

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS  
DIRECCION GENERAL DE OBRAS PUBLICAS  
DIRECCION DE RIEGO

**MINUTA HIDROGEOLOGICA  
POZOS PARQUE NACIONAL LAUCA  
SECTOR RIO LAUCA**

AGOSTO - 1994

AYALA, CABRERA Y ASOCIADOS LTDA.  
INGENIEROS CONSULTORES

02255

1502  
Ago 2  
1994

MINUTA HIDROGEOLOGICA  
POZOS PARQUE NACIONAL LAUCA  
SECTOR RIO LAUCA

1)	INTRODUCCION . . . . .	1
2)	ANTECEDENTES UTILIZADOS . . . . .	1
3)	FLUVIOMETRIA DEL RIO LAUCA . . . . .	2
4)	CAUDALES DE EXPLOTACION SUBTERRANEA . . . . .	5
5)	PARAMETROS ELASTICOS DEL ACUIFERO . . . . .	7
6)	APORTES DEL RIO Y LA NAPA SUBTERRANEA A LA PRODUCCION DE POZOS . . . . .	8
7)	CAUDALES PROPIOS DE LA NAPA SUBTERRANEA . . . . .	10
8)	BALANCE SUBTERRANEO . . . . .	11
9)	CONCLUSIONES . . . . .	13

## 1) INTRODUCCION

En Enero de 1993, la empresa Captagua Ingeniería Ltda., dio término a los trabajos correspondientes a la construcción de 10 sondajes, de los cuales 7 de ellos dieron resultados positivos. De acuerdo a las pruebas de bombeo efectuadas en dichos pozos (pruebas de gasto variable y gasto constante), los caudales de explotación estimados en conjunto ascenderían a 341,6 l/s.

Las aguas extraídas de los pozos serán entregadas al canal Lauca mediante aducciones especiales, a través del cual conducirán hasta la Central Chapiquiña. En dicho punto la Empresa de Servicios Sanitarios de Tarapacá ESSAT, decidirá las formas que utilizará para su traslado a los lugares de consumo, de forma de suplementar el abastecimiento actual de agua potable de Arica.

La presente minuta tiene por objeto analizar las posibles consecuencias que se producirían en los recursos subterráneos del sector de ubicación de los sondajes, cuando se produzca la explotación antes señalada.

La ubicación de los 7 sondajes de interés se presentan en el Plano 1, escala 1:50.000.

## 2) ANTECEDENTES UTILIZADOS

Los antecedentes utilizados en la elaboración de la presente minuta fueron:

- Informes Finales de los Pozos del Parque Nacional Lauca Sector Río Lauca y Sector Río Vizcachani, Febrero y Marzo 1993, Alamos y Peralta Ingenieros Consultores Ltda.
- Estudio Geofísico Sector Río Blanco, I<sup>a</sup> Región, Agosto 1992, Geoexploraciones S.A.
- Estudio Geofísico Segunda Etapa Sector Ancochalloane, Octubre 1992, Geoexploraciones S.A.
- Informe de Ubicación Pozos del Altiplano Provincia de Parinacota y Aforos Río Lauca, Julio 1994, Dirección Regional de Riego, I<sup>a</sup> Región de Tarapacá.
- Complementos de Escurrimientos en Medios Permeables, 1976, Guillermo Cabrera F., Centro de Recursos Hidráulicos, Universidad de Chile.
- Información Fluviométrica en Río Lauca, Banco Nacional de Aguas, Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas.

3) FLUVIOMETRIA DEL RIO LAUCA

Con el objeto de determinar caudales en el río Lauca para condiciones de sequía en distintos tramos del mismo, se efectuó una correlación de los caudales en la estación El Lago en Río Lauca para una probabilidad de excedencia de un 85%, con aquellos caudales aforados en dicho punto y en otras secciones del río, en particular, frente a los pozos construidos por Captagua.

A continuación, en el Cuadro 3.1 se presentan los caudales medios mensuales en la estación fluviométrica El Lago en Río Lauca obtenidas del Banco Nacional de Aguas de la DGA. Conviene destacar que se han consignado sólo aquellos caudales desde 1963 en adelante, puesto que en Abril de 1962 entra en funcionamiento el canal Lauca, el cual capta las aguas del río Lauca en su nacimiento con el objeto de trasvasarlas al río San José, las que son distribuidas en el valle de Azapa a través del canal Azapa y sus derivados.

CUADRO 3.1 CAUDALES MEDIOS MENSUALES ESTACION EL LAGO EN RIO LAUCA (m<sup>3</sup>/s)

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
1963/64	0,207	0,077	0,375	0,074	0,058	0,068	0,039	0,034	0,067	0,062	0,151	0,067
1964/65	0,039	0,043	0,058	0,056	0,043	0,035	0,027	0,028	0,044	0,040	-	0,350
1965/66	0,037	0,165	0,032	0,115	-	0,042	-	-	-	-	-	-
1984/85	-	-	-	-	-	-	-	0,036	0,030	0,055	0,934	0,469
1985/86	0,285	0,040	0,051	0,061	0,060	0,026	0,026	0,037	0,177	1,120	0,358	0,765
1986/87	0,117	0,091	0,092	0,105	0,087	0,075	0,066	0,066	0,125	0,510	0,234	0,123
1987/88	0,061	0,061	0,067	0,150	0,177	0,083	0,058	0,050	0,049	0,428	0,101	0,151
1988/89	0,081	0,053	0,063	0,053	0,047	0,051	0,029	0,026	0,054	0,114	0,221	-
1989/90	0,067	0,046	0,059	0,056	0,045	0,041	0,034	0,032	0,031	0,041	0,055	0,045
1990/91	0,041	0,041	0,046	0,052	0,042	0,040	0,037	0,031	0,101	0,256	0,085	0,139
1991/92	0,137	0,041	0,061	0,091	0,060	0,043	0,038	0,036	0,032	0,063	0,011	0,029

La ubicación de la estación fluviométrica El Lago en Río Lauca se puede consultar en el Plano 1 escala 1:50.000.

Con el objeto de determinar la variación estacional de los caudales medios mensuales para un 85% probabilidad de excedencia, se efectuó un análisis de frecuencia a través de un programa computacional que posee este Consultor, el cual analiza la distribución de mejor ajuste de entre las siguientes distribuciones:

- Normal
- Log-Normal
- Gumbel

- Gamma
- Gamma 3 (Pearson 3)
- Log-Gamma 3 (Log-Pearson 3)

Efectuado el análisis, los resultados se presentan en el Cuadro 3.2.

CUADRO 3.2 CAUDALES MEDIOS MENSUALES 85% PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA (lt/s)

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
CAUDAL	42	72	65	38	29	42	50	37	31	26	27	30

Del cuadro anterior se observa que el caudal 85% probabilidad de excedencia mínimo mensual es de 26 l/s.

Por otro lado, en el Cuadro 3.3 se presentan los aforos realizados en Julio de 1994 en distintas secciones del río Lauca, los cuales fueron efectuados por la Dirección Regional de Riego de la I<sup>a</sup> Región de Tarapacá.

CUADRO 3.3 AFOROS EN RIO LAUCA

PUNTOS DE AFORO	CAUDAL (lt/s)	FECHA	HORA INICIO	HORA TERMINO	OBSERVACIONES
ESTACION EL LAGO EN RIO LAUCA (3.300 m aguas abajo de Bocatoma Lauca)	54	31/07/94	14:30	15:00	Aforo en sección de D.G.A de hormigón, buen estado.
ESTACION HUNTUME (sector pozos 6 y 8, 400 m aguas abajo pozo 8)	287	31/07/94	15:45	16:15	Aforo en sección de D.G.A. de hormigón, buen estado.
SECTOR CONFLUENCIA RIO LAUCA CON ANCOCHALLOANE (pozos 7 y 10 a 80 m aguas abajo de confluencia)	452	28/07/94	15:50	16:35	Aforo en el cauce del río, se acondicionó una buena sección.
SECTOR RIO LAUCA POZOS 9 y 5 (a 30 m aguas arriba del pozo 5)	701	28/07/94	17:15	17:45	Aforo en el cauce del río, se acondicionó una buena sección.

A través de los datos de caudales medios diarios históricos de los días 28 y 31 de Julio de los años 1963 en adelante, y de los caudales medios mensuales respectivos, se

determinaron 2 factores promedios que relacionan los caudales recién mencionados; dichos factores fueron:

$$F1 = \frac{\text{Caudal medio diario día 28 Julio}}{\text{Caudal medio mensual Julio}} = 0,806$$

$$F2 = \frac{\text{Caudal medio diario día 31 Julio}}{\text{Caudal medio mensual Julio}} = 0,935$$

Promedio factores F1 y F2 = 0,87

Aceptando que el caudal aforado consignado en el Cuadro 3.3 no dista del caudal medio diario de ese día, se calculó el caudal medio mensual de Julio en distintas secciones del río Lauca, a partir de los aforos efectuados y del factor promedio calculado; los valores se presentan en el Cuadro 3.4.

CUADRO 3.4 CAUDALES MEDIOS MENSUALES MES JULIO EN DISTINTAS SECCIONES DEL RIO LAUCA

SECCION AFORO	CAUDAL (lt/s)	FECHA	CAUDAL MEDIO MENSUAL JULIO
ESTACION EL LAGO EN RIO LAUCA (3.300 m aguas abajo de Bocatoma Lauca)	54	31/07/94	62
ESTACION HUNTUME (Sector pozos 6 y 8, 400 m aguas abajo pozo 8)	287	31/07/94	330
SECTOR CONFLUENCIA RIO LAUCA CON ANCOCHALLOANE (pozos 7 y 10 a 80 m aguas abajo de confluencia)	452	28/07/94	520
SECTOR RIO LAUCA POZOS 9 y 5 (a 30 m aguas arriba del pozo 5)	701	28/07/94	806

A continuación se procede a calcular los caudales medios mensuales en distintas secciones del río Lauca, para una condición restrictiva en cuanto a recursos superficiales se refiere, es decir, para una probabilidad de excedencia de un 85% mínimo mensual. Para ello, se supondrá válida una relación lineal entre los caudales medios mensuales de Julio en la estación El Lago en Río Lauca y las demás secciones que fueron aforadas, asumiendo que en la estación El Lago en Río Lauca se presentan 30 l/s (caudal 85% probabilidad de excedencia mínimo).

En el Cuadro 3.5 se presentan los valores calculados.

CUADRO 3.5 CAUDALES MEDIOS MENSUALES MINIMOS EN RIO LAUCA 85% PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA

SECCION RIO LAUCA	CAUDAL (l/s)
ESTACION EL LAGO EN RIO LAUCA	26
ESTACION HUNTUME	138
SECTOR CONFLUENCIA RIO LAUCA CON ANCOCHALLOANE	218
SECTOR RIO LAUCA POZOS 9 y 5	338

4) CAUDALES DE EXPLOTACION SUBTERRANEA

Tal como fuera mencionado anteriormente, la cantidad de pozos que construyó la Dirección de Riego a través de la empresa Captagua Ingeniería Ltda. en el Altiplano fueron 10, de los cuales 7 dieron resultados positivos.

Los caudales de explotación estimados a partir de las pruebas de gasto variable y gasto constante efectuadas en cada uno de los pozos, se presentan en el Cuadro 4.1. Adicionalmente, se presentan en dicho Cuadro el tipo de pruebas efectuadas, la fecha respectiva, los niveles estáticos y dinámicos de cada prueba, los caudales máximos medidos y la profundidad total de perforación y la profundidad de habilitación.

CUADRO 4.1

CARACTERISTICAS POZOS SECTOR  
RIO LAUCA

POZO	PRUEBA BOMBEO	FECHA PRUEBA	CAUDAL MAXIMO	NE (m)	ND (m)	PROF. PERF. (m)	PROF. HAB. (m)	CAUDAL EXPLOTACION ESTIMADO (l/s) *	CAUDAL EXPLOTACION PROPUESTO (l/s)
4	Gasto Variable	04/11/92	40	0,79	35,43	125	118	45	35
	Gasto Constante	05/11/92	35	0,86	35,56				
	Gasto Variable	07/11/92	45	0,83	51,31				
5	Gasto Variable	17/12/92	46	Surgente	62,13	121	120	43	35
	Gasto Constante	18/12/92	45	Surgente	62,20				
	Gasto Variable	28/12/92	50	Surgente	83,1				
6	Gasto Variable	25/02/93	50	Surgente	67,68	117	117	45	38
	Gasto Constante	28/02/93	40	Surgente	39,11				
7	Gasto Variable	10/11/92	60	2,67	20,26	125	86	60	50
	Gasto Constante	11/11/92	55	4,42	22,58				
	Gasto Variable	11/12/92	70	5,36	30,21				
	Gasto Variable	16/02/93	60	3,50	50,27				
	Gasto Constante	18/02/93	60	4,24	51,48				
	Gasto Constante	19/02/93	55	4,37	52,18				
8	Gasto Variable	14/01/93	50 (55)	Surgente	12,48 (15,6)	120	120	75	60
	Gasto Variable	15/01/93	55	Surgente	15,44				
	Gasto Variable	19/01/93	70 (80)	Surgente	37,20 (51,1)				
	Gasto Constante	21/01/93	70	Surgente	40,28				
9	Gasto Variable	07/02/93	70	Surgente	72,24	121	118	65	55
	Gasto Constante	09/02/93	60	Surgente	60,24				
10	Gasto Variable	03/03/93	15	1,80	59,69	120	83	8,6	7,5
	Gasto Constante	04/03/93	7	2,30	39,45				
TOTAL CAUDAL PROPUESTO									280,5

Nota : Valores de caudal máximo entre paréntesis significa que la prueba fue detenida antes de tiempo.  
\* : De acuerdo a Minuta Sondajes en Parinacota para Suplementar Abastecimiento Agua Potable de Arica, Dirección de Riego, MOP, Julio 1994.

El caudal de explotación propuesto fue basado fundamentalmente en función de la estratigrafía de los sondajes y de la posición y longitud de las cribas en cada uno de ellos. En general, normalmente se recomienda explotar un determinado pozo de acuerdo a un porcentaje del caudal máximo obtenido de la prueba de gasto variable, variando dicho porcentaje entre un 75% y 85%. Lo anterior en base en la posible ocurrencia de alguna sequía prolongada, a que se puedan colmatar las cribas del pozo, y a la existencia de pérdidas de carga importantes en el sistema de captación, como sería el caso de los pozos que se analizan. Todo lo anterior, si bien es un análisis conservador en cuanto a caudales de explotación se refiere, dichos caudales corresponderán a una explotación confiable y segura en el futuro.

De acuerdo al cuadro anterior, el caudal de explotación total continuo propuesto asciende a la cifra de 280,5 l/s, 245,5 l/s en el sector del río Lauca y 35 l/s en el sector del río Vizcachani.

5) PARAMETROS ELASTICOS DEL ACUIFERO

El parámetro transmisibilidad del acuífero se determinó a partir de las pruebas de gasto constante efectuadas en cada pozo. Se prefirió efectuar la interpretación a partir de la prueba de gasto constante por el hecho que refleja de mejor forma el efecto del bombeo de un caudal de importancia, semejante al que se extraerá durante la explotación. En la prueba de gasto variable en cambio, los valores de transmisibilidad que se obtienen provienen del análisis del funcionamiento del pozo, en que los caudales se van incrementando paulatinamente hasta alcanzar valores máximos de explotación. Mas aún, la condición de equilibrio en este último caso lleva normalmente a subestimar los valores de transmisibilidad respecto a los de la prueba de gasto constante, siendo éste último los que las hace menos confiables, por no corresponder rigurosamente a la condición exigida en las relaciones usadas en la hidráulica de pozos.

Los valores de transmisibilidad calculados se presentan en el Cuadro 5.1. Adicionalmente, se calcularon transmisibilidades a partir de las pruebas de recuperación de las pruebas de gasto constante, las cuales también se presentan en el Cuadro 5.1.

CUADRO 5.1 TRANSMISIBILIDADES POZOS SECTOR RIO LAUCA

POZO	PRUEBA	TRANSMISIBILIDAD (m <sup>2</sup> /día)	TRANSMISIBILIDAD ADOPTADA (m <sup>2</sup> /día)
4	Gasto Constante	184	184
	Recuperación	461	
5	Gasto Constante	264	264
	Recuperación	165	
6	Gasto Constante	234	234
7	Gasto Constante	185	185
	Gasto Constante	56	
	Recuperación	77	
	Gasto Constante	58	
8	Gasto Constante	335	335
9	Gasto Constante	132	132
	Recuperación	110	
10	Gasto Constante	70	70
	Recuperación	85	

Con relación al coeficiente de almacenamiento del acuífero, éste no se pudo calcular puesto que durante las pruebas

de bombeo efectuadas no se contó con mediciones de niveles del agua subterránea en pozos de observación. No obstante, de acuerdo al tipo de material consignado en los planos de construcción de los pozos, se puede establecer que el coeficiente de almacenamiento es de un 3%, aproximadamente, valor que es conservador desde el punto de vista del volumen de agua acumulado en el embalse subterráneo.

Con relación a las pendientes propias del agua subterránea en los distintos sectores donde se localizan los sondajes, éstas fueron calculadas a partir de los niveles estáticos medidos cuando se efectuó la prueba de bombeo, la distancia entre pozos medida consignada en el informe de la Dirección de Riego Regional (aquellas distancias más lejanas entre pozos se obtuvieron del plano 1 escala 1:50.000), y las cotas de terreno de los pozos a partir de las cotas de terreno de sondajes eléctricos y estaciones gravimétricas cercanas, consignados en los Estudios Geofísicos efectuados.

En el Cuadro 5.2 se presentan los valores calculados.

CUADRO 5.2 PENDIENTES DE LA NAPA SUBTERRANEA  
POZOS SECTOR RIO LAUCA

ENTRE POZOS	DISTANCIA (m)	COTA TERRENO (msnm)		COTA NIVEL FREATICO (msnm)		PENDIENTE	NOTA
P6 - P8	350	4.350	4.346	4.350	4.346	$1,1 \times 10^{-2}$	Niveles Surgentes
P8 - P7	4.750	4.346	4.336	4.346	4.332,5	$2,8 \times 10^{-3}$	(1)
P7 - P10	350	4.336	4.330	4.332,5	4.328,2	$1,2 \times 10^{-2}$	(1)
P10 - P9	2.200	4.330	4.300	4.328,2	4.300	$1,3 \times 10^{-2}$	(1)
P9 - P5	400	4.300	4.300	4.300	4.300	---	Niveles Surgentes
P3(*) - P4	4.500	4.353	4.306	4.351,3	4.305,2	$1,0 \times 10^{-2}$	(

- (1) Los niveles estáticos considerados presentan un desfase de 1 mes.  
( Los niveles estáticos considerados presentan un desfase de 3 meses.  
(\*) Pozo ubicado aguas arriba de pozo 4 (sondaje muy probe)

#### 6) APORTES DEL RIO Y LA NAPA SUBTERRANEA A LA PRODUCCION DE POZOS

Como se vio en capítulos anteriores, el caudal subterráneo total estimado como explotación desde los 7 pozos del sector del río Lauca, asciende a la cifra de 341,6 l/s, tomando en consideración que desde dichos pozos se bombea el caudal estimado en forma permanente y continua. Todos los sondajes se ubican muy cercanos al lecho del río Lauca, lo que significa que del caudal

que capta cada pozo, cierto porcentaje proviene de la napa subterránea y el resto del río.

Existen relaciones que permiten obtener, a partir de la distancia del pozo al río, de la transmisibilidad, del caudal bombeado, del coeficiente de almacenamiento y del tiempo de bombeo, la proporción del caudal que es entregado por el río y por la napa. Dichas relaciones fueron desarrolladas por Glover (196 siendo actualmente usadas por el U.S.G.S.

Se analizó cada caso en particular, obteniéndose las distancias de los pozos al río Lauca a partir de un informe preparado recientemente por la Dirección de Riego Regional de Tarapacá; las transmisibilidades utilizadas fueron las consignadas anteriormente; el coeficiente de almacenamiento utilizado fue de un 3%, tal como ya fuera justificado. Finalmente, con relación al tiempo de bombeo desde cada pozo considerado, éste fue estimado en un día, puesto que se considera tiempo suficiente para que el sistema subterráneo esté en un cuasiequilibrio luego del inicio del bombeo; en esta consideración el aporte del río a la napa es de especial importancia.

En el Cuadro 6.1 siguiente, se han tabulado los caudales captados desde la napa y desde el río para cada uno de los sondeos analizados.

CUADRO 6.1 APORTES DEL RIO Y DE LA NAPA  
A LA PRODUCCION DE LOS SONDAJES

SONDAJE	DISTANCIA AL RIO LAUCA (m)	CAUDAL BOMBEADO PROPUESTO (l/s)	CAUDAL QUE APORTA EL RIO		CAUDAL QUE APORTA LA NAPA	
			(l/s)	(%)	(l/s)	(%)
6	100	38	17	45	21	55
8	133	60	23	38	37	62
7	50	50	34	68	16	32
10	25	7,5	5,5	73	2	27
9	49	55	34	62	21	38
5	81	35	20	57	15	43
SONDAJE	DISTANCIA AL RIO VIZCACHANI (m)	CAUDAL BOMBEADO PROPUESTO (l/s)	CAUDAL QUE APORTA EL RIO		CAUDAL QUE APORTA LA NAPA	
			(l/s)	(%)	(l/s)	(%)
4	110	35	12	34	23	66
TOTAL SECTOR RIO LAUCA		245,5	133,5	54	112	46
TOTAL SECTOR RIO VIZCACHANI		35	12	34	23	66

Del cuadro anterior se desprende que en el sector del río Lauca, en promedio, un 54% del caudal total futuro propuesto que se bombearán desde los sondajes es entregado por el río Lauca, el resto, un 46% de la producción total propuesta, es aportado por la napa subterránea, correspondiendo estos porcentajes a 133,5 (l/s) y 112 (l/s), respectivamente. En el sector del río Vizcachani, un 34% lo aporta el río y un 66% aporta la napa, correspondiendo dichos porcentajes a 12 l/s y 23 l/s, respectivamente.

## 7. CAUDALES PROPIOS DE LA NAPA SUBTERRANEA

Los caudales propios de la napa subterránea, se determinaron de dos formas, las cuales fueron :

- i) Caudales subterráneos entre pozos.
- ii) Caudal subterráneo promedio en el sector.

### i) Caudales Subterráneos entre Pozos

Los caudales subterráneos entre pozos se determinaron de acuerdo a:

- Pendiente de la napa subterránea promedio entre los pozos P6 - P8, P7 - P10 y P10 - P9. La pendiente entre los pozos P8 - P7 no fue considerada puesto que es muy distinta a las demás, siendo las demás bastante similares entre sí. La pendiente considerada fue de  $1,2 \times 10^{-2}$ .
- Ancho del relleno acuífero = 4.000, de acuerdo a las curvas de nivel del terreno y al ancho considerado en las líneas gravimétricas efectuadas en los estudios geofísicos antes señalados.
- Transmisibilidades promedio entre pozos calculadas en capítulo anterior (Cuadro 5.1). La transmisibilidad del pozo 10 no fue tomada en cuenta por estar muy fuera del rango que presentan los demás pozos.

Así, los caudales subterráneos calculados fueron:

$$Q_{P6-P8} = \bar{T}_{P6-P8} \times i \times 4.000 \text{ m} = 158 \text{ l/s}$$

$$Q_{P8-P7} = \bar{T}_{P8-P7} \times i \times 4.000 \text{ m} = 144 \text{ l/s}$$

$$Q_{P7-P10} = T_{P7} \times i \times 4000 \text{ m} = 103 \text{ l/s}$$

$$Q_{P10-P9} = T_{P9} \times i \times 4000 \text{ m} = 73 \text{ l/s}$$

$$Q_{P9-P5} = \bar{T}_{P9-P5} \times i \times 4000 = 110 \text{ l/s}$$

---


$$\text{CAUDAL SUBTERRANEO PROMEDIO} = 118 \text{ l/s}$$

Caudal Subt. Sector Pozo 4 =  $Q_{P3-P4} = TP4 \times 1 \times 10^{-2} \times 4000 = 85 \text{ l/s}$

Nota: La transmisibilidad utilizada fue la del pozo 4, ya que el pozo 3 resultó ser de muy malas características en cuanto a explotación subterránea se refiere, y al igual que los pozos 1 y 2, no fueron considerados para ser utilizados.

## ii) Caudal Subterráneo Promedio en el Sector

Se calculó el caudal subterráneo promedio tanto en el sector de los pozos 6, 8, 7, 10, 9 y 5 como del sector del pozo 4.

Para tal efecto, se determinó la transmisibilidad promedio de los pozos 6, 8, 7, 9 y 5 (no se consideró el pozo 10 por las razones ya señaladas); dicho valor dio  $230 \text{ m}^2/\text{día}$ . La pendiente de la napa fue calculada anteriormente, es decir,  $1,2 \times 10^{-2}$ ; el ancho promedio del relleno se evaluó en  $4.000 \text{ m}$ .

Así, el caudal subterráneo promedio en el sector de los pozos 6, 8, 7, 10, 9 y 5 resultó ser de  $128 \text{ l/s}$ .

En el sector del pozo 4, el caudal subterráneo calculado fue similar al evaluado en el punto anterior, es decir,  $85 \text{ l/s}$ .

## 8. BALANCE SUBTERRANEO

Con el objeto de determinar la disponibilidad de recurso subterráneo en cada uno de los 2 sectores donde se localizan los pozos de interés, se llevaron a cabo balances subterráneos simples entre cada uno de los pozos, con la salvedad que el caudal que de cada pozo se extraerá, parte de él proviene de la napa y el resto proviene del río. Lo anterior obliga a tomar en cuenta el caudal superficial que lleva el río Lauca en las distintas secciones que se tiene conocimiento, en una condición restrictiva de recursos, es decir, para una probabilidad de excedencia de un 85%, tal como ya fuera analizado anteriormente.

Con el objeto de ser conservador en el análisis, en el sector del río Lauca (pozos 6, 8, 7, 10, 9 y 5) se adoptó un flujo subterráneo de  $118 \text{ l/s}$  justo aguas arriba del pozo 6, siendo dicho pozo el primero que se ubica aguas arriba de todos los demás sondajes. En el sector del río Vizcachani el flujo subterráneo considerado fue de  $85 \text{ l/s}$ , tal como fuera calculado anteriormente. Con respecto al caudal superficial del río Vizcachani (área de la cuenca aproximada =  $75 \text{ km}$  para un 85% probabilidad de excedencia, se efectuó una transposición de caudales por unidad de área

respecto a la estación El Lago en Río Lauca (área = 339 km, resultando un caudal superficial de 6 l/s.

Los balances subterráneos en el sector del río Lauca se ha esquematizado en la Figura 1, mientras que en la Figura 2 se presenta el balance en el sector del río Vizcachani (pozo 4).

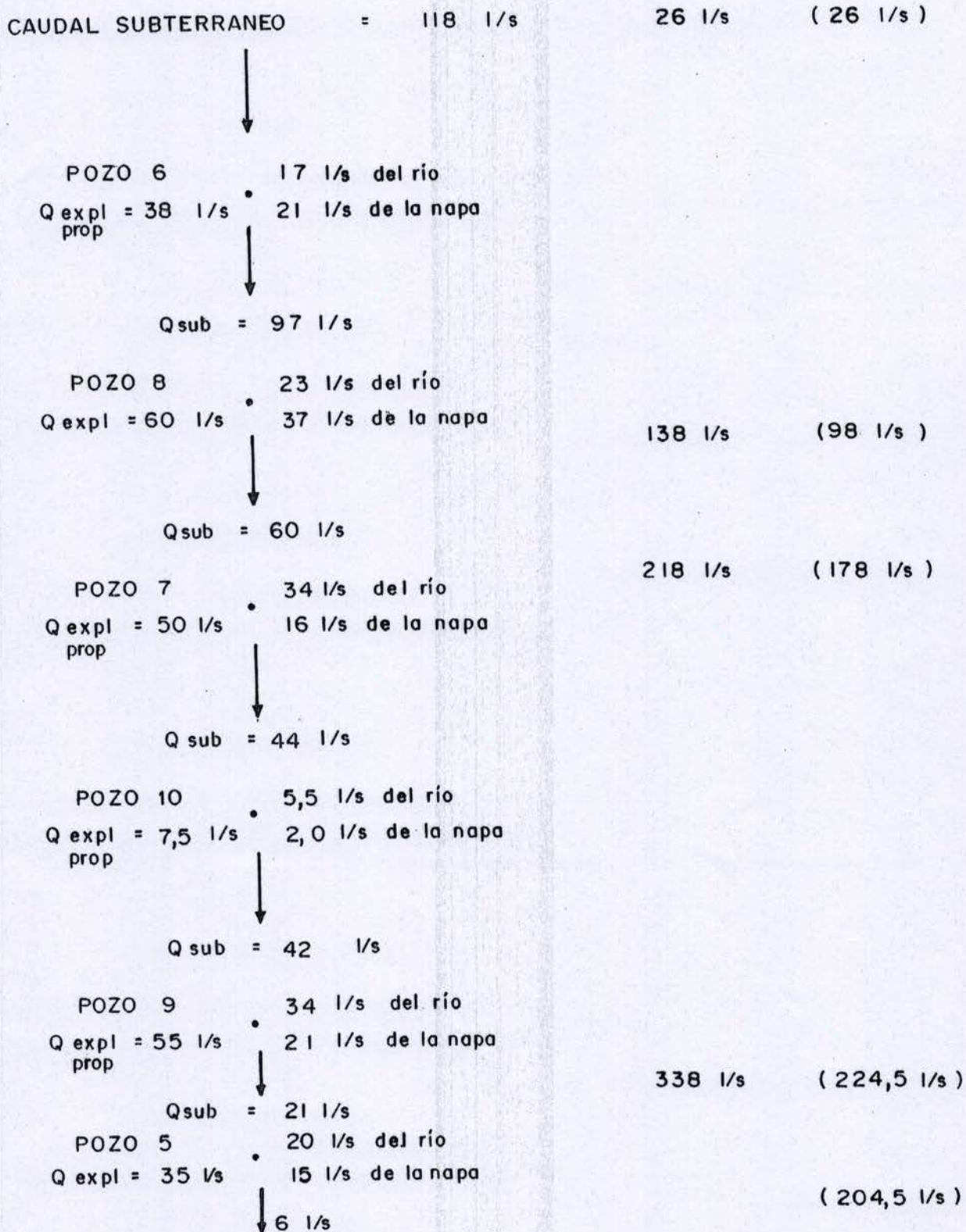
De la Figura 1 se puede señalar que, de acuerdo a los balances subterráneos por tramos efectuados, desde cada pozo se podría extraer el caudal de explotación propuesto en forma continua, sin afectar en absoluto el caudal del río Lauca; lo anterior se aprecia claramente en la Figura 1, donde el caudal superficial aguas abajo del último pozo (pozo 5) es de 204,5 l/s, para una condición restrictiva de recursos. Por otro lado, el caudal subterráneo aguas abajo del pozo 5 se calculó en 6 l/s, bajo el supuesto de que en todo el tramo analizado no se producen recuperaciones de agua subterránea, lo que es falso, ya que de acuerdo al informe preparado por la Dirección de Riego Regional, en todo el tramo existen aportes de quebradas afluentes al río Lauca y afloramientos de vertientes, lo que significa que los recursos subterráneos se deben incrementar en el sector analizado; más aún, en el sector de ubicación de los pozos 5 y 9, se presentan ojos de aguas adyacentes al cauce del río dispuestos aleatoriamente.

Por otro lado, de acuerdo al balance efectuado en el sector del pozo 4 (río Vizcachani), se podrían explotar desde dicho sondaje un caudal continuo de 29 l/s, en que el caudal superficial estimado es la restricción para dicha explotación (ver Figura 2.)

FIG. 1

ESQUEMA BALANCES SUBTERRANEOS  
SECTOR RIO LAUCA

CAUDAL MEDIO MENSUAL  
RIO LAUCA 85% PROB. EXCEDENCIA



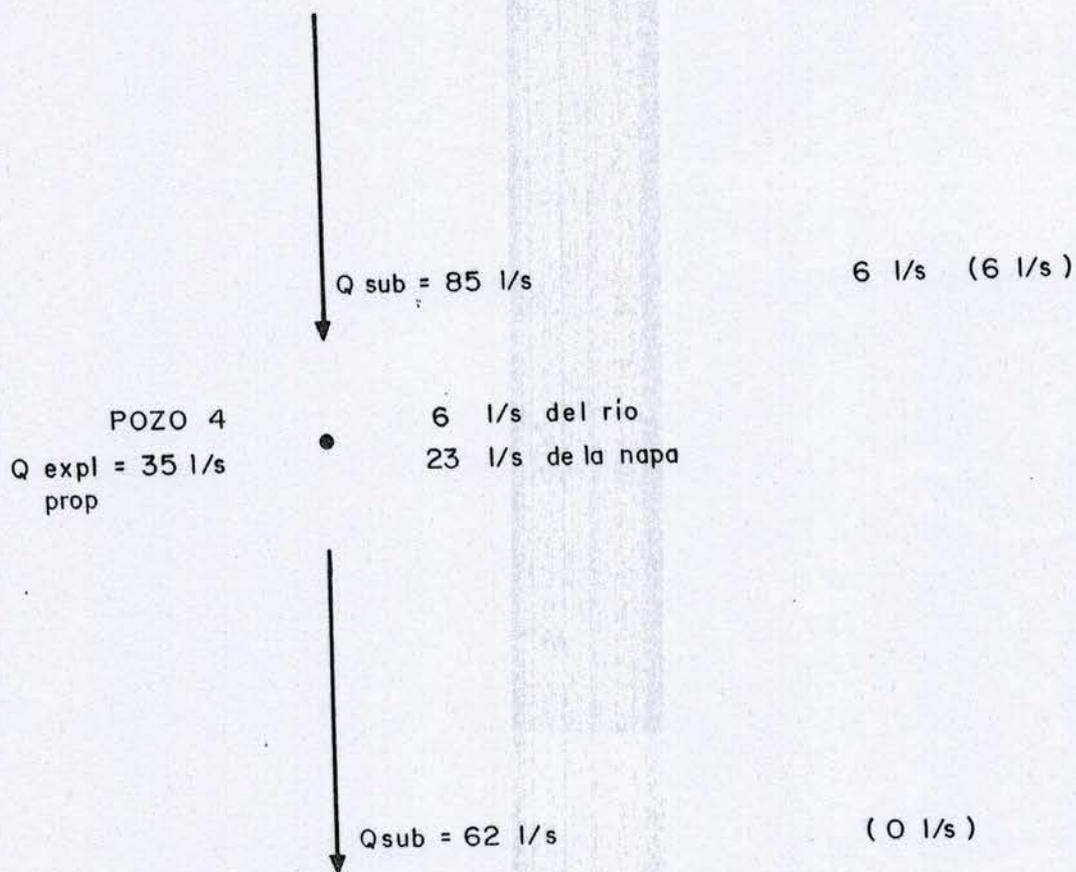
NOTA: Valores de caudal superficial en río Lauca entre parentesis corresponden al caudal que queda en el río en el punto considerado.

FIG. 2

ESQUEMA BALANCE SUBTERRANEO

SECTOR RIO VIZCACHANI

CAUDAL MEDIO MENSUAL  
RIO VIZCACHANI 85 %  
PROB. EXEDENCIA



$Q \text{ Explotación posible Pozo 4} = 23 \text{ l/s} + 6 \text{ l/s} = 29 \text{ l/s}$

9) CONCLUSIONES

Las conclusiones que se pueden extraer a la minuta hidrogeológica de los pozos del Parque Nacional del río Lauca son las que se presentan a continuación:

- i) De acuerdo a la fluviometría del río Lauca, en el sector de la estación fluviométrica El Lago en Río Lauca, el caudal 85% probabilidad de excedencia mínimo mensual es de 26 l/s. Hacia aguas abajo, donde se localizan los pozos de interés, dicho caudal va aumentando en forma importante producto de la presencia de quebradas afluentes y afloramientos de vertientes.
- ii) Los caudales continuos de explotación subterránea propuestos extraer desde los pozos del sector río Lauca ascienden en total a 245,5 l/s, desglosados en 38 l/s pozo 6, 60 l/s pozo 8, 50 l/s pozo 7, 7,5 l/s pozo 10, 55 l/s pozo 9 y 35 l/s pozo 5. En el sector del río Vizcachani, el caudal propuesto extraer desde el pozo 4 es de 35 l/s.
- iii) Las transmisibilidades del acuífero calculadas variaron entre 130 y 335 m<sup>2</sup>/día en el sector del río Lauca, y 184 m<sup>3</sup>/día en el sector del pozo 4 (río Vizcachani); los valores calculados fueron bastantes coincidentes.
- iv) De acuerdo al análisis que se efectuó correspondiente a los aportes del río y la napa subterránea a la producción de pozos, se determinó que en el sector del río Lauca, un 54% del caudal total propuesto es entregado por el río, mientras que el resto, un 46%, es aportado por la napa subterránea, correspondiendo dichos porcentajes a 133,5 l/s y 112 l/s, respectivamente. En el sector del río vizcachani (pozo 4), un 34% (12 l/s) lo aporta el río y un 66% (23 l/s) lo aporta la napa.
- v) Se calculó un caudal subterráneo propio de la napa subterránea entre los pozos de interés, de acuerdo a las transmisibilidades de los pozos, las pendientes del agua subterránea y al ancho del acuífero estimado, obteniéndose un valor promedio de 118 l/s. Además, se calculó el caudal subterráneo tomando en cuenta un promedio de las transmisibilidades de los pozos 6, 8, 7, 9 y 5, y la pendiente del agua subterránea y ancho del acuífero considerado en el cálculo anterior, determinado un flujo subterráneo de 128 l/s.

En el sector del pozo 4 el flujo subterráneo calculado fue de 85 l/s.

- vi) Se efectuaron balances subterráneos simples en cada uno de los 2 sectores donde se localizan los pozos de interés, tomando en cuenta el flujo subterráneo propio de la napa (118 l/s en el sector del río Lauca y 85 l/s en el sector del río Vizcachani), el caudal de explotación propuesto de cada pozo, los aportes del río y la napa de acuerdo al análisis del punto 6), y los caudales medios mensuales para un 85% probabilidad de excedencia en el río Lauca y río Vizcachani.

De acuerdo a lo anterior, en el sector del río Lauca si se explotan en forma continua los caudales propuestos, se tendrá un flujo subterráneo de 6 l/s aguas abajo del último pozo presente (pozo 5), y un flujo superficial de 204,5 l/s. En el sector del pozo 4 se determinó un flujo subterráneo pasante aguas abajo del pozo 4 de 62 l/s, y un flujo superficial nulo del río Vizcachani; lo anterior obliga a que desde el pozo 4 se puedan extraer en forma continua sólo 29 l/s, y no 35 l/s como había sido propuesto inicialmente.

- vii) Los balances subterráneos efectuados fueron bastante conservadores, puesto que en el tramo analizado del río Lauca se supuso que no se producen recuperaciones de agua subterránea. Lo anterior no es cierto debido a que existen varias quebradas afluentes al río, afloramientos de vertientes e incluso se presentan ojos de aguas adyacentes al cauce del río dispuestos aleatoriamente, lo que significa que en todo el tramo estudiado se producen aportes a la napa subterránea importantes que no fueron considerados en los balances. Lo anterior se puede corroborar además con los aforos que se efectuaron en el río, donde en el sentido desde aguas arriba hacia aguas abajo, los caudales superficiales determinados aumentaron considerablemente.
- viii) De acuerdo a los balances efectuados, y sin considerar que se producen aportes a la napa subterránea desde quebradas y vertientes afluentes al río Lauca, en el punto de confluencia del río Lauca con el río Vizcachani se determinó un flujo subterráneo total de 68 l/s.

Aguas abajo de dicho punto, existen cuatro sondajes de propiedad de la Sociedad Contractual Minera Vilacollo (Pech 1, Pech 2, Pech 3 y Pech 4), de los cuales 3 (Pech 1, Pech 3 y Pech 4) tienen derechos de agua subterránea concedidos por 68 l/s (Pech 1 = 8 l/s, Pech 2 = 20 l/s y Pech 4 = 40 l/s).

Si se lleva a cabo el mismo análisis efectuado en el punto 6), relacionado con los aportes del río y de la napa a la producción de los pozos, se determinará que del total de recursos subterráneos a explotar (68 l/s), parte provendrá del río y el resto de la napa subterránea.

Si se supusiera que el río Lauca no aporta caudal a la explotación de los pozos Pech 1, Pech 3 y Pech 4, se podrían extraer los 68 l/s de caudal que disponen por derecho, ya que los balances efectuados aguas arriba determinaron un flujo subterráneo total de 68 l/s.

No obstante, estimando un porcentaje de 50% de aporte del río y 50% de aporte de la napa (porcentajes similares a los calculados en los pozos de análisis), se tendrá que el flujo subterráneo pasante aguas abajo de los pozos Pech será de 34 l/s, aproximadamente.

- ix Como conclusión final del estudio, siendo conservador en todos los análisis efectuados, se puede señalar que los caudales subterráneos susceptibles de ser explotados en forma continua y segura desde los sondajes son:

Pozo 4	=	29 l/s	
Pozo 5	=	35 l/s	
Pozo 6	=	38 l/s	
Pozo 7	=	50 l/s	
Pozo 8	=	60 l/s	
Pozo 9	=	55 l/s	
Pozo 10	=	7,5 l/s	
Total	=	274,5 l/s	

$$4,5,7 = 117 \text{ l/s}$$

$$6,7,8 = 148 \text{ l/s}$$

- x Tal como ya fuera mencionado, el río Lauca no se seca bajo ninguna de las condiciones de sequía analizadas; más aún, de acuerdo a los balances hídricos a lo largo del río Lauca, el efecto del bombeo en el punto más desfavorable originaría una disminución de menos del 35% en los caudales en el río, lo que permite con mayor confianza pensar que no existirán efectos en el abastecimiento de agua a los bofedales del área.
- xi El caso de la quebrada de Tejene no obstante sería diferente, ya que de acuerdo a los cálculos teóricos efectuados, su caudal superficial, casi nulo, se reduciría a cero en caso de bombearse 29 l/s desde el pozo N°4. Sin embargo, en la actualidad la producción de ese pozo es bastante menor que esa cifra, según la información conocida y además, los bofedales allí existentes no son permanentes sino que aparecen eventualmente cuando los caudales superficiales son mayores.
- xii Todos los bofedales y vegas que se alimentan de vertientes, por encontrarse separados de puntos donde se han localizado los pozos, no reducirán su flujo y por tanto dichos bofedales y vegas no verán mermado su abastecimiento de agua. La excepción a esto lo constituye el pozo 8 que se ubica aproximadamente 500 m aguas arriba de un afloramiento de importancia de aguas termales; en todo caso su efecto debiera

verificarse mediante un monitoreo como el que se propone en el punto xv más adelante.

- xiii Debido a que todos los análisis efectuados han sido conservadores, los caudales propuestos explotar desde los pozos consignados en el punto ix de las conclusiones podrían incluso ser superiores, no obstante que la capacidad de cada sondaje ha sido correctamente evaluada.
- xiv Si se deseara estudiar la factibilidad de establecer caudales mayores de explotación a los ya propuestos, será necesario efectuar pruebas de bombeo de gasto constante de a lo menos 48 horas de duración. En aquellos sectores donde se localizan 2 pozos cercanos, las pruebas de gasto constante a efectuar deberán ser simultáneas; además, durante el transcurso de las pruebas será necesario aforar el río Lauca, aguas arriba y aguas abajo de los pozos respectivos, para determinar los aportes efectivos que se producen desde el río a la producción de los pozos.
- xv Como una forma de establecer los efectos que el bombeo de agua desde los pozos puede tener sobre la calidad de las aguas y, consecuentemente, sobre bofedales y vegas, se recomienda controlar esa calidad mediante muestreos y análisis periódicos de parámetros físico-químicos relevantes o característicos por definir. Esto significará definir una línea base de calidad de aguas del río (varios puntos), vertientes (las de mayor importancia), charcos o afloramientos en vegas y aguas subterráneas (de todos los pozos), monitoreándose una vez iniciada la explotación definitiva del sistema con una frecuencia compatible con los objetivos de este control (mensual o trimestral).

Santiago, Agosto de 1994.