

AMBAR S.A.

000092

**ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICO DE LA
EXPLORACIÓN DEL ACUÍFERO Y EFECTO EN
LOS BOFEDALES DEL ALTIPLANO ARIQUEÑO.**

SEPTIEMBRE 2000

000092

ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICO DE LA EXPLOTACIÓN DEL ACUÍFERO Y EFECTO EN LOS BOFEDALES DEL ALTIPLANO ARIQUEÑO.

INDICE

• INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL INFORME.	1
• ¿QUÉ ES UN EMBALSE SUBTERRÁNEO?	3
• LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS QUE DAN LUGAR AL EMBALSE SUBTERRÁNEO DEL ALTIPLANO ARIQUEÑO.	4
• LIMITES SUPERFICIALES Y DE FONDO DEL EMBALSE.	5
• VOLUMEN DE AGUA EMBALSADA EN EL ACUÍFERO.	6
• LOS PRINCIPALES ESTRATOS ACUÍFEROS DEL EMBALSE SUBTERRÁNEO.	7
• LOS SONDEOS Y LOS ESTRATOS.	13
• Sondeo N°5	14
• Sondeo N°6	15
• Sondeo N°7	16
• Sondeo N°8	16
• Sondeo N°9	17
• Sondeo N°10	18
• PROCEDENCIA Y DESTINO DEL AGUA SUBTERRÁNEA.	19
• EL RÍO LAUCA Y EL EMBALSE SUBTERRÁNEO.	20
• EL RÍO LAUCA, LOS BOFEDALES Y EL EMBALSE SUBTERRÁNEO.	21
• LOS POZOS DE LA D.O.H. N°5 AL N°10 Y LA RELACIÓN CON EL RÍO Y LOS BOFEDALES.	22
• EFECTOS PREVISIBLES DE LA EXPLOTACIÓN DE LOS POZOS EN LA ALIMENTACIÓN DE AGUA A LOS BOFEDALES.	35
• PROGRAMA DE MONITOREO	37
• RESUMEN Y CONCLUSIONES	39

000092

ANEXO N°1 INTERPRETACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA CAMPAÑA DE GEOFISICA EN ALTIPLANO ARIQUEÑO. RELACIÓN RÍO ACUÍFERO.

1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL INFORME.	1
2.	GEOLOGÍA.	2
2.1.	Estructura Geológica.	2
2.2.	Afloramientos.	3
2.3.	Litología.	4
3.	HIDROGEOLOGÍA	6
4.	INTERPRETACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA CAMPAÑA DE GEOFISICA.	7
4.1.	Perfilaje de Pozos.	7
5.	LOS PERFILAJES CORRESPONDIENTE A LOS SONDEOS ELÉCTRICOS.	12
5.1.	Resultados Generales.	12
5.2.	Correlación con la Geología.	13
5.3.	Análisis de cada Perfil.	15
6.	CONCLUSIONES	20

ANEXO N°2 FOTOGRAFÍAS DEL SECTOR

- FOTOS POZOS DEL ALTIPLANO ARIQUEÑO (15 DE FEBRERO DEL 2000)
- FOTOS DE ENERO - MARZO 1996. AFOROS EN EL RÍO LAUCA DESDE SU NACIMIENTO HASTA LA FRONTERA.
- AFOROS DURANTE LAS PRUEBAS DE BOMBEO 1996.

ANEXO N°3 RELACION RIO ACUIFERO EN RIO LAUCA SECTOR DE LOS POZOS

1.	INTRODUCCION	2
2.	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS RELACIONES RÍO - ACUÍFER	2
3.	LOS NUEVOS ANTECEDENTES Y SU UTILIDAD	3
4.	EL ESQUEMA HIDROGEOLOGICO	4
5.	EL RIO Y SU RELACIÓN CON CADA CAPA ACUIFERA	4
6.	CONCLUSIONES	8

INTRODUCCION Y OBJETO DEL INFORME

000092

La Dirección de Obras Hidráulicas (D.O.H., ex Dirección Nacional de Riego) realizó un total de 10 sondeos para obtención de agua subterránea en el acuífero del Altiplano Ariqueño en el año 1993. Del conjunto de ellos, sólo siete fueron positivos y arrojaron en total un caudal de 340 l/s.

La DOH se encuentra en trámite de obtención de los derechos de aprovechamiento frente a la DGA. Para ello debe contar con un estudio de Impacto Ambiental, aprobado por COREMA. Uno de los problemas previstos es la afección que la explotación de los pozos puede producir en la alimentación de agua a los bofedales, los cuales se encuentran en la riberas del río Lauca.

Cabe señalar que los pozos se encuentran cercanos al río Lauca. Surge por lo tanto, analizar cual es la forma en que se alimentan los bofedales y además de donde proviene el agua que extraen los pozos.

Para el análisis de los temas enunciados se emplearán los datos y resultados de los estudios realizados hasta el momento, que son los siguientes:

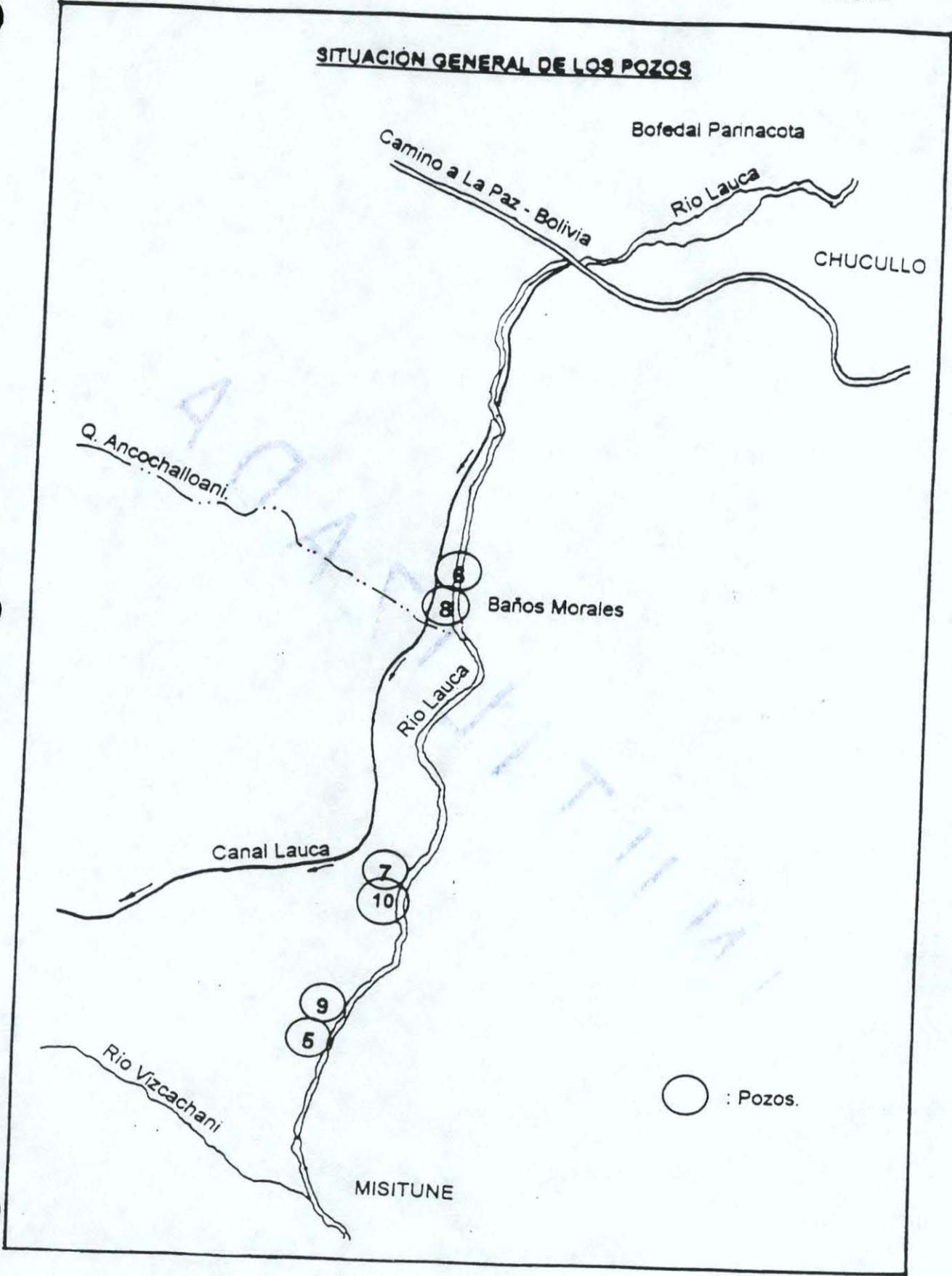
- Minuta 01 de enero de 1999 de la DGA Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos.
- Informes Finales de los Pozos del Parque Nacional Lauca sector Río Lauca y Sector Viscachani, febrero y marzo 1993. Alamos y Peralta Ingenieros Consultores Ltda.
- Estudio Geofísico sector Río Blanco I Región, Dirección de Riego, Geoexploraciones S.A. Agosto 1992.

- Estudio Geofísico Segunda Etapa sector Ancocholloani - I Región- Dirección de Riego - Geoexploraciones S.A. - Octubre 1992.
- Minuta Hidrogeológica Pozos Parque Nacional, sector Río Lauca, Ayala y Cabrera 1994 - MOP - DOH.
- Análisis de Isótopos estables en Parque Nacional Lauca y Precordillera relacionado con los orígenes de las aguas subterráneas, Ayala y Cabrera Ltda., - Julio 1995 - MOP - DOH.
- Diagnóstico sobre la potencialidad de los pozos de agua subterránea de la Dirección de Riego ubicados en la Cuenca del Río Lauca - 1996 Ayala y Cabrera y Asociados Ltda.
- Consultoría Análisis Ambiental del Proyecto de Explotación de Pozos en Parque Nacional Lauca- Estudio Hidrogeológico - Mayo 1996 - AMBAR (Alamos y Peralta Ingenieros Consultores Ltda.)
- Estudio Geofísico - Perfilaje de Pozos y Sondeos Eléctricos Verticales - Río Lauca- Putre - AMBAR - Geoexploraciones S.A.
- Interpretación Hidrogeológica de la Campaña de Geofísica Relación - Río Acuífero en Altiplano Ariqueño -AMBAR - Dic. 1999 - Alamos y Peralta Ingenieros Consultores Ltda.

El objeto del informe es determinar, de acuerdo con los antecedentes existentes, la posible afección que la explotación de los pozos pueda tener en los bofedales.

Los pozos se encuentran dentro de un embalse subterráneo, denominado del Altiplano Ariqueño, el cual abarca una superficie de 1500 Km² y tiene un espesor de 500 mts., de acuerdo con los resultados de las 3 campañas de geofísica (Proyecto Río Blanco, gravimetría,

SITUACIÓN GENERAL DE LOS POZOS



SEV Oct. 1992 Geoexploraciones para Dirección Nacional de Riego) realizadas en los años 1992 y 1999.

La profundidad de los pozos es de 120 metros perforando este primer tramo del embalse subterráneo.

¿QUE ES UN EMBALSE SUBTERRÁNEO?

La existencia de agua subterránea en la corteza terrestre depende de que existan formaciones geológicas capaces de contener agua en su interior y estas se encuentren saturadas de agua.

En el caso que nos ocupa, existe un relleno detrítico formado por acarreo fluviales que datan de la época del Terciario y del Cuaternario.

Estos acarreo detríticos, comprenden gravas, arenas, arcilla y limos, que fueron arrastrados y depositados por cursos de agua en las épocas geológicas antes mencionadas. Estos materiales al no ser compactos, dejan espacios vacíos entre los granos que lo forman, y estos espacios se llenan de agua. El conjunto de material detrítico con sus huecos saturados de agua se denominan acuífero o embalse subterráneo.

Si un embalse subterráneo, carece de explotación, es decir, no existen extracciones artificiales de agua subterránea, este se encuentra lleno de agua hasta el límite que le imponen las condiciones naturales, es decir las descargas a vertientes o cursos de agua. En el caso particular del embalse del Altiplano Ariqueño, el nivel de saturación se encuentra cercano a la superficie.

Una vez lleno el embalse, ya no admite más agua y por lo tanto las recargas naturales producidas por lluvias y escurrimientos superficiales se limitan a rellenar lo que ha escurrido naturalmente fuera del acuífero, hacia los lugares de descarga.

La explotación de un acuífero mediante extracción de agua subterránea desde pozos, produce un vaciado artificial en la zona de los pozos, o bien un descenso de la presión a que el agua está sometida lo que hace posible su posterior llenado cuando se producen las precipitaciones y escurrimientos. Este proceso es el que hace posible el empleo de los embalse subterráneos, como elementos de regulación para largos periodos de tiempo, especialmente en zonas desérticas o semidesérticas, en las que las lluvias y crecidas de los ríos suceden cada cinco, diez o más años.

Sin un embalse subterráneo se encuentra lleno, las avenidas de las épocas húmedas, seguirán su paso por encima del acuífero y saldrán de su cuenca, yendo en la mayoría de los casos a perderse en el mar, o a alguna cuenca endorréica (sin salida al mar). Este proceso es análogo a lo que sucede en un embalse superficial, si cuando viene una avenida en el río, el embalse se encuentra lleno, el agua del río saldrá por el vertedero del embalse, siguiendo su curso hacia aguas abajo. En cambio si un embalse subterráneo se encuentra parcialmente vaciado, las escorrentías de las épocas húmedas tenderán a infiltrarse en el acuífero, en los lugares de recarga natural, produciendo un llenado del embalse subterráneo. Este proceso es cíclico, alternándose los vaciados y llenados del embalse subterráneo a lo largo del tiempo. Para detectar, conocer y determinar el vaciado y llenado del embalse subterráneo se llevan registros periódicos del nivel de saturación del acuífero; al mismo tiempo se debe conocer el volumen de agua extraído artificialmente por las captaciones (pozos).

LAS FORMACIONES GEOLOGICAS QUE DAN LUGAR AL EMBALSE SUBTERRANEO DEL ALTIPLANO ARIQUEÑO

De acuerdo con el conocimiento geológico que se dispone hasta el momento, hay dos formaciones que posibilitan la existencia del embalse subterráneo. Ellas son la formación Oxaya de edad Terciaria y la formación Huaylas de edad Cuaternaria.

Un detalle de estas formaciones se encuentra en el informe denominado "Interpretación Hidrogeológica de la Campaña de Geofísica", AMBAR 1999 para la D O H.

Las campañas de geofísica fueron realizadas en el año 1992 en las inmediaciones del río Vizcachani, denominadas Río Blanco y Ancocholloani, por Geoexploraciones para la Dirección de Riego. Estas comprenden una profundidad de investigación de 500 metros y en ella se distinguen tres grandes estratos: uno superior de 50 a 75 metros de espesor con 50 a 300 ohmios/m de resistividad; uno intermedio de 4 a 60 ohmios/m y de 300 metros de espesor y otro inferior de 60 a 150 ohmios/m y de más de 200 metros de espesor, sin alcanzarse a determinar su espesor total del relleno. Esta campaña consta de 110 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV). Los tres estratos se encuentran saturados de agua y conforman el acuífero o embalse subterráneo. El primero tiene capas de riolita intercalada dentro del material detrítico y los dos siguientes son predominantemente de material detrítico, con abundancia de material fino.

La descripción realizada constituye una síntesis correspondiente a un esquema simplificado, y no a una interpretación hidrogeológica detallada. Es evidente y claro que existen situaciones locales y heterogeneidades en el acuífero, que no están incluidas en la simplificación.

LIMITES SUPERFICIALES Y DE FONDO DEL EMBALSE

Los límites superficiales del acuífero detrítico, están conformados por el Oeste por la Cadena de Cerros de la Formación Lupica de edad Cretácica. Los cerros más importantes corresponden al C° Chapiquiña con 5.040 m.s.n.m. y Belén con 5.260 m.s.n.m. Por el Este el límite lo conforman la Cadena de volcanes de edad cuaternaria, entre los que cabe destacar el Volcán Pomerape con 6.240 m.s.n.m., el Volcán Parinacota con 6.330 m.s.n.m. y el volcán Guallatiri con 6.060 m.s.n.m.

Por el norte se puede considerar el límite en las inmediaciones de Chucullo y por el sur se limita con los C° Arintica y Puquintica que lo separa de la cuenca del Salar de Surire.

Los límites de fondo del embalse subterráneo, sólo pueden visualizarse en sus extremos y corresponde a las mismas formaciones anteriores, sin embargo se desconoce la disposición estructural de estas formaciones. Lo único que se sabe es que en las zonas donde se ha realizado las Campañas de Geofísica se han reconocido más de 500 metros de épocas de rellenos sin alcanzar los materiales consolidados correspondientes a estas formaciones.

La superficie que comprende el embalse subterráneo es de 1.500 Km² aproximadamente y la cota del terreno varía entre 4.100 y 4.400 m.s.n.m.

En la zona donde se encuentran los sondeos la altura varía entre 4.200 y 4.300 m.s.n.m. y se encuentran en el sector central norte del acuífero y vecinos al curso del río Lauca.

El río Lauca, también corresponde a una zona de borde por cuanto, recibe aportes laterales desde el acuífero en casi todo su recorrido, desde sus nacientes en las lagunas de Cotacotani hasta el Portezuelo de Macaya.

VOLUMEN DE AGUA EMBALSADA EN EL ACUIFERO

Tal y como se dijo anteriormente un acuífero detrítico, es aquel que almacena agua en los huecos que dejan los clastos de grava, arena y arcilla.

Existen dos conceptos para analizar este porcentaje de huecos que pueden llenarse de agua y que son la Porosidad Total y la Porosidad Eficaz. La primera, se refiere al total de huecos sin tomar en cuenta la facilidad de escurrimiento a través de ellos. La porosidad eficaz en cambio indica el volumen de agua, que es capaz de drenarse en forma gravitacional, y se denomina Coeficiente de Almacenamiento, se mide como la cantidad de agua que drena un volumen unitario de acuífero cuando la presión sobre él desciende en 1 metro. Se expresa en porcentaje de volumen de agua por volumen de acuífero. Las aguas que drenan fácilmente por gravedad

son las que están contenidas en gravas y arenas y las que drenan con mayor dificultad son las que rellenan los huecos de las arcillas.

El acuífero detrítico estudiado está compuesto por capas de gravas, arenas y arcillas, todas ellas saturadas de agua y en comunicación hidráulica entre si. Generalmente estos materiales, poseen un coeficiente de almacenamiento de 20%, es decir por cada metro cúbico de acuífero hay 200 litros de agua embalsado. No obstante para ser conservadores, se empleará un coeficiente de almacenamiento de 10%, en la cubicación del agua embalsada en el acuífero del Altiplano Ariqueño.

El volumen de acuífero, corresponde al producto de su superficie 1.500 Km^2 por su espesor medio que se estima en 300 metros. En consecuencia el volumen de acuífero es $450.000 \times 10^6 \text{ m}^3$, es decir 450.000 Mm^3 (millones de metros cúbicos).

Por lo tanto si se aplica un coeficiente de almacenamiento de 10% a dicho volumen de acuífero, se obtiene un volumen de agua embalsada de 45.000 Mm^3 . (Esto equivale a casi 10 veces el volumen de agua de la Laguna del Laja).

LOS PRINCIPALES ESTRATOS ACUIFEROS DEL EMBALSE SUBTERRANEO

Como se indicó en un párrafo anterior, el embalse subterráneo es heterogéneo y está además formado por estratos. Los hay a pequeña escala y a gran escala.

La existencia de estos estratos provienen de las condiciones de depositación de los materiales acarreados por las corrientes de agua. Los estratos pequeños, corresponden a diferentes potencias de las escorrentías de año en año, dependiendo de las variaciones pluviométricas en periodos de 10 a 100 años. Los grandes estratos que corresponden a agrupaciones de pequeños estratos que dependen de grandes cambios climáticos a escala de 500 o 1.000 años.

Los cambios climáticos producen el efecto de que los arrastres sean más o menos potentes, pudiendo por lo tanto los materiales gruesos alcanzar hasta una mayor longitud en el sentido del curso de la corriente. A su vez cuando hay épocas húmedas se producen acarreo más uniformes, si bien es cierto en esta cuenca el curso fluvial más importante es el Lauca, no es el único, habiendo muchos de ellos que naciendo en el oriente y poniente van a desembocar en el curso del río Lauca. Por ejemplo los aportes del oriente tales como el río Chusamavida y el río Guallatire.

Por lo tanto los diferentes estratos dependen tanto de la potencia de acarreo de cada curso superficial como de la situación climática durante un periodo comprendido entre 1 y 2 millones de años que ha sido el tiempo que ha tardado en rellenarse la cuenca. A lo anterior, se suman episodios volcánicos que han intercalado corriente de lavas de riolita y tobas entremedio de los depósitos aluviales.

Es muy probable que hacia el centro de la cuenca se hayan depositado los materiales más finos aunque no necesariamente limos y arcillas. Puede suceder que los finos en las zonas centrales se hayan hecho más abundantes en las épocas de menor potencia de los ríos.

Todo lo anterior permite entender la situación del relleno, desde un punto de vista de grandes paquetes, como resultado de la geofísica de resistividad realizada en las inmediaciones de los pozos vecinos al Río Lauca.

La investigación de geofísica de resistividad, tuvo lugar en octubre de 1999, consistió en 35 SEV, dispuestos en perfiles Este - Oeste que pasan por los pozos 4 al 10 ambos inclusive. Las longitudes de los perfiles son de 300 metros máximos, con el objeto de reconocer los estratos del acuífero en el sector bajo los sondeos y especialmente bajo el Río Lauca, con profundidades de exploración cercanas a los 300 m.

Todos lo sondeos y en consecuencia los perfiles presentaron una secuencia muy similar en lo que se pueden distinguir tres estratos hasta los 300 metros de profundidad.

- El primer estrato y más superficial, tiene resistividades comprendidas entre 130 y 1500 ohmios/m y espesores que varían entre 10 y 35 metros.
- El segundo estrato, hacia abajo, tiene resistividades entre 50 y 150 ohmios/m, con espesores comprendidos entre 60 y 160 metros.
- El tercer estrato, que es el más profundo a que ha llegado la investigación, sus resistividades varían entre 12 y 55 ohmios/m, y su espesor no fue posible determinarlo pero si establecer que tiene más de 100 metros.

Lo primero que se puede comentar al respecto, es que ésta visión macroscópica de los estratos concuerda con los resultados de las campañas de geofísica realizadas durante el año 1992.

Corresponde ahora analizar qué materiales son los que se encuentran en estos tres grandes estratos o paquetes. Para ello se recurrirá a la descripción de los materiales realizada durante la perforación de los sondeos (año 1992-1993). Dicho análisis se debe realizar teniendo en cuenta la precisión de esta descripción, la cual proviene de una inspección visual de una muestra alterada en el proceso de molienda a que se ve sometido el material por el trépano que se usa en la perforación. Además se obtiene una muestra de cada metro perforado, espesor en el cual puede haber dos o tres estratos diferentes. Por otra parte cuando en el terreno hay riolitas o tobas volcánicas, al ser molidas por el trépano, la muestra indica características similares a las arenas producto del acarreo fluvial de estos mismo materiales.

Otro elemento que ayuda a conocer estos materiales son las mediciones realizadas en los perfilajes neutrón, gama-gama y gama natural en cada sondeo mecánico construido.

En consecuencia se dispone de tres antecedentes para conocer el tipo de material presente y predominante en cada uno de los 3 estratos a saber:

- La descripción de los materiales realizadas durante la perforación (Informe de la Construcción de 10 pozos - Alamos y Peralta - 1993).
- La campaña de 35 SEV de geofísica de resistividad realizada en las inmediaciones de los sondeos 4 al 10 en octubre de 1999, que alcanzó a los 300 metros de profundidad.
- Los perfilajes Neutrón, Gama- Gama, y Gama Natural y T° en cada uno de los sondeos mecánicos perforados a saber del 4 al 10.

Teniendo a la vista todos estos antecedentes, así como los gráficos de caudal- depresión de las pruebas de bombeo y la variación de niveles del agua durante la perforación, ha sido posible identificar los tres estratos en cada uno de los pozos.

Para cada sondeo se ha hecho un gráfico que contiene un conjunto de información: perfilajes gama- gama y neutrón y gama natural y T°, al que se ha agregado la resistividad según los SEV, la descripción de los materiales durante la construcción y la situación de las cribas (unidad captante).

Con todo ello, sumado al análisis de la variación de niveles del agua subterránea durante la construcción de los pozos se ha diferenciado tres capas: la primera o superior con características de acuífero libre, la segunda semiconfinada y además confinante de la tercera y la tercera capa la más profunda de característica confinada.

Además se le agregó un cuadro que contiene para cada pozo, el nivel medio del agua para cada estrato, la profundidad de cada uno de los tres estratos y su espesor y además los caudales y depresiones de las pruebas de caudal variable y de caudal constante. Ello permite establecer claramente que hay tres capas a diferente presión, además los aportes relativos de cada uno de los estratos a la producción total del pozo en cada caso.

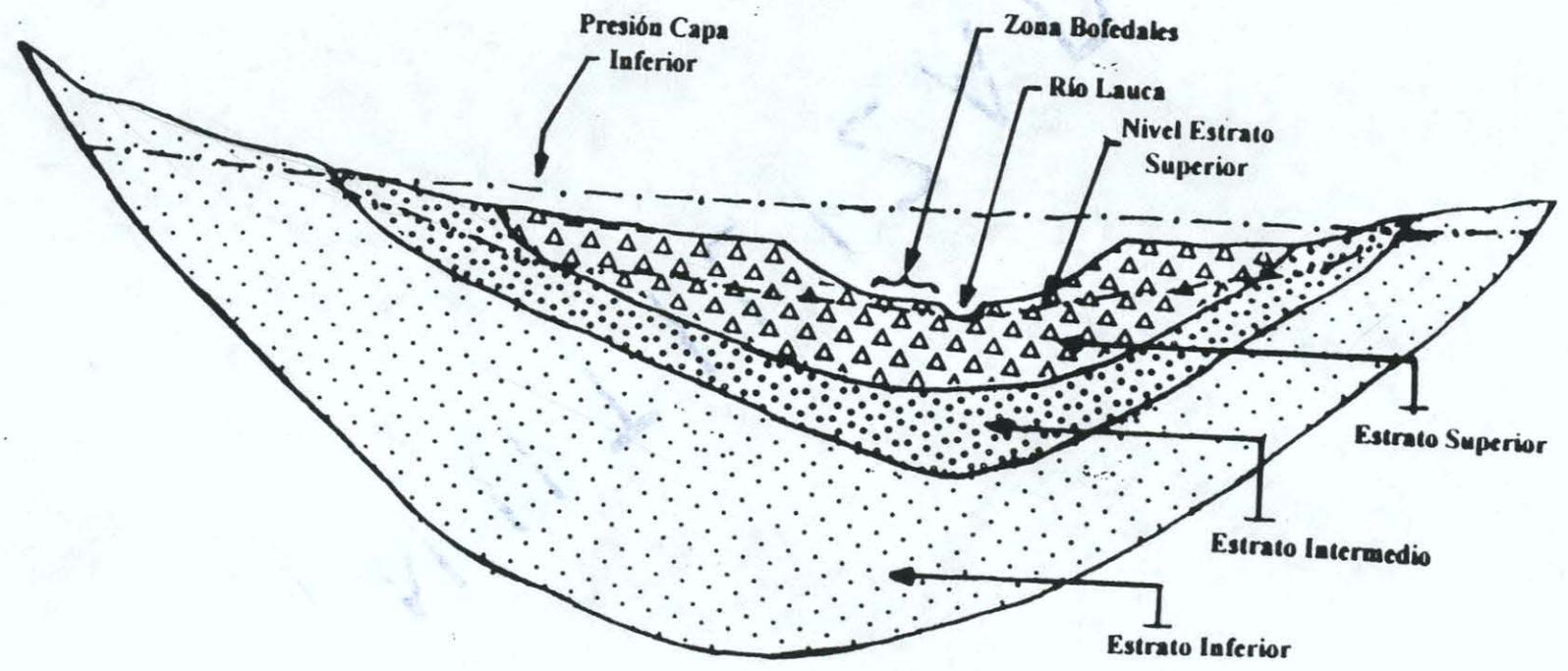
CUADRO QUE INDICA LA SITUACIÓN DE LOS 3 ESTRATOS EN LOS POZOS

Pozo	Acuífero Superior		Acuífero Confinante		Acuífero Inferior		Pruebas Q Variables		Prueba Q constante	
	Profund. m	Cota agua (m)	Profund. m	Cota agua (m)	Prof. m.	cota agua	Q=l/s	d=m	Q/D	Q/D
5	0-17	3,0	17-69	1,5	69-110	Surg.	20/21	40/55	50/83	50/85
6	0-30	1,0	30-50	9,0	50-120	Surg.	20/17	40/35	55/72	40/42
7	0-20	8,5	20-46	5,6	46-80	2,6	20/10	40/25	60/30	55/60
8	0-20	2,0	20-50	1,0	50-120	Surg.	20/0,3	40/9	60/12	70/40
9	0-16	0,7	16-36	0,7	36-120	Surg.	20/12	40/34	60/60	60/60
10	0-20	4	20-47	3	47-120	1,3	20/62	--	--	7/45

Todo lo anterior ha permitido establecer un esquema de la disposición geométrica de los diferentes materiales, que dan lugar a los tres estratos acuíferos, la presión del agua en ellos y su relación con el río Lauca.

Ver esquema de los 3 estratos que se presentan en las páginas siguientes.

ESQUEMA HIDROGEOLOGICO SINTETICO



El esquema anterior corresponde a una síntesis y representa una hipótesis de trabajo. Esta hipótesis se encuentra avalada por los antecedentes empleados y descritos con anterioridad. El conocimiento futuro del embalse subterráneo permitirá precisar este esquema general y además adaptarlo a las condiciones específicas de un determinado sector.

LOS SONDEOS Y LOS ESTRATOS

En los gráficos adjuntos, que corresponden a los perfilajes de gama-gama, neutrón, gama natural y temperatura, en cada sondeo se han agregado la información de las mediciones de resistividad en los sondeos eléctricos, la descripción del material atravesado durante la construcción, la posición de las cribas en la habilitación del sondeo. En el pie de página se incorporaron la presión del agua medida durante la perforación en diferentes profundidades y el gráfico Q/H de rendimiento del pozo.

El análisis conjunto de todas aquellos datos permitió establecer la existencia de estos tres estratos. La precisión de esta separación está obviamente condicionada por la precisión de los datos empleados.

Los perfilajes geofísicos entregan sólo valores relativos y no absolutos, salvo la temperatura del agua. Al mismo tiempo la asignación del tipo de material asociado debe hacerse con un patrón previamente establecido, cosa que no pudo realizarse por no contar con una descripción fidedigna de los materiales atravesados.

La información del tipo de material atravesado es asimismo imprecisa debido a que es una muestra alterada, con lo cual las tobas y riolitas, al molerse por el trépano pueden aparecer en superficies como arenas y gravas.

La variación del nivel estático durante la perforación, es una medida bastante precisa que se realizó durante la perforación de los pozos y ha permitido, junto con los demás antecedentes, efectuar la separación en estratos. Además se ha tenido en cuenta los caudales entregados por

los pozos a diferentes profundidades, lo que indica de una manera clara ^{la} aptitud acuifera de los diferentes materiales.

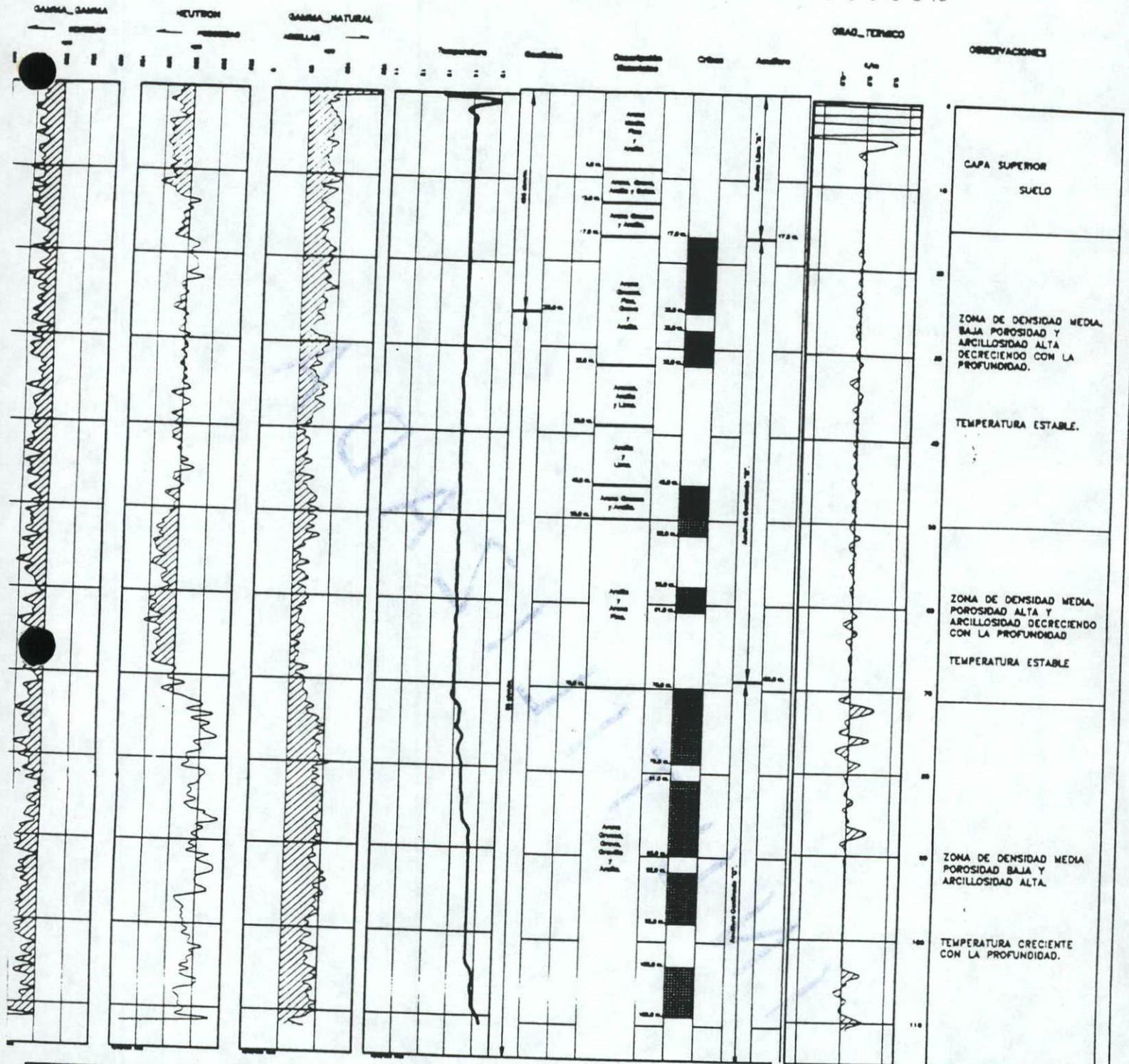
Sondaje N°5

Fue perforado hasta los 120 metros y habilitado hasta dicha profundidad, entregó un caudal máximo de 50 l/s con un nivel dinámico de 85 metros.

En éste el primer estrato "A" con características de acuifero libre, se fijo desde 0 hasta 17.5 metros la densidad es alta, asimismo la porosidad es alta, el contenido de arcilla es relativamente alto, la temperatura es de 14°C, la resistividad es de 450 ohmios/m, el material descrito durante la perforación es de arenas gruesas, arenas media, gravas y arcilla. Es probable que este sector tenga capas de riolita intercaladas entre capas de arenas y arcilla. Ello explicaría el valor de 450 ohmios/m de resistividad en el SEV.

El estrato "B" va desde 17 a 69 metros, la densidad no varía con respecto al estrato anterior, la porosidad disminuye lo que indicaría un menor contenido de arcilla -la porosidad medida es la total, la cual es máxima en las arcillas- el contenido de arcilla medida en la sonda gamma-natural, también es menor que en el estrato superior, el material descrito también concuerda con esta situación, al ser alternancia de capas de arena, grava, arcillo y limo y la resistividad de 65 ohmios/m es también característica de este material saturado.

El estrato "C" presenta un poco menor densidad, menor porosidad y aumenta el contenido de arcilla y aumenta progresivamente la temperatura. Aquí lo que concuerda es la baja porosidad, lo demás está en concordancia con el paquete de Arena gruesa, grava, gravilla y arcilla y el valor de 65 ohmios/metros del SEV. Este último estrato es el que determinó la surgencia está claramente confinado y aporta agua de acuerdo con la curva caudal - altura.



Estratos	A	B	C
N.E. (m.)	3.0	1.5	Surg.

Q (Vs.)	20	40	50
H (m.)	21	55	85

Gamma-Gamma AUMENTA POROSIDAD
 Neutron AUMENTA POROSIDAD
 Gamma-Natural AUMENTA ARCILLOSIDAD
 Grad. Termico CAMBIOS EN GRADIENTE TERMICO

AMBAR S.A.

ESTUDIO PERFILAJE DE POZOS
RIO LAUCA - PUTRE
I REGION

ESCALA 1 : 500 OCTUBRE 1999 FIG. 8

El sondeo N°6

El primer estrato llegaría a los 30,0 m. tiene una primera capa de 8,5 metros con arena, limo y ceniza volcánica, muy bajo contenido de arcilla, baja densidad y alta porosidad, puede corresponder a una capa de riolita muy agrietada, lo que daría el valor de 200 ohmios/m en el SEV. Entre 8.5 y 30,0 metros baja la porosidad, aumenta el contenido de arcilla y se mantienen los 200 ohmios/m, no presentando concordancia entre ellos, pero si con la alternancia de arena, gravilla y limo, en este estrato de carácter libre al ser bombeado el pozo con 20 l/s deprimió 17 metros dejando casi en seco la primera criba.

El segundo estrato identificado, presenta una anomalía en la presión, ya que es de 9 metros, ocho metros más bajo que el primer estrato, va desde los 30 a los 50 metros, mantienen los 200 ohmios/m que es indicador de material grueso saturado con baja porosidad, o con capas de riolita, la porosidad medida con la sonda de neutrón, indica asimismo una baja el contenido de arcillas que aumenta hacia el fondo, lo que no concuerda con los 200 ohmios/m del SEV la densidad se mantiene inalterada en relación con el estrato superior.

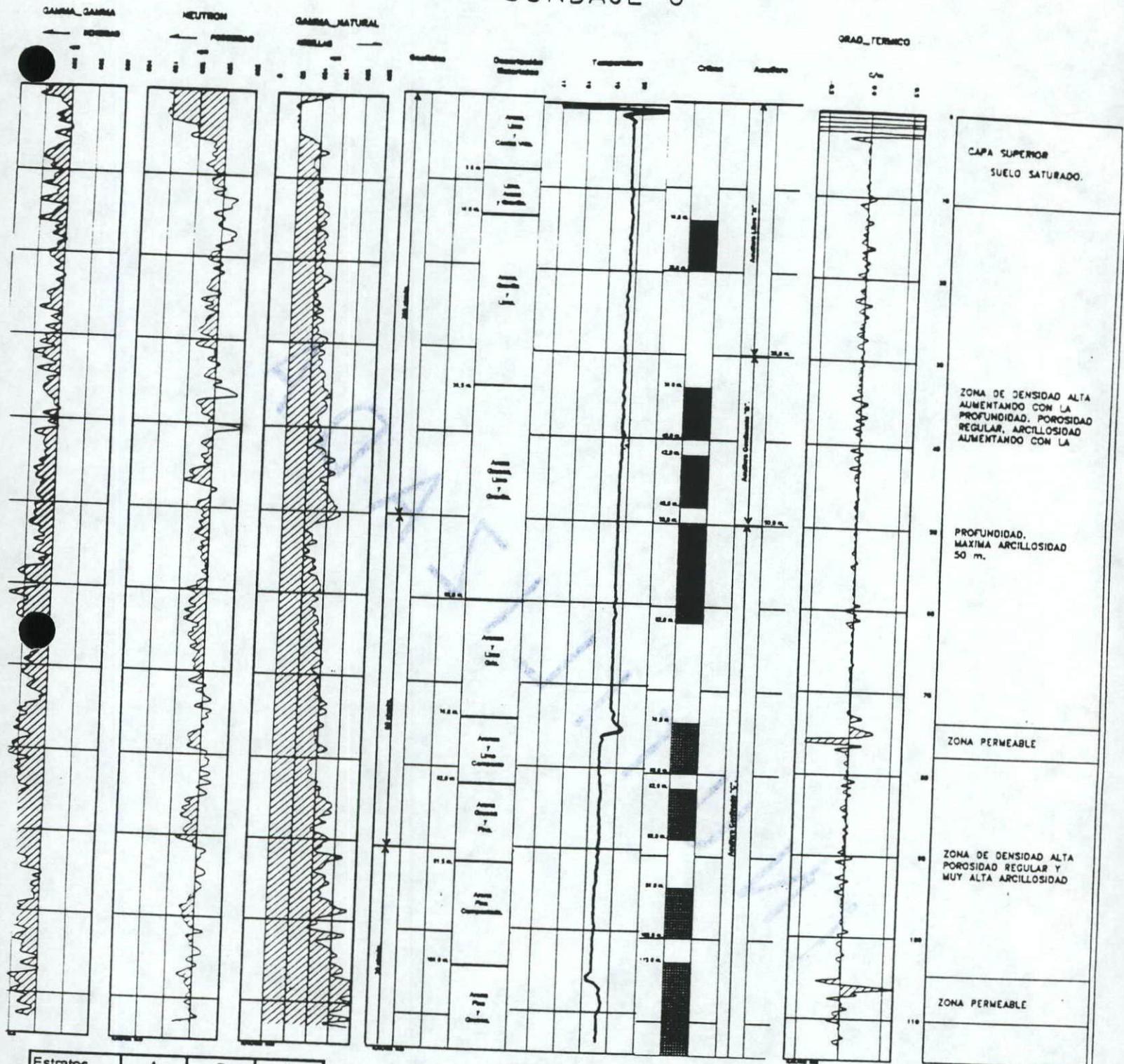
El tercer estrato desde 50 a 120 metros es el que presentó surgencia, la densidad aumenta, lo que concuerda con el mayor contenido de arcilla detectado en el gama-natural, la porosidad se mantiene baja salvo entre 60 y 70 metros, ello está de acuerdo con la descripción de arena y limo gris de la descripción de las muestras, pero ello no concuerda con el contenido de arcilla de la sonda de gama-natural.

En todo caso se trata de un material detrítico de arena fina y gruesa, que se comporta como un acuífero con una surgencia importante. En esta capa la resistividad medida en el SEV de 30 a 50 ohmios/m guarda relación con los materiales encontrados y con la productividad del sondeo.

Tanto la temperatura de 19,5°C como la producción de 40 l/s a 42 metros indicarían que el estrato más productor sería el tercero.

SONDAJE 6

000092



Estratos	A	B	C
N.E. (m.)	1,0	9,0	Surg.

Q (Vs.)	20	40	55	40*
H (m.)	17	35	75	42

*: Prueba de Caudal Constante.

Gamma-Gamma AUMENTA DENSIDAD
 Neutron AUMENTA POROSIDAD
 Gamma-Natural AUMENTA ARCILLOSIDAD
 Grad. Termico CAMBIOS EN GRADIENTE TERMICO

AMBAR S.A.
 ESTUDIO PERFILEJE DE POZOS
 RIO LAUCA - PUTRE
 I REGION
 ESCALA 1 : 500 OCTUBRE 1999 FIG. 3



000092

Sondeo N°7

El primer estrato o libre estaría hasta los 20 metros, el material perforado de arena gruesa, grava y arcilla puede responder a capas de riolita, según el valor de 500 ohmios/m del SEV. La sonda gama-natural, presenta un bajo contenido de arcilla, porosidad media y densidad baja, valores que están de acuerdo con la descripción del material.

El segundo estrato entre 20 y 46 metros hace subir el nivel estático desde 8,5 m. a 5,6 m. está descrito como arena gruesa y arcilla, la sonda gama-natural indica un mayor contenido de arcilla regular porosidad y baja densidad, esto concuerda con la descripción del material y el valor de 100 ohmios/m del SEV.

El tercer estrato entre 46 y 80 metros hace subir la presión desde 5,6 m. a 2,6 metros, (la ausencia de surgencia se debería a que el pozo tiene 80 metros y no 120 como los anteriores) los materiales predominantes serían arena y arena gruesa, lo que no se opone a las curvas de densidad, porosidad y gama-natural.

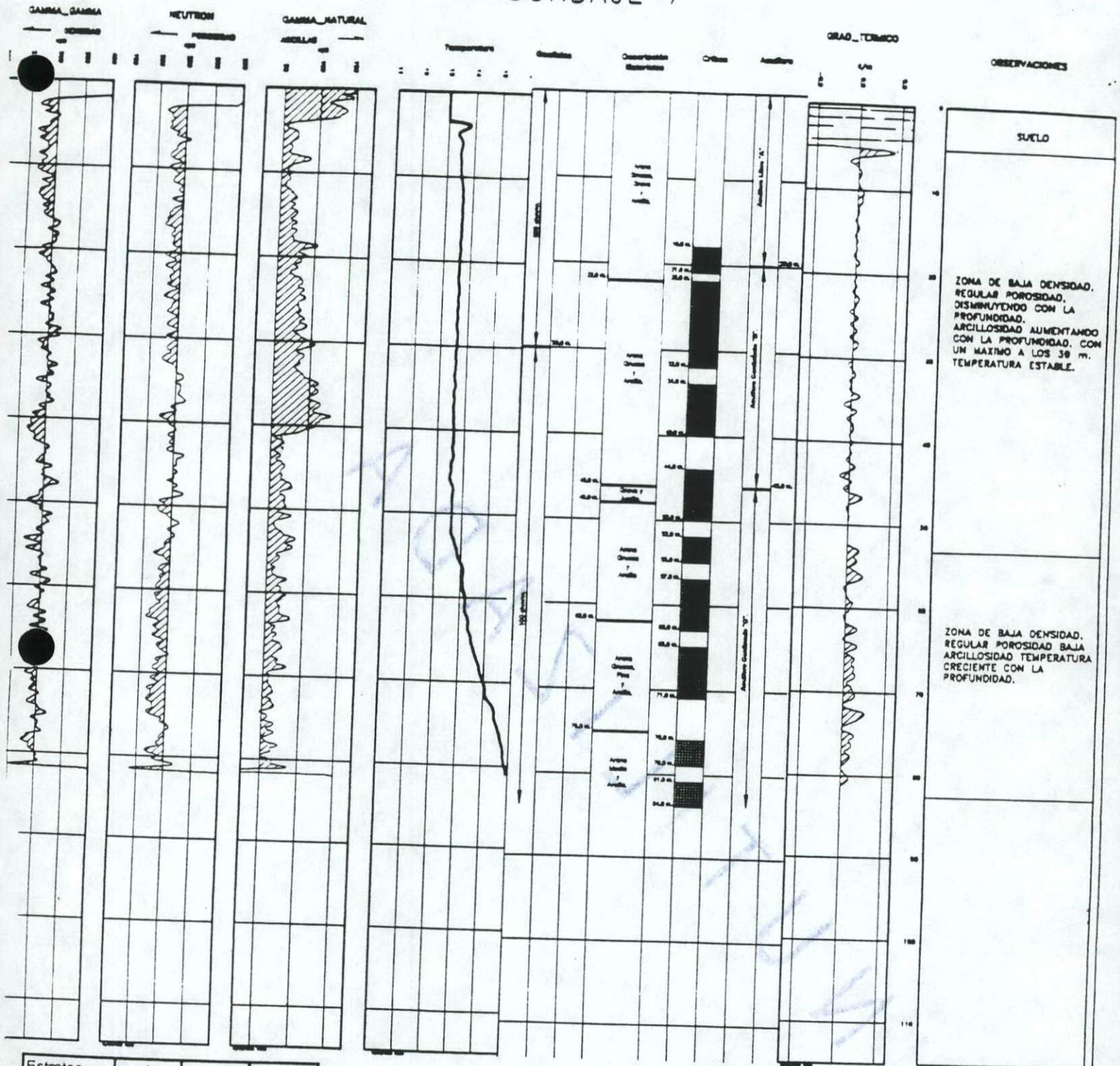
Sondeo N°8

Este es el que se encuentra más al norte, tiene la mayor temperatura de 25°C. El primer estrato de 20 metros con resistividad de 130 ohmios/m concuerda con el material descrito de arenas, arcilla y gravas, baja densidad y baja porosidad.

El segundo estrato desde 20 a 50 m. descrito como arena fina y gruesa, limo y grava, está de acuerdo con los 130 ohmios/m del SEV y la densidad y porosidad medida con neutrón y gama-gama. El elevado contenido de arcilla que muestra la medición de gama-natural, no concuerda con las conclusiones anteriores.

SONDAJE 7

000092



ZONA DE BAJA DENSIDAD, REGULAR POROSIDAD, DISMINUYENDO CON LA PROFUNDIDAD. ARCILLOSIDAD AUMENTANDO CON LA PROFUNDIDAD, CON UN MAXIMO A LOS 30 m. TEMPERATURA ESTABLE.

ZONA DE BAJA DENSIDAD BAJA, REGULAR POROSIDAD BAJA, ARCILLOSIDAD TEMPERATURA CRECIENTE CON LA PROFUNDIDAD.

Estratos	A	B	C
N.E. (m.)	8,5	5,8	2,8

Q (Vs.)	20	40	60	55°
H (m.)	10	25	30	60

* : Prueba de Caudal Constante.

- Gamma-Gamma: AUMENTA DENSIDAD
- Neutron: AUMENTA POROSIDAD
- Gamma-Natural: AUMENTA ARCILLOSIDAD
- Grad. Termico: CAMBIOS EN GRADIENTE TERMICO

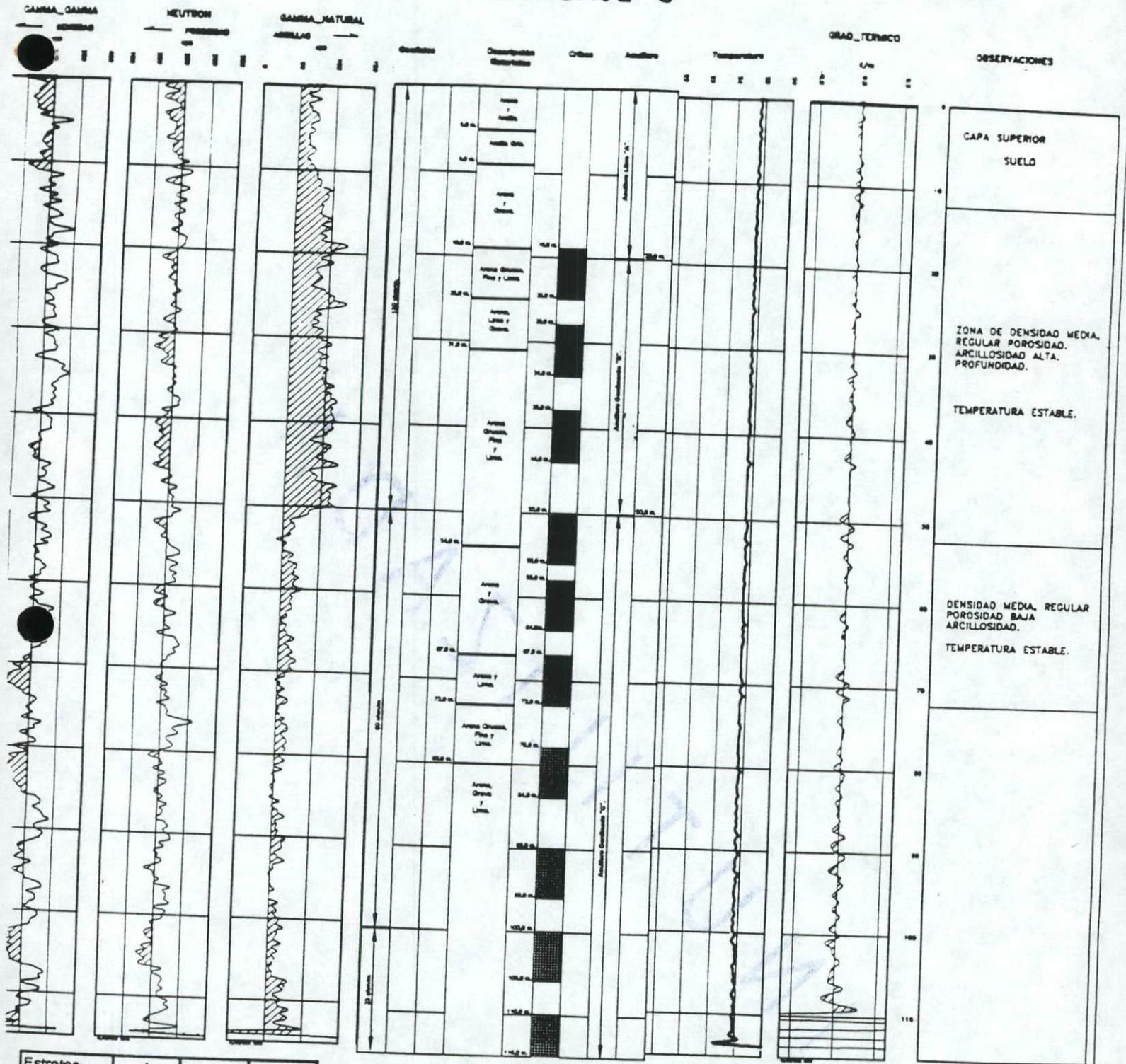
AMBAR S.A.

ESTUDIO PERFILEJE DE POZOS
RIO LAUCA - PUTRE
I REGION

ESCALA 1 : 500 OCTUBRE 1999 FIG. 5

SONDAJE 8

000092



Estratos	A	B	C
N.E. (m.)	2,0	1,0	Surg.

Q (l/s.)	20	40	60	70
H (m.)	0,3	9	22	40

Gamma-Gamma AUMENTA DENSIDAD
 Neutron AUMENTA POROSIDAD
 Gamma-Natural AUMENTA ARCILLOSIDAD
 Grad. Termico CAMBIOS EN GRADIENTE TERMICO

AMBAR S.A.

ESTUDIO PERFILAJE DE POZOS
RIO LAUCA - PUTRE
I REGION

ESCALA 1 : 500 OCTUBRE 1999 FIG. 4



El tercer estrato entre 50 y 120 metros, compuesto por alternancia de arena gruesa, arena fina, y limos, concuerda con las medidas de resistividad del SEV de 80 y 23 ohmios/m, el bajo contenido de arcilla del gama-natural, la baja porosidad medida con la sonda neutrón y la baja densidad del gama-gama salvo entre 70 y 75 y 80 y 85 metros.

Este estrato es el de mayor presión y determina las surgencia del sondeo.

La elevada temperatura, es signo de un termalismo local, que se asocia con la temperatura de Baños Morales, que se encuentra próximo al sondeo.

La elevada producción del sondeo 70 l/s a 40 metros es una muestra de la potencia del tercer estrato.

Sondeo N°9

Este sondeo es asimismo surgente, rindió 60 l/s a 60 metros y en el la capa "A" llegaría hasta los 16 metros, con ripio y arena y en los primeros 7 metros y arena limo y arcilla hasta los 16 metros, el valor de la resistividad del SEV es de 750 ohmios/m, lo que hace pensar en que las gravas corresponden más bien a riolitas.

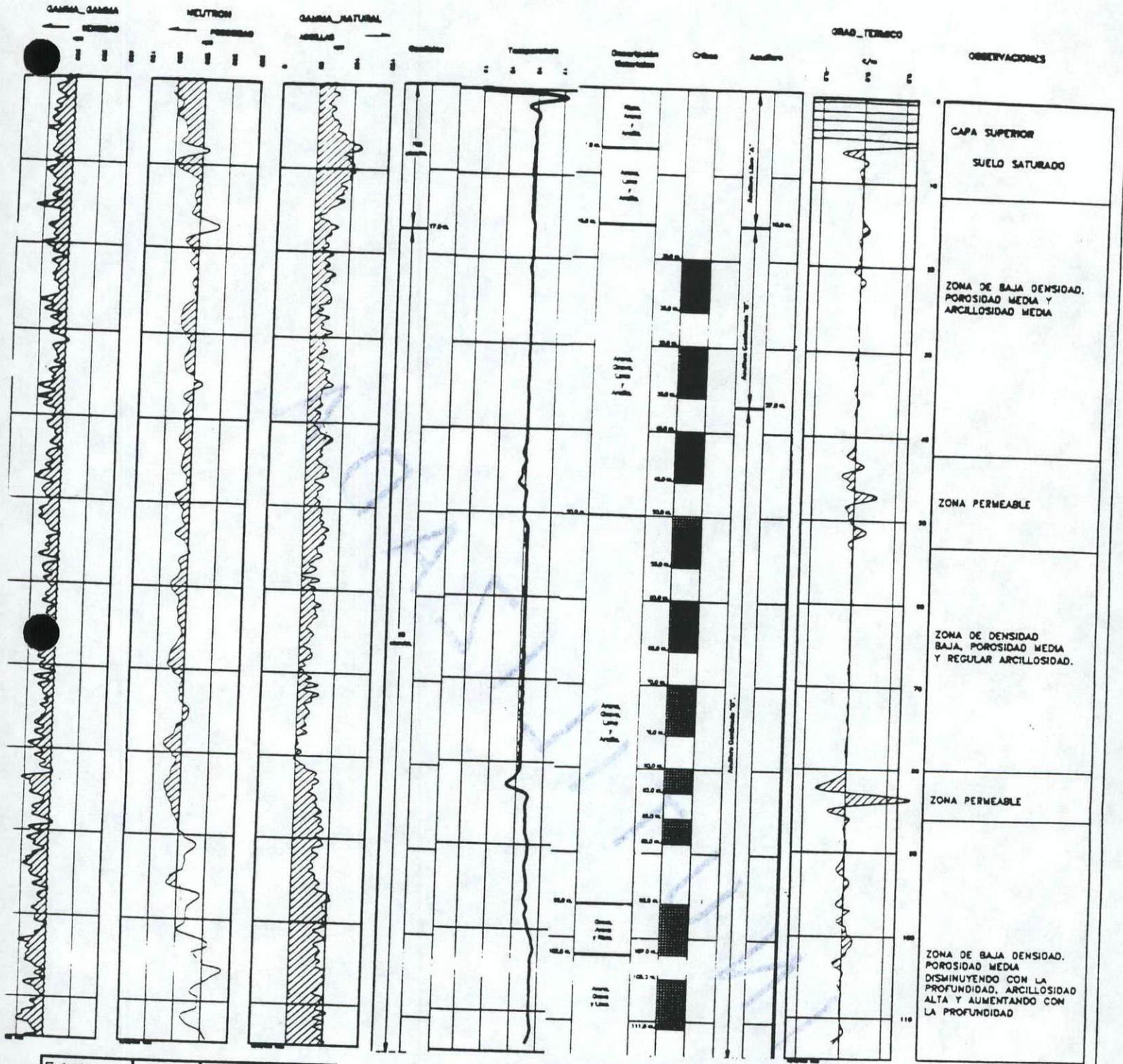
La sonda gama-natural da un contenido más abundante de arcilla entre 8 y 11 metros, lo cual está de acuerdo con la descripción del material.

La densidad es relativamente alta y la porosidad es alta hasta los 12 m para descender desde allí hasta los 16 metros.

La segunda capa "B" entre 16 y 37 metros corresponde a materiales gruesos del tipo a arena y grava con limo y algo de arcilla, esto concuerda con la resistividad del SEV de 90 ohmios/m, con el bajo contenido de arcilla medido con la sonda gama-natural la regular porosidad detectada por la sonda neutrón y la mediana densidad señalada por la sonda gama-gama.

SONDAJE 9

000092



Estratos	A	B	C
N.E. (m.)	0,7	0,7	Surg.

Q (Vs.)	20	40	60
H (m.)	12	34	60

- Gamma-Gamma AUMENTA DENSIDAD
- Neutron AUMENTA POROSIDAD
- Gamma-Natural AUMENTA ARCILLOSIDAD
- Grad. Termico CAMBIOS EN GRADIENTE TERMICO

AMBAR S.A.

ESTUDIO PERFILAJE DE POZOS
RIO LAUCA - PUTRE
I REGION

ESCALA 1 : 500 OCTUBRE 1999 FIG. 7

La tercera capa "C" comprende desde los 37 metros hasta el fondo de 120 metros, ésta da la surgencia al sondeo, formada por arena, grava, limo y arcilla en su parte superior para pasar a grava, arena y limo desde los 96 metros hasta el fondo. Las medidas de porosidad y densidad no se oponen a la descripción anterior, en cambio al gama-natural, da baja arcillosidad solo hasta los 80 metros, para desde allí aumentar hasta el final, este último tramo no coincide con los anteriores.

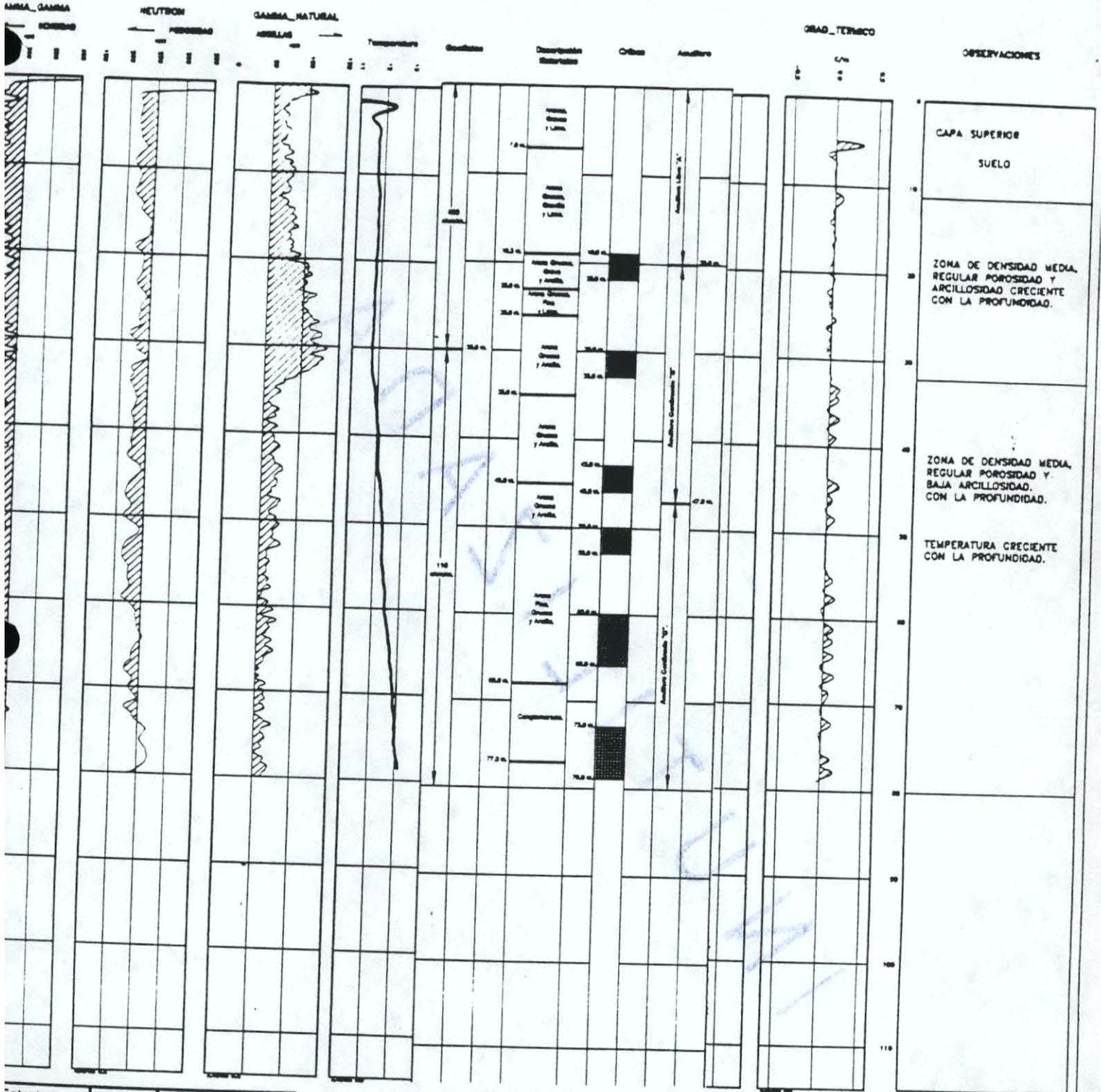
Sondeo N°10

La primera capa constituida por arenas, gravas, gravilla y limo, alcanza hasta los 20 metros, como la resistividad del SEV indica 600 ohmios/m, las gravas y arenas pueden corresponden a riolita molida por el trépano.

La segunda capa se encuentra entre los 20 y los 47 m, compuesta del mismo material anterior con mayores estratos intercalados de arcilla. La sonda gama-natural presenta esta arcilla solo hasta los 25 metros y después decrece, la porosidad y la densidad se mantienen dentro de un valor medio. La resistividad del SEV arroja un valor de 110 ohmios/m lo cual indicaría una predominancia de gravas y material grueso.

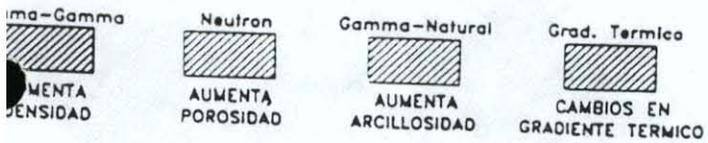
La tercera capa desde 47 hasta 80 metros, está descritas como arena gruesa y arcilla en estratos. El gama-natural indica baja presencia de arcilla, la sonda neutrón indica una porosidad media que baja en los últimos 10 metros, lo que probablemente se debe a la existencia del conglomerado descrito en el material perforado, la densidad no presenta mayores contrastes con la capas superiores. La resistividad de 110 ohmios/m concuerda con la mayor presencia de gravas. No obstante el bajo rendimiento del pozo 7 l/s a 45 metros hacen sospechar que el tercer nivel es más bien compacto y poco permeable. No obstante tiene agua a presión la que hizo subir el nivel estático desde 3,0 a 1,3 metros.

SONDAJE 10



Estratos	A	B	C
J.E. (m.)	4,0	3,0	1,3

Q (Vs.)	20	7
H (m.)	62	45



AMBAR S.A.

ESTUDIO PERFILAJE DE POZOS
RIO LAUCA - PUTRE
I REGION

ESCALA 1 : 500 OCTUBRE 1999 FIG. 6

PROCEDENCIA Y DESTINO DEL AGUA SUBTERRANEA

El agua del embalse subterráneo proviene tanto de la infiltración directa desde la lluvia que cae en el sector, como de las infiltraciones de las escorrentías de los cauces naturales que se forman en los días de lluvia y siguientes, así como del derretimiento de las nieves. Estos cauces son fácilmente reconocibles en los planos topográficos y corren en general de este a oeste y de oeste a este, teniendo como colector central el Río Lauca, puesto que se encuentra a la cota más baja, hacia el sur, por el lado oriente hay dos quebradas o esteros que son permanentes y que drenan los nevados de Guallatiri y se denominan ríos Chisamavida y Guallatiri. El recorrido total del río Lauca desde las Ciénagas de Parinacota hasta la frontera con Bolivia es de 60 Km.

Las zonas de infiltración, que alimentan al Tercer Estrato, es decir el más profundo, se encuentran en los flancos Este y Oeste de la cuenca, sector donde dicho estrato se pone en contacto con los escurrimiento superficiales. De ellos es probable que el más importante sea el del sector oriental, donde la precipitación es mayor (precipitación anual es de 300 a 400 m. promedio registrado en Parinacota). Lo mismo sucede con los estratos primero y segundo sólo que en esos casos captan las aguas de un sector más bajo de la cuenca.

En cuanto al sentido de escurrimiento del agua subterránea, se pueden distinguir tres aspectos:

- En primer lugar el agua se mueve desde los bordes este y oeste hacia el centro de la cuenca, esto en general para los 3 estratos.
- En segundo lugar hay un movimiento de dirección norte-sur que es paralelo al escurrimiento del río Lauca.
- En tercer lugar un movimiento vertical ascendente desde el estrato profundo hacia el primer estrato, atravesando el 2º estrato, debido a la diferencia de presiones entre ellos.

Sin embargo este movimiento ascendente es muy lento debido a la baja permeabilidad de la capa confinante (del 2° estrato).

El destino de las aguas subterráneas, es diferente según el estrato de que se trate.

- En el primer estrato, en que el acuífero es libre, el agua se mueve hacia el centro de la cuenca alimentando al río Lauca y los bofedales.
- En el segundo estrato de carácter semiconfinado el agua se mueve también hacia el centro y además alimentando al estrato superior.
- En el tercer estrato el agua subterránea se mueve preferencialmente en sentido norte-sur y en mucho menor grado alimentando los estratos superiores.

EL RIO LAUCA Y EL EMBALSE SUBTERRANEO

De acuerdo con lo expresado en los puntos anteriores, el río Lauca se encuentra en comunicación hidráulica directa con el Estrato Superior del embalse subterráneo. Durante casi todo su recorrido, de 60 Km., entre las Ciénagas de Parinacota y su entrada en territorio Boliviano, recibe aportes de agua subterránea, desde este acuífero superior. Ello ha sido comprobado en diferentes oportunidades y épocas del año mediante aforos a lo largo de su recorrido.

El Segundo Estrato alimenta en parte al Estrato Superior y de una forma indirecta al río Lauca, lo mismo sucede con el Tercer Estrato pero de una forma muy indirecta y poco significativa.

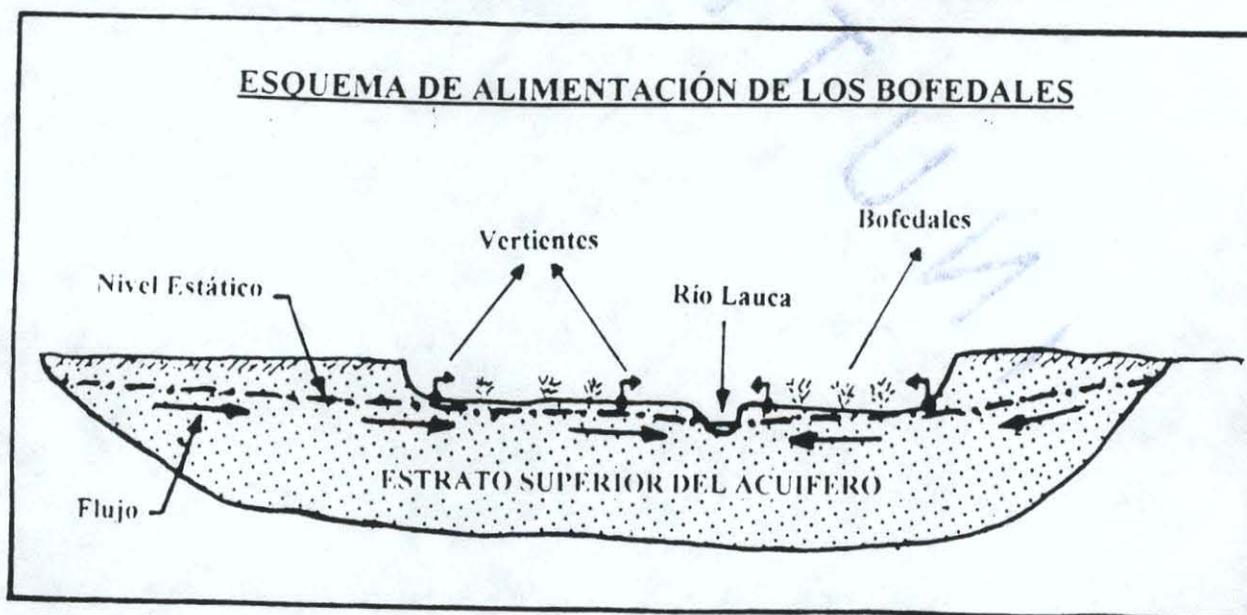
Estos dos estratos superiores, que tienen espesores comprendidos entre 30 y 60 metros en el sector central de la cuenca, disponen de un elevado volumen de agua almacenada, lo que hace que las descargas sean muy uniformes en el tiempo. El volumen descargado durante el año, se repone por medio de las infiltraciones que se producen durante los meses de diciembre a

marzo, correspondiente al denominado invierno altiplánico donde las precipitaciones registradas en Enero y Febrero son de 100 mm. en cada mes aproximadamente.

Los aforos realizados entre febrero y abril de 1996, en diversos sectores del Lauca a lo largo de su recorrido, se recogen en el informe de mayo de 1996, efectuado por AMBAR y que se denomina, "Consultoría Análisis Ambiental del Proyecto de Explotación de Pozos en Parque Nacional Lauca - Iª Región". En ellas se muestra el aumento de caudal del Río hacia aguas abajo. Por ejemplo se puede caracterizar el Lauca en sus inicios (Chucullo Km2) con caudales de 20 l/s; Lauca en Misituni Km. 17 con 300 l/s; Lauca en Ancocholloani Km. 47 con 900 l/s y Lauca en Portezuelo Macaya Km. 72 con 1200 l/s.

EL RIO LAUCA, LOS BOFEDALES Y EL EMBALSE SUBTERRANEO

Tal y como se ha expresado en los capítulos anteriores, el río Lauca, recibe aportes de agua desde el estrato superior del embalse subterráneo del Altiplano Ariqueño. Las zonas de bofedales, se localizan en áreas semiplanas a planas adyacentes al río Lauca, corresponden a vegetación freatófita es decir que se alimentan de agua subterránea cuyo nivel de saturación se encuentra próximo a la superficie. La alimentación de los bofedales tiene el mismo origen que la alimentación del río Lauca, es decir el estrato superior del embalse subterráneo.



Una parte de la alimentación lateral proveniente del estrato acuífero es interceptada por los bofedales antes de alcanzar su descarga en el río Lauca.

Los estratos más profundos, particularmente el tercer estrato, no intervienen en el proceso de alimentación al río ni a los bofedales y su escurrimiento se produce principalmente hacia el sur.

LOS POZOS DE LA D.O.H N°5 AL N°10 Y LA RELACION CON EL RIO Y LOS BOFEDALES

Los pozos N°5 al N°10 han atravesado en general las tres capas o estratos acuíferos que se han definido en los capítulos anteriores. La habilitación de ellos corresponde en general a los estratos segundo y tercero, salvo en el sondaje N°6 que tiene la primera criba entre 14 y 20 metros y el sondaje N°7 con la criba situada entre 18 y 21 metros que corresponderían al primer estrato.

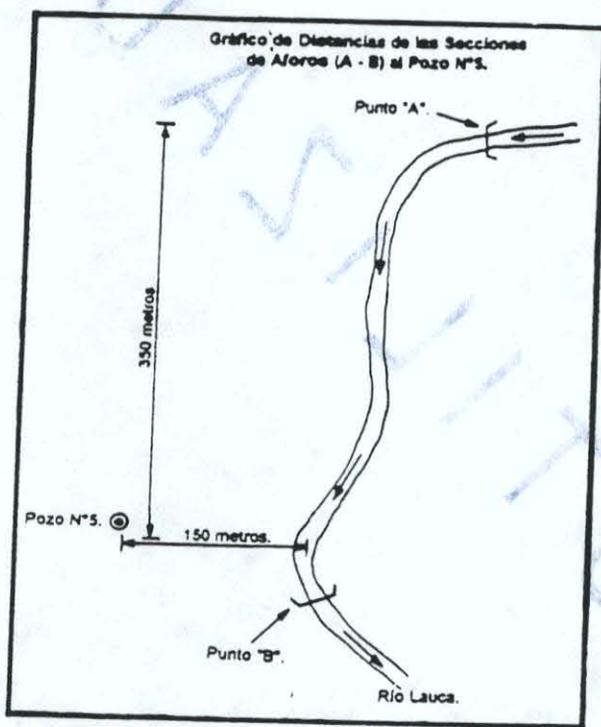
En consecuencia los caudales que se obtienen provienen básicamente de las capas 2ª y 3ª, ello queda demostrado en las pruebas de caudal variable realizada en cada uno de los sondeos. Asimismo las depresiones que provocan éstas extracciones afectan en mayor medida al nivel piezométrico de la tercera capa, lo que hace que allí el gradiente hidráulico sea mayor y en consecuencia el aporte desde ese estrato sea a su vez mayor.

El efecto que esta explotación produce en los estratos primero y segundo, es poco significativa, tanto en caudal como en presión. La comprobación de ésta hipótesis se encuentra en los resultados de los aforos realizados en el caudal del río Lauca, durante las pruebas de bombeo en cada uno de los sondeos efectuados en el año 1996, los cuales fueron 216 aforos en sectores del río Lauca cercanos a los sondeos de explotación. Con ello se pudo medir por aforos diferenciales el efecto del bombeo en el río.

Dada la importancia de estas mediciones, se reproducen aquí las conclusiones del informe con lo medido y observado para cada uno de los pozos N°5 al N°9 (En el pozo N°10 no se efectuó Prueba de Bombeo ni aforos en el río).

Conclusiones respecto a los resultados de los aforos en el río Lauca frente a los pozos en bombeos se pueden enumerar pozo a pozo:

Pozo N°5



Los aforos fueron realizados previo a la prueba de Q variable (19-20 Feb '96), durante un periodo sin pruebas (24-25 Feb '96) y luego durante la prueba de gasto constante (3-4-5-6 Mar '96). Es importante destacar que estos coincidieron previo a una crecida del río Lauca (antes P.G.V), durante una crecida (P.G.V) y posteriormente a una recesión (P.G.Cte.), por lo que los caudales del río Lauca no son los representativos de su régimen normal (200 a 300 l/s) en el sector frente al pozo 5.

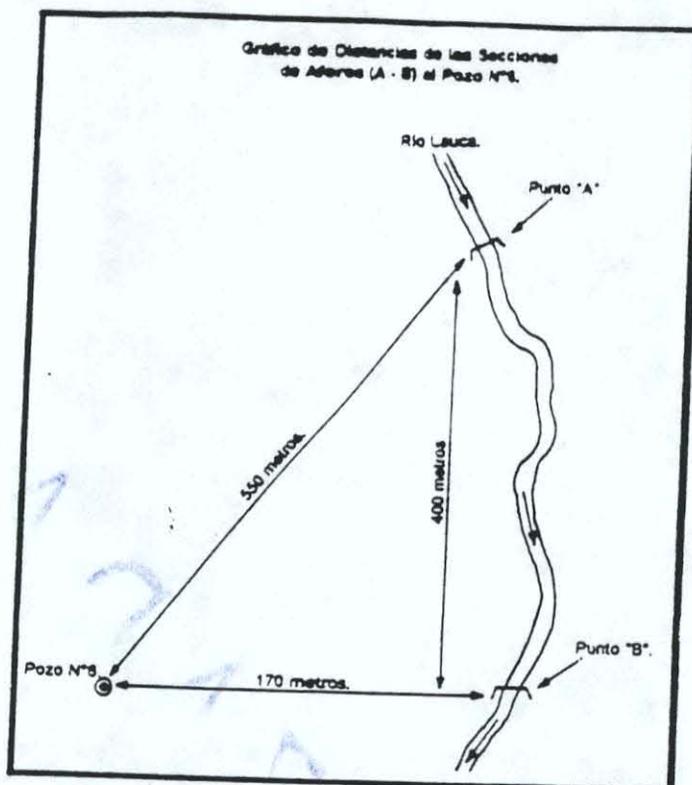
No obstante lo anterior en un tramo definido por los puntos 5A y 5B que abarca una distancia de 350 a 400 metros aguas arriba del pozo 5 se tiene que el río Lauca presenta una recuperación natural de aproximadamente 50 l/s (entre 20 y 90 l/s) según los aforos rechazados en el río antes de bombear el pozo.

Dichas recuperaciones son producto del afloramiento del agua subterránea, en el lecho del río Lauca producto que el nivel piezométrico se encuentra por sobre el nivel de terreno y existe por tanto un gradiente hidráulico que permite dicha circulación. Lo anterior se corrobora con las condiciones de surgencia que se producen en el pozo 5 (surgencia medida 0.42 l/s).

Durante la ejecución de las pruebas de bombeo (40 l/s), se puede observar que las recuperaciones en el río Lauca dejan de ser notorias e incluso se percibe una "perdida" de entre 10 y 20 l/s en el tramo en cuestión, cuando los caudales del río Lauca se ubican entre 200 y 250 l/s.

Como conclusión respecto al bombeo del pozo 5 y su influencia en los caudales del río Lauca se puede indicar que esta influencia se manifiesta produciendo una disminución de los afloramientos en las primeras horas para luego volver a su régimen normal, es decir se trata de un efecto transitorio y no permanente en el tramo estudiado (tramo 5A-5B), aunque se observa una disminución del efecto a medida que transcurre el tiempo. Por lo tanto, la prueba de bombeo en nuestra opinión debería ser de mayor duración, por ejemplo 1 semana para poder afirmar lo observado en forma categórica.

Pozo N° 6



Se efectuaron aforos frente al Pozo N° 6 en dos períodos, enero 1996 y abril 1996, coincidentes con las pruebas de bombeos respectivas. Los aforos se efectuaron antes, durante y posterior a las pruebas de bombeo.

Los puntos de aforo 6A y 6B se ubicaron el primero a 400 metros aguas arriba del pro B y este último frente al pozo N°6 el cual se encuentra a una distancia de 170 m del río.

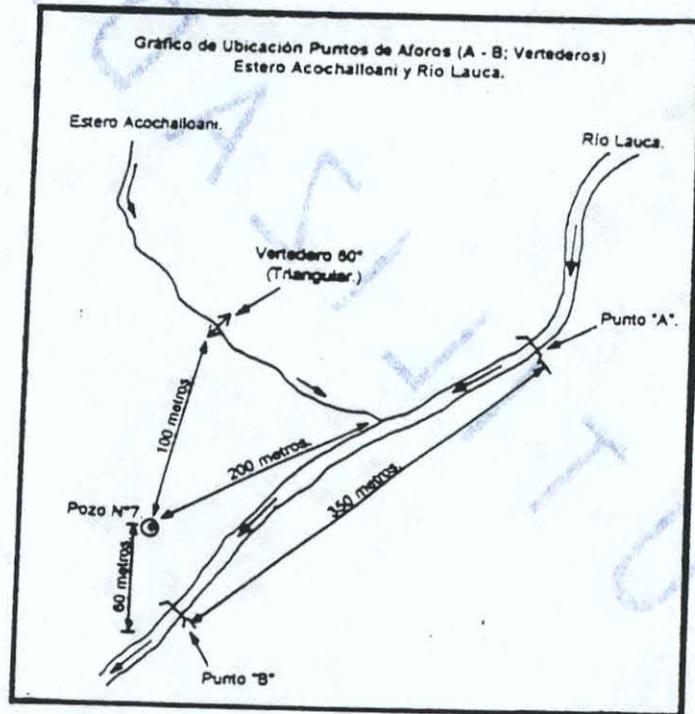
Los caudales del río Lauca frente al Pozo 6 fluctuaron entre 130 y 160 l/s en Enero y de 150 a 170 l/s en abril.

En el tramo 400 metros aguas arriba del Pozo 6, se registran recuperaciones entre 15 y 20 l/s en condiciones naturales de escurrimiento del río sin pruebas de bombeo, dichas recuperaciones se reconocen en base a los mayores caudales aforados en el punto 6B, ubicado aguas abajo del Pto 6A y aproximadamente frente al pozo 6.

Al efectuar pruebas de bombeo en el pozo no se registran afecciones en los caudales medidos en el río entre los puntos 6A y 6B manteniendo éstos la recuperación de entre 15 y 20 l/s entre ambos puntos aún en condiciones de bombeo de pruebas de gasto constante con un caudal de 40 l/s por 72 horas del pozo 6.

En resumen se puede indicar que no se manifiestan influencias del bombeo en el pozo 6 respecto a los caudales del río Lauca frente a él.

Pozo 7



Se efectuaron aforos en el río Lauca frente al Pozo 7, en puntos identificados como 7A y 7B ubicados el primero a 350 metros aguas arriba del Pto B y éste último frente al pozo 7 a unos 60 m de él.

Los aforos se efectuaron entre el 23 de marzo y el 3 de abril de 1996. Los caudales del río registrados correspondieron a la recesión de una crecida (600 a 250 l/s), un periodo inter-crecidas (320 l/s) y una crecida completa (300 a 600 y 250 l/s) esta última coincidió con la prueba de gasto constante (56 l/s) del pozo 7.

El pozo 7 se ubica frente a una zona de recuperaciones del río Lauca donde se han medido diferencias de caudales entre el Pto 7A y Pto 7B de caudales de entre 10 y 60 l/s. para condiciones naturales de escurrimiento del río Lauca con caudales de éste de 250 a 300 l/s.

Los aforos efectuados en la primera prueba de gasto variable insinúan una afección al anular transitoriamente las recuperaciones en dos aforos puntuales y una vez que esta prueba cesa, se reestablecen las condiciones naturales de recuperaciones en el río Lauca entre los Puntos 7A y 7B (mayores caudales en 7B respecto al Pto 7A).

Durante las primeras horas de la prueba de gasto constante (bombeo con 56 l/s) no se observan efectos en los caudales (300 l/s) del río producto del bombeo. A las 20 horas de bombeo se presenta una igualdad de caudales (500 a 600 l/s) entre los puntos 7A y 7B lo que se traduce en que se estarían anulando las recuperaciones naturales que se producen entre ellos. No obstante lo anterior esta situación se produce justo en el "peak" de la crecida (600 l/s) por lo que el error de medida debe tenerse en consideración. Posteriormente pasadas las 36 horas de bombeo con caudales del río Lauca entre 350 y 250 l/s se reestablecen las condiciones de recuperación del río con ganancias de entre 20 y 45 l/s del punto 7B respecto al punto 7A.

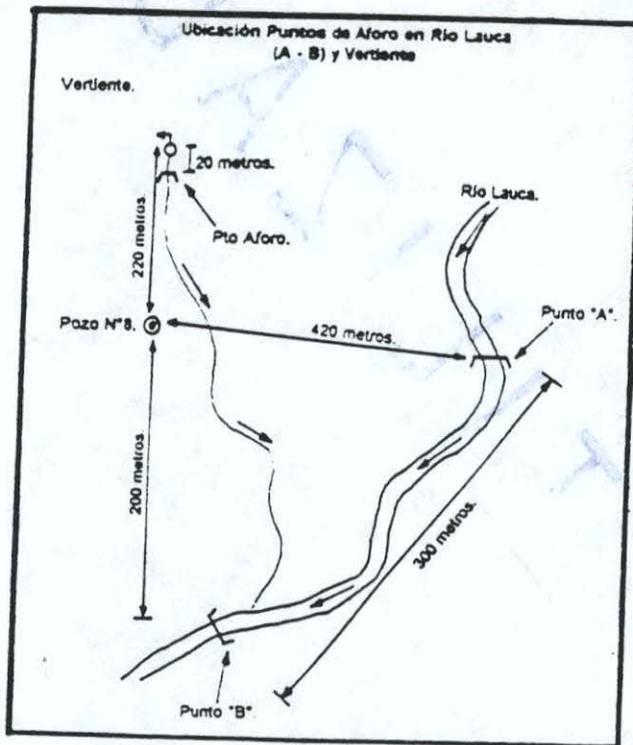
Posteriormente y terminada la prueba de gasto constante se mantienen las condiciones de recuperación del río Lauca en el sector con caudales entre 35 y 60 l/s.

En resumen, se presentan pequeñas influencias al inicio de las pruebas de bombeo, las cuales desaparecen pasadas las 24 horas de bombeo. Los resultados donde se observan pequeñas influencias en el río coincidieron con un periodo de crecida lo cual es una situación excepcional y debe tomarse con precaución cualquier conclusión al respecto. Por lo tanto, hubiese sido de

suma importancia repetir las pruebas en este pozo en condiciones de caudales estables, es decir sin crecidas y aumentar la duración del bombeo a 10 días como mínimo.

Como dato importante, durante la ejecución de las pruebas de bombeo en este pozo se midió como pozo de observación el Pozo Nº10 el cual alcanzó una depresión 10 metros cuando el pozo Nº7 alcanzaba un descenso de 49 metros a los 1385 minutos (23 horas). La distancia entre el pozo Nº7 y 10 es de 300 m. al finalizar la prueba del pozo Nº7 (4350 min) la depresión en él alcanzaba los 52,33 m y en el pozo de observación Nº10 llegaba a los 10.73 m.

Pozo Nº8



Se efectuaron aforos al río Lauca en las inmediaciones del pozo Nº 8 en puntos identificados como Pto 8A y 8B ubicados a 420 m aguas arriba y 200 m frente al pozo 8 respectivamente.

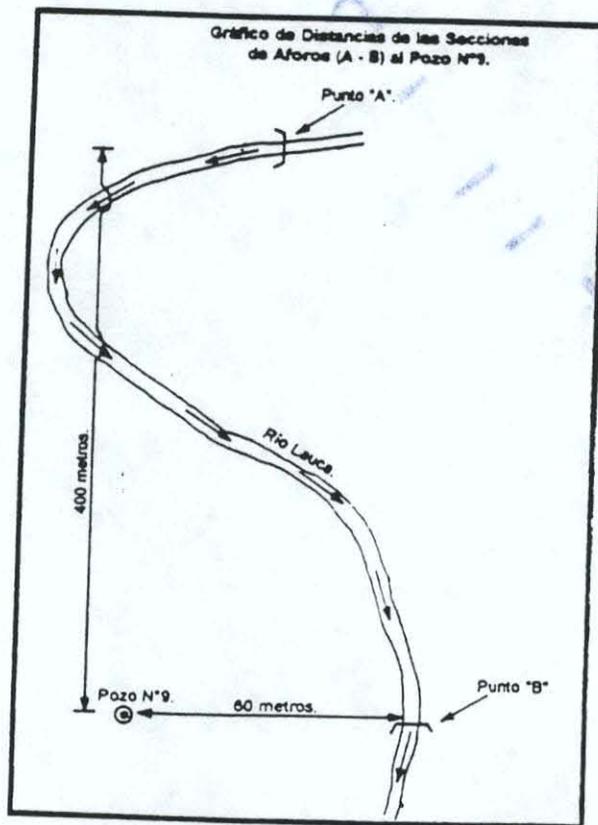
Los aforos se efectuaron entre el 19 y el 24 de abril de 1994 cuando el río Lauca se presentaba en una situación estable con caudales entre los 260 y 240 l/s. medidos frente al pozo Nº8.

Adicionalmente se midió el caudal de una vertiente ubicada unos 220 m. aguas arriba del pozo N°8. Dicha vertiente se mantuvo sin variaciones en torno a los 22 a 25 l/s. aún en pleno prueba de gasto constante de 72 horas de duración.

Se registran recuperaciones del río Lauca entre los puntos de aforo 8A y 8B por un valor de 50 l/s en los 300 metros de distancia entre ellos. Esta situación se manifiesta invariablemente tanto en condiciones naturales como con bombeo en el pozo N°8 de un caudal de 60 l/s.

En consecuencia, no se observa ninguna influencia en los caudales del río Lauca en las inmediaciones del Pozo N°8 mientras se ejecutan las pruebas de bombeo.

Pozo N°9



Los aforos en el río Lauca en las inmediaciones del pozo N°9, se efectuaron entre el 10 y el 16 de marzo de 1996 en la misma época de las pruebas de Gasto Variable y Constante.

Los caudales del río Lauca en dicho período se presentaron muy fluctuantes, producto de pequeñas crecidas por lo que los caudales fluctuaron entre 160 y 250 l/s aproximadamente.

No se logró determinar con certeza el grado de recuperación en el tramo entre los puntos 9A y 9B ubicados 400 metros aguas arriba del pozo 9 y frente a él respectivamente. Pero de acuerdo a los pocos valores en régimen natural del río (sin bombeos) se estima que las recuperaciones fluctúan entre los 20 a 30 l/s para el tramo en cuestión.

Durante las pruebas de bombeo se observa una influencia en los caudales del río Lauca desapareciendo las recuperaciones una vez transcurridas las primeras 45 horas de bombeo, mostrando posteriormente recuperaciones del río 10 y 15 l/s.

En resumen se observan pequeñas influencias en los caudales del río Lauca con bombeos del pozo 9 en las primeras horas del bombeo, pero ellas deberían desaparecer en una prueba (se recomienda) de larga duración de no menos de 5 días y en una época del año que los caudales del río se presenten estables sin crecidas.

- Como conclusión general de las pruebas de bombeo y los aforos efectuados en el río Lauca se puede mencionar que los únicos pozos que presentan cierto grado de afección a los caudales del río Lauca corresponden a los pozos N°5 y N°9, aunque en ellos las pruebas se efectuaron en épocas de crecida del río y por consiguiente los caudales que escurrían son mayores de lo que acontece con normalidad.
- Respecto a los restantes pozos no presentaron ningún grado de afección al río durante sus pruebas de bombeo con la salvedad del pozo 7 que mostró o insinúo pequeñas influencias al inicio de la prueba pero que pasadas 24 horas de bombeo desaparecieron.

- Respecto al pozo N°4 no se ha medido a la fecha y además éste se encuentra en una zona alejada del río Lauca (no se efectuarían aforos) por lo que su situación particular no es extrapolable al resto de los sondajes.
- Las pruebas de bombeo ejecutadas en los pozos del Altiplano Ariqueño durante el periodo Dic '95- Abr '96 mostraron un rendimiento muy semejante a los entregados durante la época de construcción (1992-1993). Ello se detalla a continuación:

Pozo N°5

- En la actualidad (Marzo 1996) registra condiciones de surgencia con un caudal surgente de 0.43 l/s. Durante la construcción (Agosto 1992) el pozo N°5 comienza con niveles en 6 m. bajo nivel de terreno cuando se perfora entre 0 y 12 m, luego el nivel se ubica próximo a los 3 m cuando se perfora entre 13 y 32 m, posteriormente en 2.7 m cuando la perforación se ubica entre los 33 y 69 m para llegar a la surgencia pasado los 78 m de perforación.
- El pozo N°5 se probó al finalizar la construcción (Ago 92) con un caudal de 40 l/s durante 120 minutos y luego se aumentó caudal a 45 l/s durante 600 minutos adicionales lo que totaliza 720 minutos de prueba con una depresión de 62.2 metros finales. En la actualidad (Mar 96) se repitió el caudal de 40 l/s y al cabo de 4320 minutos (72 hrs) se alcanzó una depresión de 64.87 m. Es decir condiciones muy similares a lo ocurrido durante la construcción.
- El agua del pozo N°5 durante las pruebas de bombeo tenía una conductividad de 100 a 120 $\mu\text{mhos/cm}$ y su temperatura fluctuaba entre 15.3 y 18.7 °C. Frente al pozo N°5, el río Lauca presentaba conductividades de 250 a 360 $\mu\text{mhos/cm}$ y la temperatura fluctuaba según las horas del día (10:00 a 18:00 tiempo que se efectúan medidas) entre 4.7 y 19.6 °C.

Pozo N°6

- Presenta condiciones de surgencia en la actualidad con un caudal de entre 8.14 y 9 l/s. Mientras que en la época de construcción el pozo N°6 comienza con los niveles a 0.5 m bajo terreno y cuando se perfora entre 1 y 14 metros se produce la surgencia de alrededor de 0.7 l/s, para posteriormente finalizar en 91.5 m con un caudal surgente de 10 l/s aproximadamente.
- El pozo 6 se probó, al finalizar la construcción (Feb 1993), con un caudal de 40 l/s durante 15 horas y alcanzó una depresión final de 39.11 m. En la actualidad (Abr 1996) se repitió el caudal de 40 l/s y después de 72 horas de bombeo el nivel fue 35.46 m (menor que en 1993).
- El agua del pozo N°6 durante las pruebas de bombeo tenía una conductividad de 80 a 100 $\mu\text{mhos/cm}$ y su temperatura fluctuaba entre 9 y 20.6 °C. Frente al pozo N°6, el río Lauca presentaba conductividades de 170 a 220 $\mu\text{mhos/cm}$ y la temperatura fluctuaba según las horas del día (10:00 a 18:00 tiempo que se efectúan medidas) entre 9 y 20.6 °C.

Pozo N°7

- Corresponde a la excepción de los pozos que no son surgentes en conjunto con el pozo N°10. En la actualidad presenta los niveles a 4.03 m bajo nivel de terreno mientras que cuando se perforó (Sep 1992) comienza con los niveles en 5.65 m. y cuando se perfora entre los 46 y 48 m el nivel llega a los 2.15 último nivel que se mantiene hasta finalizar la perforación. No obstante lo anterior los niveles del pozo N°7 durante las pruebas de bombeo en Feb de 1993 alcanzaba los 3,5 a 3,7 m. bajo nivel de terreno.

- El pozo N° 7 se probó (dentro de varios intentos) en Feb 1993 con un caudal de 55 l/s durante 19 horas alcanzando un nivel dinámico de 51.68 m. bajo terreno. En la actualidad (Mar 1996) se probó con un caudal similar de 56 l/s durante 72 horas llegando su nivel dinámico a los 52.33 m. Lo anterior corresponde a rendimiento extremadamente similar al presentado durante la construcción del pozo (Sep-92).
- El agua del pozo N°7 durante las pruebas de bombeo tenía una conductividad de 80 a 100 $\mu\text{mhos/cm}$ y su temperatura fluctuaba entre 13.8 y 16.9 °C. Frente al pozo N°7, el río Lauca presentaba conductividades de 190 a 400 $\mu\text{mhos/cm}$ y la temperatura fluctuaba según las horas del día (9:00 a 18:00 tiempo que se efectúan medidas) entre 4.3 y 20.7 °C.

Pozo 8

- En la actualidad (Abr 1996) registra condiciones de surgencia con un caudal surgente importante de 21 l/s. Durante la construcción (Dic 1992) el pozo N°8 comienza con niveles en 1.35 m. bajo nivel de terreno y cuando se perfora alrededor de los 52 m aflora el agua surgente con un caudal de 1,5 l/s aproximadamente, luego el nivel se ubica próximo a los 3 m cuando se perfora entre 13 y 32 m, posteriormente el nivel alcanza 2.7 m cuando la perforación se ubica entre los 33 y 69 m para llegar a la surgencia pasado los 78 m de perforación.
- El pozo N°8 se probó en enero de 1993 con un caudal de 70 l/s durante 12 horas y alcanzó un nivel dinámico de 40.28 m. En la actualidad (Abril 96) se probó con 60 l/s durante 72 horas alcanzando los 25.14 metros de depresión. Por consiguiente se tiene una mejoría importante en el pozo 8, además de ser el más importante de todos los probados hasta la fecha.
- El agua del pozo N°8 durante las pruebas de bombeo tenía una conductividad de 80 a 110 $\mu\text{mhos/cm}$ y su temperatura fluctuaba entre 22.3 y 25.3 °C. Frente al pozo N°8 el río

Lauca presentaba conductividades de 180 a 200 $\mu\text{mhos/cm}$ y la temperatura fluctuaba según las horas del día (10:00 a 18:00 tiempo que se efectúan medidas) entre 10 y 22.4 °C.

Pozo N°9

- En la actualidad (Marzo 1996) presenta condiciones de surgencia con un caudal surgente de 5.2 l/s. Durante la construcción (Nov 1992) en sus comienzos registra 0.9 m. el nivel del agua bajo terreno y cuando se perfora entre 26 y 37 m el nivel del agua en el pozo alcanza los 0.15 m bajo terreno. Al finalizar la perforación el caudal de surgencia se estimó en alrededor de 8 l/s.
- En la actualidad el pozo se probó durante 60 horas con un caudal de 60 l/s alcanzando un nivel final de 54.7 m. Durante la construcción se efectuó una prueba con 60 l/s durante 24 horas la cual alcanzó una depresión final de 60.24 m.
- El agua del pozo N°9 durante las pruebas de bombeo tenía una conductividad de 100 a 110 $\mu\text{mhos/cm}$ y su temperatura fluctuaba entre 16 y 18 °C. Frente al pozo N°9, el río presentaba conductividades de 210 a 250 $\mu\text{mhos/cm}$ y la temperatura fluctuaba según las horas del día (9:00 a 18:00 tiempo que se efectúan medidas) entre 3.3 y 20.6 °C.

En resumen, el resultado de las mediciones de caudales en el río Lauca, durante la ejecución de las pruebas de bombeo en los sondeos 5, 6, 7, 8 y 9 indican que las extracciones de aguas subterránea no afectan al caudal del río Lauca. Sólo los sondeos 5 y 7 produjeron una afección durante las primeras horas de bombeo, para después desaparecer. Estas observaciones y mediciones son concordantes, con la descripción del funcionamiento del embalse subterráneo, en el cual se han diferenciado los tres estratos con sus propios niveles medios de presión del agua.

Asimismo el conjunto de pruebas de caudal variable y caudal constante dan una indicación del aporte relativo de agua desde cada uno de los tres estratos a la producción del pozo. En las pruebas con los caudales máximos los niveles dinámicos en prácticamente todos los pozos, quedan por debajo del nivel A y en gran parte del nivel B.

EFFECTOS PREVISIBLES DE LA EXPLOTACION DE LOS POZOS EN LA ALIMENTACION DE AGUA A LOS BOFEDALES

Este análisis constituye la parte medular del presente informe. Por lo tanto todos los capítulos anteriores contienen datos y opiniones que inciden en esta situación, y en particular las siguientes:

- Los bofedales reciben su alimentación de agua, desde el estrato superior del embalse subterráneo en que se encuentra los pozos.
- El estrato superior tiene una fuente de alimentación separada de las fuentes de alimentación de los estratos segundo y tercero.
- El río Lauca, aguas abajo de la bocatoma del Canal Lauca, se alimenta también del primer estrato del acuífero.
- El estrato superior del acuífero se alimenta de las infiltraciones laterales de los esteros durante las épocas de lluvia y de la infiltración directa de lluvia.
- En los meses de lluvia, el río Lauca presenta crecidas las que también sirven para rellenar el acuífero superior, cuando este se encuentra con el nivel bajo.
- El segundo estrato, confinante, que es semiconfinado se alimenta lateralmente en los sectores al Este y Oeste del río Lauca donde afloran los sectores permeables, también por lluvia y escorrentía en los esteros en los meses de Diciembre a Marzo.

- El tercer estrato se alimenta, como todo acuífero confinado en los sectores al Este y Oeste en que afloran sus materiales permeables.
- En cada uno de los tres estratos puede haber una alimentación desde el Norte, en el sentido de escurrimiento del Río Lauca, esta alimentación se daría sólo en el borde Norte del embalse subterráneo, zona que no se encuentra estudiada aún.
- En la situación actual, al no haber explotación del embalse subterráneo, este se encuentra saturado hasta su nivel máximo.
- Cuando se exploten los sondeos, con los caudales previstos estos extraerán sus aguas principalmente de los estratos dos y tres y con más probabilidades del estrato tres que es el que tiene mayor presión y por lo tanto el bombeo lo somete a las mayores depresiones.
- En todos los sondeos salvo en el N°6, las cribas – zonas captantes – se localizan en los estratos dos y tres. Dado que el estrato “B” es semiconfinado, es muy difícil el paso de agua desde el estrato “A” al “C” durante el bombeo.
- En el sondeo 6 con 20 l/s de extracción, la criba del estrato “A” ubicada entre 14 y 20 m. queda prácticamente en seco, lo que indica que el caudal es aportado por los estratos inferiores.
- Las pruebas de bombeo realizadas en los pozos en los años de construcción y en el año 1996 indican que el estrato “C” es productor.
- Los bombeos de los pozos al explotar al estrato “C” y ser este confinado, producen un cono de depresión muy extenso en dicho estrato, comprometiendo un gran volumen del mismo y en consecuencia atrayendo un volumen de agua desde el mismo.

- Las pruebas de bombeo del año 1996, en las que se indicó la influencia de éstas extracciones en el caudal del río Lauca, demostraron que o bien no habría afección, o está afección, desaparecía después de algunas horas de bombeo.
- Todo lo anterior indica que el bombeo de los pozos no afectará el funcionamiento del estrato "A" y en consecuencia no disminuirá la alimentación de la zona en bofedales.

PROGRAMA DE MONITOREO

Dado que la hidrogeología no es una ciencia exacta, y que los datos que se han empleado en este informe tienen diferentes grados de precisión, se requiere verificar la reacción del acuífero en cada uno de sus tres estratos, durante la explotación de los sondeos. Para ello se instalan piezómetros en los que se mide periódicamente el nivel estático y se observa su variación en el tiempo.

La profundidad de los piezómetros puede ser de 14 metros y deben instalarse a ambos lados del río Lauca, frente a cada uno de los sondeos 5 al 10, a una distancia de 40 ó 50 metros desde el río, cuidando además de no quedar a menos de 10 metros del sondeo de explotación. Estos piezómetros pueden ser de plástico de 2" de diámetro, los ranurados deben colocarse desde los 4 metros hasta los 12 metros, para evitar el contacto con la posible zona radicular de los bofedales.

En cada sondeo de explotación se debe instalar un sensor de nivel unido a un software de registro del dato, con periodicidad de 30 minutos, al mismo tiempo debe instalarse en la tubería de salida de cada pozo un caudalímetro con registro instantáneo de caudal y totalizador, el cual debe ir también a un registro computacional.

Finalmente conviene instalar dos estaciones de aforo en el rio Lauca con sensores de registro automático del caudal cada 30 minutos, unido a software para almacenamiento del dato. Estas estaciones se instalarian 300 metros aguas arriba del pozo N°6 y 500 metros aguas abajo del pozo N°5.

Este conjunto de datos, permitirán su análisis periódico, al principio cada mes y después de seis meses, cada seis meses, con el fin de determinar la influencia de la explotación de los sondeos en el acuífero y en los bofedales.

Ello permitirá tomar en su caso las medidas de mitigación correspondientes.

En el caso de existir dudas sobre los contenidos del presente informe se recomienda sellar la parte superior de cada pozo mediante un encamisado, a las profundidades que se indican en el cuadro adjunto.

Pozo N°	5	6	7	8	9	10
Prof. Encamisado (m.)	20	20	22	25	26	24

RESUMEN Y CONCLUSIONES

- El presente informe fue realizado, empleando todos los antecedentes de los estudios disponibles en la D.O.H. y desde la construcción de los sondeos (1992) hasta la fecha.
- Los sondeos se encuentran situados en las inmediaciones del río Lauca, lugares en que además existen vegetación freatófita, denominada bofedales.
- La profundidad de los sondeos alcanzó los 120 metros en 4 de ellos y 80 metros en los otros dos.
- Los caudales posibles de extraer en conjunto de los seis sondeos (Nº5 al Nº10) alcanzan 300 l/s aproximadamente.
- Desde su construcción ha existido inquietud en los diferentes organismos estatales relacionados con la materia, sobre la afección medioambiental de la explotación de los pozos en el caudal del río Lauca y en la alimentación de agua a los bofedales.
- Para estudiar esta posible afección se han realizado: Pruebas de Bombeo de larga duración, con medición simultánea de caudales en el río Lauca en el sector frente a los sondeos. Minutas Hidrogeológicas sobre el funcionamiento de las aguas subterráneas. Diagnóstico de la Potencialidad de producción de agua de los pozos. Medición de isótopos estables en aguas superficiales y subterráneas para determinar origen de las aguas. Campañas de geofísica de resistividad en el sector de los pozos y en el embalse subterráneo. Interpretación de la geofísica dentro del contexto geológico del área. Perfilaje geofísico de neutrón, gama-gama y gama-natural en cada uno de los pozos.

- Todos los antecedentes anteriores, unidos a los registros de caudales de la D G A. en el río Lauca y a la cartografía geológica del sector han permitido efectuar un análisis de la relación entre el embalse subterráneo, los pozos, el río Lauca y los bofedales.
- Se ha determinado la existencia de un gran embalse subterráneo en el Altiplano Ariqueño, de 1500 Km² de superficie de 300 metros de espesor medio saturado y 500 m. de espesor máximo.
- Los materiales que constituyen el embalse corresponde a elementos detríticos del tipo grava, arenas, limo y arcilla, dispuestos en capas horizontales a subhorizontales, con intercalaciones capas de tobas riolíticas de origen volcánico, también horizontales. Corresponden a depósitos de edad Terciaria y Cuaternaria.
- La precipitación en la cuenca hidrográfica del río Lauca que comprende 2.400Km², es de 300 a 450 mm. anuales, distribuidos en los meses de diciembre, enero y febrero principalmente.
- El río Lauca, se desarrolla en la zona central del embalse subterráneo y a la cota más baja del Altiplano, sirviendo tanto de drenaje de aguas lluvias y superficiales (Laguna Cotacotani) y de las aguas subterráneas del embalse.
- Existe una amplia red de drenaje superficial, que da lugar a escorrentias temporales en la época de lluvias, de ellas hay dos afluentes permanentes denominados Chusamávida, y Guallatiri, que provienen del este, discurren hacia el Sureste y alimentan al río cerca del volcán Guallatiri antes de su salida a Bolivia.
- La misma red de drenaje superficial, constituye una fuente de recarga al embalse subterráneo, por infiltración de sus escorrentias en las épocas de lluvia.

- El embalse subterráneo se encuentra prácticamente lleno a su capacidad máxima, debido a que no hay ninguna explotación en la actualidad
- } La descarga natural del embalse subterráneo es hacia el río Lauca, alimentación de vegas y bofedales y salidas subterráneas hacia el este, en la zona fronteriza.
- Esta descarga natural es rellenada anualmente en la época de lluvia por medio de los mecanismos antes descritos.
- } El río Lauca en sus creces también recarga al acuífero en algunos sectores y el excedente sale fuera de la cuenca, se une a la red de drenaje del río Lauca en Bolivia y finalmente desemboca en el Salar de Coipasa.
- } La explotación de los pozos generará una descarga adicional a la natural, la cual hará bajar los niveles piezométricos del estrato acuífero donde captan los pozos. Estos niveles recobrarán su altura, en las épocas de lluvia cada año.
- El análisis de detalle del embalse subterráneo en la zona de los pozos y su entorno ha permitido establecer la existencia de tres estratos diferentes dentro del acuífero.
- Las principales diferencias de estos estratos se refiere a su permeabilidad, su carácter de libre o confinado y la presión del agua en su interior. A ello se une y además es causa, la diferente composición de los materiales detríticos.
- } El estrato superior de carácter libre, tiene una potencia comprendida entre 15 y 30 metros, y el nivel de saturación se encuentra entre 1 y 7 metros de profundidad.

- El estrato medio de carácter semiconfinante, tiene una potencia comprendida entre 20 y 30 metros, salvo en el sondeo N°5 en que es de 50 metros, y la presión o nivel estático se encuentra entre 0,7 m y 9 m bajo el nivel del terreno.
- El estrato inferior es confinado, su potencia está comprendida entre 40 y 120 metros en los pozos perforados. El nivel estático es surgente en todos los pozos excepto en los N°7 y 10 que tienen una profundidad de sólo 80 metros, en ellos el nivel estático está a 2,6 y 1,3 metros respectivamente.
- Del análisis de las pruebas de bombeo se puede deducir que el acuífero potente es el inferior o tercer estrato, el cual está confinado. Tal deducción se basa en que los niveles dinámicos de los pozos para los caudales de producción de los pozos se encuentran bajo el primer y segundo estrato.
- La conclusión anterior concuerda con las conclusiones de las mediciones diferenciales de caudal realizadas en el río Lauca, durante las pruebas de bombeo en cada pozo. En ellas se constató que la extracción de los pozos no afectaba el caudal del río Lauca.
- La relación entre el embalse subterráneo, los bofedales y el río Lauca, es tal que el estrato superior del embalse es el que alimenta tanto a los bofedales como al río Lauca.
- La extracción de agua desde los pozos, al tener lugar principalmente desde el tercer estrato, no afectará las condiciones hidrogeológicas del primer estrato, por lo tanto no disminuirá la alimentación de agua a los bofedales.
- Dado que el tercer estrato está confinado, el cono de depresiones se extiende por varios kilómetros hacia el este y el oeste de cada pozo, ello provoca una inducción de recarga en los extremos del acuífero que facilitará la infiltración en los meses de lluvia.

- La comprobación de las conclusiones, puede realizarse mediante un sistema de mediciones tanto en el río como en los bofedales y en los pozos. En el río se debe medir en forma continua los caudales en dos estaciones una aguas arriba del pozo 6 y otras aguas abajo del pozo 5. En los bofedales se deben instalar al menos 12 piezómetros con registro continuo de niveles y en los pozos se debe medir los niveles dinámicos y el volumen extraído, todo ello con registro continuo y almacenamiento de datos para su análisis periódico.
- Para mayor tranquilidad, en cuanto a la posible afección que la explotación de los pozos pudiese tener en los bofedales, se recomienda en cada pozo encamisar la parte correspondiente al estrato "A".

ANEXO N°1

INTERPRETACION HIDROGEOLOGICA DE LA CAMPAÑA DE GEOFISICA RELACION RIO- ACUIFERO EN EL ALTIPLANO ARIQUEÑO

**INTERPRETACION HIDROGEOLOGICA DE LA
CAMPAÑA DE GEOFISICA
RELACION RIO - ACUIFERO EN EL ALTIPLANO ARIQUEÑO**

INDICE

1.	Introducción y Objeto del Informe	1
2.	Geología	2
	2.1. Estructura Geológica	2
	2.2. Afloramientos	3
	2.3. Litología	4
3.	Hidrogeología	6
4.	Interpretación Hidrogeológica de la Campaña de Geofísica	7
	4.1. Perfilaje de Pozos	7
5.	Los perfilajes correspondientes a los sondeos eléctricos	12
	5.1. Resultados Generales	13
	5.2. Correlación con la Geología	13
	5.3. Análisis de cada Perfil	15
6.	CONCLUSIONES	21

1. Introducción y Objeto del Informe

La empresa AMBAR S.A. ha realizado a través de la firma Geoexploraciones S.A. un estudio geofísico en los alrededores de 7 pozos construidos por la Dirección de Obras Hidráulicas en el altiplano Ariqueño en las vecindades del río Lauca. El estudio contempló la realización de perfilaje de pozos en los seis sondeos de la D.O.H. (exceptuando el N°4 por estar con bomba instalada), lo que incluyó sondeos Gama- Gama, Gama natural, Neutrón, Temperatura y gradiente térmico. Además se hicieron 35 sondeos eléctricos de AB/2 400 m en 7 perfiles en los alrededores de cada sondeo en sentido E -0. El objeto de dicho estudio fue analizar localmente la relación entre el río Lauca y los pozos perforados, especialmente la conexión hidráulica entre ambos, para prever las afecciones que la explotación de los pozos pudiere ocasionar en el caudal del río.

El estudio de geofísica, en sus conclusiones plantea, que de acuerdo con los resultados de las mediciones no habría conexión hidráulica entre el ^{embalse} acuífero y el río, sin embargo no se incluyó en dicho informe la interpretación geológica de los resultados de la Campaña, para ser integrados en el funcionamiento del acuífero en su conjunto.

Los pozos se encuentran dentro de un gran embalse subterráneo, denominado acuífero detrítico del Altiplano Ariqueño, por lo tanto para comprender la relación río- acuífero, es necesario previamente hacer una descripción del embalse subterráneo y su funcionamiento, una vez hecho esto se puede particularizar la relación río- acuífero en el sector de los sondeos de la D.O.H. denominados 4,5,6,7,8, 9 y 10.

El objeto del presente informe por lo tanto, es efectuar un análisis general del embalse subterráneo del Altiplano Ariqueño y dentro de él contemplar la relación entre los resultados de la Campaña de Geofísica, los sondeos mecánicos, el embalse subterráneo y el río Lauca.

2. Geología

Un embalse subterráneo corresponde a una formación geológica, permeable saturada total o parcialmente de agua y que puede ser explotada mediante sondeos. Por ello es necesario partir, con una descripción del contexto y entorno geológico, desde el punto de vista de la hidrogeología. En particular se describirán tres puntos, estructura geológica, formaciones aflorantes y litología. La base para ello ha sido el levantamiento geológico del departamento de Arica, realizado por el Instituto de Investigaciones Geológicas en el año 1966, a escala 1:300.000.

2.1. Estructura Geológica

El Altiplano Ariqueño, corresponde a una gran planicie de edad terciaria y cuaternaria que se compone de los rellenos de materiales detríticos y de algunos volcanes de la misma época.

El relleno se apoya en una cubeta de edad Cretácica, cuyo límite oeste corresponde al Cordón de Cerros de la Cadena Occidental, de dirección NOR noroeste, que une los cerros de Belén (5.260 m.s.n.m.), Cerro de Chapiquiña (5020 m.s.n.m) y Cerro Colina B (4.472 m.s.n.m.) en el extremo Norte. Esta cadena que tiene cerca de 140 Km de largo está interrumpida en la localidad de Alúneca, en 6 Kms en las nacientes del Río Lluta, como confluencia de los ríos Azufre y Allane.

Por el este el límite de la cubeta sedimentaria, lo constituye la línea de volcanes formados por los siguientes Tacora (5.950 m) Chuquicamata (5.190 m) Lexone (5.370) Larancagua (5.580 m) Casiri (5.250 m) Pomerape (6.240 m) Parinacota (6.330 m) Guallatiri (6.060 m) Puquintica (5.760 m) Arintica (5.590 m) Chiguana (5.280 m).

El espesor estimado de la cubeta sedimentaria es de 500 metros, en un sector comprendido entre Chucuyo y el C° Chapiquiña, es muy probable que hacia el sur sea de mayor espesor.

Existen además dos volcanes en el sector central de la cubeta, denominada Tarapacá (5.815 m) y Putre (5.500 m) que dividen al altiplano en un sector Norte- Cuenca del Río Lluta y un sector Sur- Cuenca del río Lauca.

Los movimientos tectónicos han acompañado a la depositación de materiales granular de origen aluvial, dejando ver en superficie fallas de dirección NOR noreste principalmente y otras en sentido perpendicular a ellas. Algunas de estas fallas están asociadas al volcanismo del cuaternario.

2.2. Afloramientos

Existen básicamente cuatro formaciones geológicas que afloran en el sector y que son:

Ktgl: Formación perteneciente al Cretácico superior, asignadas al grupo Lupica y que está formada por Brechas, lavas y sedimentos lacustres. Constituye el limite occidental de la cubeta antes mencionada.

TQo: De edad terciaria, asignada a la formación Oxaya, formada por tobas ignimbríticas, sedimentos clásticos continentales y presencia de dolomitas y diatomitas. Sobreyace en forma discordante a la formación anterior del Cretácico y ocupa gran parte de la cuenca, especialmente la zona periférica.

Qh: Afloramiento de edad cuaternaria que está formado por conglomerados, arenas, areniscas tobas ignimbríticas y depósitos aluviales del tipo arena y limo. Se encuentra en toda la parte central de la cuenca y yace discordantemente sobre el terciario. Se la denomina formación Huaylas.

Qv: Afloramientos de edad cuaternaria, constituido por rocas volcánicas piroclásticas y lavas. Aparece ampliamente en el límite oriental de la cuenca, y forma la cadena montañosa, que fija el límite territorial entre Chile y Bolivia. A su vez constituye la división de aguas de la cuenca hidrográfica del río Lauca.

2.3. Litología

Una vez descritas la estructura geológica y los afloramientos es necesario indicar la litología de los materiales aflorantes, para determinar así la situación estereométrica del área.

La formación más antigua que corresponde al Cretácico Superior- Terciario Inferior y asignada con la simbología Ktgl tiene un espesor de 1.000 m. aproximadamente.

Por sobre ésta formación en la zona de estudio se encuentra la formación Oxaya con un espesor de 1.000 m., en la que se distingue tres miembros diferentes y que son:

Miembro Superior de 700 m. formado por Tobas Ignimbríticas, de colores blanco amarillento a marrón.

Miembro medio de 250 metros de espesor formado por gruesas capas de brechas, con fragmento subangular de hasta 25 cm. de diámetro, de ignimbritas y andesitas, con intercalaciones de areniscas.

Miembro Inferior de 140 metros de espesor formado por mantos de andesitas con intercalaciones de tobas ignimbríticas y ceniza volcánica.

Dado el carácter de la depositación en esta edad, se alternan episodios volcánicos con acarrees fluviales de origen continental.

Encima de la formación anterior se ubica la formación Huaylas con un espesor de 220 m. medido en la localidad de Alcérreca; en la cual se distinguen tres miembros de acuerdo con los estudios geológicos realizados por el IIG y que se transcriben a continuación:

Miembro superior: Tobas riolíticas y tufitas de color blanco amarillento a marrón muy claro, con fragmentos de piedra pómez. Hacia la parte superior de este miembro existen, en algunos lugares, capas delgadas de conglomerados finos a medios, de rodados redondeados a subredondeados de ignimbritas de hasta 20 cm. de diámetro, cementados con minerales de manganeso. Espesor estimado: 60 m.

Miembro medio: Areniscas, limolitas y arcillas de colores gris blanquecino a rojo amarillento con intercalaciones de delgadas lentes de diatomitas. La arenisca es de grano medio, con granos subangulares de feldspatos, fragmentos líticos y cantidades subordinadas de cuarzo y mica cementados con óxidos hidratados de hierro. Espesor aproximado: 80 m.

Miembro inferior: Conglomerados poco consolidados, de color marrón rojizo, con rodados de riolitas y andesitas, redondeados a subredondeados de tamaños que varían entre 3 y 15 cm, incluidos en una matriz arenosa. Espesor estimado: 80 m.

Total 220 m.

Por encima de esta formación se encuentran los afloramientos volcánicos del cuaternario, pero como son diferentes episodios, hacia el centro de la cuenca, pueden existir asimismo coladas de lava que posteriormente fueron rellenadas con acarreos fluviales del cuaternario reciente.

3. Hidrogeología

Desde el punto de vista de la posibilidad de contener agua subterránea y poder transmitirla desde un lugar a otro, se puede dar tanto en la formación volcánica, como en la formación Huaylas y la formación Oxaya.

La geomorfología del sector, indica que no hay grandes escurrimientos superficiales, ya que tanto el río Lauca, como las quebradas laterales que lo alimentan, son de poca profundidad y escasa extensión. Ello a pesar de tener precipitaciones medias anuales de 300 y 400 mm, las que se concentran además en sólo 4 meses al año correspondiente a Diciembre a Marzo.

Además la escorrentía total de la cuenca del Lauca, que posee una superficie de 2.388 Km² sería de 1 m³/s, es decir equivalente a una infiltración de sólo 13 mm. Esto es exclusivamente bajo para la cuenca altiplánica y debe ser motivo de un estudio de mayor detalle. Esto es un índice de que muy probablemente la recarga directa al acuífero es de gran magnitud que además puede existir una descarga subterránea hacia el oriente en el sector al sur de Guallatiri. Aunque no es el objeto de este informe, efectuar un balance hidrológico, sólo se ha querido dejar constancia del hecho de que existe un importante déficit de escorrentía en la cuenca del río Lauca, al compararse la precipitación con el escurrimiento superficial.

En resumen se puede decir que la formación Huaylas y la formación Oxaya en sus unidades de arenas y limos son capaces de constituir acuíferos y que las tobas y las ignimbritas al ser coladas volcánicas de enfriamiento superficial, disponen de grietas que permiten la circulación de agua a través de ellas.

La formación Huaylas, en sus 220 metros dispone de acarreo detrítico del tipo arena y gravas, con rodados redondeados de hasta 20 cm. de diámetro, lo que puede dar una alta permeabilidad a algunos estratos.

4. Interpretación Hidrogeológica de la Campaña de Geofísica

Fue realizada en Octubre de 1999 por la empresa Geoexploraciones y consistió en un perfilaje de los pozos 5, 6, 7, 8, 9 y 10. Además de una realización de 35 sondajes eléctricos dispuestos en 7 perfiles en los alrededores de cada uno de los 7 pozos de explotación N° 4 al 10 ambos inclusive.

Los resultados de cada uno de estos trabajos se encuentran en un informe presentado por la firma Geoexploraciones y se refiere básicamente a las mediciones realizadas. Se requiere por lo tanto una interpretación de estos resultados a la luz de la hidrogeología del sector.

4.1. Perfilaje de Pozos

Estos contemplan un registro vertical a lo largo de cada pozo, con sondas gama- gama, neutrón, gama- natural y temperatura.

El sondaje N°5 de acuerdo con la descripción litológica hecho en la época de su construcción, indica estratos de arena fina y media con estratos de grava y estratos de arcilla intercalados hasta los 50 metros. Entre 50 y 70 arcilla con estratos de fina y desde 70 hasta 120 metros arena gruesa, grava, gravilla y estratos de arcilla.

Dado que los resultados del perfilaje son más validos en forma relativa que en valor absoluto, es necesario su análisis en conjunto con la descripción del material perforado, teniendo en cuenta las imperfecciones e imprecisiones de esta descripción.

Los tres perfiles de gama- gama, neutrón, gama-natural, son concordantes, en cuanto a indicar mejores posibilidades acuíferas entre 20 y 50 metros y entre 70 y 120 metros, lo mismo que indicó el perfil litológico del terreno. En ambos casos la porosidad aumenta, lo cual es signo de rellenos más permeables.

Los perfiles de gama- gama y gama natural relativos a densidad y contenidos de arcillas no son expresivos en cuanto a una disminución de ésta, sin embargo se mantienen en valores que no se oponen a la existencia de los materiales permeables en los sectores indicados.

Las medidas de temperatura a lo largo del perfil, indican 14°C hasta los 70 metros y un aumento progresivo de la temperatura hasta 15°C entre 70 y 120 metros de profundidad. Esto bien puede ser explicado por el grado geotérmico de la tierra o por una alimentación de agua desde una zona más profunda. Al respecto cabe mencionar que este pozo durante su construcción mostró importante variaciones del nivel de saturación a diferentes profundidades. El agua se encontró a seis metros de profundidad y el nivel subió hasta 3 metros al llegar a 32 metros, lo que indica una condición de confinamiento del acuífero. Luego subió hasta 2,7 metros hasta los 69 metros, entre 73 y 78 metros el nivel subió hasta 1,0 metros y pasados los 78 metros comenzó la surgencia la que llegó a 5 l/s a los 120 metros de profundidad. Esta hecho indica confinamiento y alimentación desde abajo, con probable zona de descarga, en el sector del sondeo N°5.

El Sondaje N°6 se perfiló hasta los 115 metros de profundidad. La descripción de los materiales atravesados durante la perforación, indican la presencia de arena, limo y ceniza volcánica hasta los 14 metros, arena, gravilla y limo entre 14 metros y los 60 metros, desde 60

a 82 metros se encontró arenas y limos grises y areniscas, desde 82 a 91 metros arena gruesa y fina, desde 91 hasta 104,5 areniscas y arenas, entre 104,5 y 120,5 metros arena fina y gruesa. Las mayores velocidades de perforación 7 a 10 metros/día se produjeron entre 42 y 120 metros. Los niveles de saturación fluctuaron entre 0,5 y 1,05 metros en los primeros 18 metros entre 18 y 38 metros el nivel se registró bajo por estar la Zapata al fondo del sondeo, desde los 58 metros hasta los 120.5 metros el nivel fue subiendo desde los 6 metros hasta la surgencia.

Los perfiles geofísicos en sus tres versiones, muestran una relativa homogeneidad en las características de los materiales, los primeros 10 metros pueden corresponder a riolitas, que tienen baja porosidad, baja densidad y bajo contenido de arcilla. Llama la atención el mayor contenido de arcilla entre 90 y 120 metros (gama) y una porosidad relativamente alta en el mismo tramo. No obstante la perforación indicó aporte de agua a presión en el mismo tramo.

La temperatura, subió rápidamente desde los 17°C hasta los 20° manteniéndose constante hasta el final, lo que indica, procedencia de agua profunda, a la vez que influencia del volcanismo reciente. El acuífero en su totalidad es confinado.

El Sondaje N° 7 se perfiló hasta los 80 metros, los tres parámetros muestran un material más o menos uniforme, densidad media en casi todo el pozo, porosidad regular con máximos entre 5 y 35 metros y entre 55 y 75 metros. El contenido de arcilla es alto en los primeros cinco metros, bajo entre 5 y 30 metros y alto entre 30 y 40 metros, para bajar entre 40 y 80 metros.

Los materiales atravesados corresponden a arenas finas con grava y arcilla, en diferentes proporciones a lo alto de todo el perfil. Es decir un material bastante uniforme desde el punto de vista Hidrogeológico. La temperatura del agua varió entre 13 y 15°C lo que indica que no hay anomalía térmica hasta los 80 metros.

El Sondaje N°8 se perfiló hasta los 120 metros las densidades más bajas se encuentran entre 10 y 70 metros, entre 85 y 103 metros y entre 105 y 120 metros. Las porosidades más altas entre 30 y 45 metros; 52 y 52 metros, 102 y 105 metros. El contenido de arcilla es alto entre 10 y 50 metros y bajo entre 50 y 120 metros la temperatura es uniforme alrededor de los 25°C a lo largo de todo el perfil. Esto muestra un material relativamente uniforme desde el punto de vista Hidrogeológico, en que entre 50 y 120 metros disminuye drásticamente el contenido de arcilla.

La descripción del material durante la construcción es asimismo relativamente uniforme, se indica la presencia de limo y no de arcilla, lo que corresponde a un material fino sin plasticidad. Eso concuerda con el perfilaje de rayos gama entre 50 y 120 metros. El resto es arenas media y fina y gravas. El conjunto se comportó como un sólo acuífero en la prueba de bombeo entregando un caudal de 70 l/s. Por otra parte los niveles de agua se mantuvieron entre 1,3 y 1,7 metros hasta el metro 52, entre 52 y 54 se produjo la surgencia de 1,5 l/s, los que siguieron en aumento hasta los 120 metros, hasta llegar a 10 l/s aproximadamente. Ello comprueba la calidad de acuífero del tramo inferior después de los 52 metros y de su confinamiento. Además la temperatura del agua, indica la posibilidad de alimentación desde capas de origen volcánico.

El Sondaje N°9: Fue perfilado hasta los 120 metros. En general el perfil gama-gama muestra una densidad media y uniforme, la porosidad es media y uniforme hasta los 90 metros y las arcillas son bajas hasta 80 metros y aumentan desde esa profundidad hasta los 120 metros. La temperatura es casi uniforme de 16°C hasta los 80 metros y desde allí aumenta hasta los 17°C. En el gradiente térmico se aprecia un aporte de agua de más temperatura entre 82 y 85 metros. El perfil litológico descrito en la perforación es muy uniforme con predominación de arenas, algo de gravas y estratos de limo y arcilla. No obstante se aprecia una zona de mayor permeabilidad entre 76 y 120 metros. El nivel de saturación se encuentra a 1 metro y permaneció allí hasta los 19,8 metros de profundidad, para después presentar surgencia hasta el final de la perforación. Finalizadas las pruebas de bombeo el sondeo entregó un caudal surgente de 8 l/s. En resumen el sondeo N°9 mediante el perfilaje demostró la existencia de un

acuífero confinado con alternaciones de arenas, gravas, limo y arcilla, con temperatura superior a la normal, lo que indica una alimentación profunda o bien lateral desde una formación volcánica.

El Sondaje N° 10: Fue perfilado hasta los 80 metros de profundidad. La densidad es media desde arriba hasta abajo, la porosidad también es uniforme y se puede calificar de media a alta, el contenido de arcillas, es bajo hasta los 20 metros, alto entre 20 y 35 metros y bajo desde allí hasta el final. La temperatura no muestra anomalías, manteniéndose entre 12 y 13°C.

El perfil litológico descrito durante la perforación es asimismo muy uniforme predominando las arenas gruesas en casi todo el sondeo. Es probable que lo que se indicó como arcilla entre 35 y 80 metros sea en realidad limo de acuerdo con el resultado del perfilaje gama.

Los niveles del agua subterránea subieron desde 3,40 metros a los 7 metros de profundidad hasta 1,30 metros a los 80 metros de profundidad, con lo cual se comprueba el carácter confinado del acuífero.

En resumen los perfilajes de cada pozo indican lo siguiente:

- Los terrenos atravesados en todos los sondeos desde el N°5 al N°10 ambos inclusive están constituidos por alternancias de arenas con gravas, limos y arcillas, en estratos que no sobrepasan un metro de espesor.
- El acuífero es confinado, en casi toda su profundidad, pero las mayores presiones se encuentran desde los 40 metros hacia abajo, y son crecientes con la profundidad.
- Los sondeos que sólo tienen 80 metros de profundidad, a saber N°7 y N°10 no alcanzan la surgencia. Además el N°10 es el de menor producción.

- Los sondeos de 120 metros de profundidad, son todos surgentes con caudales entre 4 y 20 l/s. Asimismo éstos presentan anomalías térmicas, en especial el N° 6 y 8, el N° 5 y 9 son anomalías débiles.
- Los sondajes 6 y 8 son los que se encuentran más hacia el Norte y están más cercanos a las influencias de los rellenos volcánicos recientes, por lo que muy probablemente el aumento de temperatura se debe a un proceso de origen volcánico.
- El cuadro siguiente muestra los principales datos de cada sondeo.

Resumen Características de los Sondeos

Sondaje N°	5	6	7	8	9	10
Surgencia l/s	5	4	--	20	8	--
Temperatura C°	15°C	20°	15°	25°	17°	3°
Q prueba l/s / depresión m	50/85	40/42	55/60	70/42	60/65	7/45
Profundidad pozo (m)	120	120	80	120	120	80

- Los perfilajes gama-gama, neutrón y grama, en general coinciden con la naturaleza detritica del relleno hasta 120 metros, indicando las porosidades relativas de los materiales más gruesos y los contenidos de arcilla en determinados sectores.

5. Los perfilajes correspondientes a los sondeos eléctricos

Tal y como se dijo en un capítulo anterior estos se hicieron pasando por cada sondeo de explotación, en sentido este- oeste abarcando una longitud variable en cada perfil, que en ningún caso sobrepasa los 200 metros de distancia desde el pozo hacia cada lado. El ámbito del estudio es por lo tanto sectorial y no comprende al acuífero en su conjunto el cual tiene

cerca de 2400 Km² de extensión como hoya hidrográfica y cerca de 1500 Km² como cuenca hidrogeológica.

5.1. Resultados Generales

- La profundidad de la investigación alcanzó a los 300 metros en cada sondeo eléctrico.
- Existe una uniformidad de resultados, desde el punto de vista estratigráfico al encontrar 3 estratos diferentes. Uno superior con resistividad de 130 a 800 ohmios/m.
Un segundo estrato con resistividad entre 50 y 90 ohmios/m.
Un tercer estrato con resistividad comprendida entre 15 y 30 ohmios/m.
- Los dos primeros estratos están definidos en cada sondeo con su espesor, sin embargo el tercero tiene espesor indefinido debido a que la abertura de alas de cada sondeo es AB/2 de 400 metros y no permitió llegar hasta el fondo de dicho material, el cual sólo se indica que está a más de 300 metros. Existen algunos perfiles en que el 2° estrato adquiere valores entre 100 y 150 ohmios/m.
- La campaña de geofísica regional realizada en el año 1992, con 101 SEV, indica la misma secuencia estratigráfica, sólo que el fondo del tercer nivel estaría a más de 500 metros de profundidad.

5.2. Correlación con la Geología

De acuerdo con la descripción geológica efectuada en este estudio y el plano que se adjunta, todos los perfiles de geofísica de resistividad estarían dentro de la formación Qh, que se denomina formación Huaylas y es de edad cuaternaria, de la cual se han reconocido 220 metros. Debajo de esta sección se encuentra la formación Oxaya del Terciario, con una

potencia del orden de 800 metros. Así pues la secuencia de estratos hasta 200 metros correspondería al cuaternario y bajo este al terciario. Los materiales descritos durante la perforación, corresponden principalmente a detritos granulares del tipo arena fina y medias con eventuales estratos de gravas y con intercalaciones de estratos finos del tipo limo y arcillas.

Esta descripción concuerda con la descripción geología de la formación Huaylas y Oxaya respectivamente.

En determinados lugares, especialmente en el sector Norte y este de la cuenca que forma el embalse subterráneo, existen coladas de lavas Qv de origen volcánico reciente que se intercalarían dentro del paquete de la formación Huaylas, por ser contemporáneos.

Desde un punto de vista geofísico, se puede pensar que valores entre 200 y 800 ohmios/m pueden corresponder a ignimbritas, de la parte superior de la formación Huaylas. La dispersión de valores entre 200 y 800 ohmios/m se explica por la cantidad de agua alojada en ellas, la que depende de su grado de fracturamiento. Los valores de 200 ohmios/m se asocian a un mayor fracturamiento y desde luego estas fracturas están saturadas de agua, tal y como quedó de manifiesto en los sondeos mecánicos existentes. Los valores de 800 ohmios/m representan a las mismas ignimbritas con menor grado de fracturamiento o bien a coladas de lavas más recientes intercaladas dentro de la formación Huaylas.

La capa que presenta valores de 100 a 150 ohmios/m, puede corresponder en este caso a una formación volcánica saturada ya sea ignimbritas u otra o bien a un paquete en el que se alternan capas sedimentarias granulares con capas volcánicas. Asimismo pueden ser depósitos granulares gruesos del tipo de grava y bolones saturados de agua. Los valores de 50 a 90 ohmios/m corresponden a arenas gruesas y gravas finas saturadas de agua, con estratos menos potentes de arcillas.

Los valores de 15 a 30 ohmios/m son característicos de arenas gruesas y finas saturadas de agua con estratos intercalados de arcilla y limo. Los valores más bajos corresponden a un mayor contenido de arcilla y los más altos a un menor contenido de ellas.

Así por lo tanto, el conjunto de materiales y sus capas reconocidas por la geofísica, corresponden a materiales saturados de agua, formando por lo tanto un acuífero o embalse subterráneo, que incluye a toda la formación Huaylas del cuaternario y una parte de la formación Oxaya del terciario.

Es preciso establecer además que el contenido de Sales del agua alojada en el acuífero es muy bajo TSD = 150 mgr/lit presentado por lo tanto una conductividad del agua menor que las aguas con 600 - 800 mgr/lit. que se encuentran usualmente en los acuíferos. Esto indica que valores de 15 a 90 ohm/m en este caso resultan de un mayor contenido de aguas en las formaciones de arenas y gravas. En otras palabras el coeficiente de almacenamiento de este acuífero debe ser mayor que el normal.

5.3. Análisis de cada Perfil

Vecino al pozo 6 se encuentra el perfil del SEV 20 al SEV 23 coincidiendo con el pozo 6 el SEV 21. La longitud del perfil es de 175 m, 50 metros al oeste y 125 metros al este hasta alcanzar el río Lauca. La cota de terreno del perfil es de 4.300 m. se diferencia 3 estratos; el primero con 30 a 50 metros de espesor correspondientes a ignimbritas saturadas. El segundo con 40 a 100 metros de espesor corresponde a arenas con gravas saturadas. El tercero con 200 metros de espesor corresponde a arenas saturadas con intercalaciones de arcilla.

Los dos primeros estratos corresponderían a la formación Huaylas y el tercero en parte a la formación Oxaya.

El río Lauca, estaría en contacto con la parte superior de ignimbritas del acuífero. La cual tiene una baja permeabilidad. En consecuencia la alimentación del acuífero al río se hace a través de dichos materiales, la cual es lenta y escasa. El confinamiento del agua subterránea, se explica por los estratos de arcilla intercaladas. La temperatura del agua en el pozo 6 puede provenir de una alimentación preferencial desde el este a través de capas volcánicas, hacia el segundo estrato.

El pozo 8, tiene un perfil con los sondeos eléctricos 28, 29 y 20; tiene un ancho E -O de 200 metros y se ubica a 120 m al Norte del pozo 8. En él se diferencia sólo dos capas, la primera de 40 a 50 metros de espesor correspondientes a ignimbritas y la segunda de 30 a 40 ohm/m de arenas finas y arcillas de 250 metros de espesor. Es probable que aquí la formación Huaylas solo tenga el primer miembro (ignimbritas) y que todo lo de abajo sea parte de la formación Oxaya. En todo caso el conjunto funciona como un acuífero y el sondeo 8 perforó las aguas de mayor presión y temperatura en la formación de más abajo.

En el extremo oeste del perfil, se aprecia una capa de 30 metros de espesor de 70 ohm/m que puede corresponder a las arenas y gravas de la formación Huaylas ubicadas debajo de las ignimbritas.

El perfil que pasa por el sondeo 8 corresponde a los sondeos eléctricos números 24 al 27 ambos inclusive y se desarrolla en 200 metros al este del pozo. En éste aparecen las tres capas con espesor de 50 metros para las ignimbritas, 50 a 100 metros para las arenas gruesas y gravas y 150 a 200 metros para las arenas finas con estratos de arcilla. Las dos primeras capas corresponden a la formación Huaylas del cuaternario y la última en parte a ésta y en parte a la formación Oxaya.

El sondeo 7 tiene un perfil que corresponde los sondeos eléctricos 14 al 16 ambas inclusive y en que el SEV 15 coincide con el pozo N°7. Presenta tres capas, la primera con 25 a 30 metros

de espesor, serían las ignimbritas de la formación Huaylas, el segundo corresponde a arena gruesa, grava y algunos estratos de arcilla con 70 a 80 metros de espesor con resistividad entre 95 y 135 ohm/m, también de la formación Huaylas.

El tercero con 200 metros de espesor, de arenas medias y finas con estratos de arcilla, en que la primera parte sería de Qh (Huaylas) y la parte de abajo de la formación Oxaya.

Este sondeo fue perforado hasta 120 metros y entubado sólo hasta 80, esto fue así debido a que el contraste de permeabilidad de los materiales atravesados durante la perforación, hacían predecir que el caudal aportado por la parte de abajo sería muy inferior al aportado por las arenas gruesas y gravas. En todo caso ello sirvió para determinar que el sector inferior es de aguas a mayor presión y temperatura. La longitud del perfil es de 100 metros e incluye al río Lauca, el que se encuentra a 50 metros al este del sondeo N°7. El perfil indica que el río Lauca está en contacto con la parte superior del acuífero, las ignimbritas, las que presentan menor permeabilidad, menor temperatura del agua y menor espesor. En consecuencia el aporte del acuífero al río es más bien escaso.

El sondeo N°10 dispone de 2 perfiles E - O el primero a 250 metros al Norte del pozo 10 con los sondeos eléctricos 17, 18 y 19 y el segundo a 10 m al Norte con los sondeos eléctricos N°12 y 13. Este sondeo también perforado hasta los 120 metros y entubado sólo hasta los 80 metros, presentando las mismas características del sondeo N°7. En los dos perfiles correspondientes al sondeo N°10, se aprecia los mismos tres estratos con las ignimbritas entre 20 y 30 de espesor, pero con una resistividad mayor entre 500 y 800 ohm/m, lo que indica una baja permeabilidad por fisuración. En cambio la capa intermedia, de arena gruesa y grava con un espesor de 80 a 120 metros, aparece con una permeabilidad mayor con valores de 100 a 120 ohmios/m y la tercera con arenas finas y arcilla con un espesor de 150 metros. Las dos primeras corresponden a la formación Huaylas y la tercera a la formación Oxaya al menos en parte.

El bajo rendimiento de este sondeo, sólo 15 l/s, estaría indicando que el segundo estrato de arenas y gravas no sería tan productor de agua. Esto puede deberse a una deficiente construcción del sondeo N°10 o bien a que este estrato tiene capas de ignimbritas intercaladas las que son de baja permeabilidad. En todo caso se comprueba que la tercer capa de mayor presión es de buena capacidad de producción, ya que al no estar habilitadas en este sondeo pudo ser la causa de su bajo rendimiento.

El sondeo N°9 dispone de un perfil de resistividad eléctrica que para por el pozo y tiene cuatro SEV a saber los N°6 al 9 ambos inclusive.

En este la primera capa de ignimbritas tiene un espesor de 15 a 20 metros, con resistividades de 300 a 800 ohm/m, lo cual indica una baja permeabilidad. La segunda capa, varía entre 70 y 120 metros de espesor corresponde a arenas gruesas y gravas con poca arcilla, con resistividades de 75 a 100 ohm/m, lo que explica el elevado rendimiento del sondeo con 60 l/s a 65 metros de profundidad. La tercera capa es la de arenas finas y estratos de arcilla con 150 a 200 m. de espesor, la cual no se habría perforado en este sondeo, lo cual a su vez explica que la temperatura del agua no haya presentado anomalías.

El río Lauca se encuentra en contacto con la capa de ignimbritas de alta resistividad lo cual indica que en dicho sector es muy difícil la alimentación desde el acuífero al río.

En resumen en estos perfiles se presenta la misma situación en que se han identificado la formación Huaylas y la Oxaya comprobando el carácter de acuífero de ambas formaciones y la escasa relación entre el acuífero y el río Lauca.

El sondeo N°5 tiene dos perfiles de geofísica de resistividad, el primero a 250 metros al Norte del pozo con dos SEV 10 y 11 con 100 metros de largo. El segundo sobre el sondeo N°5 de

150 m de largo y los SEV 1 al 5 ambos inclusive. En ambos perfiles se detectaron cuatro capas que son:

La primera de 10 a 30 metros de espesor con resistividades comprendidas entre 500 y 1.500 ohm/m correspondiente a ignimbritas del cuaternario, que deben tener una muy baja permeabilidad. Por dicha razón al estar el río Lauca en contacto con esta capa y bajo su lecho habría al menos 20 metros de espesor se puede concluir que en este sector no habría comunicación hidráulica entre el río y el acuífero.

La segunda capa que tiene un espesor 30 y 80 metros en el perfil a 250 metros al Norte del sondeo 5 y de 0 a 40 metros en el perfil que pasa por el sondeo 5, su resistividad es de 100 a 130 ohm/m, y corresponde a materiales aluviales gruesos o bien a alternancias de ignimbritas con capas de arenas y gravas. El sondeo N°5 no habría atravesado esta capa.

La tercera capa corresponde a las arenas gruesas con arenas finas, capas de arcilla y eventualmente gravas, su resistividad varía entre 50 y 80 ohm/m, es el estrato acuífero que entregó el agua al sondeo N°5.

Estas primeras 3 capas con un espesor de casi 200 metros corresponde a la formación Huaylas del cuaternario.

La cuarta capa es de arenas finas con estratos de arcilla y limo, que tiene más de 200 metros de espesor y corresponde a la formación Oxaya del terciario, con resistividades de 20 a 45 ohm/m.

La temperatura del agua no pasó de los 15°C, con lo cual se comprobaría que el estrato que tiene agua caliente sería el de la formación Oxaya.

En resumen en el sondeo N°5 se atravesaron las dos formaciones detríticas permeables, se investigó una profundidad de 300 metros y se determinó que en dicho sector el río no recibe

agua del acuífero, aunque este tenga una presión cuya cota es superior a la cota del agua en el río.

En el sondeo N°4 que se encuentra al lado del río Vizcachani y a 4 kilómetros al oeste del río Lauca, el perfil geofísico de resistividad de sentido E - O comprendió una longitud de 275 metros y en el se encuentran los sondeos eléctricos N°31 al N°35 ambos incluidos. En este perfil se distinguen las mismas tres capas que en los demás perfiles. El pozo N°4 coincide con el SEV 35. En primer lugar este perfil comprueba la existencia de la gran extensión del embalse subterráneo y su relativa homogeneidad a gran escala.

La primera capa tiene un espesor de 30 metros, correspondería a ignimbritas más bien compactas y poco fracturamiento con resistividades desde 500 hasta 800 ohm/m pertenece a la formación Huaylas del cuaternario.

La segunda capa con 40 a 60 metros de espesor y resistividad de 80 ohm/m corresponde a las arenas gruesas, con intercalaciones de estratos de grava y arcilla de la misma formación.

La tercera capa con más de 200 metros de espesor y de 40 a 50 ohm/m de resistividad corresponde a las arenas finas, con intercalaciones de capas de limo y arcilla, abarca la parte inferior de la formación Huaylas y la parte superior de la formación Oxaya. El conjunto de ambas formaciones se encuentra saturadas y constituyen el mismo embalse subterráneo que el que se encuentra en los sondeos 5 a 10. Este pozo también presentó aumento de la presión a medida que se avanzaba en el sondeo presentando surgencia al final de la perforación. Esta se perdió después de las pruebas de bombeo debido probablemente a un defecto en el desarrollo o prueba de bombeo que habría tapado algunas capas de la parte inferior. Ello explicaría además la paulatina pérdida de caudal, durante el tiempo que se encuentre funcionando.

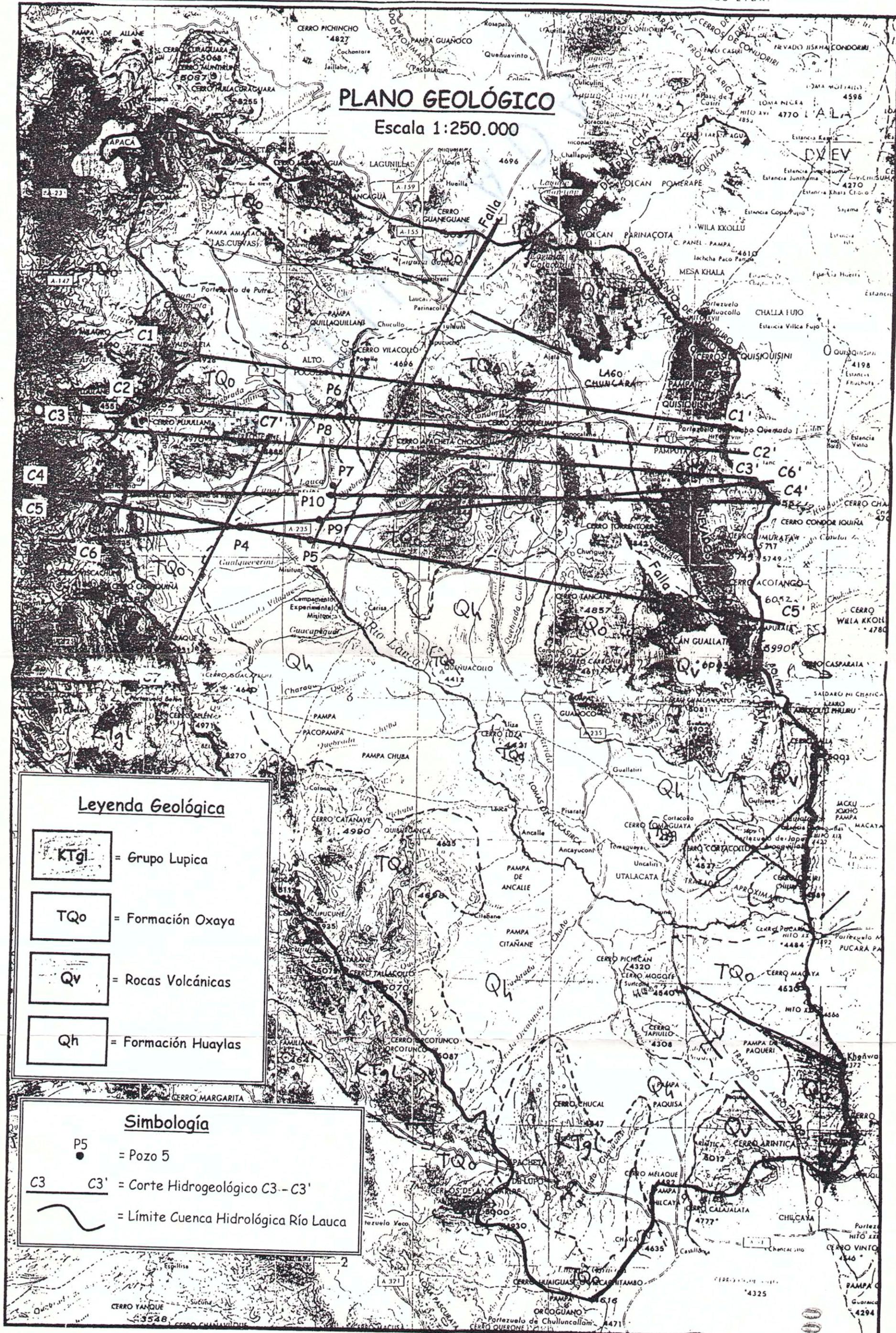
6. CONCLUSIONES

- El embalse subterráneo del altiplano Ariqueño, es de grandes dimensiones, tienen una superficie aproximada de 1.500 Km² y un espesor reconocido de 500 metros en varios sectores.
- Las formaciones geológicas que conforman el embalse subterráneo son las formaciones detríticas del cuaternario (Huaylas con 220 metros) y del terciario (Oxaya con 800 metros).
- Los sondeos 5 al 10 que se encuentran cercanos al río Lauca, y son de 80 a 120 metros de profundidad, han atravesado la formación Huaylas y en algunos casos la parte superior de la formación Oxaya.
- El acuífero estudiado se encuentra a presión, la que aumenta a medida que se profundiza.
- La zona inferior del acuífero reconocido, dispone de agua a presión a temperatura comprendidas entre 15 y 24° lo que indicaría una alimentación profunda de origen volcánico.
- El río Lauca, estaría recibiendo un caudal de descarga desde el embalse subterráneo proveniente del estrato superior del acuífero, cuyo espesor es del orden de 20 a 30 metros.
- Los perfilajes de pozos tanto en gama- gama, neutrón, gama- natural y temperatura son concordantes con la situación geológica general que da lugar al embalse subterráneo. Todos los sondeos estarían perforados en la formación Huaylas.

- La formación Huaylas, en su límite oriente, se pone en contacto con las formaciones volcánicas recientes, lo cual es una fuente de alimentación del acuífero a través de la formación Huaylas. Esto mismo podría suceder en la formación Oxaya.
- La permeabilidad de las formaciones volcánicas del cuaternario, queda de manifiesto en la génesis de la Laguna de Chungará, la alimentación subterránea a la laguna de Cota Cotani. Así como en las vertientes oeste y sur del volcán Guallatiri, que van a alimentar al río Lauca antes de abandonar el territorio Chileno.
- El aumento de caudal del río Lauca entre el río Vizcachane y su salida del territorio Chileno, no necesariamente proviene de descargas del embalse subterráneo en el sector aguas arriba de la quebrada de Vizcachane.
- { Existe una cantidad de estudios realizados en el altiplano Ariqueño, sobre geología, geofísica, hidrogeología, sondeos de reconocimiento, pruebas de bombeo, determinaciones isotópicas, etc. Sin embargo hace falta un estudio sistemático relativo al embalse subterráneo, determinando todas sus características, funcionamiento, relación río - acuífero y condiciones de explotación.
- El déficit de escorrentía, puesto de manifiesto en el estudio que se presenta, hace indispensable un análisis más a fondo de la hidrología, puesto que una infiltración de sólo 13 mm al año no parece ser real para una cuenca en que la precipitación varía entre 300 y 500 mm año, concentrada en 4 meses y en algunos días de dichos meses.
- El volumen almacenado en el embalse subterráneo, tomando sólo un valor medio de 300 metros para el espesor, y un coeficiente de almacenamiento de 10%, arroja una cifra de 45.000 Millones metros cúbicos de agua de buena calidad. Este sólo hecho amerita un estudio profundo del embalse, aunque no se vaya a emplear en un futuro inmediato.

PLANO GEOLÓGICO

Escala 1:250.000



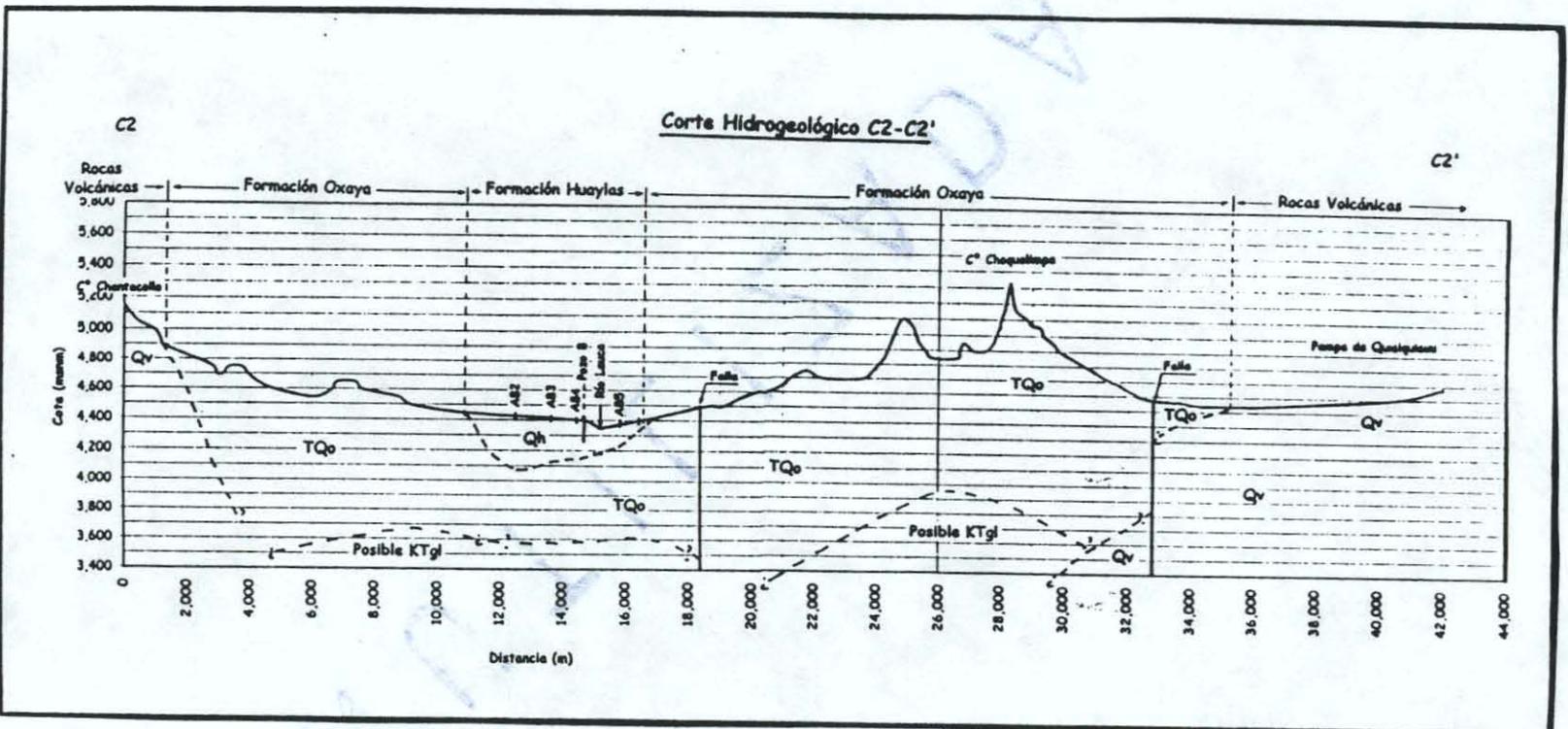
Leyenda Geológica

- KTgl** = Grupo Lupica
- TQo** = Formación Oxaya
- Qv** = Rocas Volcánicas
- Qh** = Formación Huaylas

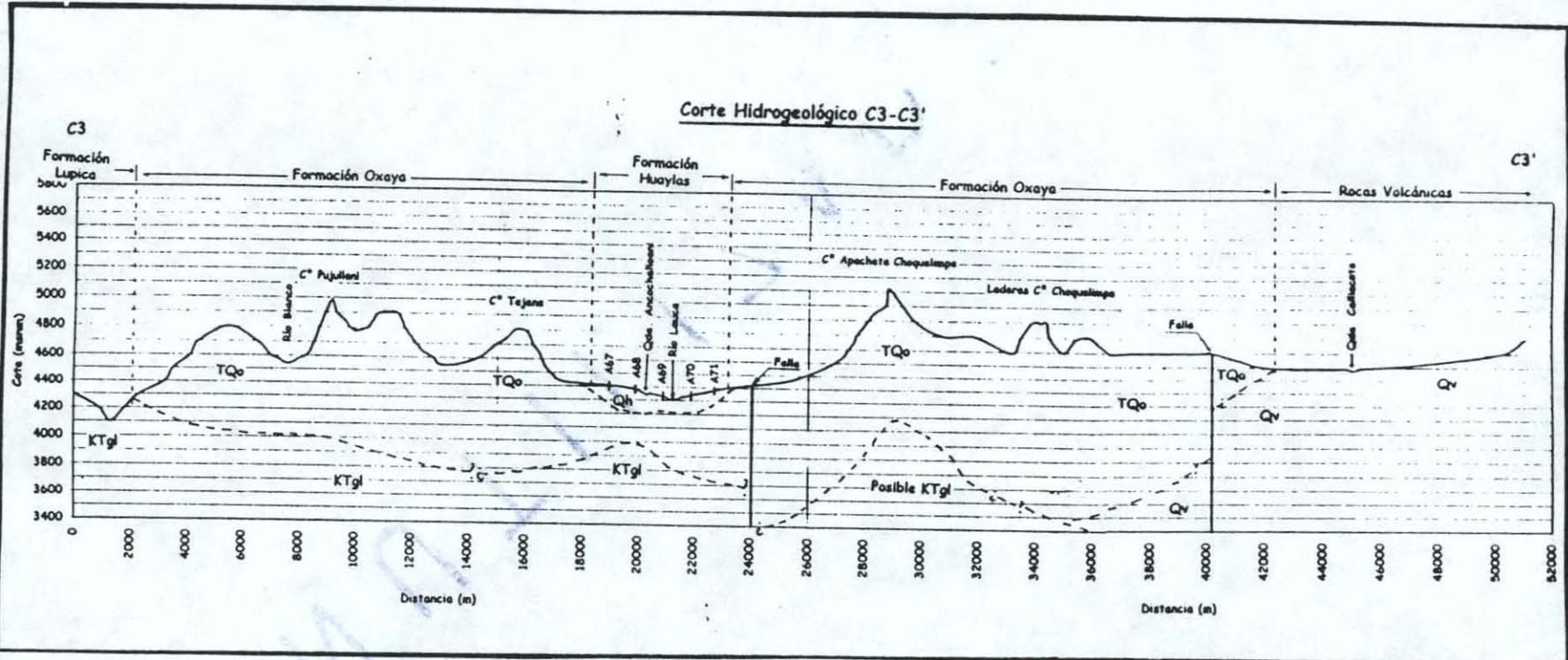
Simbología

- P5** = Pozo 5
- C3 C3'** = Corte Hidrogeológico C3 - C3'
- = Límite Cuenca Hidrológica Río Lauca

000092

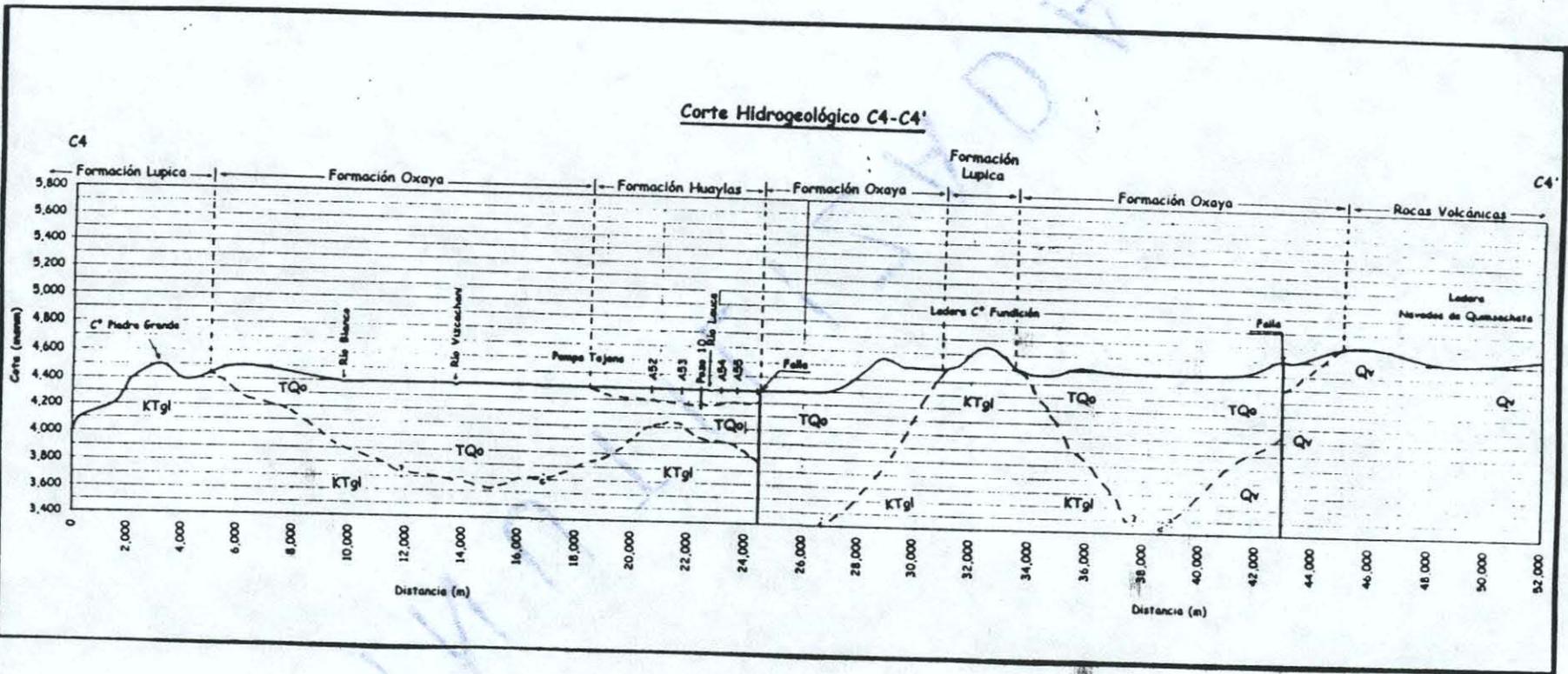


Corte Hidrogeológico C3-C3'

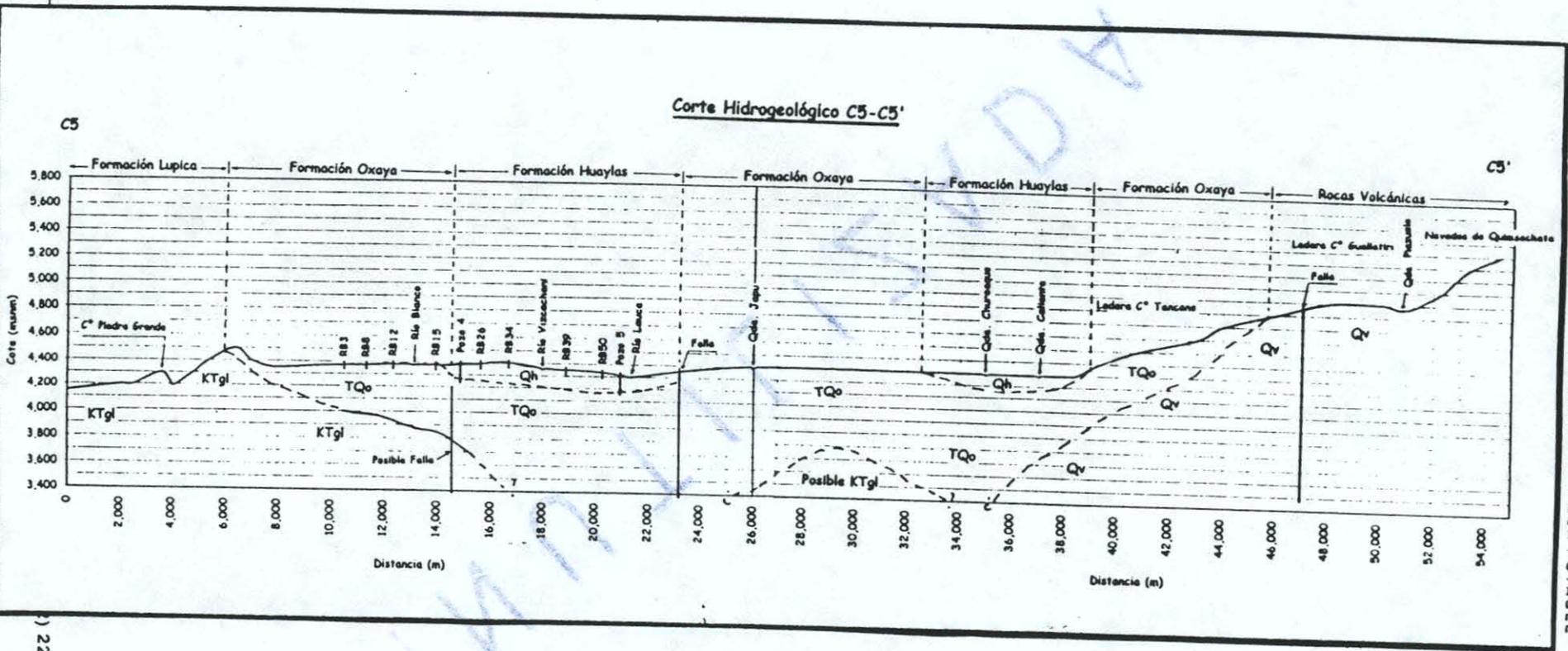




Corte Hidrogeológico C4-C4'

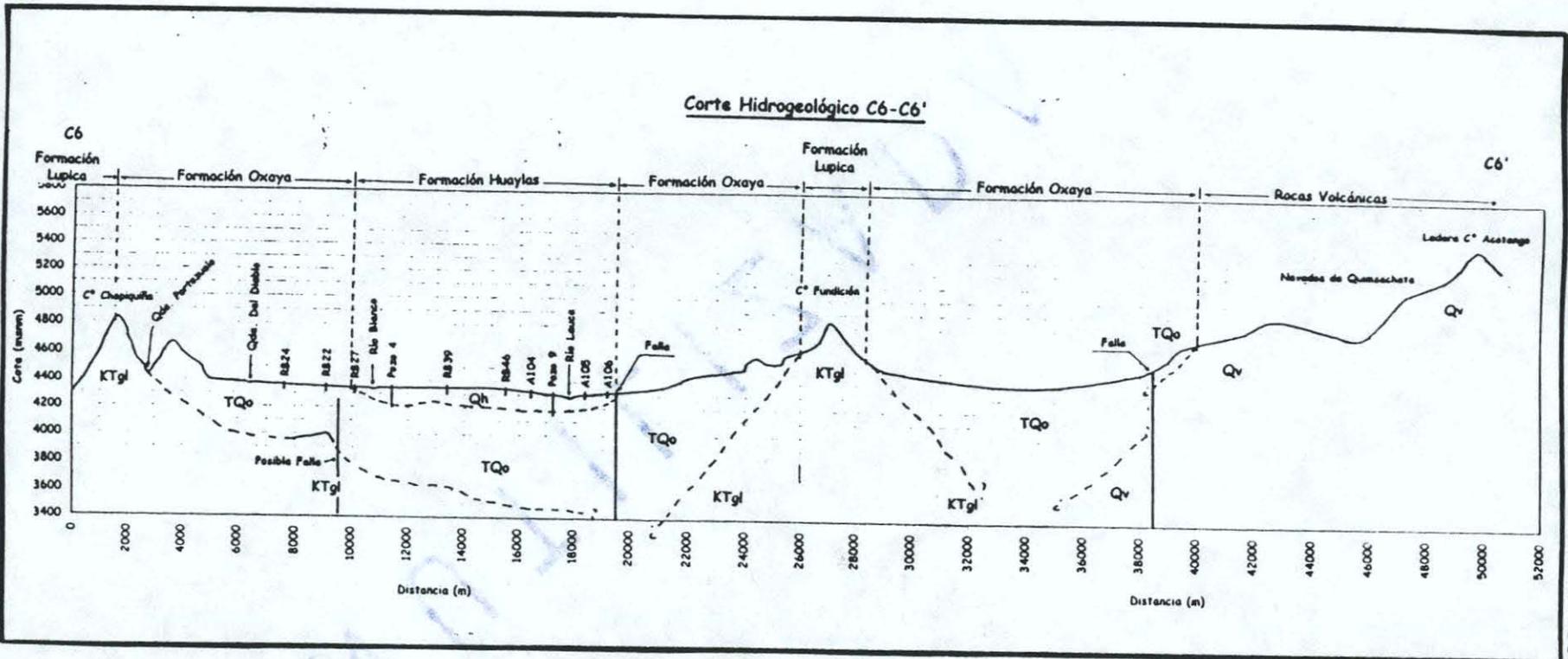


Corte Hidrogeológico C5-C5'

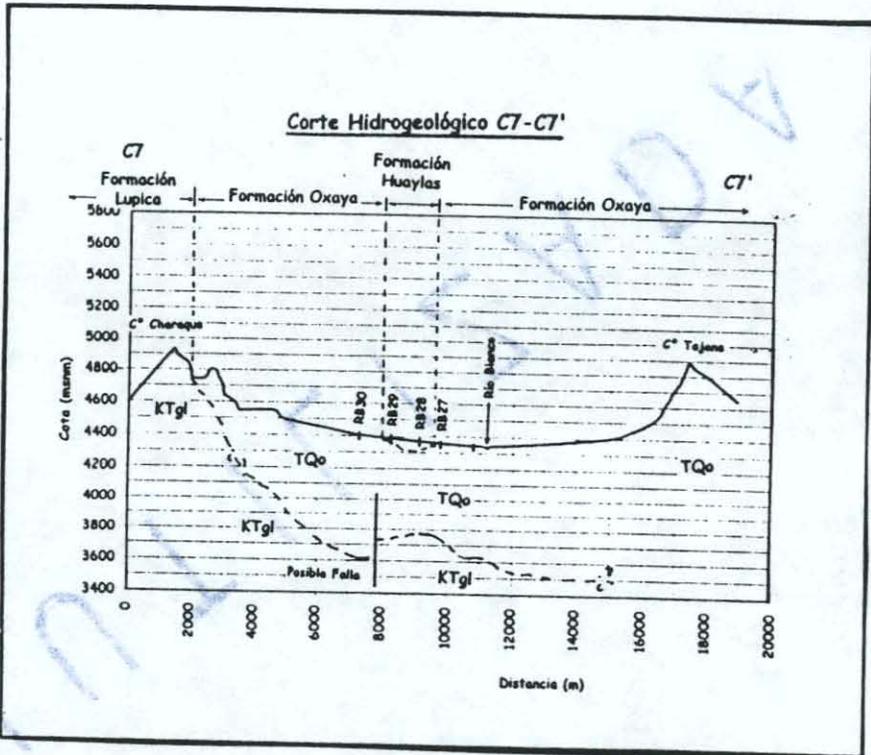


C5

C5'

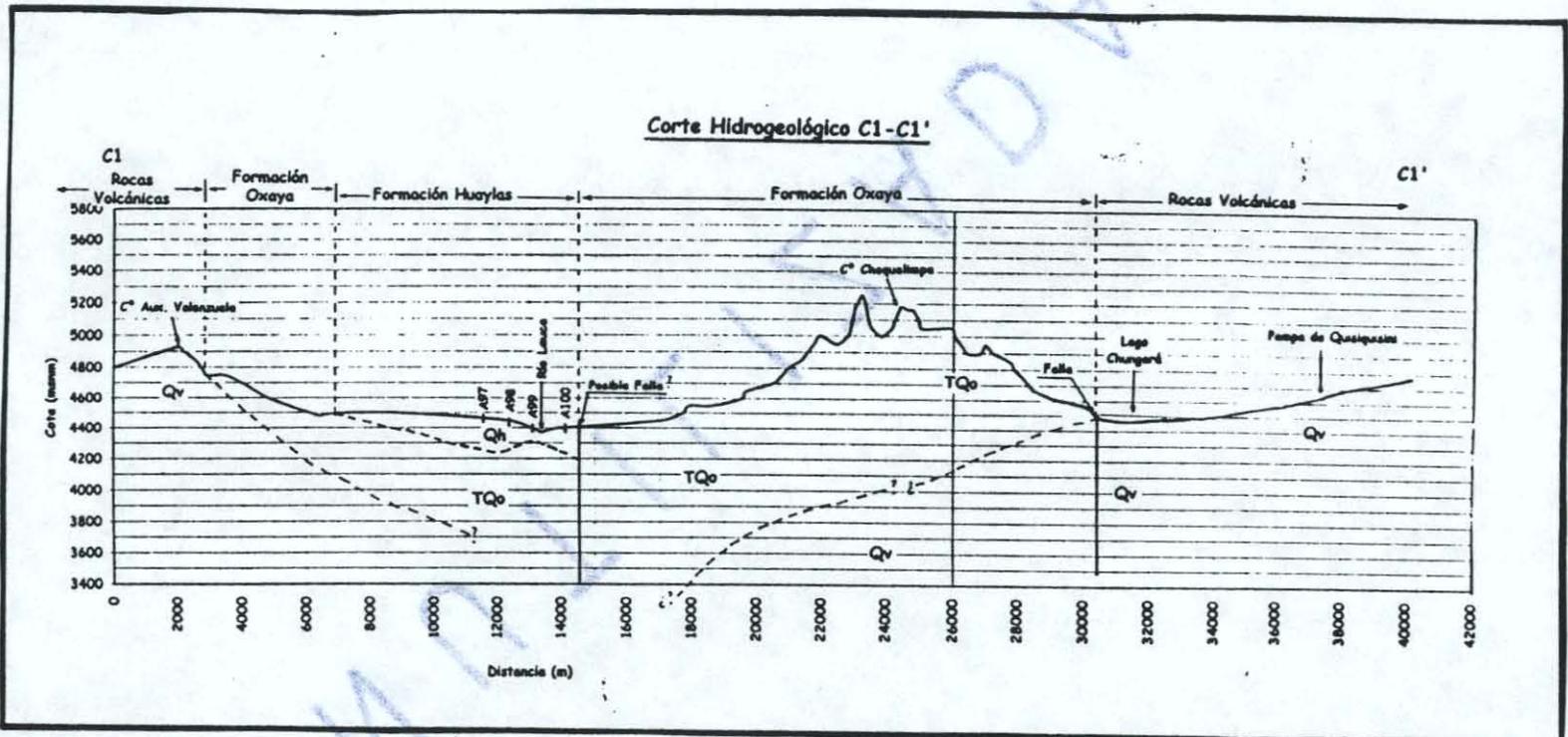


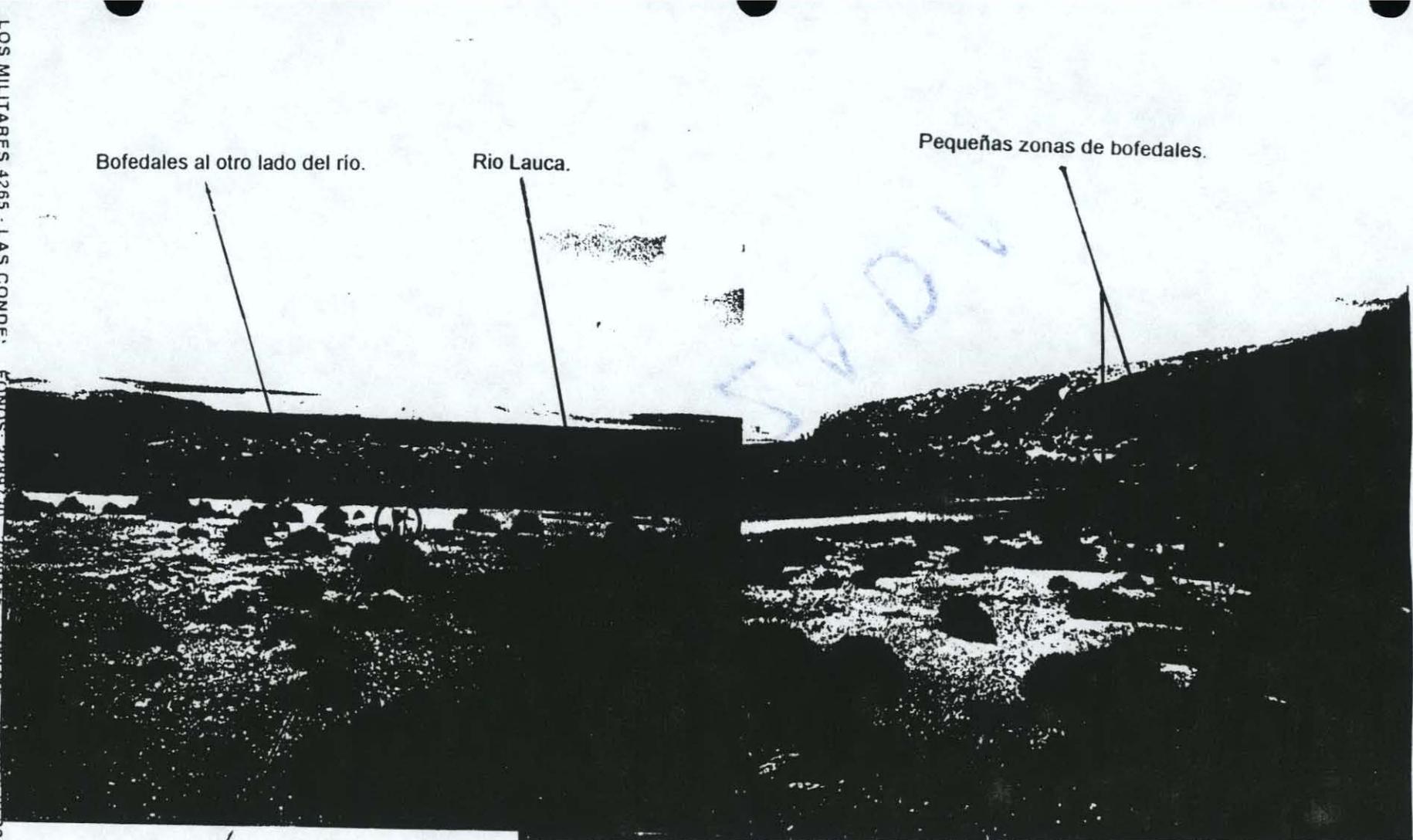
Corte Hidrogeológico C7-C7'



ANEXO N°2

**Fotos del Altiplano Ariqueño
15 Febrero de 2000**





Bofedales al otro lado del rio.

Rio Lauca.

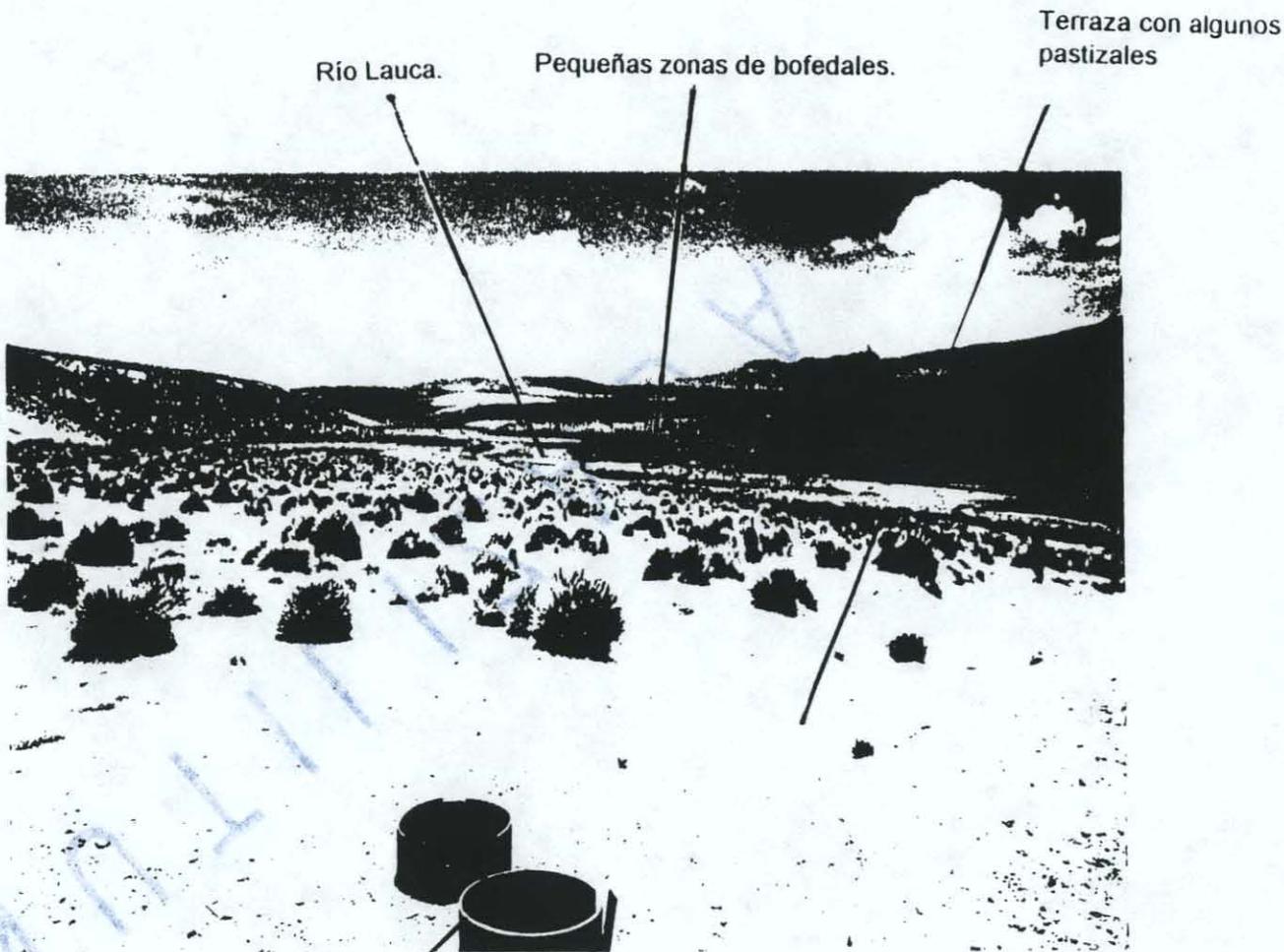
Pequeñas zonas de bofedales.

Pozo N°10
No Surgente.

Terraza con matorral.

Foto (15/02/2000).
Cercanias del Pozo N°10
mirando al Sur-oriente

LOS MILITARES 4265 · LAS CONDE:
FONOS: 2289730 - 2289455 - 2289785 · FAX: 55-22289615 SANTIAGO CHILE
e-mail: alamp@chilepac.net



Rio Lauca.

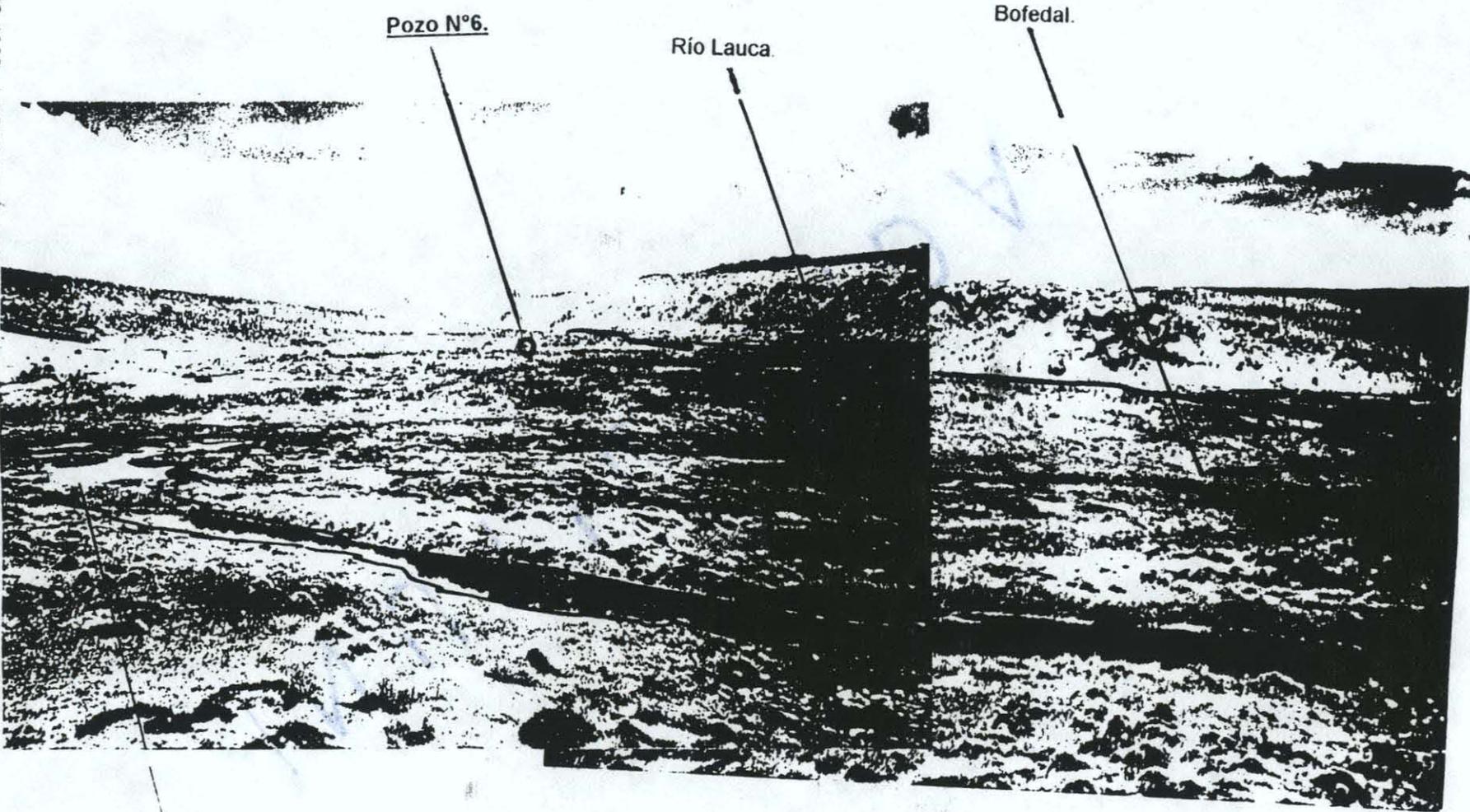
Pequeñas zonas de bofedales.

Terraza con algunos pastizales

Pozo N°7

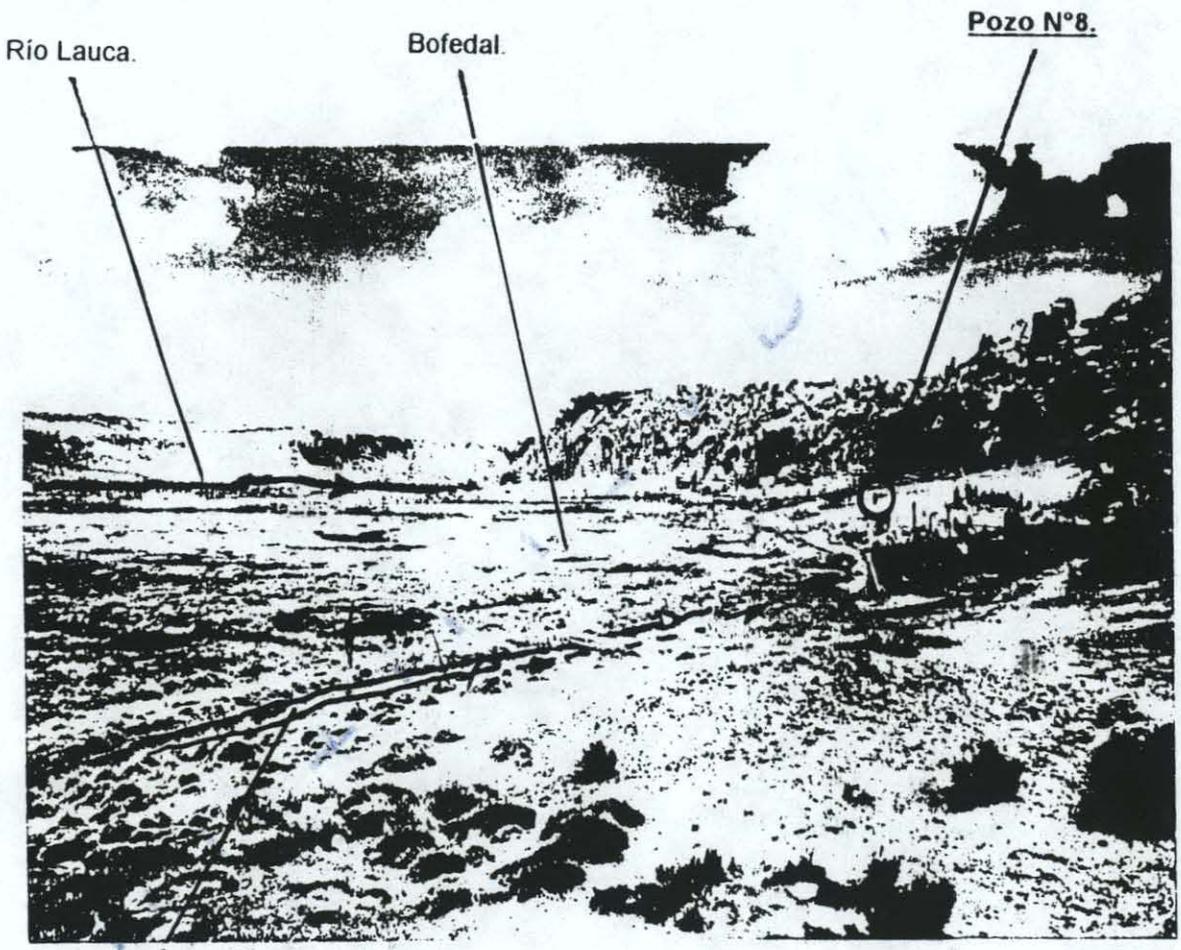
No Surgente N.E. : 2,5 m.
Notar la distancia al río

Foto (15/02/2000).
Desde el Pozo N°7
Mirando hacia el Norte
Zona de escasos bofedales.



Afloramiento Lateral.
Aforado en 1996 durante
P. Bombeo del pozo N° 6 y 8.

Foto (15/02/2000).
Mirando al Nor-orienté en las
cercanías del Pozo N°6.



Afloramiento Lateral.
(nace unos 100 m. Aguas arriba).
Aforado durante la P. Bpmbeo
del pozo N°8 sin mostrar afección.

Foto (15/02/2000).
Mirando al Sur-oriente
Parque Nacional Lauca.
Cercanias Pozo N°8.

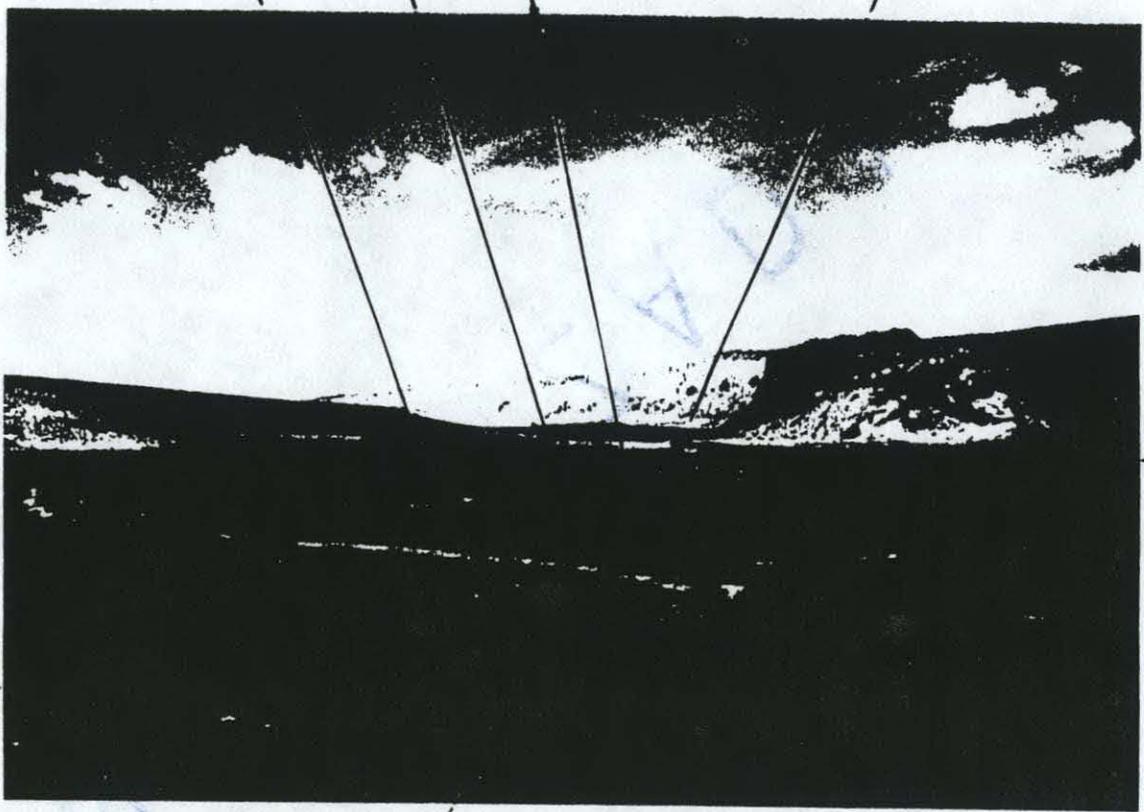
000092

Río Lauca.
Corriendo por el lado
oriente de la caja.

Bofedal de Color Café
(Posiblemente seco).

Pozo N°6

Bofedal.



Pozo N°8
Notar la surgencia.
(está entregando un caudal 20 l/s.)
Conductividad del agua 110 umohs/cm.

Afloramiento Lateral.
No se afecta con
bombeo Pozo N°8.

Foto (15/02/2000)
Desde el Pozo N°8
Mirando hacia el Nor-oriente.

Pozo N°6
Notar la surgencia (8 l/s aprox.).

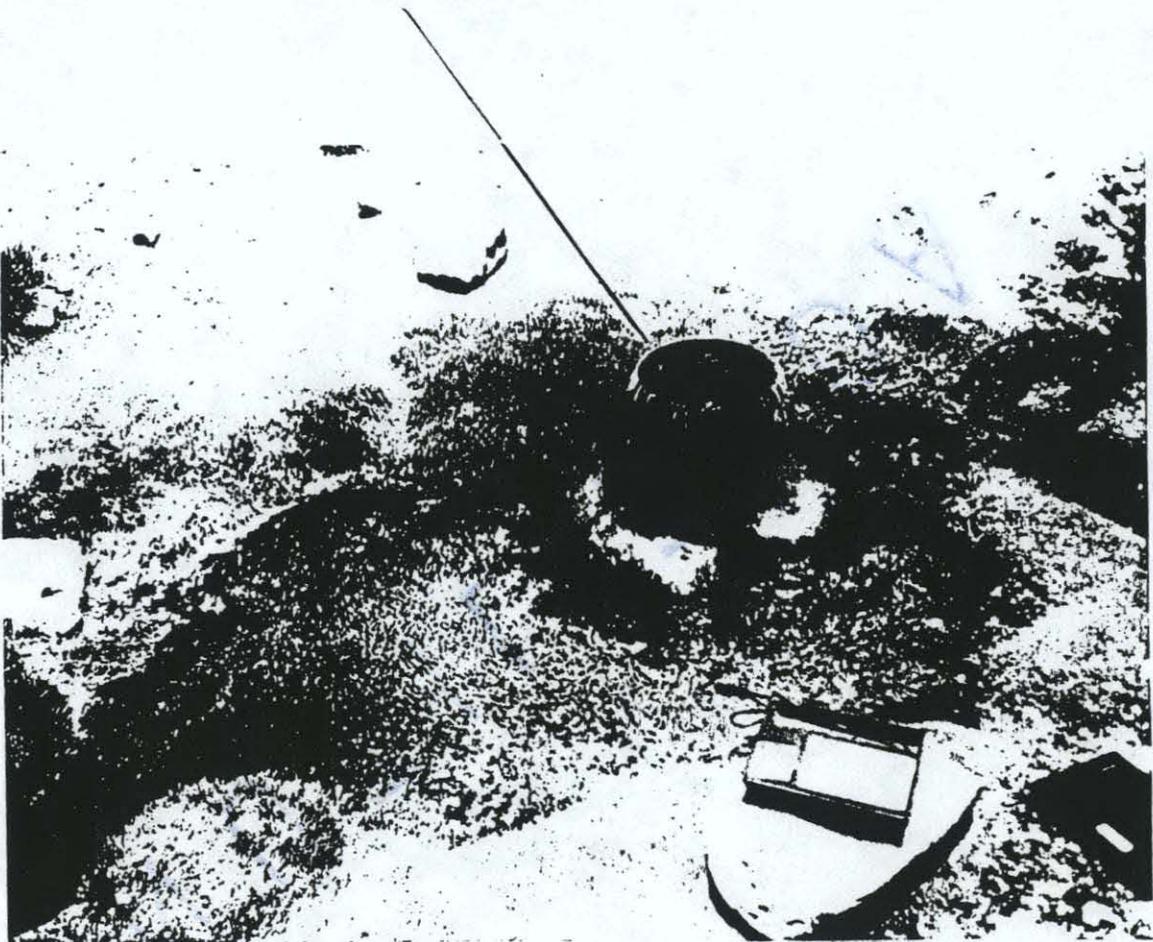


Foto (15-02-2000)
Detalle pozo N°6.

Fotos de Enero - Marzo 1996
Aforos en el Río Lauca desde
su Nacimiento Hasta la Frontera
(Incluyendo sus afluentes principales)

000092

ALAMOS Y PERALTA

INGENIEROS CONSULTORES LTDA

CURSOS HIDRAULICOS

AGUAS SUBTERRANEAS

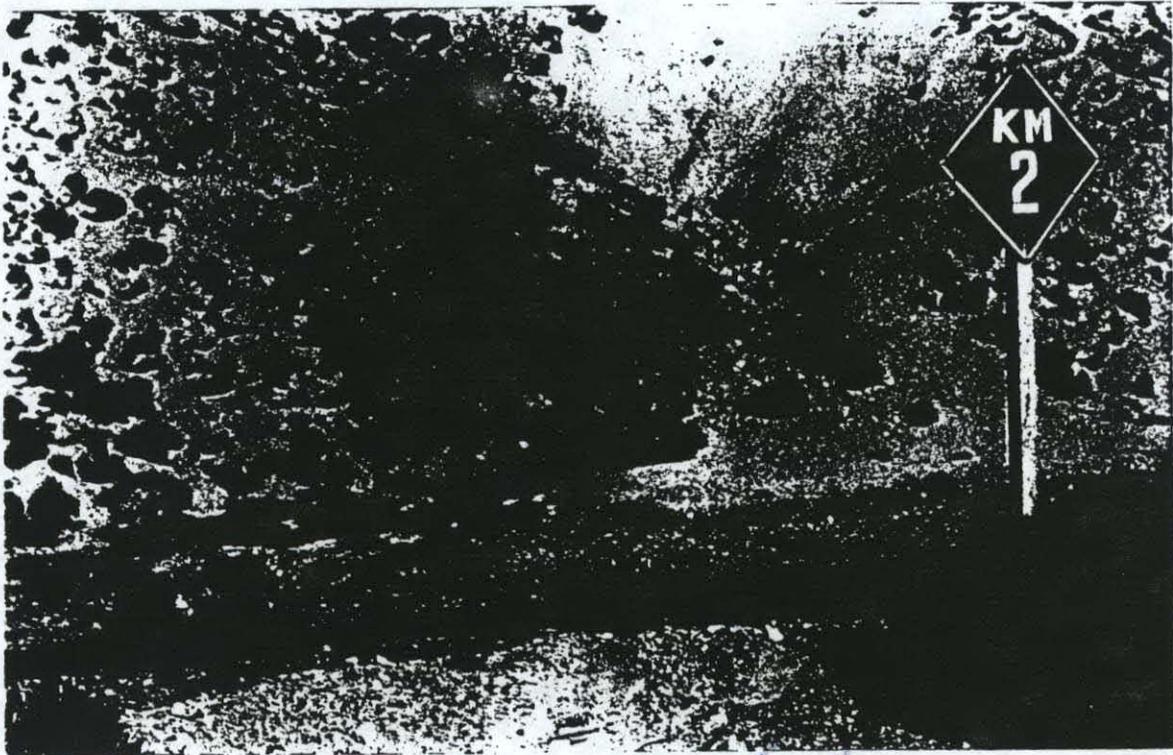
RETAJADO

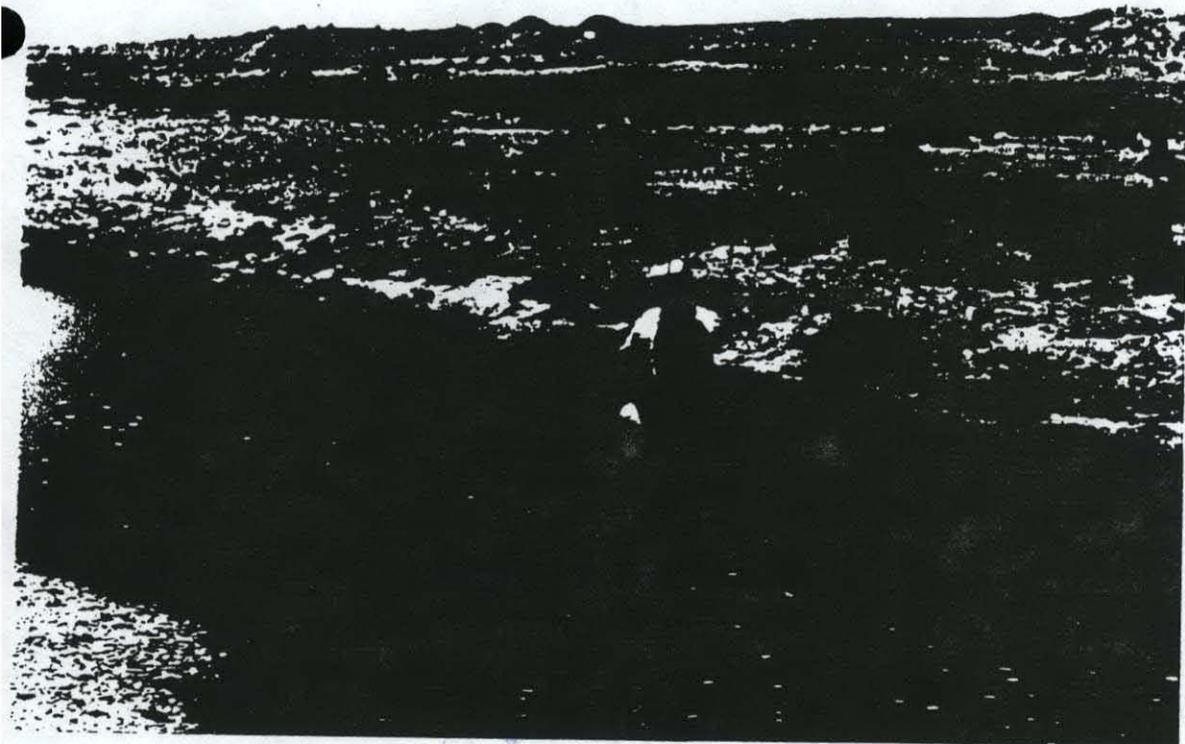
AGUA POTABLE

MINERIA

INDUSTRIA

Aforo "A", Río Lauca Km 2
Sector Chucullo.
Marzo-1996.
Q entre = 10 ~ 70 l/s





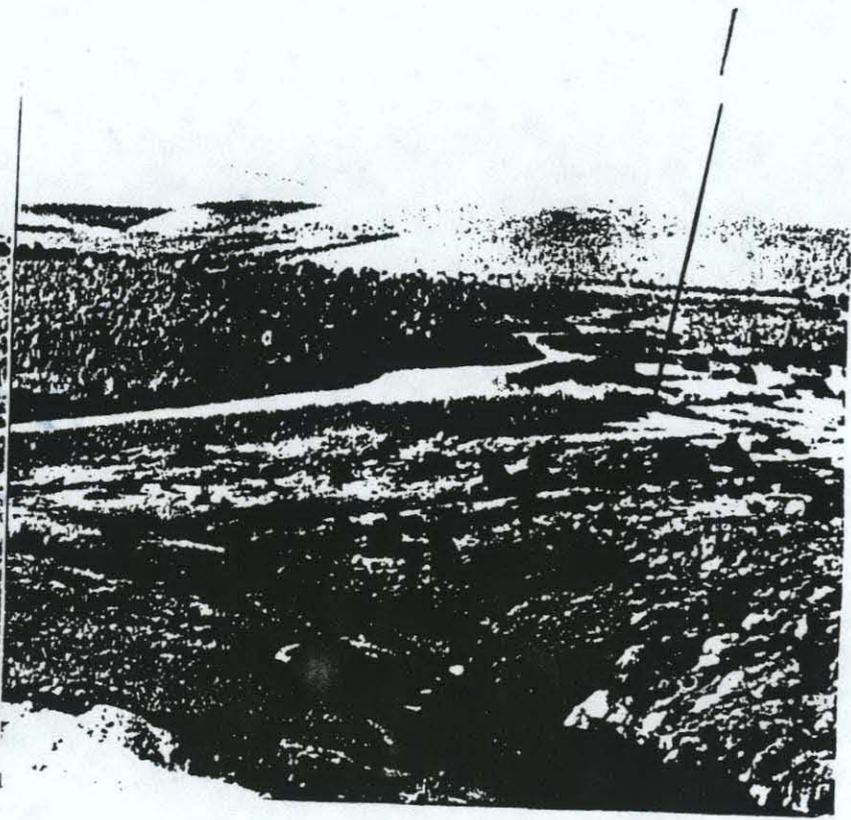
Aforo "B"
Río Lauca Km 17
Sector Misitune.
Q entre = 270 ~ 370 l/s
Foto Marzo-96

Aforo "C", Río Lauca Km. 47.
Sector Ancayucuni - Marzo-96.
Q entre = 900 ~ 1400 l/s.



000092

Sección Aforo "Gua"
Río Guallatire
Q entre = 330 ~ 380 l/s.



Sección Aforo "Chu"
Río Chusavida
Q entre = 200 ~ 300 l/s

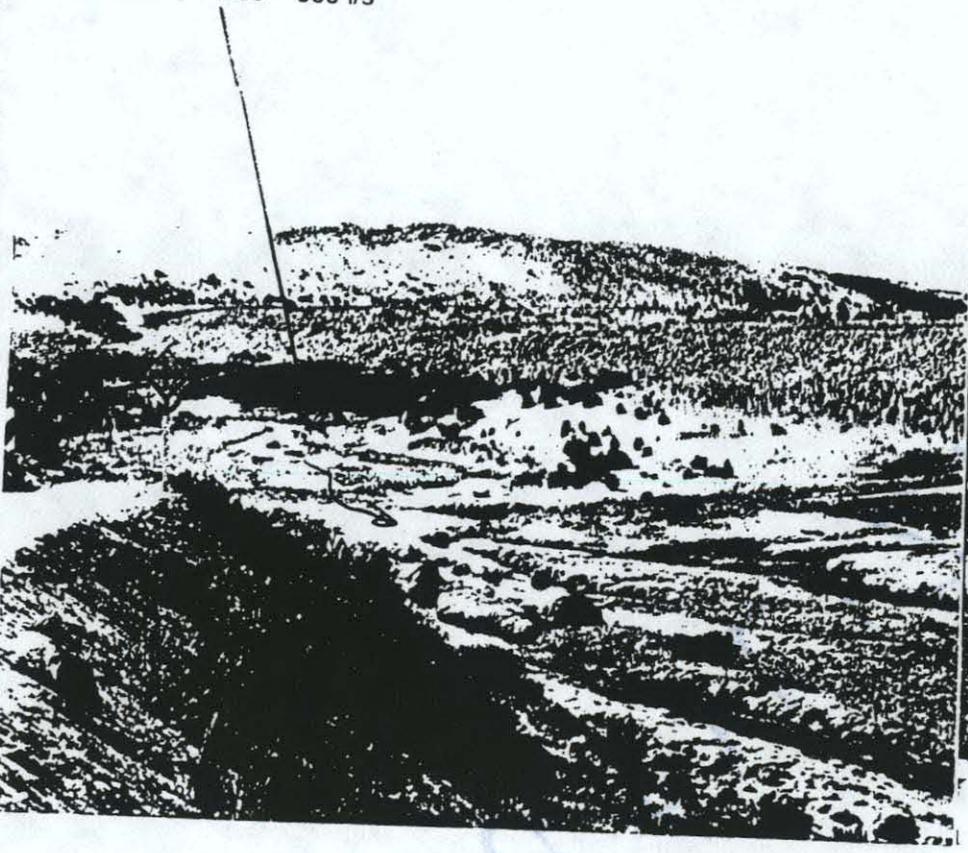
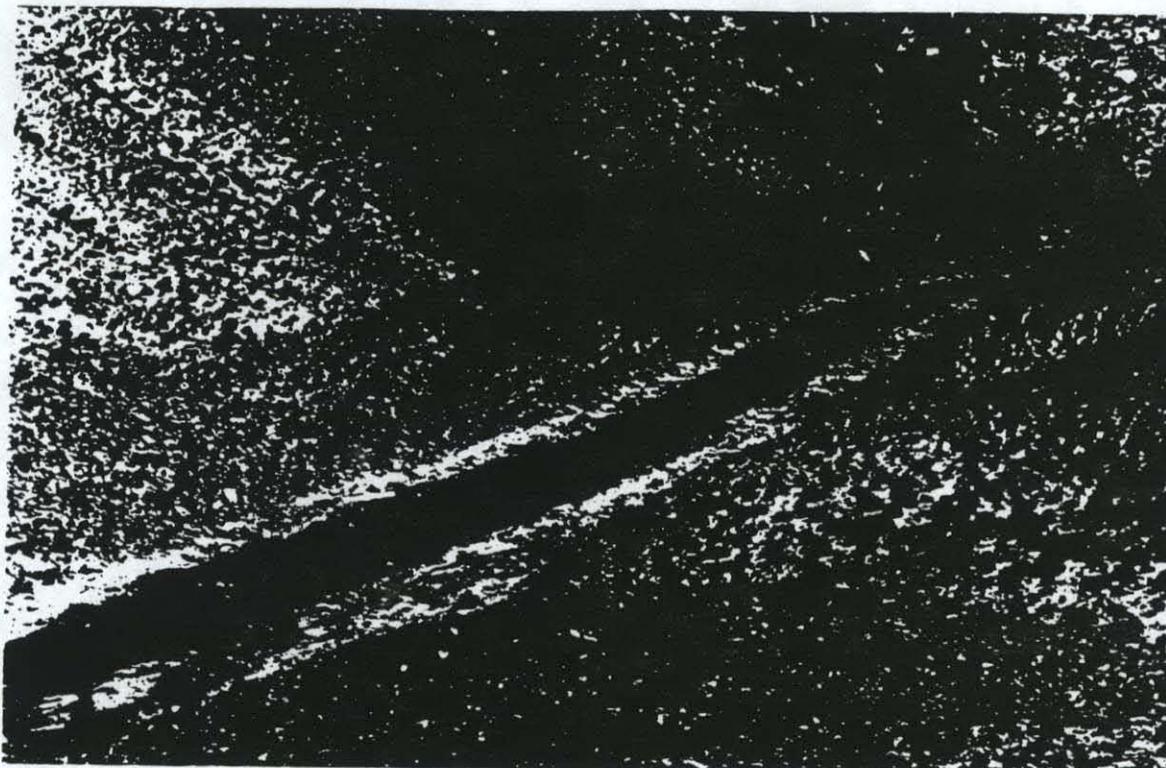


Foto Enero-96
Junta Río Chusavida y Guallatire.
antes junta Río Lauca.

Estación D.G.A.
Río Lauca en Japu.
3.907 m.s.n.m.



Aforo "D" Km 62.
Río Lauca en cercanías de la
frontera (a solo 5 Km).
Sector Cerro Chiliri
Foto Enero-96.
 Q entre = 550 ~ 3.090 l/s.



Río Lauca vista desde la estación
D.G.A., hacia el "Portezuelo de Macaya"

Frontera Hito XX Río Lauca.



**Aforos Durante las
Pruebas de Bombeo 1996**

000092

LAMOS Y PERALTA

INGENIEROS CONSULTORES LTDA

CURSOS HIDRAULICOS

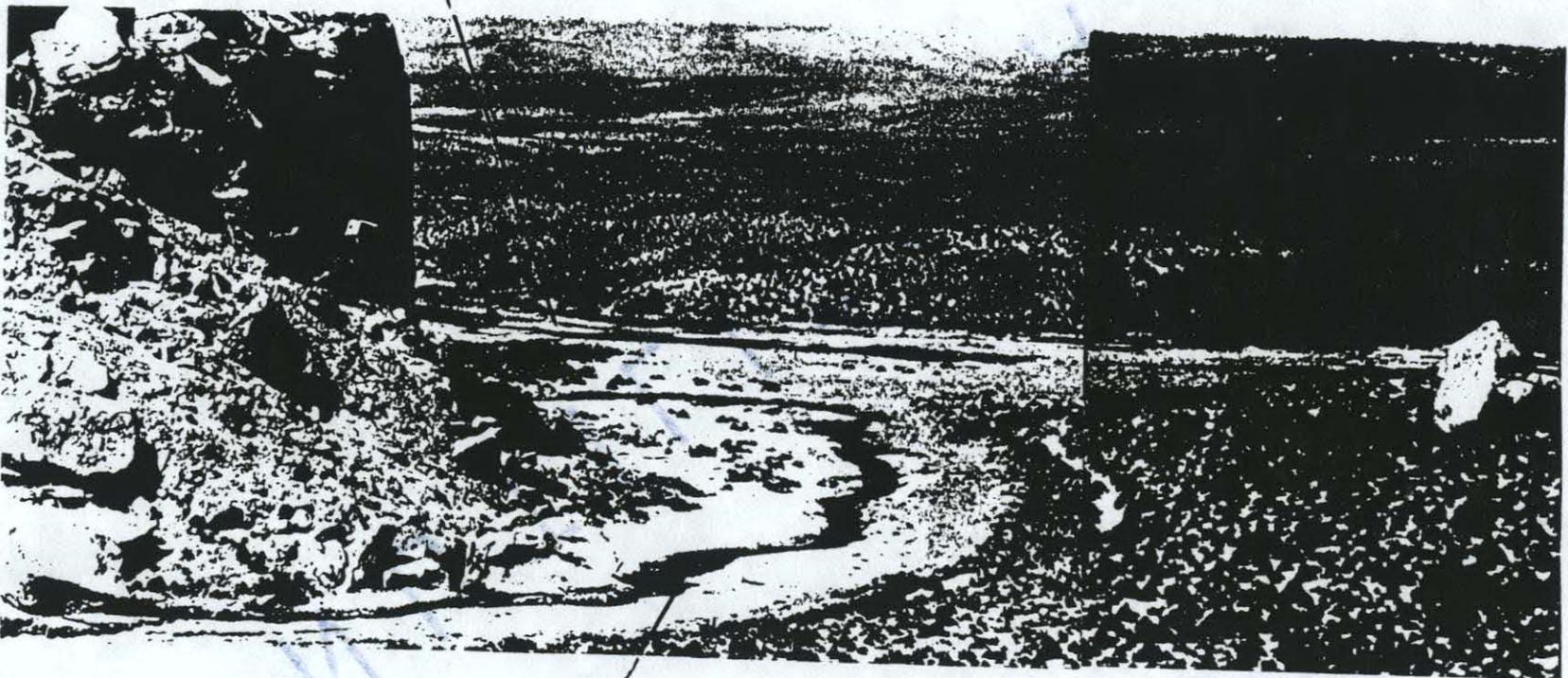
AGUAS SUBTERRANEAS

REGADIO

AGUA POTABLE

MINERIA

INDUSTRIA



Rio Lauca.

Estero Ancocholloani
antes junta Lauca.

Sector Pozo N°7

Foto Enero 1996

000092

LAMOS Y PERALTA

INGENIEROS CONSULTORES LTDA

CURSOS HIDRAULICOS

AGUAS SUBTERRANEAS

REDADIO

AGUA POTABLE

MINERIA

INDUSTRIA

Estero Ancocholloani antes Río Lauca.
Sección de Aforo durante bombeo
Pozo N°7, Distancia 100 m. Pozo N°7
Caudal Estero = 20 l/s.

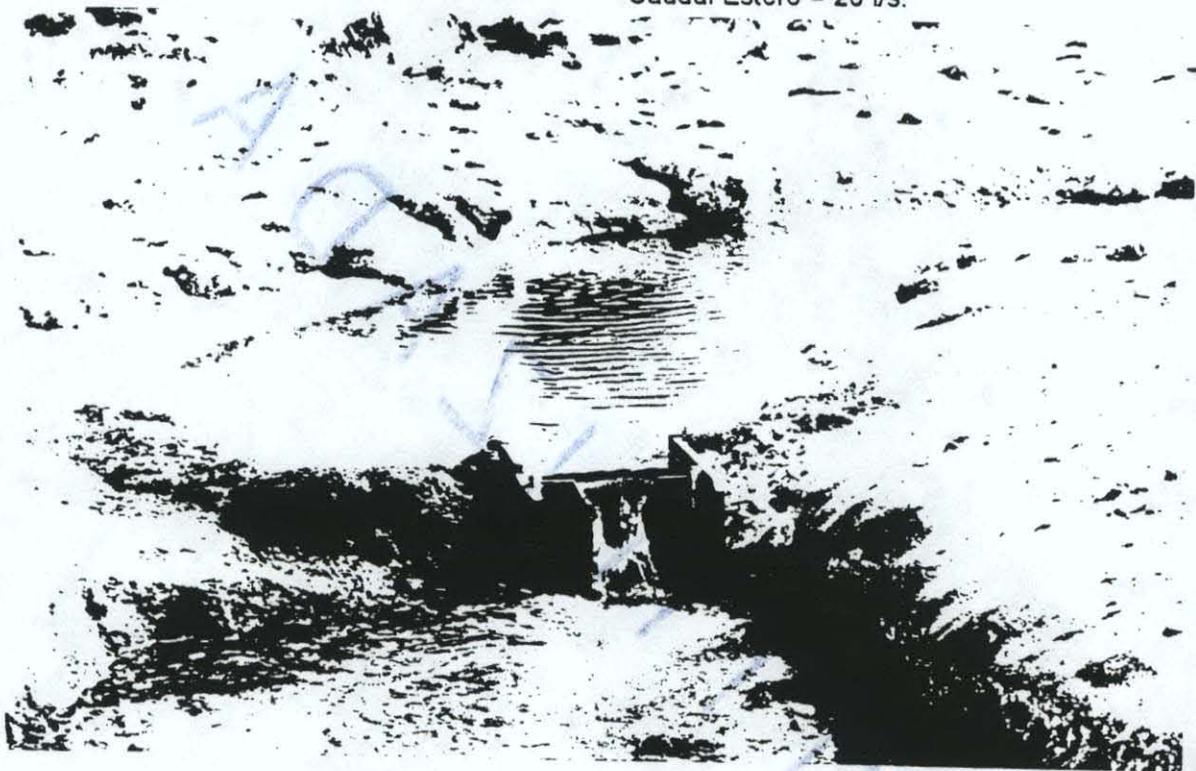


Foto Marzo - Abril 1996.

000092

ANEXO N°3

RELACION RIO ACUIFERO EN RIO LAUCA SECTOR DE LOS POZOS

000092

ANEXO N°3**RELACION RIO ACUIFERO EN RIO LAUCA
SECTOR DE LOS POZOS**

1.	Introducción	2
2.	Descripción General de las relaciones Río - Acuífero	2
3.	Los nuevos antecedentes y su utilidad	3
4.	El esquema Hidrogeológico	4
5.	El río y su relación con cada capa acuífera	4
6.	Conclusiones	8

000092

1. Introducción

El presente anexo se produce una vez terminado el informe denominado "Análisis Hidrogeológico de la explotación del acuífero y efecto en los bofedales del Altiplano Ariqueño" y con motivo de disponer de un nuevo antecedente que corresponde al levantamiento topográfico de detalle del río Lauca en el sector de los pozos construidos por la D.O.H. El mencionado levantamiento consta de 187 perfiles transversales a escala 1:1.000 H y 1:100 V ó 1:1.000 V y una planta a escala 1:2.000 con curvas cada 1 metro en las cercanías del río.

Este levantamiento permite conocer la posición relativa de la cota del agua en el río y la cota del agua en los sondeos. Esta última se obtuvo restando de la cota de terreno en el pozo la profundidad del nivel de saturación medido durante la construcción de los sondeos y una vez terminados éstos. Este trabajo fue realizado por la D.O.H. del M.O.P., sus resultados se encuentran en 35 planos de perfiles transversales y 5 planos de planta.

2. Descripción general de las relaciones río – acuífero

Un río y un acuífero pueden estar en comunicación hidráulica o no. Para que esté comunicados el material acuífero debe ser el mismo del lecho del río, y permitir libremente el paso del agua en ambos sentidos entre río y acuífero. El paso del agua en un sentido u otro depende de las cotas relativas del agua y se pueden dar en general tres casos:

Si la cota del agua subterránea en las inmediaciones del río es superior a la cota del río, y están en comunicación hidráulica el acuífero entrega agua al río, se trata de una zona de recarga referida al acuífero y una zona de alimentación o recuperación referida al río.

Si la cota del agua subterránea (nivel de saturación) se encuentra al mismo nivel que la cota del agua en el río se dice que hay situación de equilibrio.

Si la cota de agua subterránea (nivel de saturación) se encuentra bajo la cota del agua en el río, y hay comunicación hidráulica, entre ambos, el río alimenta al acuífero. En ese caso se habla de zona de recarga referida al acuífero y zona de pérdida o infiltración referida al río.

3. Los nuevos antecedentes y su utilidad

La topografía realizada, ha permitido conocer la cota del agua en el río Lauca y además sirvió para calcular la cota del nivel de saturación de cada uno de los tres estratos en que se ha diferenciado el acuífero.

Para cada uno de los sondeos, se ha dibujado un perfil transversal al río, empleando el perfil topográfico más cercano. En él figuran el perfil del terreno, la posición del sondeo, el río con su cota y las cotas de los tres estratos acuíferos. Además se ha incluido otro perfil de referencia en que aparecen la cota del agua en régimen normal del río y la cota para las crecidas de períodos de retorno de 5 y de 50 años según cálculos de la D.O.H.

Estos perfiles permiten apreciar la posición relativa de los niveles de saturación del acuífero en relación con la del río y determinar si el río recibe o entrega agua al acuífero.

4. El Esquema Hidrogeológico

En el informe Hidrogeológico mencionado se ha producido un esquema sintético de un corte transversal tipo en el que aparecen diferenciados los tres estratos del acuífero y la posición relativa de sus niveles de saturación, todo ello con anterioridad al conocimiento del levantamiento topográfico.

Los nuevos datos han venido a corroborar el esquema en lo que a situación de niveles se refiere y la existencia de los estratos y sus diferentes niveles proviene del análisis de los sondeos, de acuerdo con los datos obtenidos durante la perforación de los mismos, como también durante las pruebas de bombeo realizados en ellos, todo esto se encuentra ampliamente descrito en el informe principal, del cual este es un anexo.

Es necesario recordar que los niveles piezométricos de los estratos, fueron claramente diferenciados durante la perforación, con ascensos bruscos e importantes, lo cual corrobora la hipótesis de que estos funcionan hidráulicamente como estratos separados a efectos prácticos.

5. El río y su relación con cada capa acuífera

En las páginas siguientes se han intercalado los perfiles transversales que pasan por cada uno de los seis sondeos construidos en las inmediaciones del río Lauca, a saber los sondeos N°5 al 10 ambos incluidos, como también a modo ilustrativo el perfil transversal y las cotas del río en crecidas.

en aquellos pozos que son surgentes se ha supuesto un nivel del agua como el de boca tubo, esto es un cálculo por defecto, pero que no altera el esquema ni las conclusiones, por cuanto si se midiera con precisión el nivel de saturación sería aún más alto.

El perfil transversal N°179, que pasa por el pozo 5, indica que los niveles piezométricos de los tres estratos son superiores al nivel del río, por lo tanto los tres son susceptibles de alimentar al río. No obstante el único que se encuentra en comunicación hidráulica con el río es el estrato A, y ese alimenta al río con una diferencia de presión de 2,6 metros, para un pozo con 17 metros de profundidad.

El perfil transversal N°7, que corresponde al pozo N°6, presenta un nivel del agua en el estrato A del acuífero, 3,5 metros por encima del nivel del río, lo cual indica que existe alimentación al río desde dicho estrato acuífero. El estrato B del acuífero, tiene un nivel de saturación 4,5 metros por debajo del nivel del río, lo que indica que si estuviera en comunicación hidráulica con el río, éste alimentaría al acuífero. El estrato C, al ser surgente da un nivel mínimo de 4,5 metros sobre el nivel del río. Dada la habilitación del sondeo, hoy en día está fluyendo agua (10 l/s aproximadamente) y dicho sondeo alimenta al río. Se precisa que es el sondeo el que hoy lo alimenta y no el estrato acuífero como tal, porque no está en comunicación hidráulica. Además una vez que el sondeo entre en explotación el nivel estático se transformará en dinámico bajando por debajo de los 30 metros eliminando esta descarga al río; esto no constituye una afección negativa, porque el río en condiciones naturales no recibe agua desde el estrato "C".

El gráfico inferior indica que en sus creces máximas el río puede alcanzar la cota 4.303,5 m.s.n.m. siendo aún inferior a la cota de saturación del estrato A.

El perfil transversal N°101 que corresponde al pozo N°7, presenta un nivel de agua en el estrato A del acuífero (0 – 20 metros) 2,5 por debajo del nivel del río, lo cual indica que en dicho tramo o sector alrededor del sondeo 7, el río alimenta al acuífero en su estrato A. El estrato B (20 – 46 metros) no presenta diferencias de nivel con el río y el estrato C (46 – 80 metros) tiene un nivel estático 3 metros por encima del nivel del río. Ello indica que el estrato C se encuentra a presión y que en condiciones normales no alimenta al río.

El perfil transversal N°12, que corresponde al pozo N°8, tiene un nivel de agua en el río de 4.300,56 m y los niveles de saturación de los estratos A (0 – 20 metros); B (20 – 50 metros) y C (50 – 120 metros) tienen una cota 4.304,87 metros; 4.305,87 metros y 4.308 metros respectivamente. Lo que indica que en los alrededores de dicho pozo el río Lauca recibe aguas desde el estrato A del acuífero. Además indica que los estratos B y C podrían entregar agua al río, siempre y cuando se conectaran con él a través de pozos, no obstante en condiciones naturales no están alimentando al río.

El perfil transversal N°169, correspondiente al pozo N°9, el nivel del agua en el río es de 4.261,53 metros y en los estratos A y B es de 4.261,78 metros, por lo cual en este sector los estratos A y B se encuentran en una situación práctica de equilibrio con el río.

El estrato C que aparece desde los 36 metros hasta los 120 metros de profundidad del pozo, presenta surgencia con un nivel aproximado de 2,5 metros sobre el nivel del río.

Ello confirma la situación de confinada de la capa C y de confinante de la capa B. En una explotación el caudal proviene del acuífero "C" por lo cual no se producirá afección a la alimentación al río.

El perfil transversal N°109, pasa por el pozo N°10, el río tiene una cota del agua de 4.277,13 metros y en nivel A (0 -20 metros) una cota de 4,277,22 con lo cual hay una adecuada comunicación hidráulica y una situación de equilibrio. El estrato B, tiene una presión 1 metro por encima del río y el estrato C de dos metros por encima del río. Lo cual está en concordancia con la situación del resto de los sondeos de la región

Perfiles Longitudinales

Con el fin de ilustrar la situación de la relación río - acuífero para cada uno de los tres estratos denominados A, B y C, se han dibujado cuatro perfiles longitudinales a lo largo del río, cubriendo una extensión de 11,5 Km desde el pozo N°6 aguas arriba hasta el pozo N°5 aguas abajo.

Hay un perfil individual para cada estrato en que figura la cota del agua del río y la cota del nivel de saturación de cada uno.

Se puede apreciar que el estrato A, alimenta al acuífero en los 5 primeros kilómetros, es alimentado por el río en los 2 kilómetros siguientes y se encuentra en equilibrio con el río entre el Km 7 y el Km 11.5.

El estrato B con excepción del pozo 6, alimentará al estrato A en toda la extensión del perfil longitudinal. Su cota es superior a la del río, lo cual no necesariamente indica una alimentación a éste por cuanto no se encuentra en comunicación hidráulica con el río.

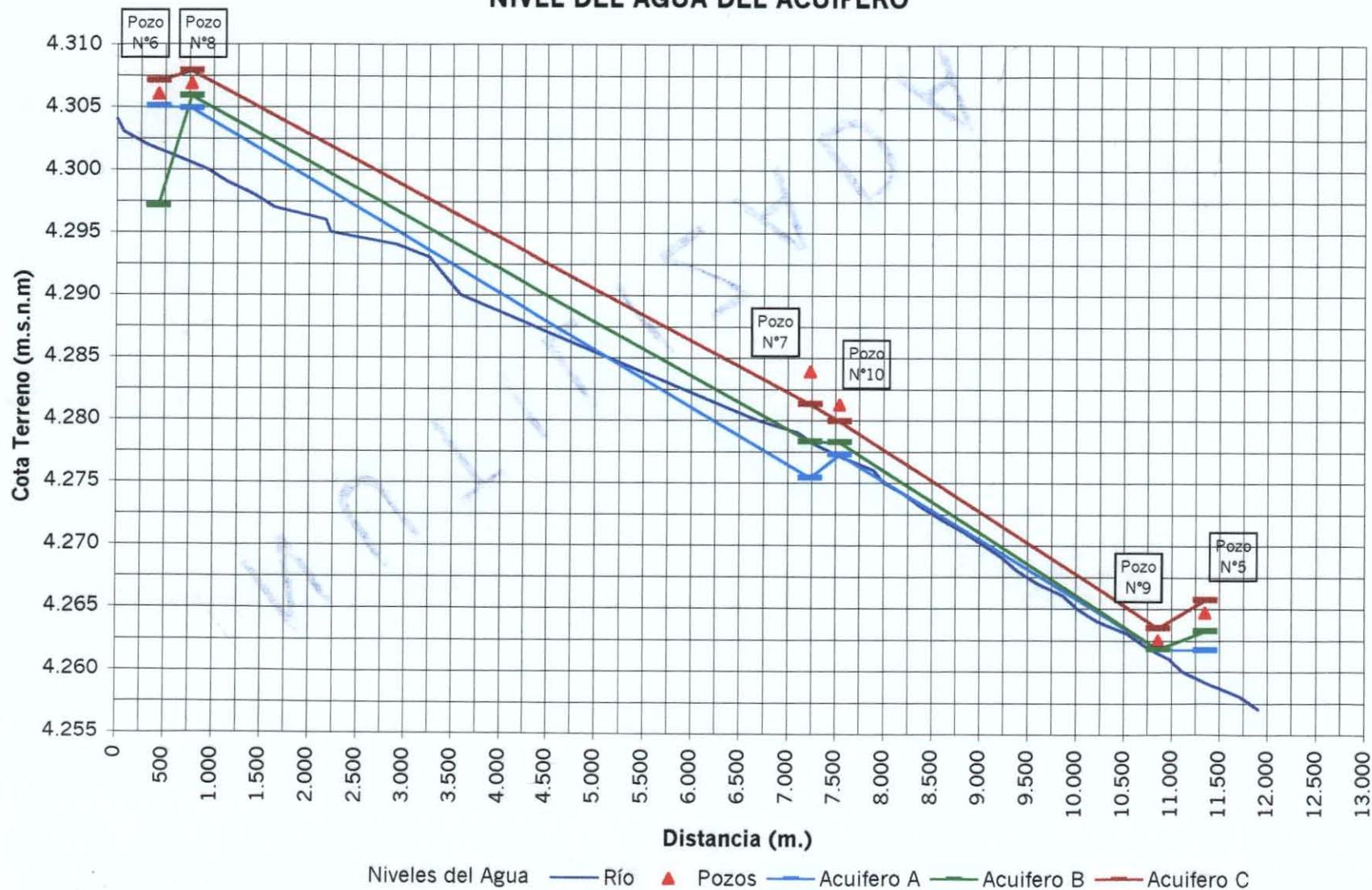
El estrato C presenta una situación uniforme del nivel de saturación por encima del río en toda la extensión del perfil longitudinal. Ello comprueba su condición de confinamiento.

El cuatro perfil muestra a modo indicativo la situación conjunta de los niveles de saturación de cada estrato y la cota del río.

6. Conclusiones

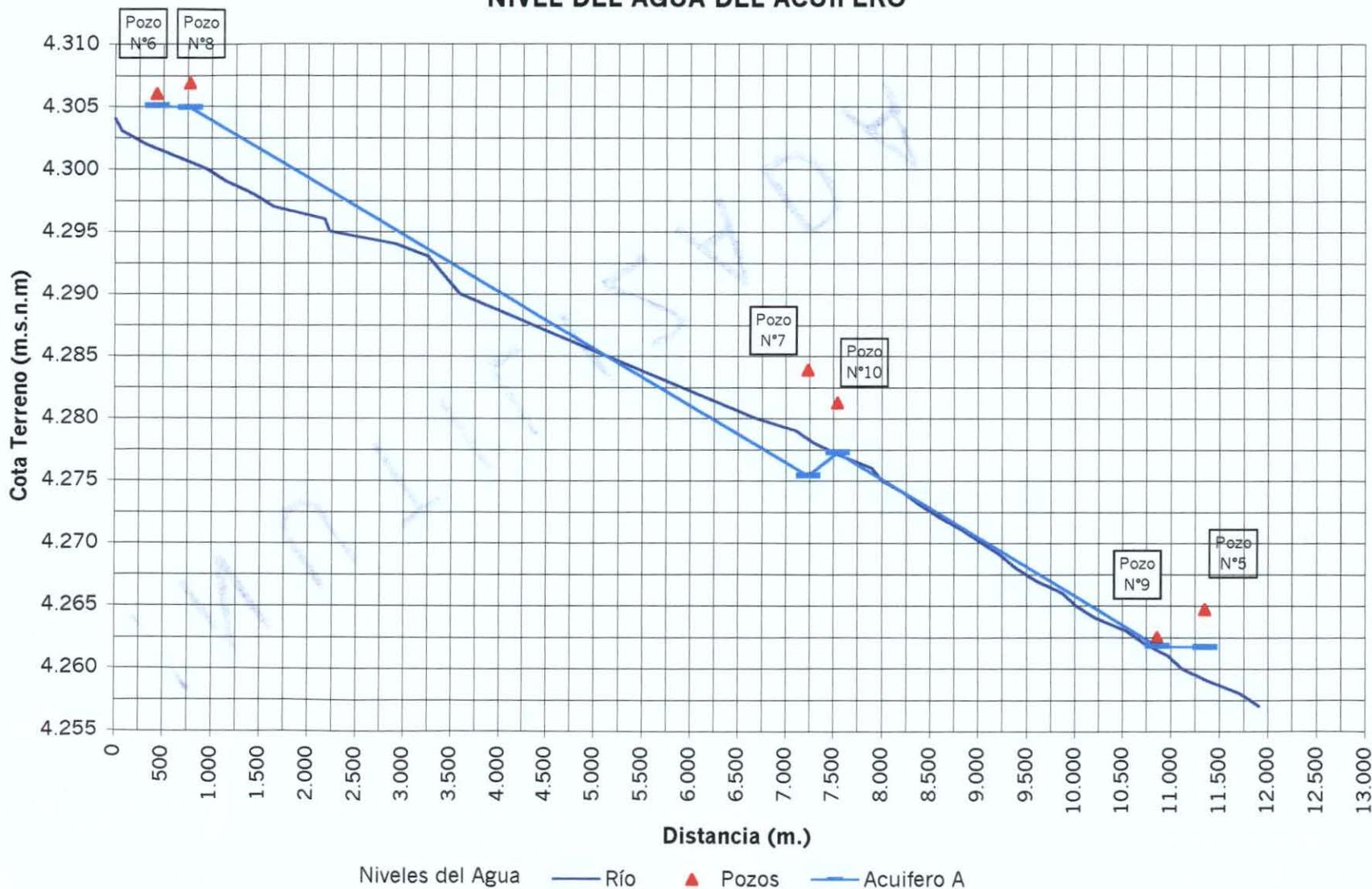
- El levantamiento topográfico de detalle de río Lauca en el sector de los pozos, ha permitido precisar la relación río – acuífero.
- Los perfiles transversales que pasan por cada uno de los pozos han permitido definir la relación río – acuífero en cada pozo y para cada uno de los tres estratos de diferente presión.
- El análisis detallado de cada perfil coincide con la hipótesis planteada en el informe en el sentido de que sólo el primer estrato acuífero al encontrarse en conexión hidráulica con el río puede influir en la descarga del acuífero al río.
- La explotación de los sondeos 5 al 10 no afectará la actual relación río – acuífero por cuanto la mayor producción proviene del estrato inferior “C”.
- La habilitación actual de los pozos impide que durante la explotación se produzca un aporte al caudal del pozo que provenga del estrato A, por cuanto los elementos captantes sólo comprometen los estratos B y C.

**ANALISIS HIDROGEOLOGICO ALTIPLANO ARIQUEÑO
PERFIL LONGITUDINAL RIO LAUCA - AMBAR S.A.
NIVEL DEL AGUA DEL ACUIFERO**



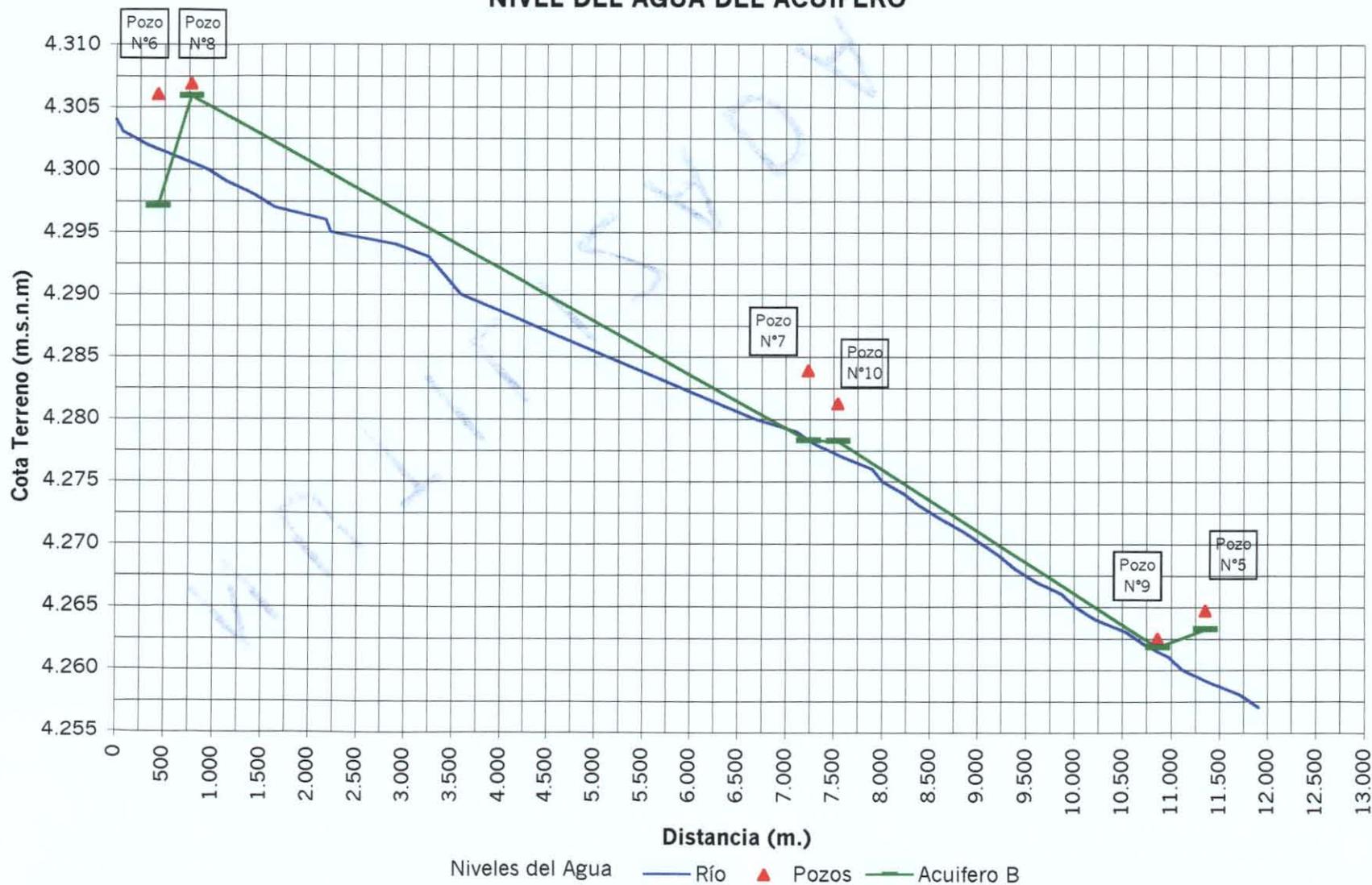
260000

ANALISIS HIDROGEOLOGICO ALTIPLANO ARIQUEÑO PERFIL LONGITUDINAL RIO LAUCA - AMBAR S.A. NIVEL DEL AGUA DEL ACUIFERO



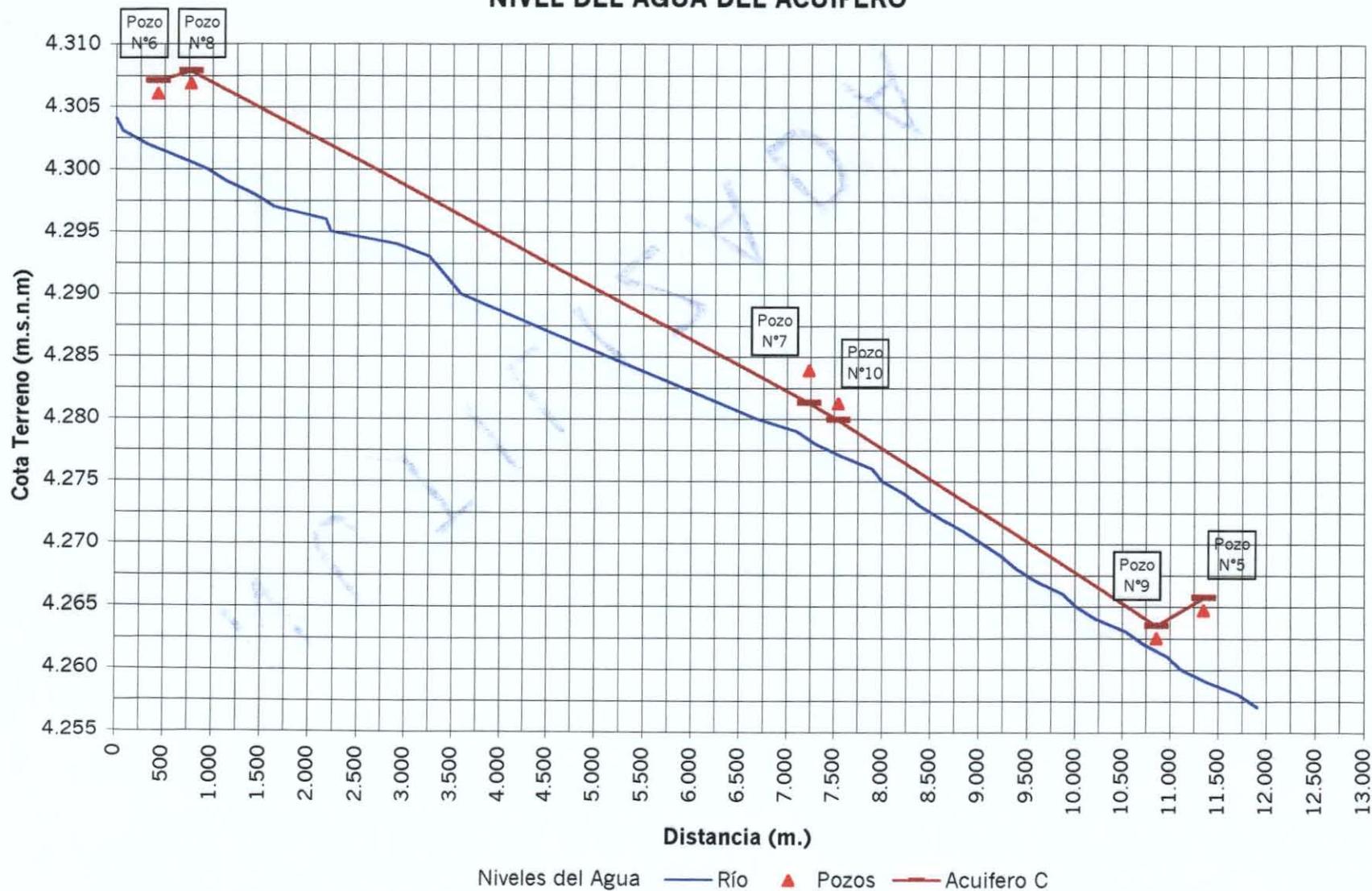
000092

ANALISIS HIDROGEOLOGICO ALTIPLANO ARIQUEÑO PERFIL LONGITUDINAL RIO LAUCA - AMBAR S.A. NIVEL DEL AGUA DEL ACUIFERO



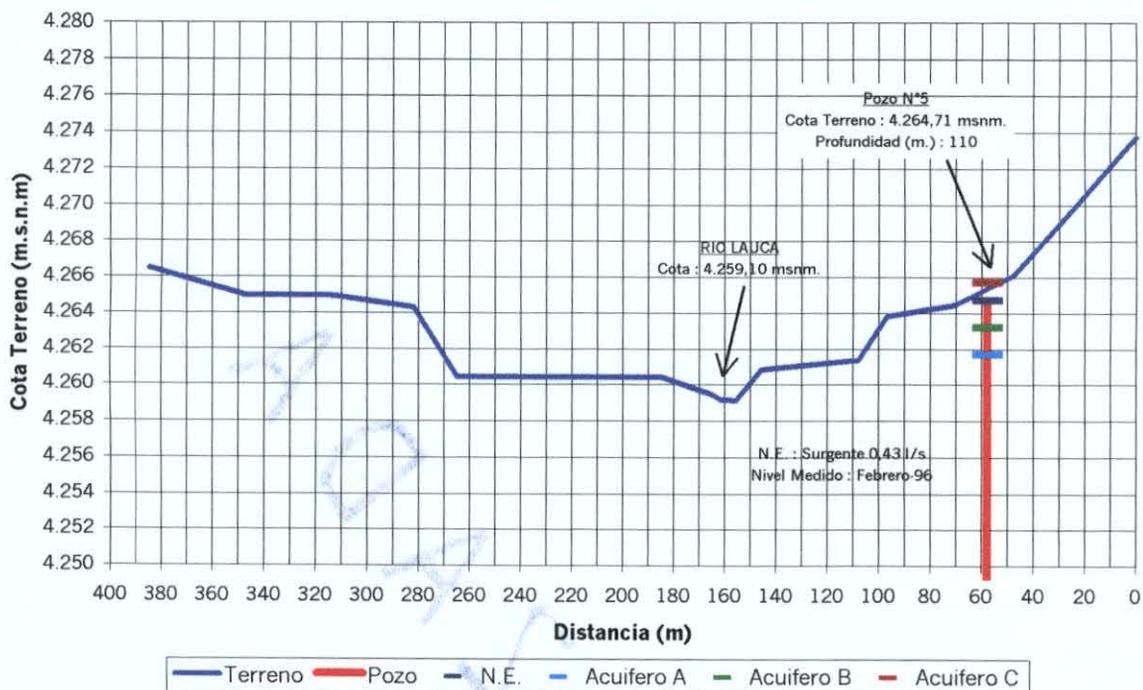
000092

**ANALISIS HIDROGEOLOGICO ALTIPLANO ARIQUEÑO
 PERFIL LONGITUDINAL RIO LAUCA - AMBAR S.A.
 NIVEL DEL AGUA DEL ACUIFERO**



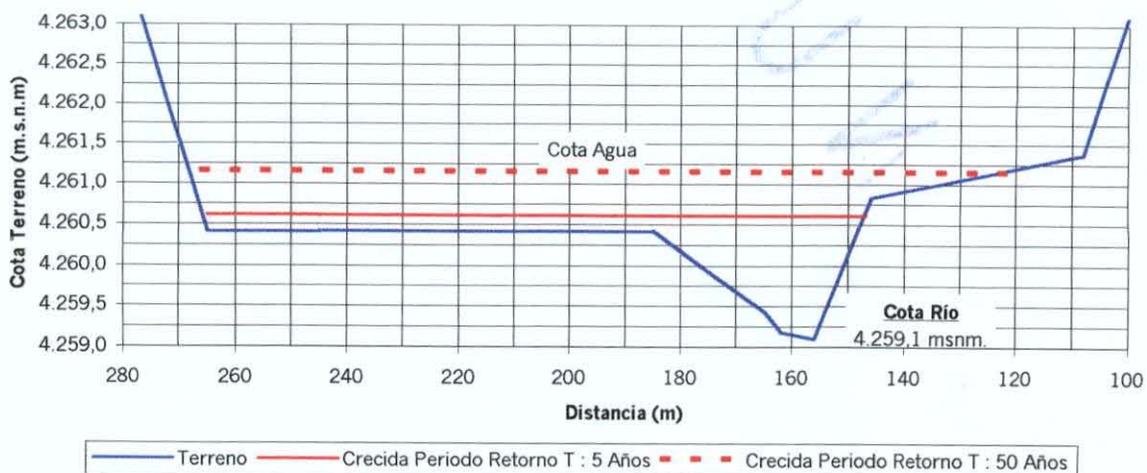
000092

**ANALISIS HIDROGEOLOGICO ALTIPLANO ARIQUEÑO
PERFIL TRANSVERSAL N°179 - POZO N°5**

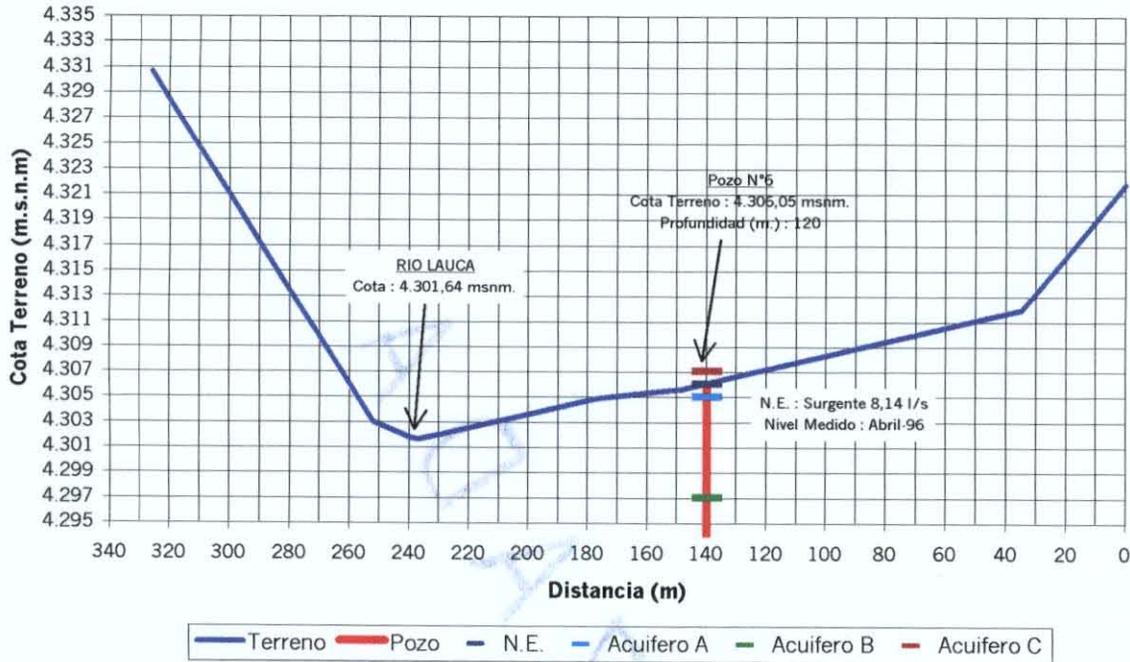


	Profundidad (m.)	Nivel Agua (m.)	Cota Agua (msnm)
Acuífero A	0-17	3	4261,71
Acuífero B	17-69	1,5	4263,21
Acuífero C	69-110	0	Surgente

DETALLE RIO LAUCA

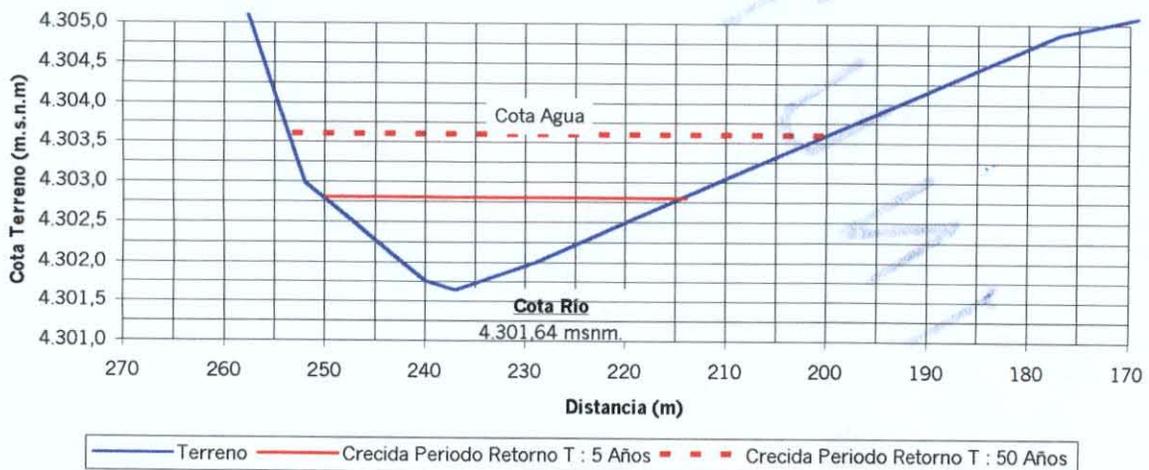


**ANALISIS HIDROGEOLOGICO ALTIPLANO ARIQUEÑO
PERFIL TRANSVERSAL N°7 - POZO N°6**

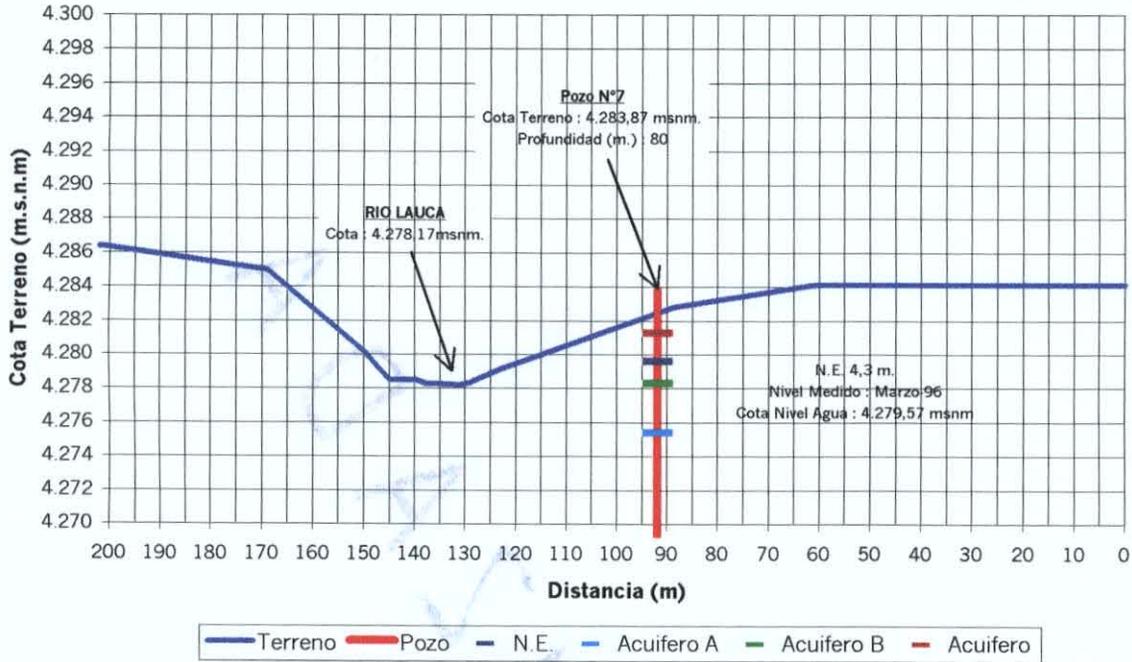


	Profundidad (m.)	Nivel Agua (m.)	Cota Agua (msnm)
Acuifero A	0-30	1	4305,05
Acuifero B	30-50	9	4297,05
Acuifero C	50-120	0	Surgente

DETALLE RIO LAUCA

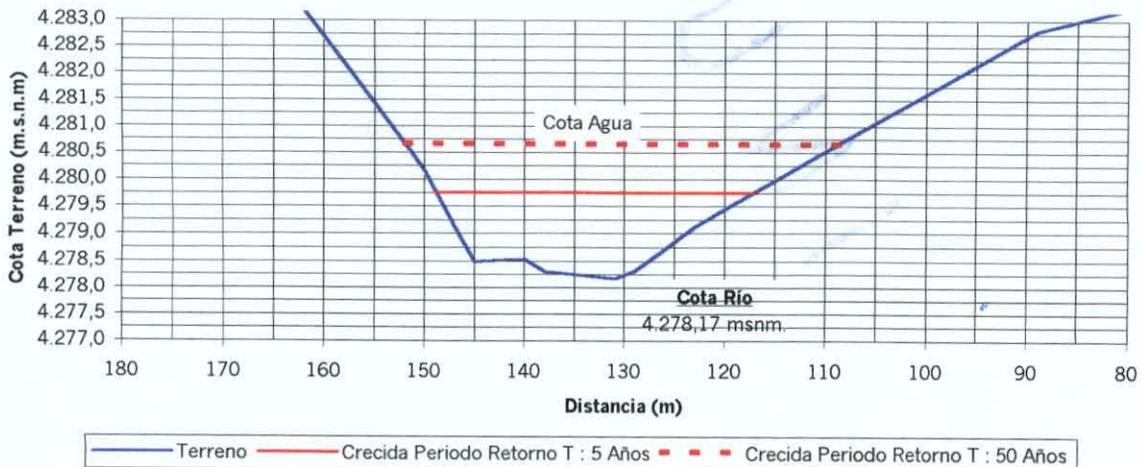


**ANALISIS HIDROGEOLOGICO ALTIPLANO ARIQUEÑO
PERFIL TRANSVERSAL N°101 - POZO N°7**



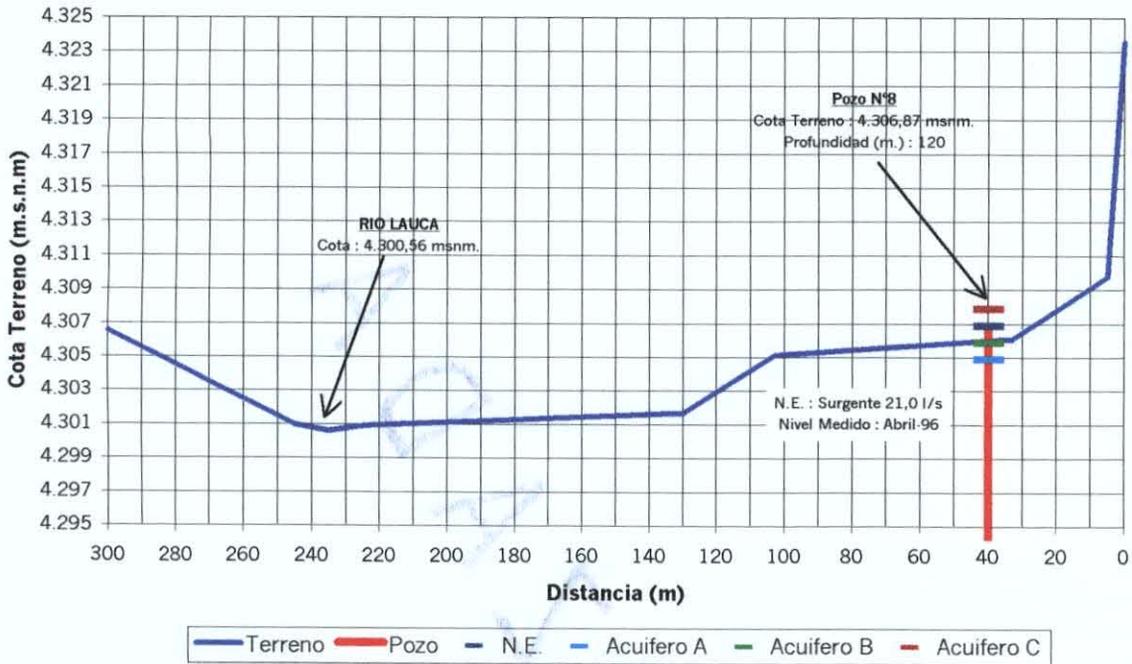
	Profundidad (m.)	Nivel Agua (m.)	Cota Agua (msnm)
Acuífero A	0-20	8,5	4275,37
Acuífero B	20-46	5,6	4278,27
Acuífero C	46-80	2,6	4281,27

DETALLE RIO LAUCA



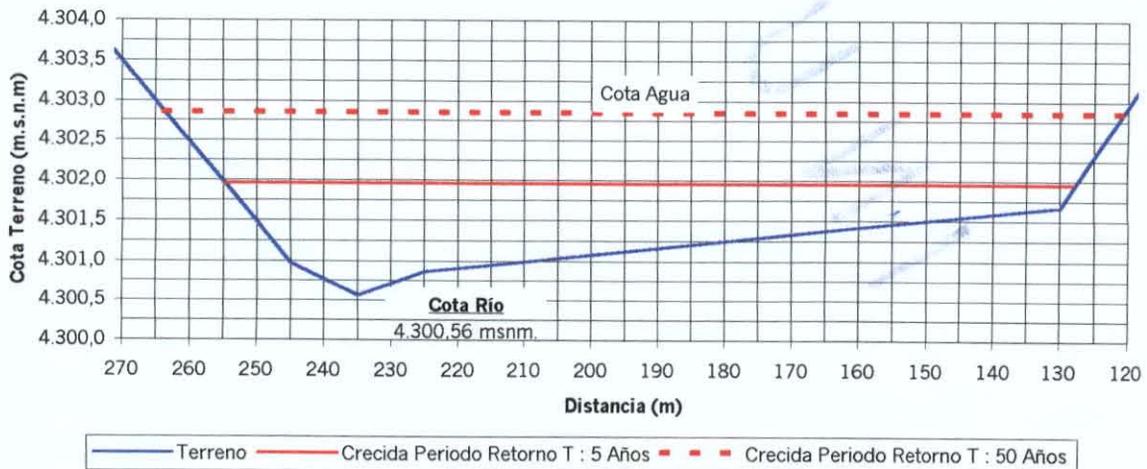
000092

**ANÁLISIS HIDROGEOLOGICO ALTIPLANO ARIQUEÑO
PERFIL TRANSVERSAL N°12 - POZO N°8**



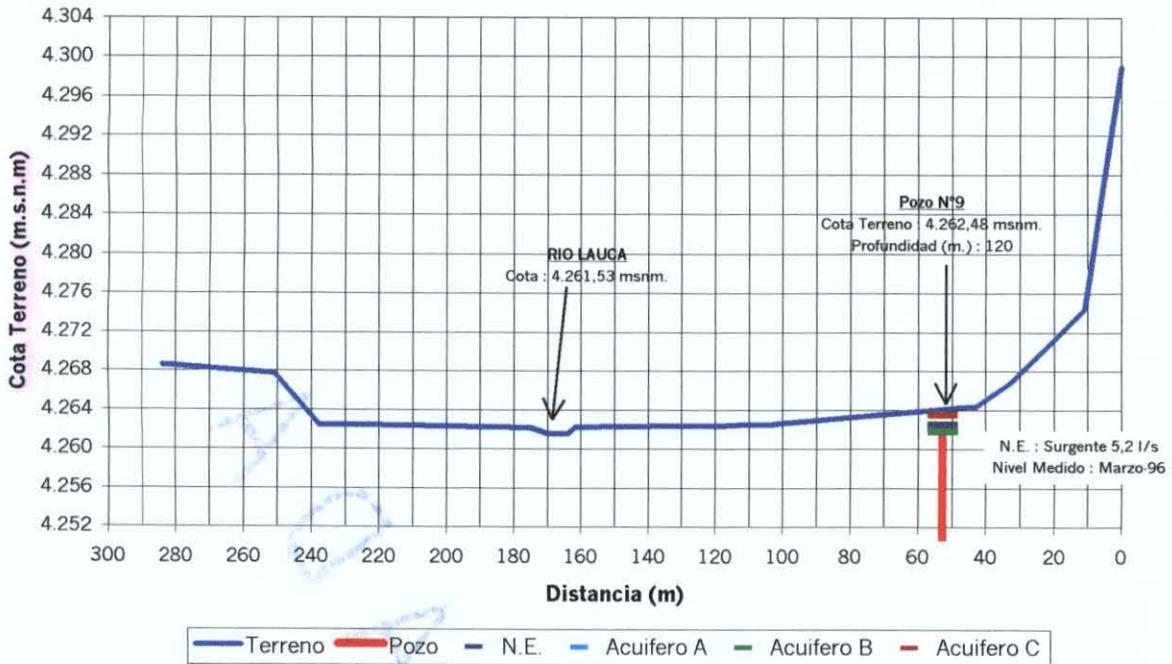
	Profundidad (m.)	Nivel Agua (m.)	Cota Agua (msnm)
Acuífero A	0-20	2	4304,87
Acuífero B	20-50	1	4305,87
Acuífero C	50-120	0	Surgente

DETALLE RIO LAUCA



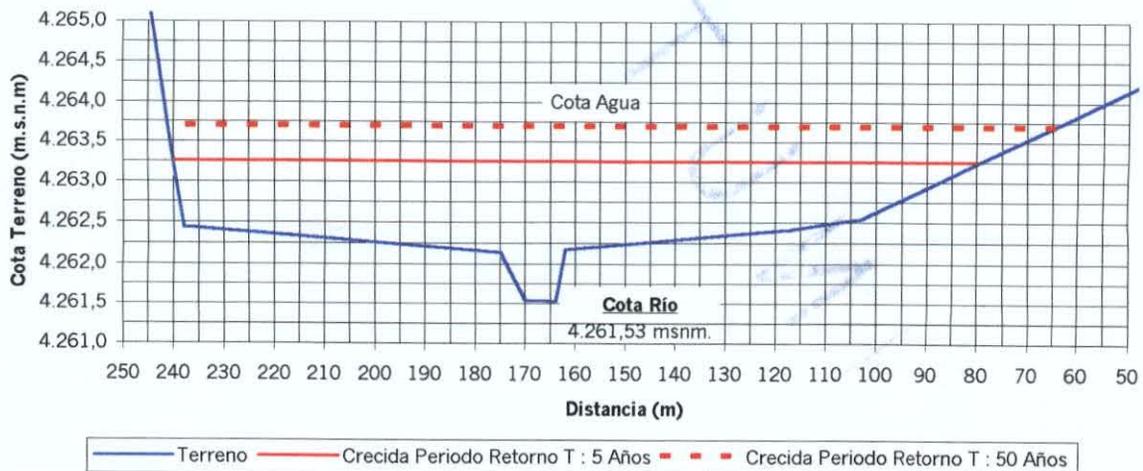
000092

**ANALISIS HIDROGEOLOGICO ALTIPLANO ARIQUEÑO
PERFIL TRANSVERSAL N°169 - POZO N°9**

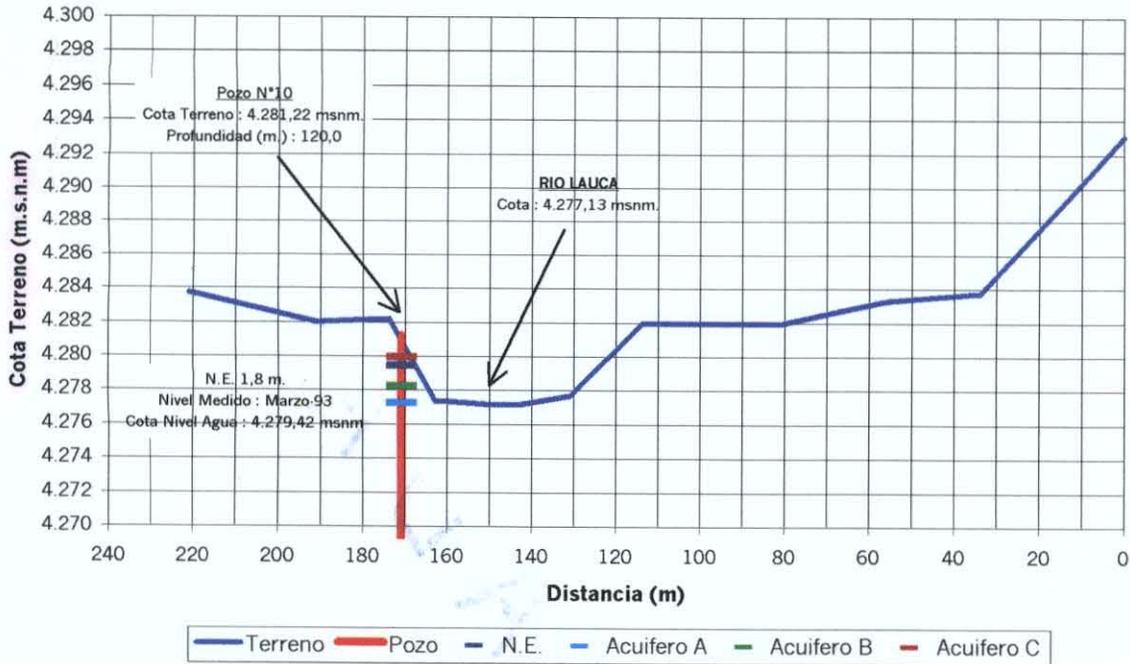


	Profundidad (m.)	Nivel Agua (m.)	Cota Agua (msnm)
Acuífero A	0-16	0,7	4261,78
Acuífero B	16-36	0,7	4261,78
Acuífero C	36-120	0	Surgente

DETALLE RÍO LAUCA



**ANALISIS HIDROGEOLOGICO ALTIPLANO ARIQUEÑO
PERFIL TRANSVERSAL N°109 - POZO N°10**



	Profundidad (m.)	Nivel Agua (m.)	Cota Agua (msnm)
Acuífero A	0-20	4	4277,22
Acuífero B	20-47	3	4278,22
Acuífero C	47-120	1,3	4279,92

DETALLE RIO LAUCA

