

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION

R 9

HIDROGEOLOGIA DEL DEPARTAMENTO DE ARICA

CORPORACIÓN DE FOMENTO DE LA PRODUCCION

Departamento de Recursos Hidráulicos

Sección Aguas Subterráneas

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES GEOLOGICAS

Sección Aguas Subterráneas

C 797 h
1564
C.1

SANTIAGO DE CHILE

NOVIEMBRE 1966

Croquis

HIDROGEOLOGIA DEL

DEPARTAMENTO DE ARICA

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRAULICOS
SECCION AGUAS SUBTERRANEAS

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
GEOLOGICAS
SECCION AGUA SUBTERRANEA

SANTIAGO, 1966

01564

I N D I C E

	<u>Pág.</u>
INTRODUCCION	3
SISTEMA DE DRENAJE	4
Sistema Hidrográfico oriental	4
Sistema hidrográfico occidental	4
Cuenca de Escritos y Concordia	5
Cuenca de Lluta	5
Cuenca de Azapa	6
Cuenca de Vitor	6
Cuenca de Camarones	7
INFILTRACION Y ESCURRIMIENTO SUBTERRANEO	8
REGION DE LA CONCORDIA	8
Antecedentes	8
Descripción del área	8
Antecedentes geológicos	9
El agua subterránea	9
Recarga	9
Movimiento	10
Descarga	10
Capacidad de los sedimentos para transmitir y contener agua subterránea	10
Relación entre agua dulce y agua de mar	11
Avance del cono de depresión	11
Calidad química del agua subterránea	11
Recomendaciones	12
VALLE DE LLUTA	13
Antecedentes	13
Investigaciones efectuadas	13
Recomendaciones	14
VALLE DE AZAPA	15
Antecedentes geológicos	15
Propiedades hidrogeológicas	15
El agua subterránea	16
Recarga	16
Descarga	17
Fluctuaciones del nivel estático	18
Calidad química del agua subterránea	19
Desarrollo del agua subterránea	19
Conclusiones y recomendaciones	19
QUEBRADA VITOR	21

T A B L A S

- Tabla 1.- Registro de Pozos, Concordia
" 2.- Análisis químico del agua subterránea, Concordia
" 3.- Registro de Pozos, Azapa
" 4.- Registro de Norias, Azapa
Registro de Vertientes, Azapa
" 5.- Análisis químico, agua subterránea, Azapa
" 6.- Registro de Norias, Chaca y Vitor

F I G U R A S

- Fig. 1.- Mapa de Isoyetas del Depto. de Arica
" 2.- Perfil E-W en la Concordia
" 3.- Perfil E-W en el Valle de Azapa - 3a. Perfil EW entre los pozos 106 y 118.
" 4a.- Hidrogramas del Valle de Azapa
" 4b.- Hidrogramas del Valle de Azapa
" 5.- Aporte de agua superficial del río Lauca.

P L A N O S

- Plano 1.- Plano de Ubicación, cuencas hidrográficas
" 2.- Area de la Concordia
" 3.- Ubicación de pozos, Valle de Azapa

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

Han servido de antecedentes para la elaboración de este informe, los resultados del plan de perforaciones realizadas por la Sección Aguas Subterráneas de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), en la región de la Concordia y en los valles de Lluta y Azapa, e investigaciones de terreno de personal del Instituto de Investigaciones Geológicas.

Además de las regiones citadas se dan a conocer algunas informaciones de la quebrada Vitor, quedando excluido de este informe el sistema de Camarones.

La preparación y redacción de este informe estuvo a cargo de los Ingenieros Fernando Alamos Cerda, Octavio Castillo Urrutia de CORFO y Eduardo Falcón Moreno del IIG.

SISTEMA DE DRENAJE

En el departamento de Arica existen dos sistemas de drenaje superficial, uno que escurre hacia el este y otro hacia el oeste; la divisoria de aguas para estos sistemas lo constituye la cordillera Central.

De norte a sur los puntos más conspicuos de esta divisoria son: Cerro Caracarani, Nevado de Chuquiananta, Cerro Cosapilla, Macizo de Putre, Cerro Chapiquiña, Cerro Belén, Cerro Anorabe, Cerro Orcotunco, Cerro Anocarire, Cerro Chulluncallani, Cerro Chuquiananta y Cerro Guaiguasi. (Plano 1).

SISTEMA HIDROGRAFICO ORIENTAL

Corresponde a las cabeceras de dos cuencas que drenan hacia Bolivia, mas una cuenca cerrada. De norte a sur, la primera está drenada en su parte norte por el estero Colpas y el río Putani, y en su parte sur por el río Cosapilla y sus afluentes. Esta cabecera de cuenca tiene una superficie aproximada de 1.390 km². Los ríos Colpas, Putani y Cosapilla tienen corriente perenne.

La segunda cabecera de cuenca corresponde al drenaje del río Lauca y tiene una superficie de 2.440 km². El río Lauca tiene corriente perenne con un caudal promedio de 1.0 m³/seg. en el punto que abandona las ciénagas de Parinacota. (*)

En el sector nororiental de la cabecera de cuenca del Lauca, está la cuenca cerrada de la laguna de Chungará, que tiene una superficie de 310 km². En esta cuenta existe un drenaje subterráneo hacia la laguna de Cotacotani. La cuenca cerrada del salar de Surire tiene una superficie de 595 km².

SISTEMA HIDROGRAFICO OCCIDENTAL

Está formado, de norte a sur, por el drenaje de las quebradas Escritos y Concordia, y las cuencas de los ríos Lluta, Azapa, Vitor y Camarones. Estas cuencas tienen su nacimiento en la cordillera Central y drenan hacia el Pacífico.

El río Lluta tiene escurrimiento norte-sur desde su nacimiento hasta las cercanías del pueblo de Socoroma, desde allí cambia bruscamente su curso hacia el oeste.

(*) Inventario de Recursos Hidrológicos Superficiales de Chile, Publicación N° 12 Dirección de Planeamiento, Ministerio de Obras Públicas.

El río Tignamar ubicado en la cuenca de Azapa, desde su formación en la cordillera Central, hasta un poco al norte del pueblo de Pachani, tiene escurrimiento hacia el noroeste; luego de recibir varios afluentes menores, se forma la quebrada de Azapa, la que escurre hacia el oeste, habiendo variado también bruscamente su dirección de escurrimiento respecto de la quebrada de Tignamar.

Las dos últimas quebradas, Vitor y Camarones, no presentan este cambio de dirección, sino que desde su formación en la cordillera Central hasta el océano, escurren hacia el oeste. Esto obedece a un control estructural cuyos elementos más conspicuos son la sierra de Guaylillas y un sistema de fallas de dirección noroeste. La sierra de Guaylillas presenta en el extremo norte del departamento, alturas superiores a 4.000 m. y desciende hacia el sur; al sur de la quebrada de Azapa tiene alturas menores que 3.500 m., donde se extiende la pampa de Oxaya, que es un monoclinal en el que han labrado su curso las quebradas Vitor y Camarones. Al este de la sierra de Guaylillas y pampa de Oxaya, las cuatro quebradas mencionadas tienen cauces encajonados profundos, con pendientes fuertes; las planicies de estas quebradas son angostas, con delgado relleno aluvial, presentando escurrimiento torrentoso con poca posibilidad de infiltración. Desde la sierra Guaylillas y pampa Oxaya hacia el oeste, las quebradas tienen menor pendiente, son más abiertas y tienen más relleno aluvial, presentando posibilidades de infiltración.

Cuenca de Escritos y Concordia

La parte chilena de la cuenca de Escritos y la cuenca de la quebrada de Concordia o Gallinazos, tiene una superficie de 688 km². Estas quebradas se forman en el faldeo occidental de la sierra de Guaylillas, entre los cerros Lampallares y Alto de Puquios, y llevan agua solamente por tiempos muy cortos en años esporádicos.

Cuenca de Lluta

La cuenca del río Lluta tiene una superficie de 3.505 km².; es drenada por el río Lluta y sus afluentes Azufre, Guancarani, Curacarani y Chuquiama y las quebradas Allanes, Putre y Socoroma. El río Azufre nace a unos 4.800 m. sobre el nivel del mar al pie del volcán Tacora; su caudal medio es del orden de 1.0 m³/seg. en la estación de aforo de Alcérreca; las aguas de este río son fuertemente ácidas, tienen un pH entre 1,6 y 2,6; la conductividad eléctrica de las aguas varía entre 6.500 (marzo) y 21.500 (diciembre) micromhos, lo que equivale a 4.200 y 14.500 ppm. de sólidos disueltos; las aguas del río Azufre es el factor que más influye en la mala calidad de las aguas del río Lluta; el río Colpitas es la fuente que aporta mayor cantidad de boro.

El río Lluta tiene un caudal medio anual de 2,1 m³/seg. en la estación de aforo de Tocontasi (*1). Antes de recibir al río Azufre, el río Lluta tiene aguas alcalinas, pH 7,35 a 8,1; después es ácido, con pH entre 2 a 3.5.

(*1) Inventario de Recursos Hidrológicos Superficiales de Chile, Publicación Nº 22 Dirección de Planeamiento, Ministerio de Obras Públicas.

El río Lluta es una corriente perenne desde su nacimiento hasta su desembocadura. Aguas arriba de Jaramilla, a 80 Km. del mar, este río y sus tributarios forman cajones profundos. En Jaramilla, pasa por un cajón angosto cortado a unos 1.000 m. de profundidad a través del eje monoclinial de la sierra de Guaylillas. Aguas abajo de este punto, el valle se ensancha gradualmente, alcanzando hasta 1.500 m. de ancho cerca de Rosario. En la localidad de Molinos, el valle tiene una profundidad de 600 m. bajo la pampa Colorada, la que se inclina hacia el oeste de la sierra de Guaylillas; aguas abajo de Molino la profundidad del valle decrece gradualmente, siendo cerca de Chacalluta, de 250 m. bajo la pampa Colorada.

Cuenca de Azapa

La cuenca de Azapa tiene una superficie de 3.280 km². Es drenada por el río Azapa y sus afluentes principales Tignamar y Belén. El río Azapa lleva agua solamente en su parte superior; datos irregulares para los años 1937 - 1940, indican un caudal del orden de 1,9 m³/seg. en la estación de aforo de Livillar (ubicada a 70 km. del mar) (1*). Esporádicamente el río San José (parte baja del Azapa) llega al mar, lo que ocurre cada 4 ó 5 años, y generalmente por unos pocos días o semanas.

En la quebrada de Azapa, desde la localidad de Cabuza (27 km. del mar) hasta la costa se encuentra la mayor parte del área agrícola, la que es regada principalmente con agua subterránea.

En marzo de 1962 entré al valle de Azapa el aporte de agua del canal Lauca, cuyo caudal aún no se ha normalizado, sufriendo una serie de interrupciones provocadas principalmente por problemas ocurridos en el túnel. (2*)

Cuenca de Vitor

Esta cuenca tiene una superficie de 2.260 km². El río Codpa, que drena la quebrada Vitor, está formado por la unión de varios cauces menores que nacen en los faldeos de los cerros Familiani, Orcotunco, Anacorire y Talapacheta, los que se encuentran a distancias entre 130 a 150 km. de la costa.

(1*) Inventario de Recursos Hidrológicos Superficiales de Chile, Publicación N° 12 Dirección de Planeamiento, Ministerio de Obras Públicas.

(2*) Información proporcionada por ENDESA sobre interrupciones del escurrimiento en el canal Lauca:

Marzo 1963: La Dirección de Riego cortó escurrimiento para realizar trabajos en el interior del túnel. No se conoce la duración de esta corta, pero el 5 y 6 de marzo el túnel estaba seco.

Noviembre 1964: Para inspeccionar y probar el túnel, se cortó el escurrimiento por algunas horas los días 14 y 15 de Noviembre.

Febrero 1965: Para concretar tapón antes de bocatoma ENDESA, se cortó el escurrimiento entre el 22 de febrero y el 22 de marzo.

Mayo de 1965: Se tapó tubo de desviación de 50 cm. y no se conoce plazo exacto que el escurrimiento estuvo cortado.

Febrero 1966: Para ejecutar trabajos de mejoramiento en el túnel, se cortó el agua entre el 10 de Febrero y, al parecer, el 10 de marzo, (hay carta solicitando prórroga por 15 días).

Julio 1966: Se cortó el escurrimiento entre el 18 y el 30 de Julio para demoler tapón anterior a la bocatoma.

En los meses de Septiembre, Octubre y Noviembre de 1966 se limitó el caudal a unos 0,45 - 0,50 m³/seg. para poder trabajar en el túnel.

El río Codpa es perenne hasta la villa de Codpa, a unos 75 km. del mar. Aguas abajo de Codpa el río es efímero y lleva agua solamente durante los meses de verano.

La quebrada de Vitor recibe por el norte a unos 70 km. del mar, a la quebrada Apanza y a unos 20 km. del mar a la quebrada Garza.

Caudal del río Codpa, cerca de Codpa

Enero	-	Abril	más de 300 lts/seg.
Mayo	-	Agosto	250 a 200 "
Sept.	-	Octubre	200 a 130 "
Noviembre			130 a 40 "
Diciembre			40 a 20 "

Cerca de Codpa la quebrada está cortada a unos 450 m. de profundidad. Esta parte es una zona de cultivo de 12 km. de largo y un ancho máximo de 150 m. En la localidad de Chaca, a unos 25 km. del mar, el valle está cortado a unos 400 m. bajo la pampa de Chaca por el norte y la pampa de Camarones por el sur. En el sector de Chaca, de unos 9 km. de longitud, el ancho máximo del valle fluctúa entre 300 y 500 m. Al llegar al mar, cerca de Caleta Vitor, por un largo de unos pocos kilómetros, tiene un ancho máximo de 250 m. Estas son las tres únicas partes del valle apropiadas para la agricultura. Desde Codpa hasta el mar la pendiente media del valle es de 2,5%.

Cuenca de Camarones

La cuenca de Camarones tiene una superficie de 2.665 km².

El río Camarones tiene como tributarios los ríos Caritaya y Ajatama, los que tienen caudales promedio de 0,5 m³/seg.

El río Camarones tiene caudal perenne hasta el mar. Las crecidas ocurren durante el verano. En los períodos de menor caudal el río llega al mar con alrededor de 25 lts/seg. Desde la localidad de Taltape, a unos 63 km. del mar hasta la localidad de Cuya, a unos 10 km. del mar, el valle está cortado entre 700 y 800 m. bajo la pampa de Camarones (al norte) y la pampa de Chiza (al sur). Ambas pampas tienen pendientes hacia el oeste.

Aguas abajo de la angostura de Huancarane, a unos 65 km. del mar, el río entra a un valle angosto. Este valle tiene anchos variables entre 25 y 700 m. Desde Taltape el valle tiene una pendiente media de 1,3 % hasta el mar.

Unos 8 km. aguas abajo de Taltape, la quebrada de Camarones recibe por el norte la quebrada de Humayani, y unos 11 km. aguas arriba de la caleta de Camarones recibe por el sur la quebrada de Chiza.

El agua del río Camarones tiene alto contenido salino proveniente de vertientes y tributarios situados cerca de su origen. A una distancia de 20 a 25 km. del mar, existe un aumento de salinidad, con impregnación de sulfato de aluminio.

INFILTRACION Y ESCURRIMIENTO SUBTERRANEO

Según las líneas de isoyetas (fig.1), existen en el departamento de Arica dos zonas bien diferenciadas en cuanto a precipitación; estas zonas están separadas por la sierra de Guaylillas; desde esta sierra hacia el este, la precipitación tiene valores entre 200 y 600 mm/año y hacia el oeste, la precipitación decrece hasta valores cercanos a 1 mm/año en el sector de la costa.

Las líneas de isoyetas presentan en forma general dirección nor-noroeste, que coincide con la dirección de la sierra de Guaylillas.

A juzgar por las características climáticas, y vegetacionales y morfológicas del departamento, se estima que la evaporación es bastante alta, pero los únicos datos que pueden ser usados en un estudio hidrológico, son los registrados por la Oficina Meteorológica de Chile en la estación Cotacotani, la cual en el año 1964 registró un valor de 1.364 mm. anuales de evaporación. Esto indica que la evaporación potencial es excesivamente alta en comparación con la precipitación, y por tanto la tasa de infiltración de agua queda altamente disminuída.

En general, las rocas expuestas en el departamento, tanto sedimentarias como volcánicas, conglomerados, brechas, tobas, y arsénicas, son poco permeables, debido a que están muy cementadas. Sin embargo, las rocas volcánicas presentan sistemas de grietas que favorecen en parte la infiltración de aguas de lluvias, la que finalmente escurrirá subterráneamente a cauces mayores. El agua de precipitación que escurre sobre el terreno, va hacia los cauces menores, esteros y quebradas, donde se infiltra en los rellenos aluviales moderno.

Anteriormente se ha expresado que hacia el este de la sierra de Guaylillas las quebradas presentan cajones profundos, de pendientes elevadas y muy poco relleno aluvial; mientras que hacia el oeste las quebradas presentan valles poco profundos, más anchos y con mayor relleno aluvial; es entonces en este último sector donde existen mejores condiciones para el escurrimiento subterráneo.

- o - - - - - o - - - - - o -

REGION DE LA CONCORDIAAntecedentes

Por Ing. Octavio Castillo U.

La sección Aguas Subterráneas de CORFO, inició en el año 1959, el estudio de las posibilidades de agua subterránea en la región de la Concordia, como consecuencia de la escasez de agua que se hacía notar en la zona de Arica. Hasta el presente (Octubre de 1966) se han realizado 17 perforaciones con un total de 3.395 m. perforados.

Descripción del área

En el presente estudio se describe como región de la Concordia (plano no 2), el área limitada al norte por la línea de la Concordia (límite Internacional Chile-Perú), al sur por el río Illuta, al este por la carretera Arica-Tacna (Carretera Panamericana) y al oeste por el océano Pacífico. El área descrita tiene una superficie de 55 km². Esta región corresponde a parte de una planicie de-

sarrollada en las cercanías del mar, modelada por la acción del agua y el viento, cubierta por materiales detríticos de tamaño de arena gruesa con abundante cuarzo. La mayor parte de esta superficie es bastante plana, con algunas pequeñas ondulaciones, presenta una inclinación hacia el mar de aproximadamente 11 m/km. y está atravesada por dos cursos intermitentes que han horadado cauces de 2 a 3 m. de profundidad; la quebrada de Escritos en el sector norte y la quebrada de Concordia a unos 2 km. al norte del río Lluta. En algunos sectores cercanos al mar se encuentra una costra salina superficial de unos pocos centímetros hasta 1 m. de espesor.

La planicie de la Concordia está interrumpida hacia el mar por un barranco distante 500 m. de la costa en la parte norte y 1.000 m. en la parte sur. La franja costera situada entre el barranco y el océano desciende rápidamente hacia el mar y se observa en ella una esparcida vegetación natural.

Antecedentes Geológicos

La región de la Concordia está situada en una fosa tectónica producida por fallas. De acuerdo con los estudios geológicos realizados por el IIG en el departamento de Arica, se ha podido establecer la existencia de un sistema de fallas que han producido una tectónica de bloques, con corridas entre N° 17°W y N° 32 W, y buzamiento hacia el norte. Además otro sistema de fallas este-oeste ha afectado la región produciendo un descenso del lado norte, esto ha provocado el desaparecimiento de la Cordillera de la Costa en la región (al norte del Morro de Arica).

Las capas de kieselguhr ubicadas aproximadamente 190 m. sobre el nivel del mar, indican la existencia de una planicie continua con escaso drenaje que existió hasta que gran parte de ella fué hundida. El último episodio geológico de la región es un solevantamiento variable entre 35 m. en la parte sur, hasta 15 m. en el extremo norte.

Los sedimentos atravesados por las perforaciones corresponden a materiales riolíticos que provienen de la erosión de los materiales retrabajados de la formación Oxaya, que aflora mas al este; en el pozo 9 se han cortado capas marinas formadas por ripio, arena y conchas, o bien conchas cementadas, a las profundidades de 4-11 m., 25-26 m., 65-69 m., 106-116 m. El espesor total de estos materiales que rellenan esta fosa se desconocen, siendo la profundidad máxima reconocida de 430 m. (pozo 7).

El agua subterránea

Los pozos perforados en el área han encontrado el agua subterránea saturando los materiales que rellenan esta fosa. No se han reconocido acuíferos confinados; la mayor parte de los pozos han sido habilitados en un estrato de más o menos 10 m. de espesor situado entre los 120 y 130 m. de profundidad (tabla 1).

Recarga

De acuerdo con las curvas de la superficie freática, a la región de la Concordia concurren dos corrientes de agua subterránea; una proveniente desde el

noreste (Perú) y la otra desde el sureste (quebrada de Concordia y valle de Lluta). La primera de estas corrientes escurre bajo un gradiente hidráulico de aproximadamente 1,1 por mil y correspondería a aguas infiltradas en el cono aluvial del río Capli (valle de Tacna). Las aguas del sureste posiblemente infiltradas en su mayor parte en el curso inferior del río Lluta, y parte en el lecho de la quebrada de la Concordia, escurren bajo gradientes entre 2,4 a 8 por mil.

Movimiento

De acuerdo con las líneas de flujo, se puede establecer que las aguas procedentes del noreste alcanzarían hasta unos 500 m. al norte del pozo 6, y las aguas del sureste ocuparían el sector inmediatamente al sur hasta el río Lluta. Las líneas de flujo pasan muy separadas por la zona del pozo 5, esto significa que el agua que pasa por dicha zona es relativamente escasa, lo que explica el bajo rendimiento obtenido en este pozo.

Las temperaturas del agua subterránea son del orden de 29 a 31° C, mientras que la temperatura media anual es 20,2° C (1957). Este hecho estaría indicando, por una parte, una procedencia del agua desde profundidades entre 300 a 360 m. de acuerdo a un gradiente termal normal, sin embargo se sospecha que en la región existe un gradiente termal muy superior al normal, que le transmite calor a las aguas subterráneas.

Descarga

El agua subterránea es descargada en el océano. En la costa, entre el río Lluta y el límite Internacional, existe una franja con vegetación discontinua que indica una zona de descarga del agua continental. Es probable que la descarga continúe bajo el nivel del mar, hasta una distancia donde se establezca el equilibrio entre la columna de agua salada y la presión del agua dulce..

Capacidad de los sedimentos para transmitir y contener agua subterránea

La propiedad de los sedimentos saturados de transmitir agua es medida por el coeficiente de transmisibilidad. Este coeficiente indica la mayor o menor facilidad con que el acuífero entrega agua a un pozo perforado. La capacidad de los sedimentos de contener el agua que recibe, es medida por el coeficiente de almacenamiento. Ambos coeficientes han sido determinados en el conjunto de pozos 1, 2 y 3, y en el pozo 4, mediante pruebas de rendimiento de acuíferos.

Los resultados de estas pruebas de bombeo dan para los pozos 1, 2 y 3 un coeficiente de transmisibilidad (T) medio de 10.000 m³/día/m., y un coeficiente de almacenamiento (S) medio de 2 x 10⁻³, que indica un acuífero de condiciones semi artesianas, hecho explicable ya que la zona habilitada se encuentra bajo una columna de material saturado de aproximadamente 100 m. De los datos del pozo 4 se obtuvo una transmisibilidad media de 700 m³/día/m., y un coeficiente de almacenamiento medio de 1,4 x 10⁻⁴.

Esto indica que en la zona del pozo 4, el acuífero presenta menor capacidad para transmitir agua que en la zona de los pozos 1, 2 y 3.

Al área de los pozos 1, 2 y 3 se considera excepcional en la zona de estudio, ya que las curvas de la superficie freática señalan que a ella llega una concentración de flujo de aguas subterráneas.

Relación entre agua dulce y de mar

El agua subterránea en la región tiene un gradiente hacia el mar, lo que indica que la descarga es en el océano. Los principios básicos que rigen la relación entre el agua dulce y el agua salada, fueron establecidos por Ghyben, Herzberg y otros. El agua dulce tiende a aflorar sobre el agua salada, debido a que su peso específico es menor. La posición del contacto entre el agua dulce y salada (interfase), en el material de relleno, está determinada por la diferencia entre las cargas y por el peso específico relativo. Considerando un peso específico de 1,025 para el agua de mar, este equilibrio indica que por cada metro de columna de agua dulce sobre el nivel del mar, la posición de la interfase se ubicará a 40 m. bajo el nivel del mar. La interfase en la Concordia, de acuerdo a esta relación 1:40 se ilustra en la fig. 2 que representa un perfil este-oeste que pasa por los pozos 2, 4 y 5. De estas consideraciones se desprende que los pozos de explotación deben situarse en aquellas zonas donde la interfase se encuentre a profundidades, es decir, lejos de la región costanera.

Avance del cono de depresión

La forma del cono de depresión que se genera al bombear un pozo, está determinada por los coeficientes de transmisibilidad y almacenamiento.

Mediante los valores de T y S obtenidos en el sector de los pozos 1, 2 y 3, se determinó que si en el pozo 2 se extraen 50 lts/seg. al término de 5 días de bombeo, se tendría a una distancia de 1.200 m. que es igual a la distancia del pozo 2 a la playa, una depresión de 0,12 m. bajo el nivel del mar. Si se extraen 100 lts/seg., al término de 5 días esta depresión sería de 0,24 m. Además la posición de la interfase en la parte baja del pozo, empieza a subir en forma de un cono invertido. Estos valores calculados, aunque en parte teóricos, indican la posibilidad de intrusión de agua de mar hacia los pozos 1, 2 y 3, si ellos se someten a un bombeo excesivo continuo.

Calidad química del agua subterránea

La calidad química del agua subterránea de la región de la Concordia, ha sido reconocida mediante el análisis de 34 muestras de agua, realizados en el Laboratorio Químico del IIG (tabla 2).

Se pueden establecer tres tipos de agua:

- 1.- Aguas de contenido salino variable entre 600 y 800 mg/lts. y que proceden del noreste.
- 2.- Aguas con contenido salino cercano a 2.600 mg/lts. provenientes de la recarga del río Lluta.
- 3.- Aguas resultantes de la mezcla de los dos tipos anteriores.

En las aguas de esta región los ácidos fuertes (SO_4 y Cl) exceden a los ácidos débiles (CO_3).

Durante la prueba de bombeo realizada en el pozo 2, en Octubre de 1960, en el cual se bombeó un caudal constante de 150 lts/seg., durante 5 días, se observó una variación del contenido salino del agua extraída, desde 696 mg/lt., al comienzo de la prueba, hasta 835 mg/lt. al final del bombeo. La variación media del contenido salino resultó aproximadamente logarítmica con respecto al tiempo de bombeo, hasta cerca de las 60 horas, donde alcanzó el valor de 835 mg/lt.,

que se mantuvo constante hasta el final de la prueba. Este hecho indica que el aumento del contenido salino, hasta las 60 horas de bombeo, es similar al avance del cono de depresión. En la prueba de bombeo realizada el 1º de Octubre de 1963, se obtuvo después de 215 horas, un contenido salino de 1.020 mg/lit. Lo mas probable, es que al extenderse el cono de depresión, provocado por el bombeo en los pozos 1 y 2, se haya captado aguas de contenido salino más alto.

Recomendaciones

De acuerdo con los antecedentes disponibles, se recomienda:

- 1.- La explotación de los pozos 4, 8 y 9 con un gasto para el conjunto no superior a 150 lts/seg. Esta explotación se debe iniciar con gasto menor, incrementándose hasta alcanzar el máximo indicado, de modo de ir observando el comportamiento del acuífero, como también el posible efecto de salinización.
- 2.- El pozo 7 puede dejarse como pozo de observación del avance del cono de depresión, como también para observar la variación de salinidad de agua procedente del sureste.
- 3.- Los pozos 1, 2 y 3 y 6, se pueden utilizar como pozos de observación del avance del cono de depresión, pero especialmente para controlar la salinización de agua, como consecuencia de la posible intrusión de agua de mar.

VALLE DE LLUTAAntecedentes

El área del Valle considerada en este estudio, se extiende desde Boca Negra (50 km. del mar) hasta su desembocadura en la planicie de la Concordia, donde ha desarrollado un amplio cono aluvial.

Se han efectuado perforaciones exploratorias para agua subterránea en varios lugares desde Boca Negra hasta la desembocadura; los resultados de estas investigaciones han sido negativos.

Investigaciones efectuadas

En Boca Negra, en el año 1963, Corfo perforó el pozo 437 hasta una profundidad de 100 m. el perfil de terreno es el siguiente:

DESDE	HASTA	MATERIAL
0 m.	5 m.	Arena y ripio (filtraciones)
5 m.	13 m.	Cenizas volcánicas, arcillas y bolones.
13 m.	48 m.	Arcilla, algo de arena, ripio y bolones.
48 m.	100 m.	Roca (liparita).

El 6 de Junio de 1963 se efectuó una prueba de bombeo con ranurado entre 33 y 38 m. se bombearon 5 lt/seg. y el pozo se agotó en 10 minutos. El agua tenía dureza total de 741 mg/lt. de CaCO_3 y 1.832 mg/lt. de sólidos disueltos.

En la localidad de Rosario, en la Colonia Julio Fuenzalida, Corfo perforó el pozo de estudio 373 hasta una profundidad de 322 m. Los primeros 15 m. atravesados por este pozo, representan los materiales mejores de toda la secuencia; sin embargo, ellos fueron capaces de producir sólo una exigua cantidad de agua. Desde los 15 hasta los 71 m. se encontraron materiales gruesos en una abundante matrix limo-arcillosa; desde los 71 m. hasta la roca basal situada a los 325,50 m. se atravesó una secuencia arcillosa, con sólo pequeñas interrupciones.

En la Dirección de Riego se perforó tres pozos en la localidad de El Carmen (12 km. del mar), en la Colonia Luis Arteaga de la Caja de Colonización Agrícola.

El terreno atravesado es el siguiente:

Lluta	DESDE	HASTA	MATERIAL
Lluta 1	0 m.	29 m.	grava, arena y bolones
	29 m.	62 m.	arena, arcilla y grava
Lluta 2	0 m.	12 m.	grava, arena y bolones
	12 m.	20 m.	grava, arcilla y arena
	20 m.	55 m.	arcilla, arena y grava
Lluta 3	0 m.	16 m.	arena, grava y bolones
	16 m.	30 m.	arcilla, arena y bolones
	30 m.	35 m.	arena, gravilla y arcilla
	35 m.	51 m.	arena y grava
	51 m.	191 m.	arcilla, arena y grava

No se tienen antecedentes sobre acuíferos ubicados en El Carmen, parece que sólo se ubicaron filtraciones menores.

El hecho de que el relleno de este valle contenga poca agua subterránea en el sector Boca Negra - El Carmen, se debe a que el material del relleno no es adecuado para ser alimentado, debido a su baja permeabilidad, que en parte se atribuye a la precipitación de sales.

En el cono aluvial del río Lluta, desarrollado en la planicie de la Concordia, se produce algo de infiltración, posiblemente por un mejor acondicionamiento de la granulometría de los materiales.

Recomendaciones

Considerando que el problema hidrológico del valle de Lluta no es la cantidad de agua, sino su calidad, y los resultados poco alentadores de la prospección de agua subterránea, se recomienda estudiar las fuentes contaminantes del agua superficial mediante análisis sistemáticos, para determinar si existe un sector o sectores rocosos contaminantes, que podrían ser aislados mediante canalizaciones, o bien por desviación del caudal contaminante.

VALLE DE AZAPAAntecedentes geológicos

El curso inferior del Valle de Azapa, desde Sobraya al mar, se ha desarrollado cortando las formaciones Azapa y Oxaya. La pendiente del valle es menor a la de estas formaciones, luego la planicie aluvial se ha formado en sectores de ella.

La formación Azapa está constituida principalmente por un conglomerado de clastos redondeados, regularmente consolidados de andesitas, riolitas y brechas, con matriz arenosa, y proveniente de las formaciones mesozoicas.

Esta formación es cortada por el valle desde aguas arriba de Sobraya, hasta cerca de la localidad de Cabuza. En Cabuza el valle corta un intrusivo de granodiorita, angostándose en dicho lugar a 700 m. Aguas abajo de este punto el valle corta la formación Oxaya, que está en concordancia sobre la formación Azapa. La formación Oxaya está constituida principalmente por sedimentos volcánicos retrabajados.

Los sedimentos de las formaciones de Oxaya y Azapa tienen bajo índice de permeabilidad de tal modo que en relación al relleno aluvial, y para los fines prácticos del desarrollo de agua subterránea, se pueden considerar como piso impermeable.

El relleno moderno que forma la planicie aluvial en el sector considerado tiene espesores entre 50 y 70 m. (fig 3), y está constituido por ripio grueso a medio, con cantidades variables de arena, limo y arcilla, se considera que el espesor saturado del relleno moderno es muy reducido en la región de Sobraya. Como consecuencia de que el nivel de saturación en la zona es profundo (50-65 m. bajo suelo). Estos materiales se encuentran en capas alternadas, en disposición lenticular, de modo que cuando el limo y arcilla no están presentes, o se encuentran en pequeñas proporciones, el material tiene buena permeabilidad y si ellos están saturados, los pozos allí perforados obtienen buenos rendimientos.

El relleno fluvial reciente se ha mezclado en parte con materiales provenientes de afluentes laterales y deslizamientos de la formación Oxaya, como es el caso de la quebrada del Diablo, en que materiales de esa quebrada han invadido el valle, interestratificando su cono con el fluvial del río y produciendo una disminución de la permeabilidad.

En el sector Cabuza-Puente Saucache, el valle tiene un ancho medio de 1.300 m., el que es variable entre 700 y 2.200 m., con una pendiente media de 1,7 %. La sedimentación se produjo en un régimen más tranquilo, originándose un relleno más homogéneo con permeabilidades más uniformes y mejor capacidad de almacenamiento de agua.

CHILE
EL AGUA SUBTERRANEA

El agua subterránea en el valle de Azapa, se encuentra bajo condiciones freáticas o libres, saturando parte del relleno aluvial reciente.

Recarga

El agua subterránea que escurre en el relleno aluvial reciente, proviene de las precipitaciones ocurridas en la sierra de Guaylillas, en la cabecera del río San José, constituida por las quebradas Seca, Chusmiza, Chapiquiña y Tignamar. El agua que escurre superficialmente en el valle de Azapa, se infiltra en la planicie aluvial aguas abajo de Humagata. Durante el período de estiaje la mayor parte del agua superficial que proviene de aguas arriba es infiltrada en un sector aguas abajo de Humagata, pero durante las creces del río el agua es infiltrada en el lecho y las zonas de inundación, llegando al mar el sobrante; por otra parte durante las avenidas del río San José los agricultores del valle inundan sus predios favoreciendo con ellos la infiltración, lo que significa un mejor aprovechamiento del agua de estas avenidas. "En la crecida del río San José, ocurrida entre el 24 de Enero y 3 de Marzo de 1961, se estimó un caudal de 22 millones de metros cúbicos, de los que 13 millones se perdieron en el mar. Durante la crece se regó casi la totalidad de la superficie útil del valle, unas 1.800 Há. con una tasa del orden de 1,2 lt/seg/Há. En una crece normal escurren unos 5 millones de metros cúbicos de agua, no alcanzando ésta a llegar al océano". (P. Kleimann, J. Torres, MOP., 1961).

En la avenida del río San José ocurrida entre el 1º de Febrero y el 30 de Marzo del año 1963, personal de la sección Aguas Subterráneas de Corfo destacado en Arica, aforó un caudal de 11 millones de m³ que se vaciaron al mar, durante estos días los agricultores del valle inundaron sus predios.

Se debe destacar el hecho de que el agua vaciada al mar en la avenida del año 1963, representa un caudal constante de 350 lt/seg. durante un año, y sin lugar a dudas su aprovechamiento total o parcial en forma económica, podría representar un alivio positivo al problema de falta de agua en el valle.

Una de las formas recomendables para el aprovechamiento de las aguas de estas avenidas es inducir las a infiltrarse para alimentar los acuíferos del valle y almacenarlas allí para ser posteriormente bombeadas; estimándose que el método de esparcimiento (Water Spreading) es física y económicamente factible en el valle.

En Marzo del año 1962 empezaron a llegar al valle las aguas del canal del Lauca, en un promedio de 500 lt/seg.^(*); ellas son vertidas a la quebrada de Chusmiza, escurriendo superficialmente hasta Humagata donde parte se infiltra; posteriormente el agua no infiltrada del Lauca es captada aguas abajo de la localidad de Ausipar por el canal de la Dirección de Riego que las lleva hacia la parte inferior del valle. Estas aguas han tenido un efecto de recuperación de niveles en los pozos situados en el sector del valle entre Cabuza y Pago de Gómez, hecho explicable por dos razones:

- a) La utilización de aguas del Lauca en el regadío, que alivió la extracción de los pozos que iniciaron una etapa de recuperación.

(*) Canal Lauca en Km. 3.3

b) Recarga neta del agua infiltrada por el Lauca.

Descarga

El agua subterránea que escurre en el relleno reciente del valle es descargada por pozos que extraen agua para el regadío agrícola y para usos domésticos e industriales de Arica. En la región costanera se observa una descarga de agua dulce que aflora en las arenas alimentando una franja de vegetación.

Entre Cabuza y el océano Pacífico existen registrados un total de 61 pozos perforados, 57 norias y 7 vertientes (plano 3, tablas 3 y 4). La mayoría de los pozos y norias se encuentran en explotación.

"En 1961 el área normalmente regada con agua subterránea era del orden de 800 Há., con un gasto continuo de 400 lts/seg. y una tasa de riego de 0,5 lt/seg/Há. En el mes de Abril de 1961 se realizó un aforo de 68 pozos, estimándose un gasto instantáneo de 685 lt/seg." (1*)

Se estima que actualmente existe una extracción total de agua subterránea de alrededor de 600 lt/seg.

En el valle de Azapa se da el nombre de "vertientes" a afloramientos naturales de agua, como también a algunas galerías de captación que producen agua por desnivel hacia la superficie del terreno, en zonas de nivel freático alto.

En el área considerada estas vertientes se agrupan en tres sectores, ubicados desde aguas arriba hacia aguas abajo, el primero frente a la quebrada del Diablo, el segundo en Albarracines y el tercero en Pago de Gómez. El origen de estas vertientes, se debe en el caso de las vertientes San Miguel y Concepción, a una disminución de la permeabilidad provocada por aporte de materiales heterogéneos de la quebrada del Diablo. Las vertientes de Albarracines y del Estanque se ubican en el sector de Albarracines, y las vertientes El Gallito, Media Luna y Mita Chica se ubican en el sector Pago de Gómez, ellas se originan por una disminución de la sección filtrante del valle que obliga al agua que proviene de la parte superior a acercarse a la superficie y finalmente a aflorar volviendo nuevamente a infiltrarse una vez pasada la sección restringente.

Este hecho es de fundamental trascendencia para la explotación del agua subterránea en el valle ya que si se bombea un sondeaje ubicado aguas arriba de la vertiente San Miguel, el agua obtenida puede utilizarse en el regadío de ese sector, volviendo al acuífero una parte de ella mediante infiltración.

Esta agua así infiltrada escurrirá subterráneamente hacia aguas abajo, pudiendo ser extraída nuevamente en otro sondeaje como ser en la zona de Pago de Gómez o Saucache; se estima que en esta forma, en la actualidad, el agua subterránea del valle de Azapa es usada tres o más veces, lo que involucra en sí un buen aprovechamiento del recurso agua.

En caso de que en el futuro se construya en este valle una canalización que permita llevar el agua en forma directa desde Cabuza u otra zona cercana a ella, hasta la ciudad de Arica, se habrá interrumpido el actual régimen de escurremiento y se dará sólo un uso al agua así extraída, lo que evidentemente repercutirá haciendo disminuir el área de riego.

(1*) El agua subterránea en el valle de Azapa, P. Kleimann, J. Torres, MOP, 1961.

Fluctuaciones del nivel estático

Hasta antes de la llegada de las aguas del canal Lauca, (marzo 1962), existía en la zona una franca declinación de los niveles de agua en los pozos. En el sector de Cabuza esta declinación era como mínimo de 5 a 6 m. cabe hacer notar que estos pozos no se encontraban en explotación. Desde el pozo 3 hasta el pozo 20 la declinación mínima fué entre 10 y 12 m. Desde el año 1960 se lleva un registro mensual de las variaciones de nivel en 18 pozos del valle. Del análisis de estos hidrogramas (fig. 4a y 4b) se pueden diferenciar cinco zonas en el valle, quedando comprendida la primera entre Cabuza y Albarracines. La característica principal de los hidrogramas de esta zona, es una recuperación neta de los niveles de agua en los pozos, que se inició en parte con la llegada de las aguas del canal Lauca y el efecto de recarga de la avenida del río San José, de febrero-marzo de 1963. La magnitud de este aumento en los niveles fué de 10 a 12 m. otra característica de esta zona, consiste en que la mayoría de los pozos registran un nivel máximo, a partir del cual no acusaron mayores ascensos. Así por ejemplo, el hidrograma del pozo 1-H indica que se alcanzó este nivel máximo en agosto de 1962, aproximadamente; no demostrando ningún ascenso durante la avenida de febrero-marzo de 1963, es decir la capacidad de almacenamiento, en los alrededores de este pozo, estaría copada. (*1).

La segunda zona, desde Albarracines a Pago de Gómez, no muestra variación notable con la llegada de las aguas del canal Lauca, sin embargo con las avenidas del río San José del año 1963, se inició un ascenso de los niveles; ascenso que culmina en diversas épocas manteniéndose hasta febrero de 1965, fecha en que el canal Lauca es cortado.

Entre Pago de Gómez y un poco aguas arriba de la zona de captación de la DOS, que correspondería a la tercera zona, las observaciones indican una mantención general de los niveles.

Desde la planta DOS hasta 50 m. antes del mar, se diferencia la cuarta zona aquí, los niveles de agua en los pozos están en franca declinación. En el pozo 113, por ejemplo, desde enero de 1963 hasta septiembre de 1966, se observó una declinación total de 11 m.

En la franja costanera, que es la quinta zona, los pozos de observación realizados para controlar la salinidad del agua y las fluctuaciones del nivel, han registrado pequeñas variaciones, observándose en el pozo N° 120, variaciones de 0.7 m. como máximo. En estos pozos de observación no cabe esperar grandes declinaciones de nivel, ya que de producirse una inversión del gradiente debido a la extracción en los pozos aguas arriba, esta sería compensada en la zona costanera por la intrusión de agua de mar.

(*1). A fines de febrero de 1965, el canal Lauca fué cortado, para efectuar reparaciones en el túnel, hecho que tuvo una repercusión en los niveles de agua de todos los pozos del valle, que iniciaron un descenso marcado con excepción, lógicamente, de los pozos costaneros (118 - 120 - 121), y del pozo 1-SH; esta interrupción duró hasta el 22 de marzo del mismo año; en mayo de 1965, el caudal del Lauca hacia el valle de Azapa es nuevamente interrumpido. En febrero de 1966, se corta nuevamente por un período de un mes.

Por tal razón se observa también en estos pozos la variación de la calidad química del agua, con el propósito de prevenir dicha situación.

Parece ser evidente que el nuevo aporte de aguas al valle entregado por el canal Lauca produjo un efecto de recarga, sin embargo la intensidad de este efecto decae en general en el valle desde los comienzos del año 1965 adelante, y en estos momentos (Octubre de 1966), todos los niveles de agua de los pozos del valle se encuentran en descenso, con excepción por supuesto, de los pozos costeros y del pozo L-SH el que probablemente sigue contando con un caudal suficiente que le permite mantener su nivel.

Calidad química del agua subterránea

Los análisis químicos de las aguas subterráneas (tabla 5), indican que el agua es relativamente blanda y de poca salinidad. La cantidad de sólidos disueltos varía en forma regular de Cabuza hasta Albarracines desde una cantidad de 500 mg/lt. de sólidos disueltos, aumentando aguas abajo, hasta alcanzar en las vecindades de la ciudad a 700 mg/lt. de sólidos disueltos.

La dureza total varía desde 268 mg/lt. en Albarracines hasta 366 mg/lt. cerca de Arica. El pH medio indica que se trata de aguas entre neutras a ligeramente alcalinas.

Desarrollo del agua subterránea

La explotación de agua subterránea en el valle, se efectúa mediante pozos perforados, norias, galerías y vertientes.

Los pozos perforados se encuentran concentrados en ciertos sectores, lo que ha producido descensos desuniformes del nivel freático en el valle. Es de particular consideración la extracción concentrada en la zona situada entre el recinto de la planta de agua potable de la DOS y el Retén Estadio; de esta zona se extrae aproximadamente el 50% del total de agua subterránea bombeada en el valle, lo que se ha traducido en una peligrosa declinación del nivel freático en ese sector.

En los pozos perforados por la Sección Aguas Subterráneas de Corfo las profundidades habilitadas varían entre 54 m. (pozo 68) y 96 m. (pozo 105).

El rendimiento de los pozos perforados es expresado por el gasto específico, que es la cantidad de litros por segundo de agua extraída, por cada metro de depresión del nivel de agua, al ser bombeado el pozo (lt/seg/mt). Los gastos específicos de los pozos del área, varían entre 0,5 y 11,3. Los pozos del sector puente Saucache-Retén Estadio, tienen gastos específicos entre 2,12 (pozo 114) y 11,3 (pozo 111), con un promedio de 6 lt/seg/m. El rendimiento de los pozos del sector de la planta de agua potable de DOS, varía entre 1,0 y 6,5 con un promedio de 2,5 lt/seg/m.; estas dos zonas son las que tienen mayor rendimiento del valle.

Conclusiones y recomendaciones

De los antecedentes descritos anteriormente, se puede concluir lo siguiente:

1) El relleno aluvial reciente, que alcanza espesores entre 50 a 70 m. y que está compuesto por ripio, arenas y cantidades variables de limos y arcillas, constituye la zona acuífera del valle; estos materiales se encuentran saturados en diversos espesores, siendo mínimos en la región de Sobraya.

2) Antes de la llegada de las aguas del canal Lauca, la cantidad de

agua posible de extraer de los recursos de agua subterránea del Valle de Azapa, sin producir alteraciones graves en el nivel freático, era del orden de los 400 lts/seg.

3) En la actualidad, esta cantidad ha sido incrementada, y una vez que los niveles de agua en los pozos estén recuperados, la cantidad posible de extraer será del orden de 600 lts/seg.

4) Para realizar esta extracción en forma racional, se recomienda distribuir los pozos de explotación de acuerdo a las características hidrogeológicas del valle y programar el uso de los recursos superficiales y subterráneos de agua, considerando el valle y su agua como una unidad bajo una sola autoridad.

5) El efecto de recarga de las avenidas es muy importante en el régimen de agua subterránea del valle, como un alto porcentaje del agua de estas avenidas se pierden en el mar, debido a la rapidez con que escurren. Se recomienda su aprovechamiento utilizando el método de esparcimiento de agua, con el objeto de inducir una recarga hacia el relleno.

6) La recuperación de los niveles de agua en los pozos, en los primeros tres años del escurrimiento del canal Lauca, ha sido efectiva en la parte del valle situada aguas arriba del recinto de la planta de agua potable de la DOS; sin embargo, desde dicho lugar hasta los últimos pozos que se explotan en la parte baja, el descenso de niveles de agua ha sido continuo hasta el presente. Desde 1965 se nota una disminución en el nivel freático del valle, lo que podría deberse a un mayor uso de agua o bien a una disminución del caudal superficial que llega al sector del valle con pozos.

7) En consideración a los resultados positivos obtenidos en la región de la Concordia, y a las buenas características agrícolas del valle de Azapa, sería recomendable iniciar la explotación de las aguas subterráneas de la Concordia en forma paulatina, hasta alcanzar un caudal medio de 150 lts/seg., para el abastecimiento de agua potable de la ciudad de Arica, pudiendo en consecuencia, destinar esta misma cantidad de agua del río Azapa para desarrollar la agricultura de este valle.

8) Se considera que la ubicación geográfica de los pozos que extraen actualmente agua para la ciudad de Arica es adecuada, por cuanto ellos se encuentran aprovechando un caudal subterráneo proveniente en parte de las infiltraciones del regadío y el que de no ser tomado en dicho lugar, iría a vaciarse al mar. Pese a estas buenas condiciones de ubicación, en estos momentos la recarga natural de los acuíferos en explotación es inferior a las necesidades de agua de la ciudad de Arica; por este motivo se propone el abastecimiento parcial de agua potable desde la región de la Concordia.

QUEBRADA VITOR

El río Codpa es perenne desde su formación en la cordillera Central hasta la localidad de Codpa. En este lugar el caudal máximo es del orden de 300 lt/seg. Esta es una cantidad muy pequeña de agua como para producir recarga en el relleno aluvial, aguas abajo de este punto.

La Dirección de Riego del Ministerio de Obras Públicas perforó tres pozos el año 1954 en la localidad de Chaca. Las profundidades de estos pozos fueron 16 m., 51 m. y 100 m. El terreno atravesado es el siguiente:

<u>DESDE</u>	<u>HASTA</u>	<u>MATERIAL</u>
0 m.	10 m.	Bolones, grava y arcilla
10 m.	28 m.	Arcilla
28 m.	50 m.	Arcilla y arena
50 m.	100 m.	Arcilla y gravilla

Se ubicaron filtraciones de agua entre 7 y 12 m.

En la localidad de Chaca hay 11 norias que aprovechan el agua de estas filtraciones (tabla 6). El caudal medio es entre 2 y 4 lt/seg. Se agotan con un bombeo continuo de 30 minutos y un gasto menor de 10 lt/seg.

En Caleta Vitor se ubicaron 3 norias con nivel estático alrededor de 3 m. de profundidad (tabla 6). El gasto discontinuo de estas norias es inferior a 1,5 lt/seg.

T A B L A N° 2
ANALISIS QUIMICO (mg/lit) - AGUA SUBTERRANEA
REGION DE LA CONCORDIA

Pozo	Fecha	Sólidos Disuelt.	Sili ce	Calcio	Mag- nesio	Sodio	Pota- sio	Bicar- bonato	Sul- fato	Clo- ruro	Nitra- to.	Total	DUREZA No carbona- tosa.	pH.	T°
S-1	25.10.63.	1.020	70	153	14	158	10	68	115	435	6.6	400	384	7.02	23
S-2	28.11.60.	696	77	87	15	97	12	92	168	170	10	281	206	7.44	24
S-3	23. 5.61.	650	79	100	5	84	10	88	165	151	2.8	270	198	7.20	17
S-4	14. 3.63.	582	53	50	4.9	130	9.2	74	64	211	14	144	83	7.28	26
S-5	20. 6.63.	625	61	38	4.4	152	14	63	94	211	6.6	112	60	6.74	20
S-6	4. 3.64.	2.425	71	279	5.2	358	41	123	648	680	2.5	909	808	6.81	23
S-7	7. 8.64.	600	45	70.5	9	107	7.0	195.6	172.6	71.2	14.6	213.2	52.9	7.12	16
SG1	14.3.63.	2.275	47	250	69	384	36	74	761	670	1.3	906	845	6.53	26
SL	15. 1.60.	1.080	53	54.5	44.9	282.4	14.6	64.1	110.9	430.1	3.5	154.8	102.2	7.44	23
SGL	15. 5.63.	2.903	56	352	95	451	52	89	933	900	2.3	1.267	1.164	6.72	18
SG2	6.12.63.	2.700	60	283	82	465	53	71	879	808	0.3	1.041	983	6.60	25

T A B L A N° 1
R E G I S T R O D E P O Z O S C O N C O R D I A

N°	Perforador	Prof. Perf. m.	Prof. Hab. m.	Ø	Nivel Estát.	Fecha	Gasto lt/seg.	Depresión m.	Gastos específicos lt/seg/m depresión	Ubicación	Observaciones
S-1	Corfo 303	200	126	12"	12,99	26.11.59	32	17,40	1,8	Concordia	
S-2	" 344	136	132,73	16"	14.80	9. 5.60.	50	3,20	15,6	"	
S-2A	" 435	150	132,38	6"	14.04	10.12.62.	--	—0—	—	"	Pozo observación de niveles
S-3	" 352	136	125,50	10"	14.45	8. 5.60.	25	5.90	4.23	"	
S-4	" 377	155.60	144,55	12"	45.86	19. 1.61.	35	10.14	3.45	"	
S-4A	" 436	125.50	124.62	6"	45.68	22.12.62.	—	—0—	—	"	Pozo observación de niveles
S-5	" 450	253,60	122.50	14"	83.60	4. 7.63.	3.5	—0—	—	"	No hay datos prueba NE 83.60
S-6	" 466	144	139.63	8"	16.61	1.10.63.	—	—0—	—	"	
S-7	" 467	432	—	16"	34.80	6. 1.64.	--	—0—	—	"	No se habilitó
S-8	" 502	143	—	—	—	—	—	—0—	—	"	
S-9	" 503	300.40	280.07	12"	23.60	15.12.65.	57	12.01	4,7	"	
SG1	" 388	395	300.97	10"	31.56	28. 5.62.	25	9.40	2.65	Cárcel	
SL1	" 336	59	55.34	10"	42.73	21.12.59.	10	5.00	2	Aereopuerto	
SL2	Celzac 388	61	60.50	10"	40.85	— — —	8	9.28	0.86	"	
SG1	Corfo 431	152	146.46	12"	31.45	15. 4.63.	55	2.76	18.5	700 m. norte	
SG2	" 451	168	83.40	10"	29.52	27.11.63.	14	13.5	1.03	Al lado de Cárcel	
SG3	" 468	384	80.64	12"	28.91	23.11.64.	30	10	3	" " " "	

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION
CHILE

TABLA N° 3

REGISTRO DE POZOS - AZAPA

N°	Ubicación o Dueño	Constructor		Prof. m.	N. Agua m.	Gasto lt/seg.	Depresión m.
1-(A)	Cabuza	Riego	1	79	34.27	28	6
1(B)	"	"	2	137	28.60	35	18.5
1-(C)	"	"					
1-(D)	"	"	4	39.5			
1-(E)	"	"	5	52		18	16
1-(F)	"	"	3	71		27	3
1-(G)	"	"					
1-(H)	"	"	6				
2	Sucesión Truffa Quina						
4	César Berguño						
6	Oscar Barrientos						
8	Isidor Andía						
9	Amadeo Carbone	Riego		45.10			
14	Dirección de Riego						
15	Dirección de Riego						
19	Amadeo Carbone						
24*	Caja Col.Agrícola (J.Noé)	Corfo		44.00	—	—	—
25	Caja Col.Agrícola (J.Noé)	Corfo	372	80	18.87	20	28.28
29*	" " " "	Riego		51.00	22.00	19	19.00
30*	" " " "	"		48.00	23.00	-	-
31*	" " " "	"		50.00	—	—	—
32*	" " " "	"		55.00	24.00	41	7.00
33*	" " " "	"		50.20	12.50	41	9.50
34*	" " " "	"		49.20	20.30	38	11.90
41	Abel Garibaldi						
42	Antonio Gardilic						
45	Antonio Gardilic						
46	Hugo Mozó						
60	Chadid Hassad						
68	Elías Buneder	Corfo	389	68	31.01	32	6

* Antecedentes existentes sobre estos pozos, pero no se sabe la correspondencia de estos datos con la ubicación geográfica del pozo.

Continúa.

T A B L A N ° 3 (CONT).

N°	Ubicación o Dueño	Constructor	Prof. m.	N. Agua m.	Gasto lt.seg.	Depresión m.	
70	Esteban Gardilcic						
71	Hugo Mozó						
73	Chadid Hassad						
74	Parceleros de Bellavista Sobraya N° 1	Corfo	470	300.80	—	—	No se habilitó
77	Planta Agua Potable Azapa	D.O.S.	49	55	18	24.8	21
78	" " " "	"	184	82	21	20	9,46
79	" " " "	"	185	53	20.56	23	10.88
80	" " " "	"	186	79	24.50	11.5	8.58
81	" " " "	"	48	55.6	14.20	52.70	8.10
82	" " " "	"	47	50	15.80	40	9.50
83	" " " "	"	434	62	21	29	8.58
85	Rafael Defilipies						
97	Olivarera Azapa	Corfo	334	79	18.6	28	20.4
100	Chinchorro Norte (O.Pérez).	"	414	390	-	-	No se habilitó
101	Warran's Arica						
103	Hotel Pacífico	Riego	(1)	59.6	3.5	-	-
104	Las Violetas	Corfo	378	342	17.34	24	46.66
105	Las Animas (H.Mozó)	"	370	175	31.53	32	37.47
106	Obs. Azapa	"	452	96	32.62	-	Pozo observación
107	R. Defilipies (1)	"	394	83	22.8	6.5	No se habilitó
108	R. Defilipies (2)	"	415	36.8	-	-	No se habilitó
109	R. Defilipies (3)	"	416	105	47.74	23	12.2
110	Puente Saucache (DOS 568)	"	406	110	24.75	70	11.65
111	Saucache	D.O.S.	650	85.15	33	50	4.41
112	Saucache (DOS 569)	Corfo	407	110	27.6	55	10.40
113	Obs. Saucache	"	434	69.3	26.25	-	No se hizo prueba
114	Olivarera Azapa	"	512	83	33.15	20	9.35
115	Estadio Municipal	"	399	67	18.40	25	5.54
116	Retén Estadio Saucache	"	525	136.8	27.93	32	14
117	Cementerio	"	476	34	14.45	4	Pozo observación
118	Obs. Casino	"	471	30	-	-	Control de salinidad
119	Regimiento Rancagua	"	363	37	12.67	8	12.33

T A B L A N ° 3 (CONT).

N°	Ubicación ó Dueño	Constructor	Prof. m.	N. Agua m.	Gasto lt/seg.	Depresión m.
120	Universidad de Chile	Corfo	475	30	-	- Para obs. calid. quí- mica del agua.
121	Chinchorro 2	"	472	30	-	- Para obs. calid. quí- mica del agua.
122	Central Diesel - Endesa	"	386	45	16.65	6
123	Planta Agua Potable Azapa	D.O.S.	491	105	27.1	22
124	" " " "	D.O.S.	649	171	30.42	30
125	Cancha Tucapel - Saucache	Corfo	543	110	33.93	50
126	Hda. Buena Vista - R. Defilippie	"	552	110	21.81	23
	Sobraya N° 2	"	573	90	-	5
	Sobraya N° 3	"	594	85	-	-

No se habilitó - Se agotó con 5 lt/seg.
- Se habilitó en 8" pa
ra observación.

- o - o - o - o - o - o - o - o - o - o -

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION
CHILE

T A B L A N ° 4

R E G I S T R O D E N O R I A S - A Z A P A

N°	Ubicación o Dueño	N°	Ubicación o Dueño
3	Lupo Baluarte	58	Ernesto Lombardi
5	Armando Lombardi	59	Suc. Zabala
7	Suc. Félix Campos	61	Manuel Yanulache
10	Amadeo Carbone	62	Marcelo Fernández
11	Humberto Andía	63	Suc. Ibarra
12	Luis Lombardi	64	Suc. Díaz
17	Augusto Salinas	65	Andrés Gorbacho
18	Armando Lombardi	66	Luis Lombardi
20	Evaristo Chong	67	Jorge Ordóñez
21	Amadeo Carbone	69	Suc. Miguel Salinas
22	Andrés Baluarte	72	Antonio Gardilcic
23	Aurelio Noce	75	Chadid Hassad
27	Liendoy Beretta	76	Timoteo Núñez
35	Juan Focasi	84	Chadid Hassad
36	Alberto Salinas	86	Humberto Vergara
37	Miguel Isihara	87	Sleiman Kabalan
38	Carlos Grignola	88	Kurt Neverman
39	Suc. Gutiérrez de Oviedo	89	Elesvan Andía
40	Amelia V. de Chong	90	Carlos Grignola
43	Manuel Plaza	91	Domingo Montalvo
44	Eduardo Copaja	92	Guillermo Sánchez
47	Fernando Osorio	93	Domingo Devotto
48	Jorge Piña	94	Domingo Devotto
49	Fernando Osorio	95	Domingo Devotto
52	Arturo Buitano	96	Ulatislav Hrcek
53	Suc. Thomas	98	Yac. Pet. Bol
55	Miguel Wong	99	Suc. Petersen
56	Alfredo Buneder	102	Bernardo Paredes
57	Ernesto Lombardi		

R E G I S T R O D E V E R T I E N T E S

A Z A P A

N°	Ubicación o Dueño	N°	Ubicación o Dueño
13	La Concepción	50	Media Luna
16	San Miguel	51	Mitachica
26	Del Estanque	54	El Gallito
28	Albarracines		

T A B L A N ° 5

ANALISIS QUIMICO (mg/lt) - AGUA SUBTERRANEA

V A L L E D E A Z A P A

Pozo	Sólidos Disueltos	Sílice	Calcio	Magne- sio.	Sodio	Pota- sio.	Bicar- bonato	Sul- fato	Clo- ruro	Nitrato	D U R E Z A		pH.	T°
											Total	No carbo- natos.		
25	498	35	98	5.7	45	3.4	158	147	61	9.2	268	137	7.34	19°
68	618	44	109	17	58	5.5	207	186	82	5.6	344	175	7.58	21°
97														
104	670	46	104	12	87	5.4	184	212	104	0	308	157	7.32	19.5°
105	550	38	97	12	56	5.9	178	170	75	0	290	144	7.22	22.5°
114	640	33	124	11	66	4.5	198	195	93	3.2	354	192	7.05	16°
115	723	43	123	15	89	8	225	224	100	3.3	366	182	7.24	22.5°
119														
122	662	42	127	12	65	4.2	198	196	102	8.8	366	204	7.18	18°

T A B L A N ° 6

C H A C A

Nº	N o r i a	Ubicación	Profun- didad. m.	Nivel estático m.	Q. Medio lt/seg.	Agotamiento	
1	Herbert Lehmann (1)	1 km. al E. Retén	13	10.30	3	Con 10 lt/seg. se agota en 40 minutos	
2	" "	(2) 80 km. al N. de Noria 1	16	15.00	3.5	10	30
3	Hda. Andacollo (1)	2.7 km. al E. Retén	12	9.40	3	10	30
4	" "	(2) 400 m. al W. de Noria 3	13	8.70	3.5	12	40
5	Retén Chaca		9	6.90			
6	Suc. Nevermann	400 m. al W. del Retén	10	7.80			
7	J. Condori	800 m. al W. del Retén	12	9.80	2.6	8	20
8	L. Bavestrello	200 m. al W. de Noria 7	11	7.60	4	12.5	30
9	O. Menares	Al norte de Noria 8	12	8.90	-	12	30
10	V. Quenalla	700 m. al W. Noria 8	10	8.00	2	5	30
11	R. Flores	1 km. al W. Noria 10	11	9.40	3	-	-

V I T O R

12	Retén Vitor	200 m. del mar	4	2.60	1.5	-	-
13	S. Sumar	50 m. al E. Noria 12	4	2.70	0.3	-	-
14	M. Dekovic	250 m. del mar	6	3.20	1.0	-	-

C A M P A M E N T O L O N G H I

15	Campamento Longhi	19 km. de Caleta Vitor	7	5.10	-	-	-
16	M. Dekovic	3 km. al E. Noria 14	23	22.10	-	-	-

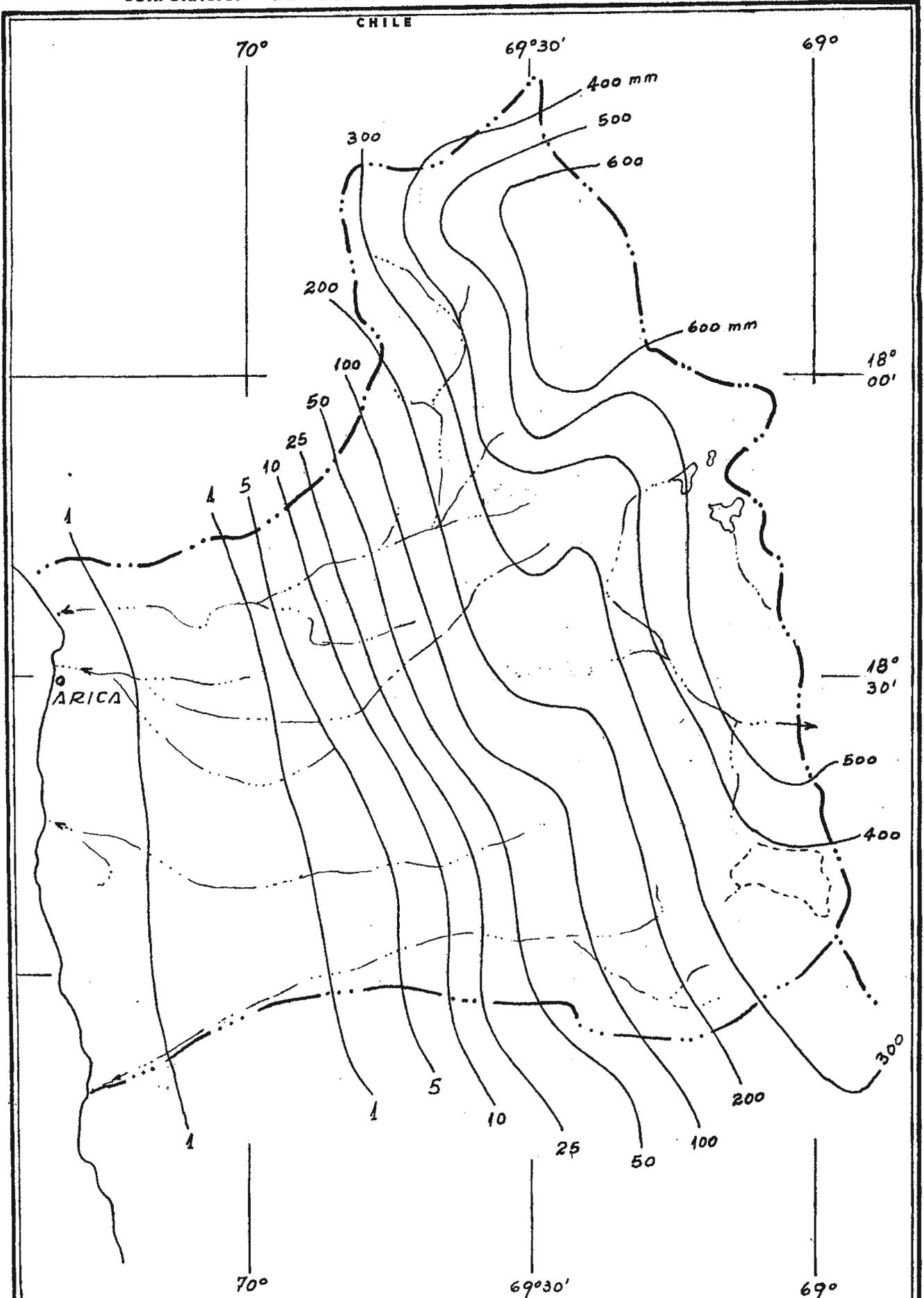


Fig. 1- Mapa de isoyetas del Departamento de Arica.

(Proyecto Hidrometeorológico de Chile)

Escala 1: 1000000

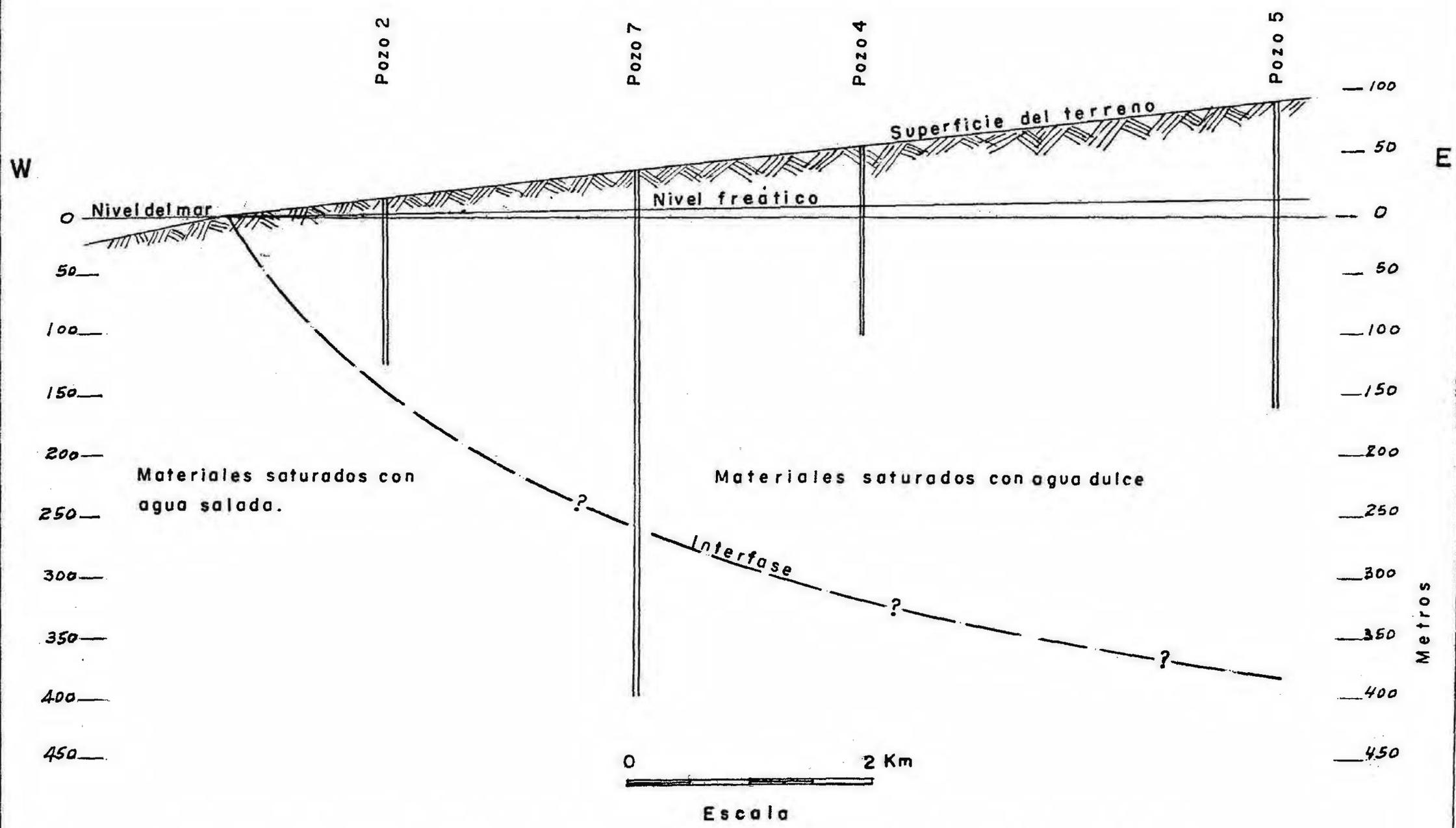


Fig.2 - Perfil E-W en la Concordia, señalando la posible posición de la interfase.

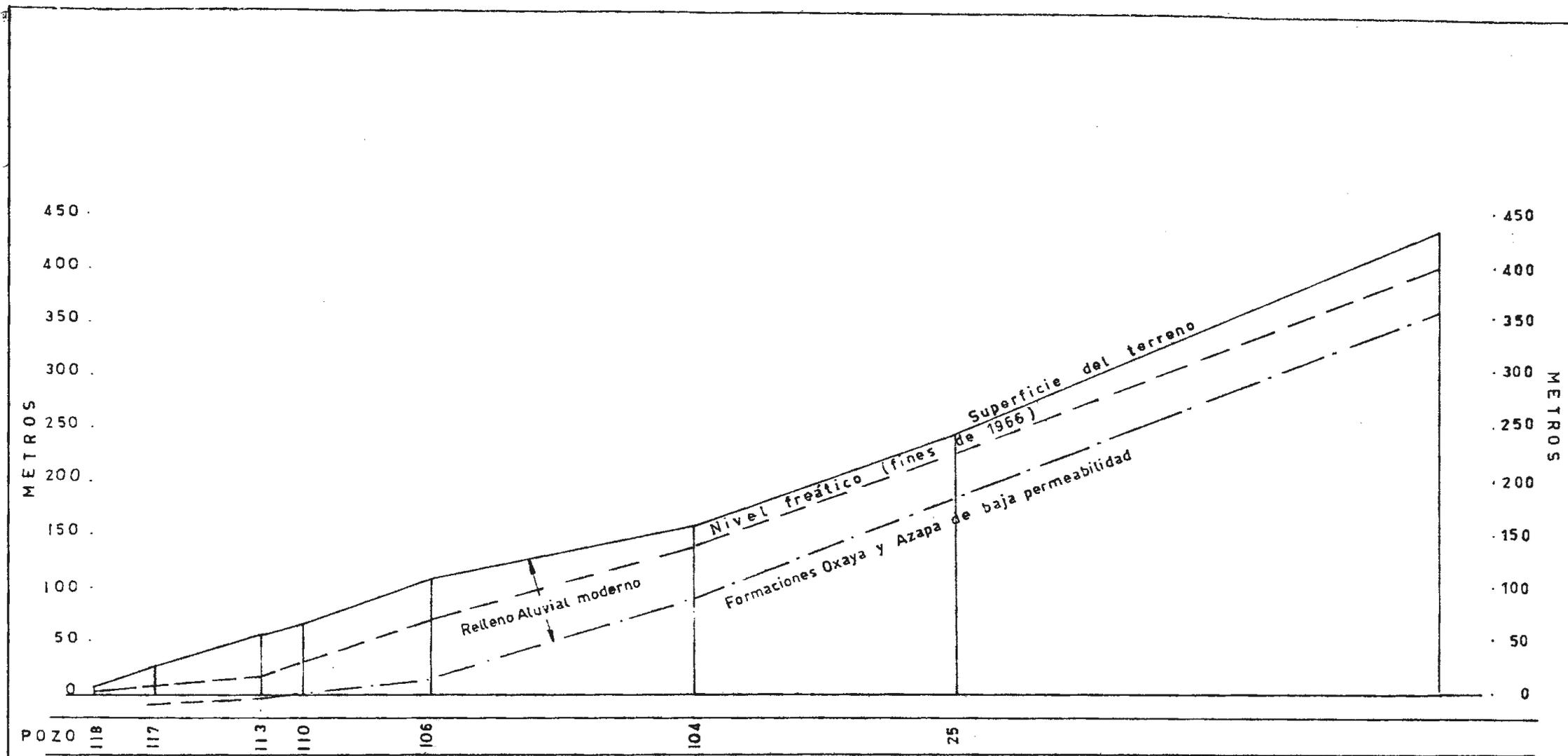


Fig. 3 - Perfil E-W en el Valle de Azapa entre Cabuza y el mar

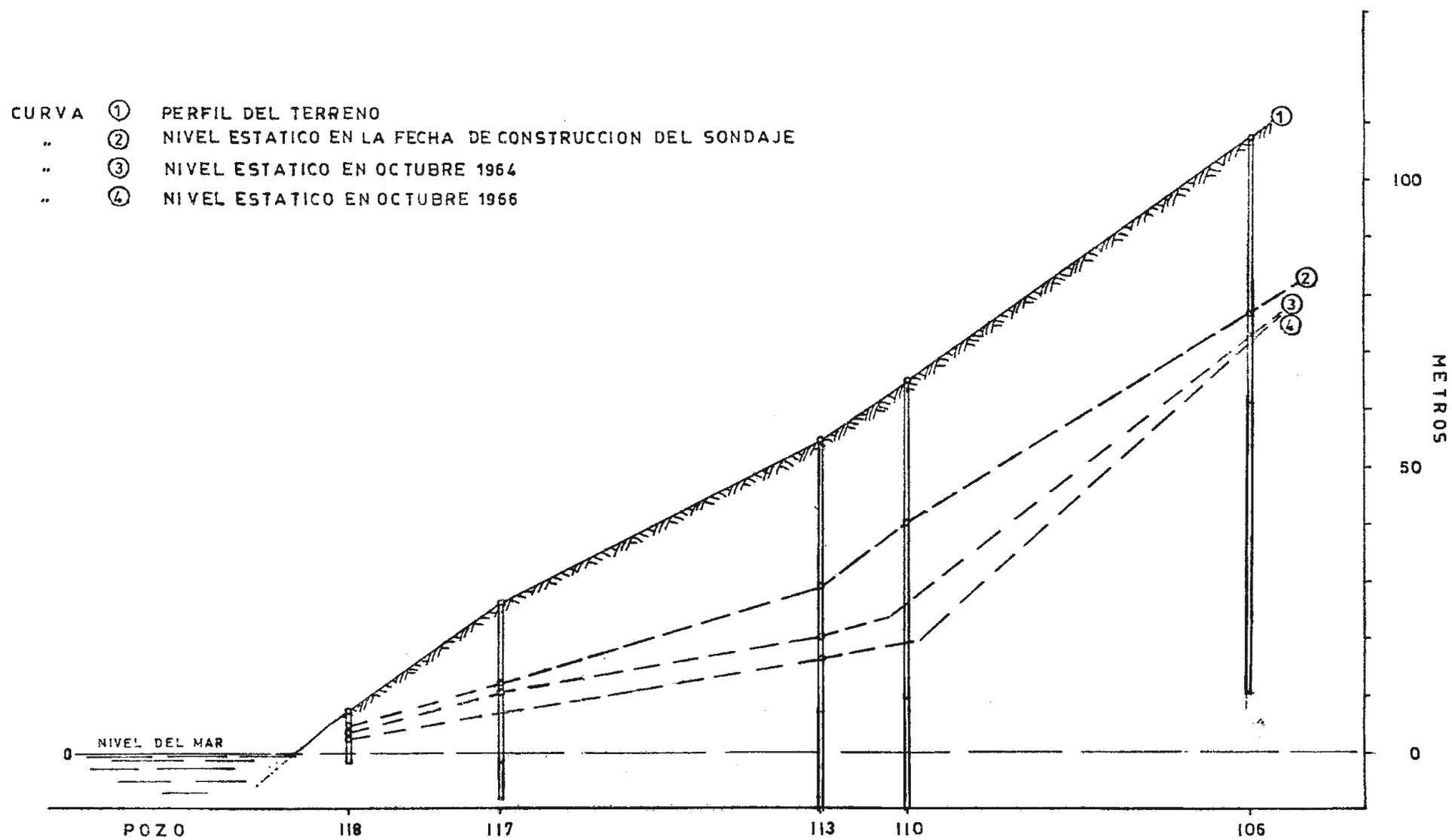
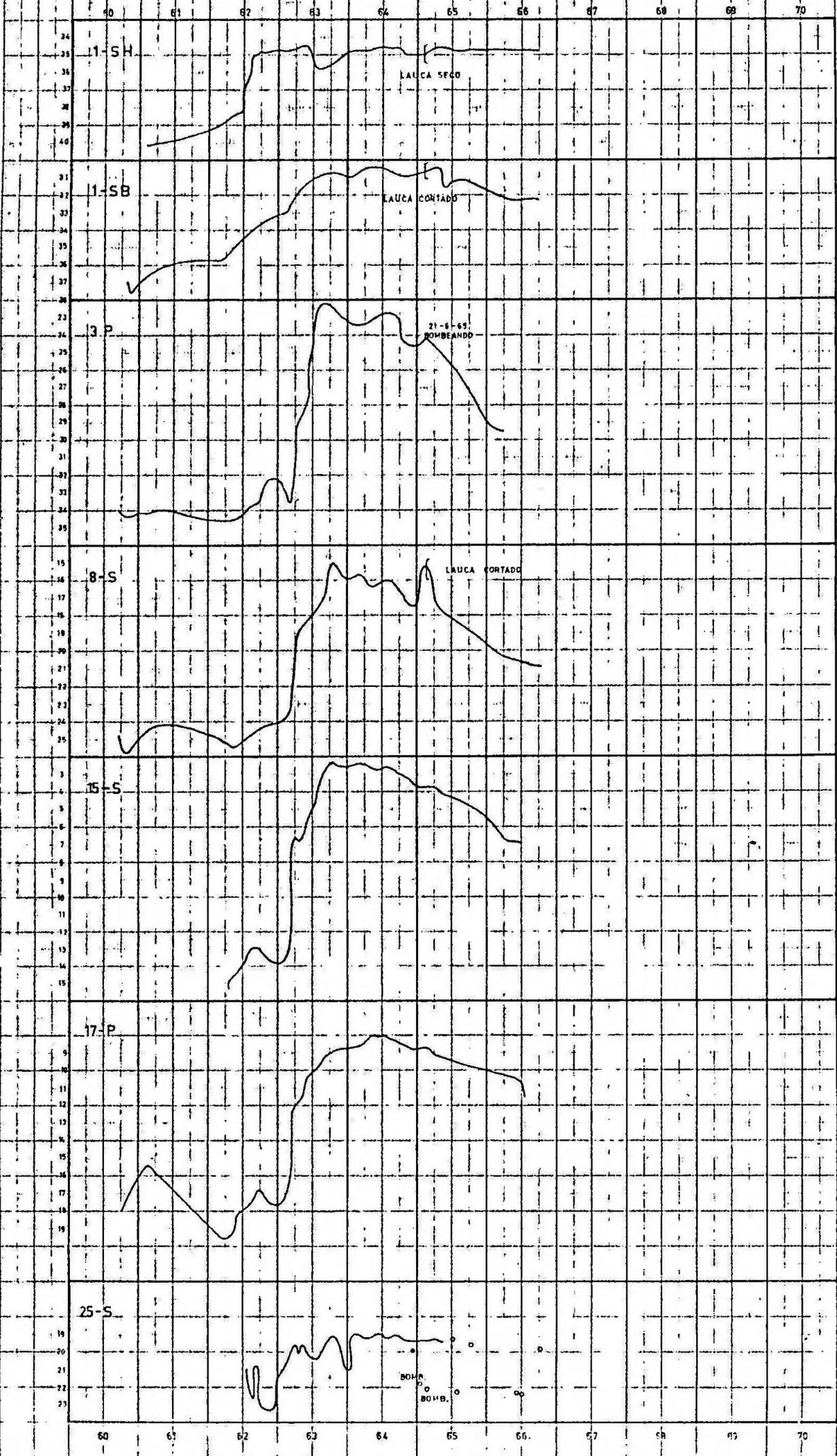


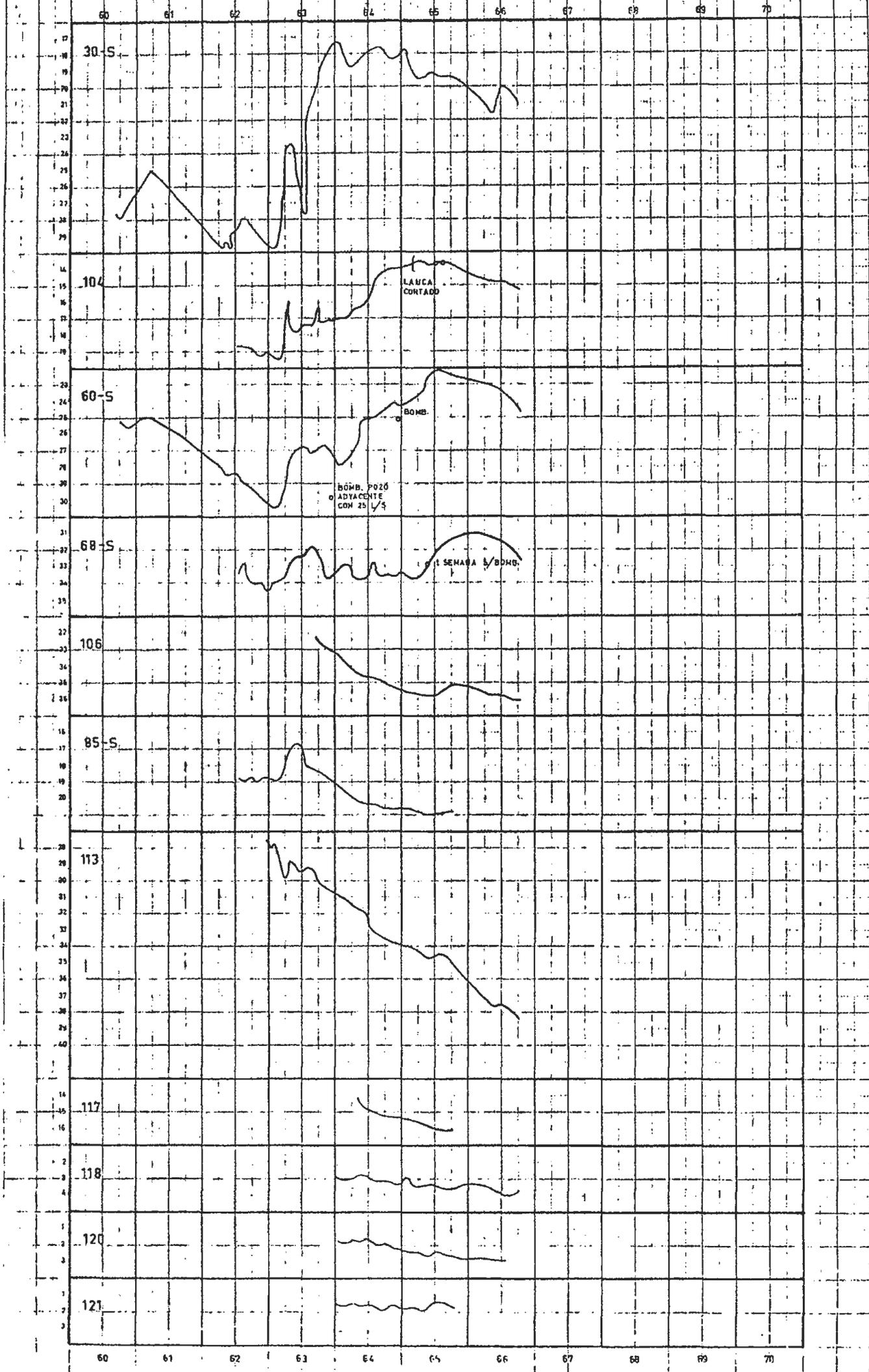
Fig. 3-a Perfil E-W en el Valle de Azapa entre los pozos 106 y 118

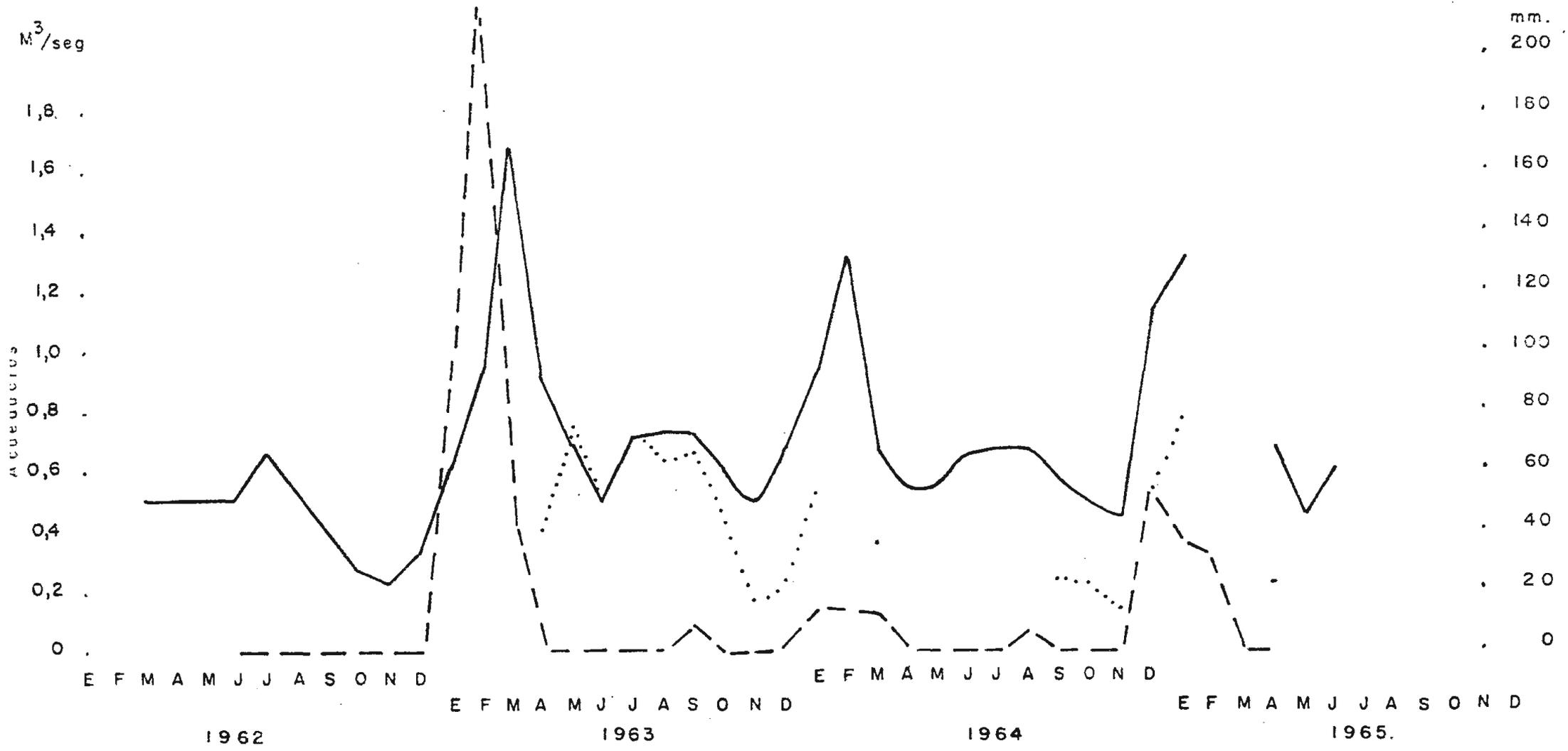
ESCALAS { VERTICAL 1:1.000
 { HORIZONT. 1:40.000

HIDROGRAMAS DEL VALLE DE AZAPA



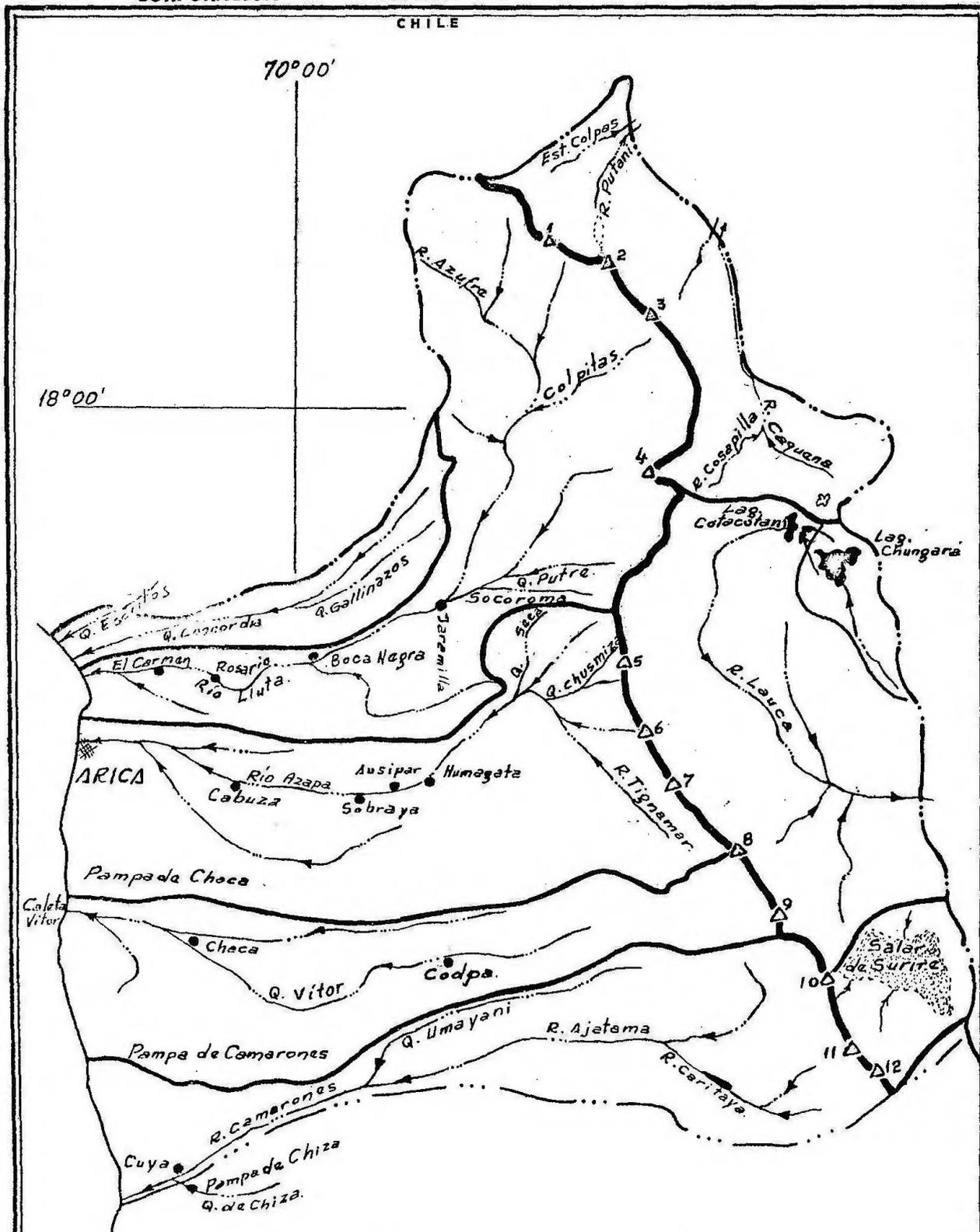
HIDROGRAMAS DEL VALLE DE AZAPA





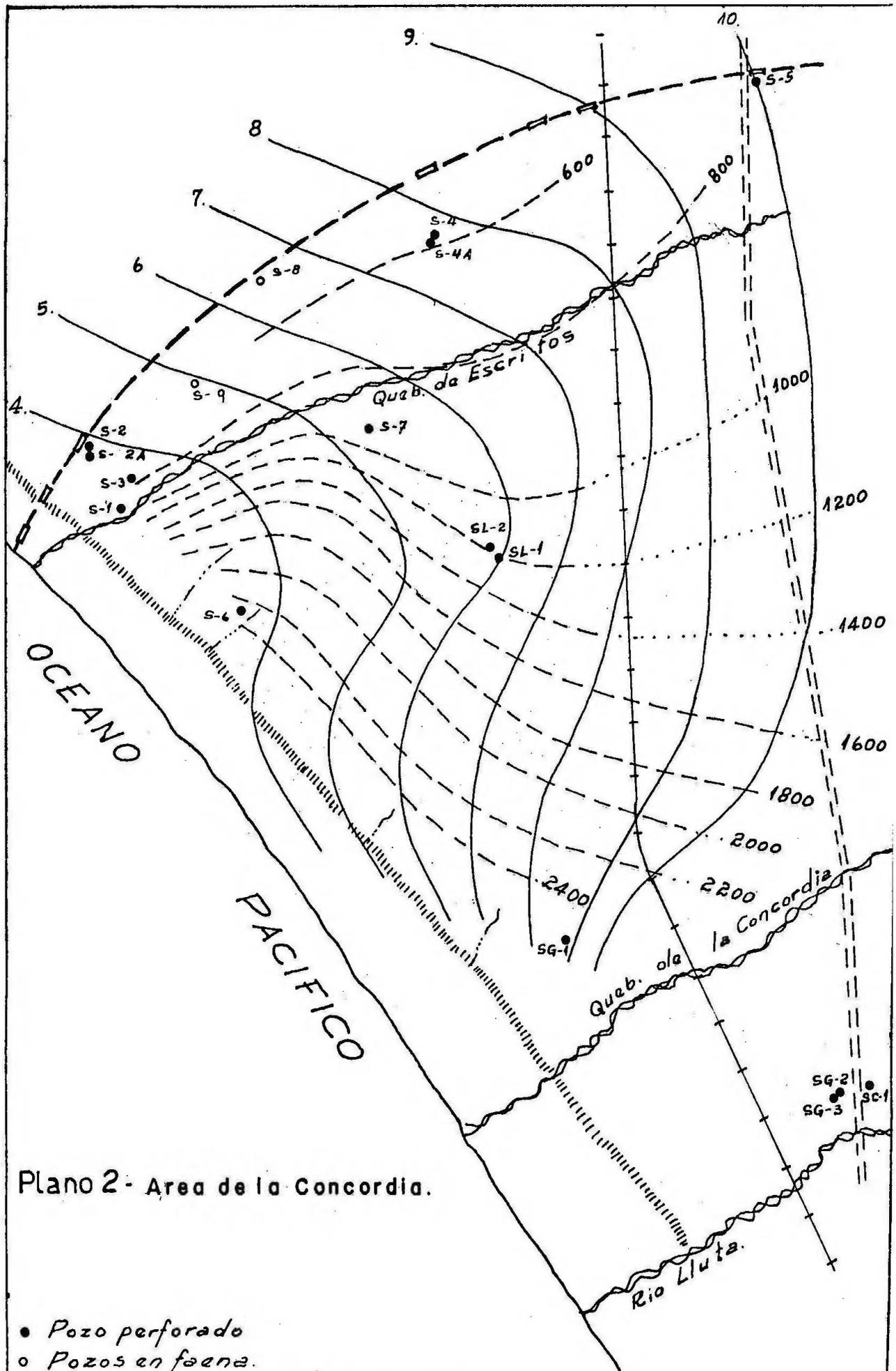
- Canal Lauca en Km 3,3 (Datos de ENDESA)
- Acueducto Azapa en Bocatoma (Datos de Riego)
- - - Precipitación en Murmurtane (Datos de ENDESA)

Fig.5 - Aporte de agua superficial del río Lauca



Plano 1.- Cuencas Hidrográficas
Escala 1:1.000.000

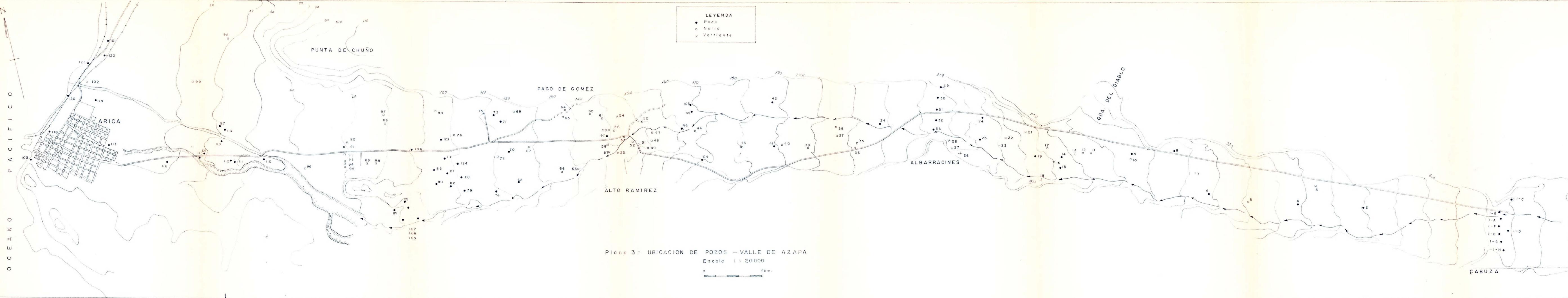
1.- Cerro Caracarani	5.190 m.
2 Nevado de Chuquiananta	5.488 m
3 Cerro Cosapilla	5.370m
4 Macizo de Putre.	5.500m.
5 Cerro Chapiquiña	5.040m.
6 Cerro Belén	5.260m
7 Cerro Anorabé	5.090m.
8 Cerro Orcatunco	5.000m
9 Cerro Anocarire	5.050m.
10 Cerro Chulluncallani	4.648m.
11 Cerro Chuquiananta	5.590m.
12 Cerro Gualguasi	5.390m.



Plano 2- Area de la Concordia.

- Pozo perforado
- Pozos en faena.
- Curva de la superficie freática (m.s.n.m)
- - - Curvas de salinidad (mg/l)
- === Carretera Panamericana
- ++ F.F.C.C.

Escala 1:50.000



Plano 3.- UBICACION DE POZOS - VALLE DE AZAPA
 Escala 1 : 20000

