiento subterráneo se utilizó el método de dilución puntual, usando como trazador radioactivo Rosa de Bengala marcado con I^{131} , frente a zonas acuíferas de buena permeabilidad.

Para el origen de la recarga se obtuvieron muestras por bombeo de pozos profundos, las que debidamente envasadas se analizaron en laboratorios de la A.I.E.A. en Viena.

La medición de aforos turbulentos mediante el uso de radioisótopos resulta exitosa y semejante a las efectuadas por métodos tradicionales cuando se pudieron hacer

Abstract (cont.)

ambas en forma comparativa. En cuanto a aforos de caudales extremos no se obtuvo éxito debido al gran arrastre de sólidos debido al deshielo y velocidad del agua, los que dañaron la sonda, debiendo haberse utilizado un estanque de paso, alimentado por motobomba. Se aforaron caudales entre 0,31 y 50,20 m³/seg.

En cuanto al origen de recarga de los diversos acuíferos existentes, se descubrió que el acuífero de la zona de Rinconada de Los Andes tiene su recarga en aguas provenientes del Estero Pocuro y no del Río Aconcagua como el resto de la 1a. Sección del Valle. En el resto del valle, la información obtenida concuerda con la obtenida por métodos tradicionales.

Respecto a mediciones para detectar el sentido del escurrimiento, éstas concuerdan con las obtenidas mediante curvas equipotenciales del nivel estático del acuífero, salvo la del pozo Romeral que vino a evidenciar el cono de influencia de la galería Las Vegas.

Para lograr una mayor agilidad en la obtención de resultados, debería contarse en Chile con un laboratorio adecuado a los requerimientos.

Mediante este contrato puede contarse hoy en día en Chile con 3 profesionales especializados en esta nueva tecnología y con los equipos de terreno necesarios para efectuar las mediciones.

1.- INTRODUCCION

Se ha estimado conveniente describir las características hidrológicas generales del valle del Aconcagua y las demandas principales de su agua, antes de entrar a describir las experiencias y resultados obtenidos con el uso de radioisótopos, para tener así un mejor elemento de juicio sobre los objetivos de la investigación.

1.1. Ubicación

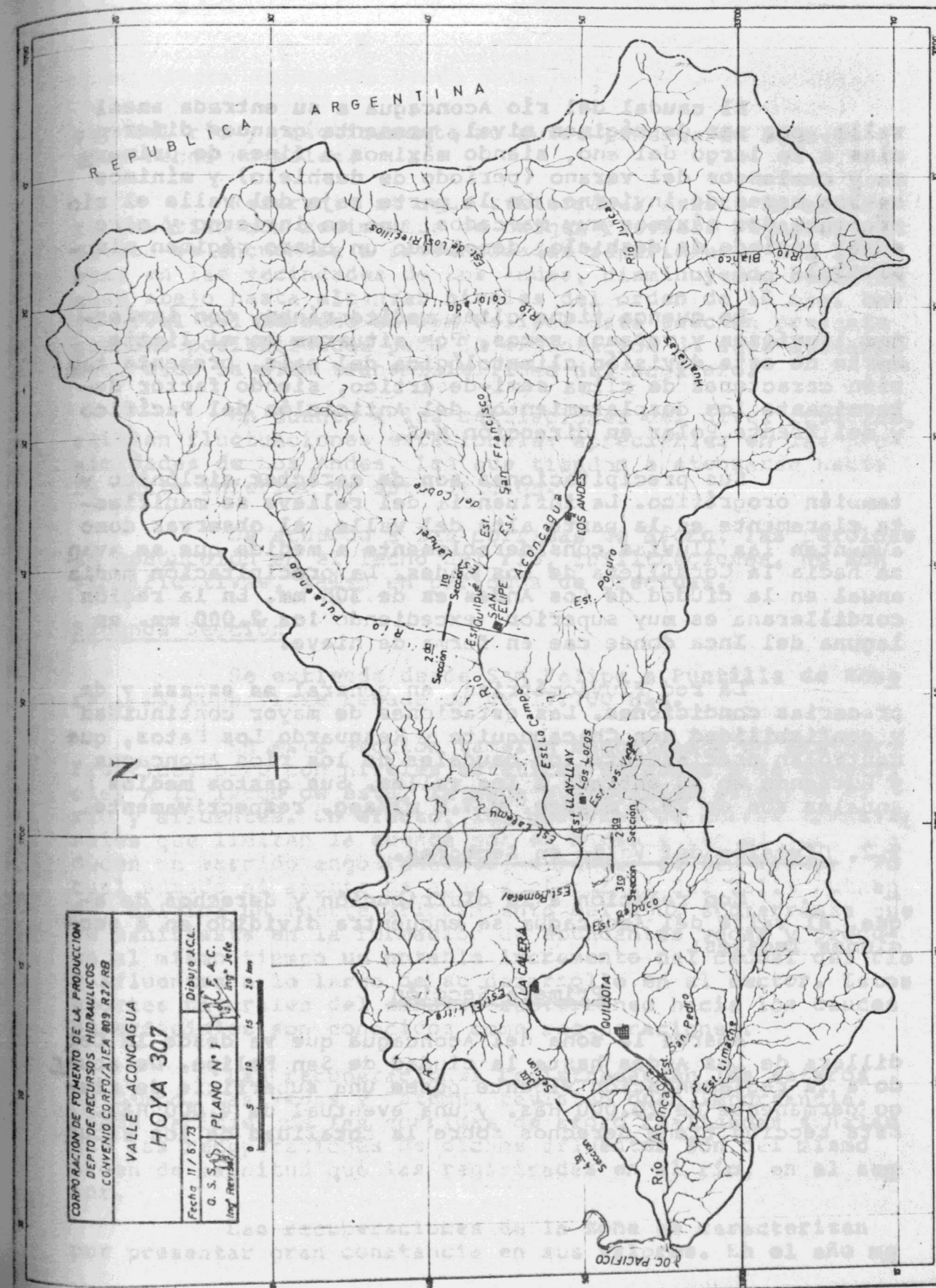
Esta hoya hidrográfica está ubicada entre las latitudes $32^{\circ} 15'$ y $33^{\circ} 11'$ S y entre las longitudes $70^{\circ} 00'$ y $71^{\circ} 32'$ W. Tiene una superficie aproximada de 7.500 Km², abarcando parte de las Provincias de Aconcagua y Valparaíso. (Ver Plano N° 1)

De acuerdo con el Mapa Hidrográfico de Chile y la clasificación de cuencas allí contenida, la cuenca del Aconcagua está ubicada en la zona 4 y signada con el número 307. Corresponde a la denominación de Hoya Andina, por cuanto su cabecera coincide con las altas cumbres de la Cordillera de Los Andes.

El valle del río Aconcagua es uno de los más fértiles del país, debido a la calidad de sus suelos y a la incomparable regularidad de su clima, apto para gran variedad de cultivos. Está situado en envidiable posición frente a los dos mayores centros de consumo: Santiago y Valparaíso.

Los centros más destacados del área son las ciudades de Los Andes, San Felipe, Llay-Llay, Calera, Quillota y Limache.

El río Aconcagua tiene un desarrollo aproximado de 190 Kms. desde su nacimiento en la cordillera hasta su desembocadura en el Océano Pacífico, en Con-Cón. Nace con el nombre de río Juncal, posteriormente recibe los aportes del río Blanco por el Sur y de los ríos Colorado y Putaendo por el Norte. Otros afluentes de menor importancia que se encuentran a lo largo de su recorrido son: los esteros Pocuro, Lo Campo, Las Vegas, Rabuco, San Pedro y Limache por el Sur, y los esteros Quilpué, Catemu, Romeral, El Litre y Lo Rojas por el Norte.



El caudal del río Aconcagua a su entrada en el valle, por ser de régimen nival, presenta grandes diferencias a lo largo del año, siendo máximos a fines de primavera y comienzos del verano (período de deshielo) y mínimos en los meses de invierno. En la parte baja del valle el río presenta dos máximos muy marcados uno en invierno y otro en el período de deshielo, denotando un claro régimen nivopluvial.

La cuenca tiene clima mediterráneo, con inviernos lluviosos y veranos secos. Por situarse en el límite Norte de esta división climatológica del país, presenta también caracteres de clima semi-desértico, siendo factor determinante los desplazamientos del Anticiclón del Pacífico y del Frente Polar en dirección N-S.

Sus precipitaciones son de carácter ciclónico y también orográfico. La influencia del relieve se manifiesta claramente en la parte alta del valle, al observar como aumentan las lluvias considerablemente a medida que se avanza hacia la Cordillera de Los Andes. La precipitación media anual en la ciudad de Los Andes es de 308 mm. En la región cordillerana es muy superior, excediendo los 2.000 mm. en laguna del Inca donde cae en forma de nieve.

La red fluviométrica, en general es escasa y de precarias condiciones. Las estaciones de mayor continuidad y confiabilidad son Chacabuquito y Resguardo Los Patos, que controlan precisamente los caudales de los ríos Aconcagua y Putaendo en su entrada a los valles. Sus gastos medios anuales son de 29.0 m³/seg. y 7.8 m³/seg. respectivamente.

1.2. División del Valle en Sectores.

Con relación a la distribución y derechos de agua, el valle del Aconcagua se encuentra dividido en 4 secciones legales:

Primera Sección

Abarca la zona del Aconcagua que va desde la Cordillera de Los Andes hasta la ciudad de San Felipe. De acuerdo a la reglamentación vigente posee una superficie de riego permanente de 20.000 Hás. y una eventual de 4.000 Hás. Esta sección tiene derechos sobre la totalidad de los recur-

...aguata de Mauco. Desde este lugar hacia aguas abajo...
...del río y prácticamente no sufre penuria de agua en años secos normales.

Referente al agua subterránea existe un acuífero freático con sedimentos de origen fluvial. El nivel estático se encuentra a profundidades superiores a los 100 mts. en las vecindades de Los Andes, disminuyendo hacia aguas abajo hasta alcanzar niveles del orden de 10 mts. bajo nivel del terreno en San Felipe. Esta sección presenta grandes posibilidades para la explotación de agua subterránea, dada la alta transmisibilidad del acuífero.

En cuanto a las oscilaciones del nivel freático, existen fluctuaciones estacionales apreciables en las proximidades de Los Andes, las que tienden a atenuarse hacia la parte inferior de esta Sección.

De acuerdo a las corridas de aforo, las pérdidas de conducción en el lecho del río, infiltraciones, no son significativas, salvo en períodos de crecidas.

Segunda Sección

Se extiende desde San Felipe a Puntilla de Romeral. La superficie regada es de 17.700 Hás.

En esta sección también encontramos un acuífero freático, pero con niveles estáticos cercanos a la superficie. A lo largo de ésta, la napa subterránea alimenta el río y afluentes. En efecto, los cordones de cerros transversales que limitan la cuenca por el Norte y por el Sur, producen un marcado angostamiento, a partir de San Felipe, lo cual sumado al aporte de agua subterránea del Valle Putaendo, origina un fuerte afloramiento del agua subterránea que se manifiesta en la formación de abundantes vegas y produce al mismo tiempo un notable incremento del caudal del río y afluentes a lo largo de su desarrollo en el sector. Estos aportes naturales del embalse subterráneo hacia los cauces superficiales son conocidos como recuperaciones.

Las recuperaciones registradas en los esteros Lo Campo, Las Vegas y Catemu, revisten gran importancia. Puede decirse que las corridas de aforo realizadas señalan que las recuperaciones de dichos afluentes son del mismo orden de magnitud que las registradas en el río, en el sector.

Las recuperaciones de la zona se caracterizan por presentar gran constancia en sus valores. En el año me

dio alcanzan a 25 m³/seg., de los cuales aproximadamente 15 m³/seg. se producen en el lecho del río y los otros 10 m³/seg. en los esteros afluentes. Estos recursos adicionales con que dispone esta zona, permiten que sea la única Sección del Valle que no presente problemas de escasez de agua.

Tercera Sección

Está comprendida entre Puntilla de Romeral y la bocatoma del Canal Rautén ubicada a 3 Kms. aguas arriba del Puente Tabolango, próximo a la ciudad de Quillota.

Esta sección está considerada como una de las más productivas del valle, debido a las condiciones excepcionales de clima y al desarrollo industrial alcanzado.

El área regada en forma más o menos permanente es de 18.500 Hás. y en forma eventual de 6.000 Hás.

Las recuperaciones del río son de relativa importancia durante la temporada de riego y se caracterizan en general por una gran variabilidad, producto principalmente de microvariaciones del nivel estático que está próximo a la superficie en casi toda el área.

La zona sufre de gran escasez de agua y el río está sometido a turno con frecuencia, razón por la cual desde el punto de vista del desarrollo del agua subterránea es el área que presenta mayor interés. Actualmente en ella se concentra gran parte de los sondajes del valle.

Sin embargo, en invierno, esta área tiene fuertes excedentes de agua, derivados en gran parte de las recuperaciones provenientes de la 2a. Sección, y del escurrimiento de aguas de lluvias. De ahí la necesidad de construir obras de regulación en el Aconcagua, a fin de lograr un racional aprovechamiento de la cuenca.

Cuarta Sección

Se desarrolla entre la bocatoma del Canal Rautén y la desembocadura del río al mar.

Comprende una superficie cultivable de 1.800 Hás. Los recursos de agua superficial se presentan en este sector aún más limitados que en el anterior. En cuanto a sus características hidrogeológicas, ellas son similares hasta

la agostura de Mauco. Desde este lugar hacia aguas abajo comienza a evidenciarse la existencia de dos acuíferos, uno freático y otro confinado, separados por un estrato de arcilla cuyo espesor aumenta paulatinamente a medida que nos acercamos a la desembocadura del río, donde alcanza un espesor de 20 mts. El acuífero freático está conectado al río y sólo tiene un espesor de 15 a 25 mts., en cambio el acuífero confinado tiene un espesor promedio de 80 mts. (Ver Figura 1)

En los últimos años se ha comenzado a explotar en forma intensiva el agua subterránea de esta sección y en especial en la cercanía de la desembocadura del río Aconcagua, (Con-Cón) a objeto de abastecer de agua potable a Valparaíso y Viña del Mar y a las industrias situadas en las cercanías. La industria principal es la refinería de petróleo de ENAP (Empresa Nacional de Petróleo) que extrae 50 lts./seg. en forma continua del acuífero confinado. El agua potable de Valparaíso y Viña del Mar tiene una red de sondajes conectados en su mayoría al acuífero freático y sólo algunos al confinado, extrayendo en los meses de demanda máxima 750 lts./seg. Como puede apreciarse la zona de Con-Cón sufre de una explotación intensiva del agua subterránea.

Valle Putaendo

En relación a este valle, cabe mencionar que administrativamente no forma parte de ninguna de las 4 secciones en que se ha dividido el Aconcagua.

La superficie de riego bajo canal alcanza a 7.000 Hás.

Los recursos de agua superficial que dispone son limitados y aún en años normales el río debe ser sometido a turno.

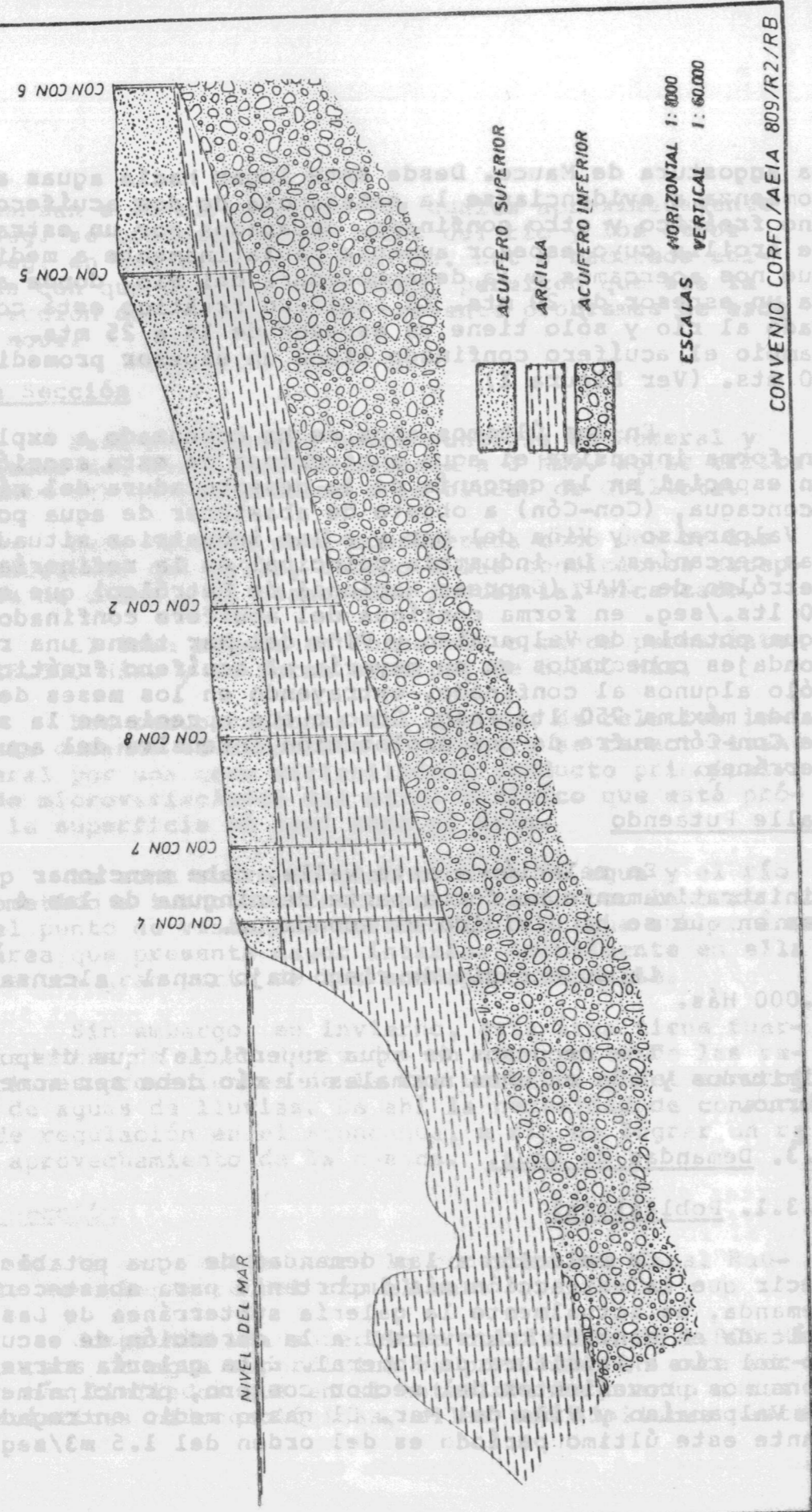
1.3. Demandas de Agua.

1.3.1. Poblacional

En relación a las demandas de agua potable cabe decir que la extracción más importante para abastecer esa demanda, es actualmente la galería subterránea de Las Vegas ubicada en sentido transversal a la dirección de escurrimiento del río a la altura de Romeral. Esta galería sirve los consumos provenientes del sector costero, principalmente de Valparaíso y Viña del Mar. El gasto medio entregado durante este último período es del orden del 1.5 m³/seg.

CORFO-DEPTO. RECURSOS HIDRAULICOS

Fig No 1
DIRECCION ESTE OESTE



Una estimación de las necesidades globales del agua potable para Valparaíso y Viña del Mar, según la Dirección de Obras Sanitarias, indica los siguientes resultados:

Necesidades actuales (1969)	Necesidades año 2.000
2.2 m ³ /seg.	5.2 m ³ /seg.

Otra extracción de importancia, con el mismo objetivo, es la extracción de 750 lts./seg. del acuífero freático de Con-Cón.

Adicionalmente, las poblaciones principales del Valle, a excepción de Los Andes, se abastecen mediante captaciones de aguas subterráneas.

1.3.2. Industrial.

Referente al uso industrial hay que distinguir entre pequeña, mediana y gran industria. El consumo de la pequeña industria está incluido en el agua potable. En cuanto al de la mediana industria se estima en 1.0 m³/seg.

Con el objeto de no gravar las necesidades agrícolas se estima conveniente que la gran industria, instalada en el sector costero del área (Con-Cón), utilice complementariamente tres fuentes de abastecimiento: el agua sobrante en el río, el acuífero subterráneo y el agua del océano.

1.3.3. Agrícola.

El área de riego bajo canal alcanza a 79.000 Hás., de las cuales 68.000 están ubicadas en el Valle Aconcagua, 7.000 en el Valle Putaendo y 4.000 en el área del sector Chacabuco-Polpaico; estas últimas situadas en la Cuenca del Maipo, vecina Sur de la cuenca del Aconcagua.

Considerando una tasa media de riego de 0,92 lts./seg./Há. en el mes de máximo consumo, se tiene una demanda de 72 m³/seg.

2.- OBJETIVOS DEL PRESENTE ESTUDIO

Desde hace unos años atrás, y en especial a partir de la sequía ocurrida durante los años 1967 y 1968, el Departamento de Recursos Hidráulicos de CORFO ha venido estudiando en forma intensiva la hidrología de la cuenca del Río Aconcagua.

Con miras a complementar estos estudios se estimó de sumo interés el empleo de técnicas modernas tales como el uso de trazadores radioactivos.

Dentro de los programas de investigación y evaluación del recurso agua superficial, se hizo necesario tener una mayor precisión en las corridas de aforos que la que normalmente se obtiene a partir de los métodos tradicionales, principalmente en secciones naturales con gran caudal y escurrimiento turbulento, como también en lo que a medición de creces de refiere.

Por otra parte, con el objeto de definir las políticas a futuro tendientes a obtener el óptimo manejo y uso de los acuíferos del valle, principalmente en relación a la 3a. y 4a. sección, se contempla, mediante la utilización de técnicas isotópicas, afinar el conocimiento de los valores de velocidad y dirección del escurrimiento subterráneo como también determinar el origen de la recarga en los acuíferos allí existentes.

Un buen ejemplo para este último aspecto se encuentra en el sector costero de Con-Cón; existen allí dos acuíferos, uno freático conectado directamente con el río y otro confinado. Es de gran importancia conocer el mecanismo de recarga de este último, para lo cual ofrece un gran atractivo el empleo de estas técnicas.

Finalmente, se persigue conocer y familiarizarse con esta nueva herramienta de medición y análisis, a fin de estar preparados para poder abordar con mejores medios y condiciones, problemas hidrológicos que por su complejidad y/o características requieran de su utilización en diversas cuencas hidrológicas del País. Para esto se ha preparado personal, se han adquirido instrumentos y se ha podido preparar, a lo menos en parte, un laboratorio especializado; todo esto, en gran medida basado en el aporte efectuado por este Convenio.

3.- METODOLOGIA EMPLEADA

3.1. Hidrometría.

Se utilizó el Método de Cuentas Totales, desarrollado por Hull, y que consiste en agregar una actividad conocida A del trazador, por medio de una inyección rápida

de un volumen V_1 de concentración C_1 . Aguas abajo, a una distancia adecuada para que se produzca una buena mezcla, el trazador es detectado por medio de una sonda sumergida en el río.

De acuerdo al principio de conservación de la actividad

$$C_1 V_1 = c/dV \quad (1)$$

donde c es la concentración del trazador en el río y dV un elemento de volumen de agua.

Ya que el volumen total que pasa por una sección dada del río en un tiempo t está dado por

$$V = Q t \quad (2)$$

y que

$$C_1 V_1 = A \text{ (actividad total inyectada)} \quad (3)$$

se tiene que el número de cuentas registradas por el detector estará dado por

$$N = F/cdt \quad (4)$$

donde F es una constante que depende de la eficiencia del detector para una geometría de conteo determinada.

De la ecuación (4) se desprende que:

$$N/F = \int c dt$$

e insertando este resultado en la ecuación (3), tenemos

$$Q = F A / N$$

Las condiciones necesarias para la validez de este razonamiento son:

- Que no haya pérdida del trazador entre el punto de inyección y el de detección.
- Que el gasto permanezca constante durante el tiempo que se realiza la medición.

- c) Que la geometría de conteo sea la misma en la determinación del factor de calibración F y en la medición del gasto.
- d) Que el trazador inyectado esté mezclado uniformemente con el agua del río antes del lugar en que se realiza la detección.

La distancia mínima necesaria para lograr una buena mezcla, se puede calcular por varias fórmulas, entre las cuales tenemos:

$L_{\min} = 50Q^{1/3}$ para una inyección en el centro del río.

$L_{\min} = 200 Q^{1/3}$ para una inyección cerca de la orilla.

donde Q es el gasto aproximado del escurrimiento.

Estas fórmulas funcionan bien en flujos de tipo turbulento, como el de nuestras mediciones.

Las experiencias se realizaron utilizando un escalímetro y una sonda gamma Basc.

3.2. Hidrogeología.

3.2.1. Determinación de dirección del escurrimiento subterráneo.

Se utilizó el método de dilución consistente en inyectar dentro del pozo, una cantidad determinada de trazador radioactivo (Rosa de Bengala marcado con I^{131}) frente a una zona acuífera de buena permeabilidad. El escurrimiento propio del agua subterránea concentrará, en la dirección del flujo, una mayor cantidad de trazador, lo cual se detecta mediante una sonda, detectora de radiación y colimada, que tiene a su vez un limbo graduado, lo cual permite determinar la dirección del flujo. (Equipo dejado en el País por el Profesor Meihoffer).

3.2.2. Determinación de la recarga mediante muestreo de Isótopos estables, Tritio y C^{14} .

Las muestras obtenidas desde pozos profundos se realizaron mediante bombeo. Para asegurarnos que ellas fuesen representativas, se bombeó durante un tiempo lo suficientemente largo antes de obtener la muestra.

En el caso de isótopos estables (O^{18} y D) y Tritio se envasaron en frascos de hermeticidad comprobada, para evitar la contaminación con el ambiente y la evaporación. Las muestras de C^{14} se obtuvieron mediante el decantador de carbonatos.

En las muestras tomadas en el río se tomó la precaución de extraerlas en sectores representativos del curso principal.

3.2.3. Determinación de la velocidad de escurrimiento.

Mediante el equipo del profesor Meyhoffer, se pretendió obtener medidas de velocidad, utilizando como trazador I^{131} aislando sectores de acuíferos dentro de un pozo debidamente habilitado.

4.- RESULTADOS OBTENIDOS

4.1. Hidrometría

Las corridas de aforo efectuadas en el lecho del río Aconcagua tienen por objeto medir el aporte natural del acuífero subterráneo al cauce de escurrimiento superficial o viceversa. Este aporte reviste gran importancia en el caso del Aconcagua, y representa un re-uso del agua, del orden de un 80% de los recursos cordilleranos que ingresan a la cuenca. De ahí que es imprescindible, para un estudio adecuado de regulación y aprovechamiento más económico de los recursos de agua del valle, tener un conocimiento cabal de la magnitud y comportamiento de su régimen hidrológico.

Estas experiencias o corridas de aforo consisten en controlar todos los saques y entradas de agua al río, tratando de ir a una velocidad comparable a la del agua. El balance global permite determinar así el caudal infiltrado o recuperado en el lecho del cauce, de acuerdo a la interacción río - acuífero.

Se han registrado pérdidas por infiltración en el río en la Primera Sección, de 5 a 10 m³/seg. en los meses de máximo caudal durante el período de deshielo (Nov.- Diciembre - Enero). Sin embargo si consideramos el caudal medido en aquellas oportunidades en Chacabuquito y San Felipe, del orden de 60 y 25 m³/seg. respectivamente, se aprecia la importancia de afinar al máximo los aforos en esas secciones, ya que la magnitud del error puede ser del mismo

En aquellos aforos en que las condiciones lo permitieron, se hizo también el aforo con el equipo tradicional de barra y molinete. Se observa que los resultados conseguidos con ambos procedimientos son bastante similares.

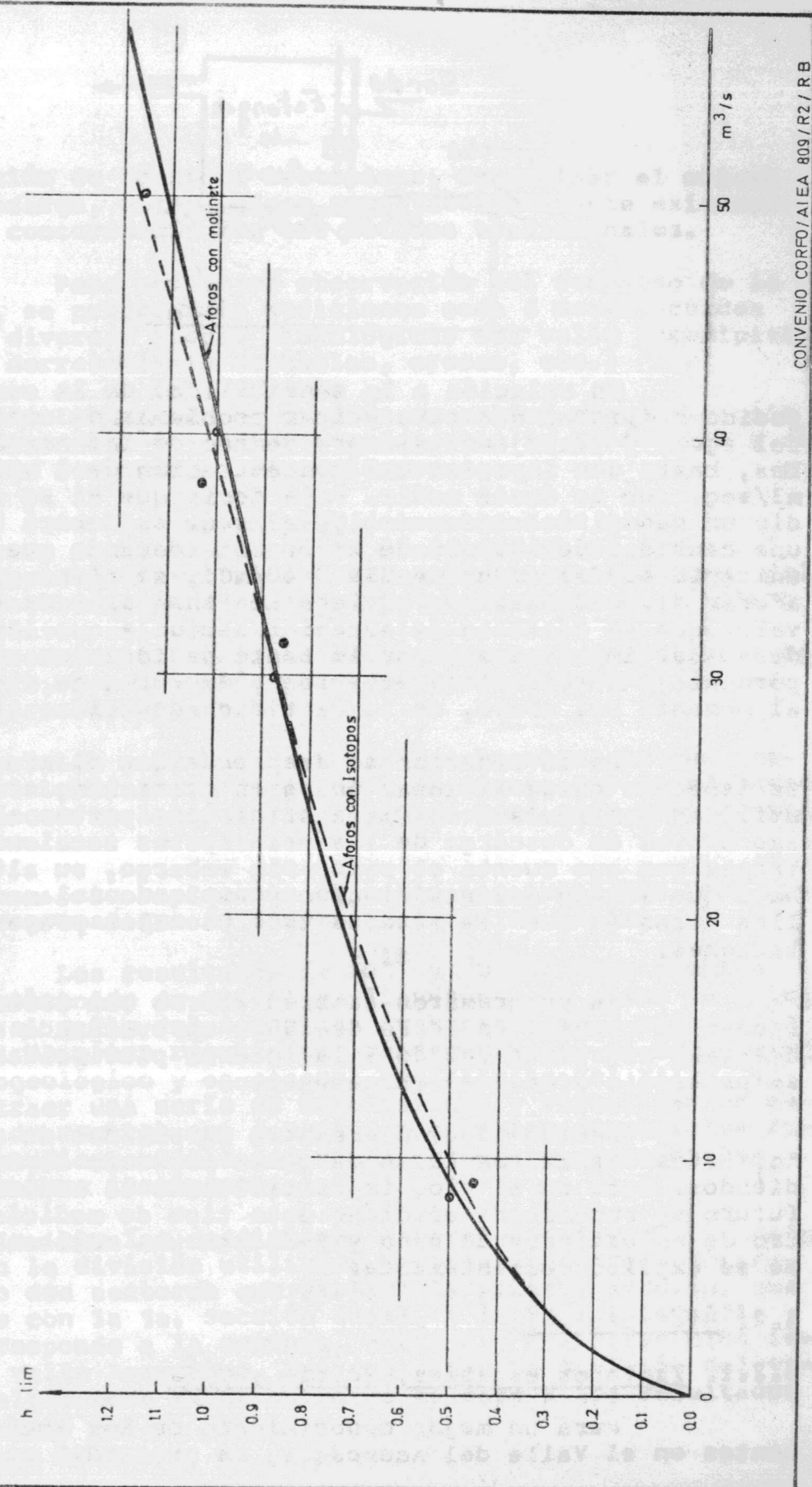
La estación limnigráfica de Chacabuquito es sin duda la de mayor importancia en el valle, ya que controla las aguas del Aconcagua aguas arriba del área de riego propiamente tal. Su sección de aforo, de contorno rocoso, presenta características de escurrimiento favorables y de gran estabilidad. La curva de descarga obtenida a partir de los resultados conseguidos al usar I^{131} se indican en Fig. 2. La dispersión máxima de los aforos realizados con relación a la curva a ellos ajustada, se tiene para la medida de Abril de 1972, y es de un 20%.

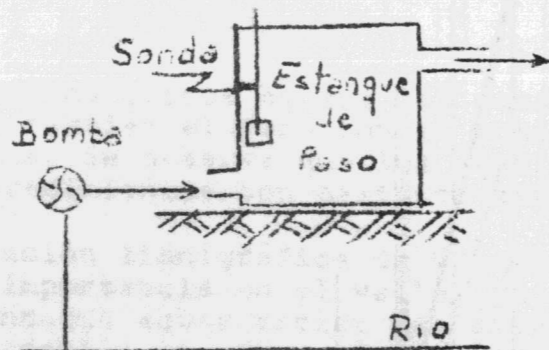
Para la calibración de la sonda se utilizó un estanque rectangular de concreto de 1.985 m x 1.96 m. con distintas alturas de agua, con objeto de reproducir en el laboratorio las geometrías de conteo del terreno correspondientes a cada aforo.

El trazador I^{131} era inyectado en el estanque en la misma forma que en las mediciones del río y afluentes. Posteriormente se verificaba la homogenización de la solución mediante conteo en distintos puntos del estanque. En todas las calibraciones hechas, la sonda se ubicaba en distintas posiciones y a distintas profundidades con lo cual se obtenían diferentes valores de F , los que eran graficados en función de la profundidad de la sonda, usando como parámetro la altura de agua en el estanque. De los gráficos, se obtenía posteriormente el valor correspondiente para cada aforo.

Como una de las conclusiones principales de esta parte del estudio se observa que para mejorar aún más la precisión de los aforos es fundamental el uso de un equipo adicional en terreno, formado por un estanque de paso y una motobomba que impulse el agua al recipiente. De esta manera la sonda se introduciría directamente al estanque en vez de sumergirla en el río, manteniendo así una geometría de conteo constante. Las ventajas son obvias, ya que por un lado se evita la calibración de la sonda en el laboratorio para cada aforo y por otro se mejora la precisión de la medida al eliminar el grado de indeterminación que significa tratar de reproducir en el laboratorio la geometría o características propias de la sección de aforo del cauce cuyo escurrimiento se está midiendo;

Fig No 2
ACONCAGUA EN CHACABUQUITO
CURVA DE DESCARGA





En relación a la sensibilidad de la sonda se ha podido comprobar que para evitar problemas de contaminación del agua, y trabajando siempre dentro de las normas permisibles, basta con inyectar una concentración de 1 mCi por cada m³/seg. que se desee medir. Vale decir que si se desea medir un caudal del orden de 100 m³/seg. se deberá inyectar una cantidad de 100 mCi de I¹³¹. Considerando que el costo unitario es del orden de US\$ 0.40/mCi, se tiene que para aforar dicho caudal se requiere una inversión de 40 dólares, valor que en realidad es superior debido a que los isótopos deben ser importados y por lo tanto pedidos con un cierto porcentaje adicional de actividad, de forma de disponer, en el momento del aforo, de la cantidad requerida.

De lo anterior se desprende que el aforo mediante isótopos puede alcanzar una gran precisión, ser de mucha utilidad particularmente para afinar las partes altas de las curvas de descarga de las principales secciones hidrométricas con que cuenta el país. Sin embargo, su alto costo hace que su uso sea restringido y empleado solamente en aquellos casos en que los métodos tradicionales presenten limitaciones.

Se programaron también aforos con isótopos en épocas de creces. En Enero de 1973, aprovechando el gran deshielo existente debido a la intensa pluviosidad anterior se pretendió aforar en Chacabuquito.

Debido al gran arrastre de sólidos de gran tamaño, éstos impactaron la sonda gamma cortando el cable y perdiéndose ésta en el río, imposibilitando la medición. En el futuro se recomienda efectuar este tipo de mediciones dentro de un estanque de paso y mediante una motobomba, tal como se explicó recientemente.

4.2. Hidrogeología

4.2.1. Isótopos estables, Tritio y C¹⁴

Para un mejor conocimiento de los acuíferos existentes en el Valle del Aconcagua, se pretendió mediante la

CONTINUACION PLANO 2

utilización de técnicas isotópicas, determinar el origen de la recarga, obteniéndose resultados bastante exitosos dada su concordancia con los métodos tradicionales.

Para una mejor observación del fenómeno de la recarga, se programaron mediciones cada 4 meses acordes con las diversas épocas hidrológicas del valle (precipitaciones, derretimiento de hielos, creces, etc.)

En la zona de Con-Cón se estimó necesaria sólo una muestra de C¹⁴ tendiente a detectar la existencia o no de recarga reciente en el acuífero.

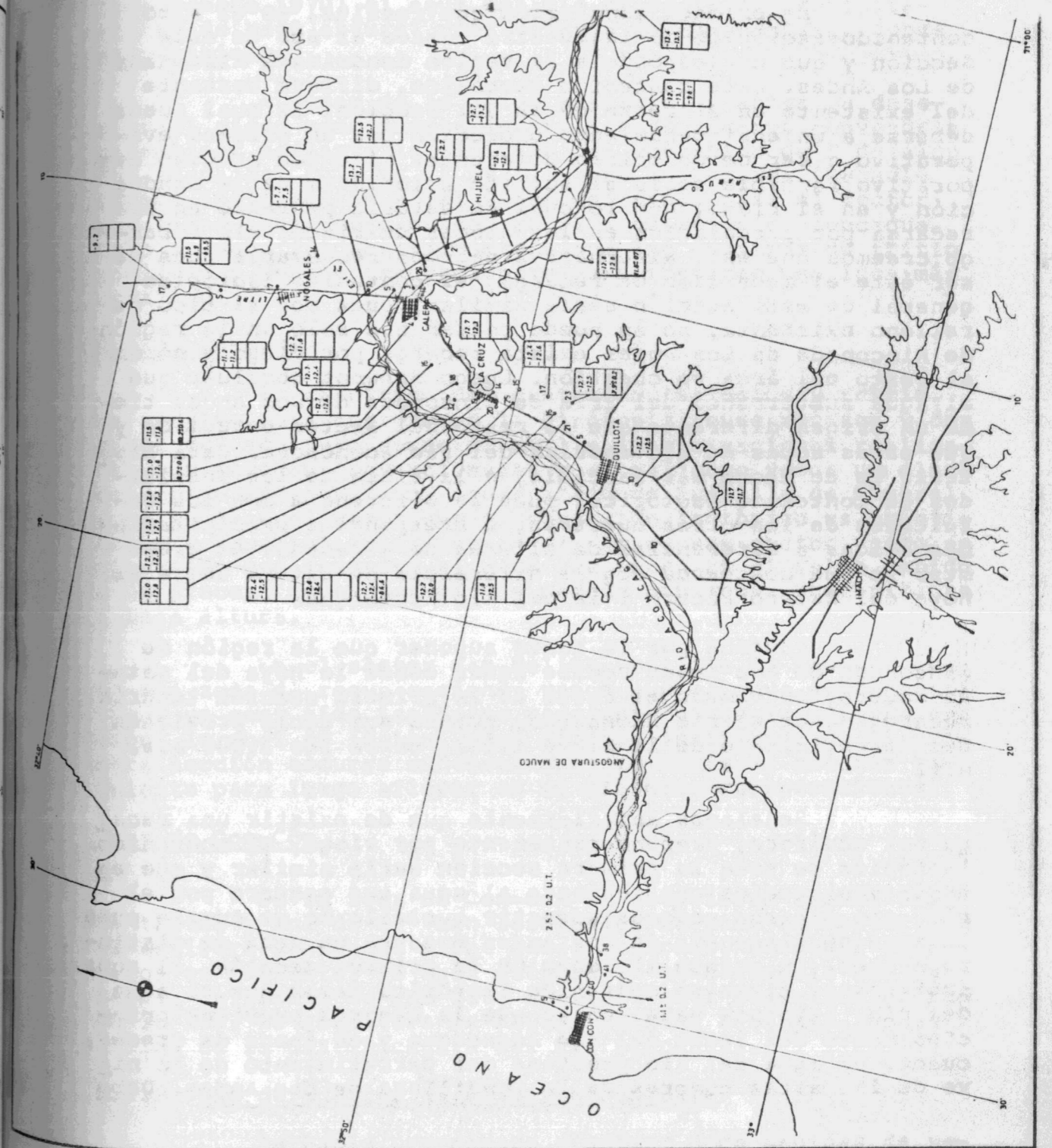
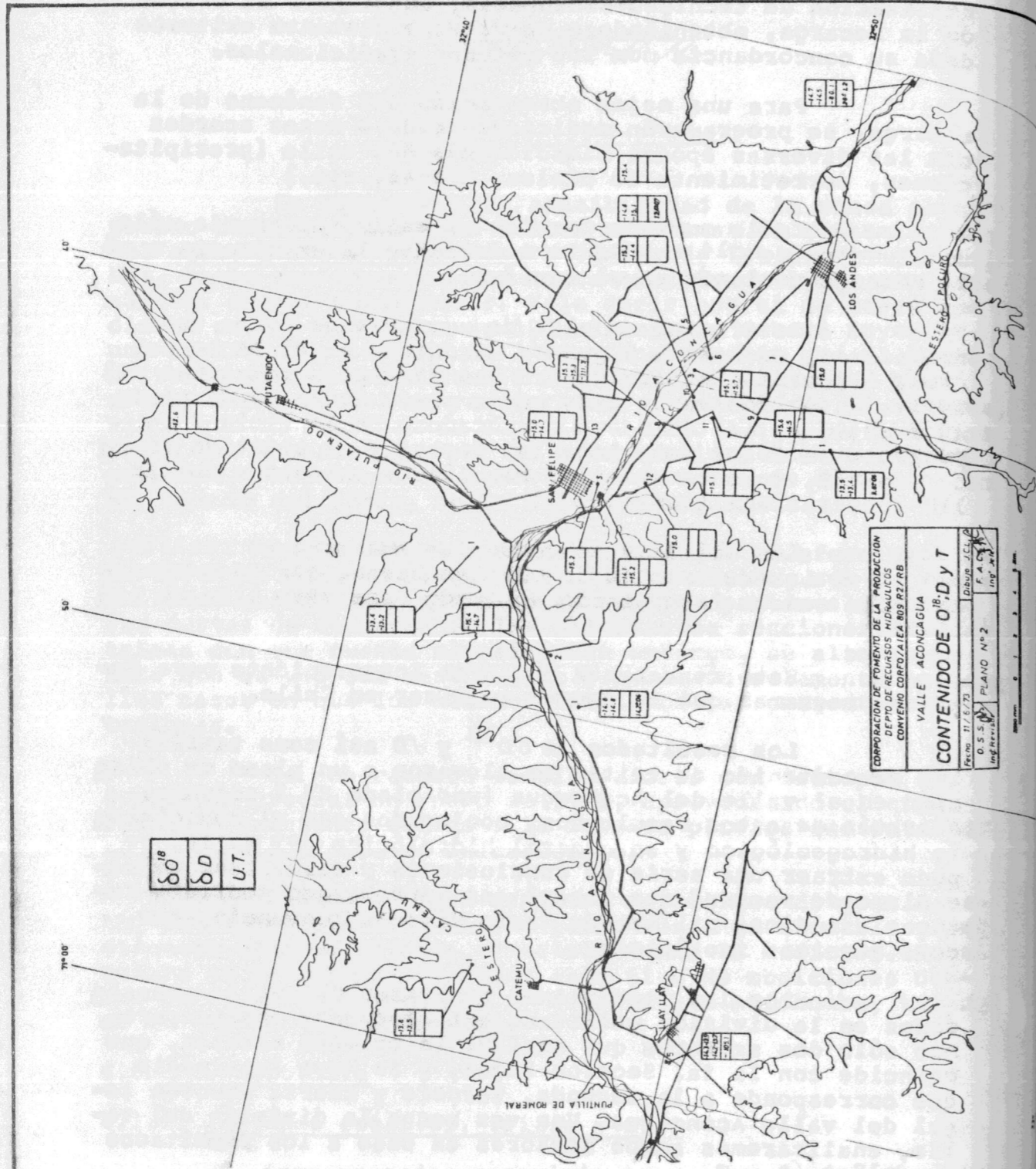
Se efectuó un plan de muestras de estos tres trazadores, en base a 6 puntos escogidos en el lecho del río y 61 pozos distribuidos en las distintas secciones del Valle. La ubicación de cada punto puede verse en el plano N° 2 adjunto, así como sus resultados. En la tabla 2 se presenta en forma detallada las fechas y el objetivo de cada muestra, como también los resultados obtenidos de las 118 muestras analizadas.

Los análisis de todas las muestras se realizaron en el Laboratorio de la OIEA en Viena, por no contarse en Chile con un laboratorio equipado para este tipo de análisis.

Esto representa un serio inconveniente para futuros programas que se deseen realizar en Chile.

Los resultados de δO^{18} y δD así como también los de contenido de tritio se llevaron a un plano de ubicación en el valle del Aconcagua (ver plano N° 2 adjunto). A través de estos resultados, conjugados con el conocimiento hidrogeológico y en general hidrológico del valle, se pudo extraer una serie de conclusiones y visualizar un mecanismo de recarga que deberá ser corroborado mediante futuros estudios, utilizando tanto métodos convencionales, como técnicas isotópicas.

Por las condiciones generales del valle y basándonos en la división utilizada anteriormente consideraremos sólo dos sectores que serían: la primera sección, que coincide con la 1a. Sección legal, y la Hoya Intermedia que corresponde a la segunda, tercera y cuarta sección legal del valle Aconcagua. Una vez hecha la división del valle, analizaremos ambos sectores en base a los resultados de δO^{18} y δD y T.



Primera Sección

La primera conclusión que resalta, es el alto contenido isotópico de la muestra tomada al sur de esta Sección y que corresponde a la región denominada Rinconada de Los Andes. Este contenido isotópico, difiere bastante del existente en el resto de la 1a. Sección, lo cual puede deberse a un enriquecimiento producido por un proceso evaporativo o ser de un origen diferente. El único proceso evaporativo factible sería el sufrido a lo largo de la conducción y en el riego, con lo cual se estaría pensando en una recarga por percolación en las épocas de riego; sin embargo creemos que esta alternativa debemos rechazarla pues de ser éste el mecanismo de recarga, el contenido isotópico general de esta sección sería similar, pues por el tipo de relleno existente, no se puede pensar que solo en la región de Rinconada de Los Andes exista recarga por riego y no en el resto del área en cuestión. Luego debemos concluir que el agua subterránea del área de Rinconada de Los Andes tiene un origen diferente que el resto del sector estudiado y que estas aguas no provendrían del río Aconcagua. Esta hipótesis es de hecho más factible, a la vista de los resultados de contenido isotópico, pues la diferencia con los resultados de las otras muestras, corresponde a precipitaciones caídas a diferencias de alturas de alrededor de 3.000 mts. lo que concuerda con la diferencia de altura entre la hoya del Estero Pocuro y la del Río Aconcagua.

Podemos por lo tanto suponer que la región de Rinconada de Los Andes recibe aguas desde la hoya del estero Pocuro, en cambio el resto de la primera sección tendría recarga desde el río Aconcagua, cuando sus aguas provienen del derretimiento de la nieve caída, sobre los 3.000 m.s.n.m.

Señalamos anteriormente que de existir una recarga del acuífero, preponderantemente por riego, el contenido isotópico de toda la primera sección sería similar y que estaría enriquecida con respecto al agua que escurre por el río, sin embargo podemos advertir que ello no se cumple pues la zona de Rinconada de Los Andes muestra un agua de distinto origen. En cuanto al resto de la primera sección, el agua subterránea tiene un contenido isotópico menor que el agua del río. Esto nos hace pensar que la recarga proviene principalmente del lecho del río Aconcagua y en época de creces, cuando el agua del Río proviene del derretimiento de la nieve de las altas cumbres de la Cordillera de Los Andes. Debe

mos considerar que en la época del muestreo principal (Septiembre 1970) el agua del río provenía de precipitaciones de baja altura, pues todavía no comenzaba la época del deshielo.

A pesar de lo antes expuesto, y antes de desecharse el riego como fuente importante de recarga convendría determinar mediante la medición del contenido de T de algunos sondeos, cuál es la real fuente de recarga (Regadío versus infiltración en el lecho del río), para el sector que tiene aguas cuyo origen es el agua del río Aconcagua. Esto se debe fundamentalmente a que las muestras de tritio analizadas fueron insuficientes para formarse una idea más detallada.

Hoya Intermedia

El resultado del contenido isotópico y tritio, ha servido para corroborar la hipótesis sobre recarga y descarga del acuífero deducida de las investigaciones realizadas por métodos convencionales y es así como vemos una clara conexión río-acuífero, aguas abajo de Puntilla de Romeral, zona en la cual vemos que el contenido isotópico es prácticamente igual al existente en el río en ese sector, pero enriquecido con respecto al agua que entra en el valle debido a un proceso de evaporación y mezcla con aguas precipitadas a baja altura.

En el sector San Felipe-Puntilla de Romeral que es una zona de recuperaciones vemos que el agua subterránea tiene un contenido isotópico semejante al de la primera sección, lo cual es lógico, pues el agua infiltrada en la primera sección escurre subterráneamente hacia la sección siguiente para luego aflorar en el río como recuperaciones.

Zona de Con-Cón

De la zona de Con-Cón se obtuvieron 2 análisis de tritio y uno de Cl^{14} con los cuales se pudo constatar que el acuífero confinado tiene aguas modernas, es decir la recarga es reciente, lo cual estaría en concordancia con la teoría existente de que este acuífero está conectado al río en la zona de angostura de Mauco, ubicada a 12 Kms. aguas arriba de la desembocadura del río Aconcagua.

4.2.2. Uso de equipos de Dilución Puntual.

Se había programado efectuar doce medidas de velocidad de escurrimiento y dirección de las aguas subterrá-

neas, en pozos ubicados en la tercera sección del Valle; sin embargo, por falla en el equipo, sólo se pudieron efectuar medidas de dirección en 9 pozos.

Los resultados de estas medidas, son los siguientes:

TABLA Nº 3

DIRECCION DE ESCURRIMIENTO

Rabuco - 2	.....	323º
Romeral	.....	152º
Ocoa - 3	.....	329º
San Antonio	.....	153º
La Capilla	.....	188º
Conchalí 2	.....	278º
La Quinta	.....	288º
El Progreso	.....	88º
Los Litres - 1	.....	90º

Estos resultados están expresados en grados sexagesimales y referidos al norte geográfico.

Los resultados obtenidos concuerdan plenamente con el sentido del escurrimiento obtenido mediante otras metodologías (Curvas de isonivel).

Cabe destacar el interesante resultado obtenido en el pozo Romeral, el cual discrepando con el sentido normal del escurrimiento vino a demostrar la influencia que la Galería Subterránea de las Vegas, ubicada sólo a 1 Km. aguas arriba del pozo, ejerce sobre las aguas subterráneas del Sector al desarrollarse el cono de Influencia.

5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El aforo mediante técnicas radio-isotópicas puede alcanzar gran precisión, para lo cual es requisito disponer en forma adicional en terreno, de un equipo motobomba y un estanque de paso.
- Se estima adecuada una concentración de 1 mCi de I^{131} por cada m³/seg. aforado. Evidentemente este valor dependerá directamente del grado de sensibilidad de la sonda.

- El aforo con isótopos resulta oneroso, por lo cual su uso debe ser restringido a aquellos casos en que el aforo con molinete resulta impreciso, como podría ser en caudales turbulentos.
- Se recomienda afinar mediante este método las partes altas, (creces), de las curvas de descarga que las secciones hidrométricas más importantes del país así lo justifiquen.
- Del análisis de contenido de O^{18} y D se puede suponer que el agua subterránea del sector de Rinconada de Los Andes recibe aguas desde el estero Pocuro y éste sería su fuente principal de recarga.
- El resto de la primera sección muestra un agua subterránea cuya procedencia es sin duda el río Aconcagua.
- Se recomienda efectuar análisis de contenido de tritio en 2 ó 4 puntos de la primera sección con el objeto de clarificar más la procedencia de la recarga. Se podrá especificar si la recarga se produce por riego o desde el lecho del río durante las creces.
- La tercera sección legal muestra una clara conexión río-acuífero, manifestado por la semejanza en el contenido isotópico del agua subterránea con el agua del río.
- El acuífero confinado de Con-Cón tiene recarga reciente y el contenido de tritio de las muestras señalan que la hipótesis de recarga desde la zona de Angostura de Mauco es factible.
- Las 9 experiencias efectuadas de direcciones de escurrimiento, determinadas con trazadores radioactivos (I^{131}), son consecuentes con las obtenidas por métodos convencionales.
- La utilización del método de dilución puntual para determinar la velocidad del escurrimiento subterráneo requiere de la construcción y habilitación de sondajes especiales, lo cual requiere una alta inversión que podría carecer de justificación, debido al grado de precisión de los resultados.
- La aplicación de las técnicas isotópicas es de gran utilidad, sin embargo su aplicación estará sujeta a la información que sean capaces de entregar los métodos convencionales.

- Para lograr una mayor agilidad en la obtención de resultados debería contarse en Chile con un laboratorio adecuado a los requerimientos.
- Mediante las experiencias realizadas en base a este contrato, se puede contar hoy en día en Chile con 3 profesionales especializados en esta nueva tecnología y con los equipos de terreno necesarios para efectuar las mediciones.
- Se desea en especial agradecer el interesante aporte técnico y financiero de la Organización Internacional de Energía Atómica, factor esencial para el correcto desarrollo de las experiencias.

BIBLIOGRAFIA

1. Experiencias de Recuperaciones en Río Aconcagua.
F.Rodríguez - CORFO
2. Influencia de Embalse Puntilla del Viento en los Recursos de la Hoya Intermedia del Río Aconcagua.
F.Rodríguez - CORFO
3. Principles of the Application of Nuclear Techniques^(*) to Hydrologic Investigations.
L.L.Thatcher
U.S.Geological Survey
4. Water Tracing in the Hydrologic Cycle
L.L.Thatcher
Reprinted from Geophysical Monograph No 11
5. Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology
I.A.E.A. - 1969
Technical Reports Series No91