



**REPUBLICA DE CHILE  
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS  
DIRECCION GENERAL DE AGUAS**



**MODELO DE SIMULACION HIDROLOGICO  
OPERACIONAL CUENCA DEL RIO SAN JOSE**

**REALIZADO POR :  
LUIS ARRAU DEL CANTO**

**Con la Asesoría de  
AC INGENIEROS CONSULTORES LTDA.**

**DPTO. DE ESTUDIOS Y PLANIFICACION**

**S.I.T.N°41**

**Santiago, Diciembre de 1997**

# MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas  
Sr. Ricardo Lagos E.

Director General de Aguas  
Ing. Sr. Humberto Peña T.

Jefe Departamento de Estudios y Planificación  
Ing. Sr. Carlos Salazar M.

Inspectora Fiscal  
Ing. Sra. María Angélica Alegría C.

## LUIS ARRAU DEL CANTO AC INGENIEROS CONSULTORES

Jefe de Proyecto  
Ing. Sr. Guillermo Cabrera F.

### Profesionales:

Ing. Sr. Félix Pérez S. (Coordinador)

Ing. Sr. Pablo Isensee M.

Ing. Sr. Ludwig Stowhas B.

Ing. Sr. Luis Arrau del C.

Ing. Sr. Jorge Castillo G.

Ing. Sr. Enrique Kaliski K.

Ing. Sr. Jaime Vargas P.

Ing. Sr. René Pérez L.

Ing. Sr. Eduardo Méndez V.

Ing. Sr. Juan Torres C.

Ing. Sr. Pedro Kamann Ch.

Ing. Sr. Juan Carlos Sanhueza C.

Ing. Sr. Hugo Villegas B.

Geof. Sr. Manuel Araneda C.

Hidromensor Sr. Domingo Aguirre O.

## ÍNDICE

Pág.

1	RESUMEN Y CONCLUSIONES .....	1
2	ESTUDIO HIDROLÓGICO .....	9
2.1	PLUVIOMETRÍA .....	9
2.1.1	Recopilación de Antecedentes .....	9
2.1.2	Precipitaciones .....	10
2.2	FLUVIOMETRÍA .....	23
2.2.1	Introducción .....	23
2.2.2	Recopilación de Información Disponible .....	26
2.2.3	Evaluación de los Recursos Hídricos .....	30
3	ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO .....	39
3.1	GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA .....	39
3.1.1	Geología del Valle de Azapa y Sector Costero .....	39
3.1.2	Geología del Sector del río Lauca .....	46
3.2	FORMACIONES ACUÍFERAS .....	52
3.3	USO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS .....	67
3.3.1	Catastro de Captaciones Subterráneas Valle de Azapa y Arica .....	67
3.3.2	Explotación desde Sondajes y Norias Valle de Azapa y Arica .....	81
3.3.3	Vertientes Valle de Azapa .....	88
3.3.4	Captaciones Subterráneas Río Lauca .....	93
3.3.5	Derechos de Aguas .....	95
3.4	NIVELES DEL AGUA SUBTERRÁNEA .....	109
3.4.1	Valle de Azapa y Arica .....	109
3.4.2	Río Lauca .....	127
3.5	CONSTANTES ELÁSTICAS .....	128
3.5.1	Valle de Azapa y Arica .....	128
3.5.2	Valle del río Lauca .....	130
3.6	RECARGA Y DESCARGA .....	132
3.6.1	Valle de Azapa y Arica .....	132
3.6.2	Río Lauca .....	137
4	ESTUDIO DE CALIDAD DE AGUAS .....	141
4.1	ALCANCES DEL ESTUDIO DE CALIDAD DE AGUAS .....	142
4.2	CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS SUPERFICIALES .....	143
4.3	CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS .....	148
4.3.1	Tendencia espacial .....	148
4.3.2	Tendencia temporal .....	152
4.4	DESCRIPCIÓN DEL COMPORTAMIENTO Y EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA EN AMBOS MEDIOS .....	153
4.5	EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE LOS PARÁMETROS EN LOS USOS DEL AGUA .....	154
4.6	CRITERIOS PARA LA MODELACIÓN .....	158

## ÍNDICE (Continuación)

	Pág.
5	DEMANDAS DE RECURSOS HÍDRICOS ..... 159
5.1	RIEGO ..... 159
5.1.1	Valle de Azapa ..... 159
5.1.2	Precordillera ..... 162
5.2	AGUA POTABLE ..... 164
5.2.1	Infraestructura de Uso ..... 165
5.2.2	Evolución de la Demanda ..... 166
5.3	INDUSTRIA ..... 169
5.3.1	Infraestructura de Uso ..... 169
5.3.2	Evolución de la demanda ..... 170
5.4	MINERÍA ..... 171
6	MODELOS DE SIMULACIÓN OPERACIONAL ..... 173
6.1	MODELO MATEMATICO DE LA OPERACION DEL SISTEMA LAUCA - AZAPA ..... 173
6.1.1	Introducción ..... 173
6.1.2	Características del modelo AzpSys. .... 173
6.1.3	Simulación de la operación del sistema. .... 176
6.1.4	Antecedentes hidrológicos. .... 178
6.1.5	Uso del modelo AzpSys. .... 179
6.1.6	Proceso del modelo AzpSys. .... 180
6.1.7	Resultados del modelo AzpSys. .... 181
6.2	MODELOS DE PRONÓSTICO ..... 182
6.2.1	Introducción ..... 182
6.2.2	Antecedentes para la modelación ..... 182
6.2.3	Pronósticos estadísticos. .... 186
6.2.4	Pronósticos en Base a Modelos Matemáticos de Simulación de Escorrentía ..... 242
6.2.5	Relación entre el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur y las Precipitaciones ..... 269
6.2.6	Manual de uso de la implementación computacional de los modelos estadísticos de pronóstico ..... 278
6.3	MODELOS HIDROGEOLOGÍCOS ..... 280
6.3.1	Introducción ..... 280
6.3.2	Modelo Hidrogeológico del Valle de Azapa ..... 281
6.3.3	Modelo Hidrogeológico Sector Lauca ..... 318
6.4	MODELO DE CALIDAD DEL AGUA ..... 340
6.4.1	Introducción ..... 340
6.4.2	Proceso de salinización ..... 341
6.4.3	Bases conceptuales del modelo ..... 342
6.4.4	Información disponible ..... 347
6.4.5	Configuración del sistema ..... 348
6.4.6	Valores de las variables del modelo ..... 350
6.4.7	Salidas del modelo ..... 355
6.4.8	Análisis de resultados ..... 385
6.4.9	Recomendaciones para el monitoreo de la calidad de las aguas subterráneas ..... 385

## ÍNDICE (Continuación)

	Pág.
7	OPERACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO DEL RÍO SAN JOSÉ . . . . . 389
7.1	INTRODUCCIÓN . . . . . 389
7.2	APLICACION DEL MODELO MATEMATICO DE LA OPERACION DEL SISTEMA LAUCA - AZAPA . . . . . 389
7.2.1	Introducción . . . . . 389
7.2.2	Resultados . . . . . 390
7.2.3	Análisis de resultados . . . . . 391
7.3	SIMULACIÓN DEL SISTEMA SUBTERRÁNEO . . . . . 395
7.3.1	Proyección de Escenarios Futuros . . . . . 395
7.3.2	Escenarios Considerados . . . . . 396
7.3.3	Discusión de Resultados . . . . . 403
7.4	CONCLUSIONES . . . . . 406

### ANEXOS

ANEXO 2.1-1	ESTADÍSTICAS PLUVIOMÉTRICAS ORIGINALES
ANEXO 2.1-2	ESTADÍSTICAS PLUVIOMÉTRICAS RELLENADAS
ANEXO 2.1-3	ESTADÍSTICAS PLUVIOMÉTRICAS CORREGIDAS Y EXTENDIDAS
ANEXO 2.2-1	ESTADÍSTICAS PLUVIOMÉTRICAS ORIGINALES Y NIVELES EN EL LAGO CHUNGARÁ
ANEXO 2.2-2	ESTADÍSTICAS PLUVIOMÉTRICAS RELLENADAS
ANEXO 2.2-3	BALANCE LAGUNA COTACOTANI
ANEXO 2.2-4	RESULTADOS CAMPAÑAS DE AFORO 1996
ANEXO 3.1-1	PROSPECCIONES GEOFÍSICAS ARICA VALLE DE AZAPA Y RÍO LAUCA
ANEXO 3.4-1	NIVELES HISTÓRICOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA ARICA Y VALLE DE AZAPA
ANEXO 3.4-2	NIVELES HISTÓRICOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA LAUCA
ANEXO 3.5-1	PRUEBAS DE BOMBEO ZONA COSTERA AL NORTE DE ARICA
ANEXO 3.6-1	CÁLCULO DE LOS APORTES POR PERCOLACIÓN A LA NAPA DESDE LOS CANALES DE RIEGO
ANEXO 3.6-2	CÁLCULO DE LOS APORTES POR PERCOLACIÓN A LA NAPA DESDE LOS SECTORES DE RIEGO
ANEXO 3.6-3	INTERPRETACIÓN DE ISÓTOPOS AMBIENTALES PARA SECTOR ALTIPLÁNICO Y VALLE DE AZAPA
ANEXO 4-1	CALIDAD DE LAS AGUAS
ANEXO 5.1-1	DEMANDAS DE AGUA DE RIEGO EN EL VALLE DE AZAPA Y MODELACIÓN DE LOS DERRAMES DE RIEGO DE LA PRECORDILLERA
ANEXO 6.1-1	LISTADO DE PROGRAMAS
ANEXO 6.1-2	ESTADÍSTICAS HIDROLÓGICAS
ANEXO 6.2-1	CORRELACIÓN CAUDALES CIÉNAGAS DE PARINACOTA- LAGUNA COTACOTANI
ANEXO 6.2-2	EXPLICACIÓN MODELO PLUVIONIVAL
ANEXO 6.2-3	ESTADÍSTICA UTILIZADA, MODELOS PLUVIAL Y PLUVIONIVAL

ANEXO 6.2-4	CAUDALES SIMULADOS LAGUNA COTACOTANI
ANEXO 6.2-5	CAUDALES SIMULADOS CIÉNAGAS DE PARINACOTA
ANEXO 6.2-6	CAUDALES SIMULADOS RÍO SAN JOSÉ
ANEXO 6.2-7	ESTADÍSTICA FENÓMENOS ENOS
ANEXO 6.3-1	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL VISUAL MODFLOW
ANEXO 6.3-2	DEFINICIÓN DEL BASAMENTO Y SUPERFICIE DEL TERRENO
ANEXO 6.3-3	BOMBEO HISTÓRICO VALLE DE AZAPA (1988-1995)
ANEXO 6.3-4	CONTRASTE DE NIVELES MODELO AZAPA (CALIBRACIÓN)
ANEXO 7.2-1	RESULTADOS DEL MODELO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA LAUCA-AZAPA
ANEXO 7.3-1	RESULTADOS DE LA OPERACIÓN DEL MODELO HIDROGEOLÓGICO DEL VALLE DE AZAPA. VARIACIÓN TEMPORAL DEL NIVEL
ANEXO 7.3-2	RESULTADOS DE LA OPERACIÓN DEL MODELO HIDROGEOLÓGICO DEL VALLE DE AZAPA. VARIACIÓN TEMPORAL DE LA DEPRESIÓN.
ANEXO 7.3-3	RESULTADOS DE LA OPERACIÓN DEL MODELO HIDROGEOLÓGICO DEL VALLE DE AZAPA. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA DEPRESIÓN DE NIVELES Y CELDAS QUE SE SECAN (AÑO 2005) SECTORES DE ARICA, PAGO DE GÓMEZ Y LAS MAITAS

## RESUMEN Y CONCLUSIONES

El presente documento corresponde al informe final del estudio denominado “Modelo de Simulación Hidrológico Operacional Cuenca del Río San José”, licitado por la Dirección General de Aguas. La zona en estudio se encuentra en la I Región del país e incluye el sistema hidrográfico subterráneo y superficial de las cuencas de los ríos San José y Lauca, desde la cual se exporta agua a la hoya del primero, abarcando la franja completa desde el sector altiplánico hasta el mar.

El objetivo principal del estudio ha sido construir una herramienta de análisis y planificación que permita evaluar diferentes situaciones de interés para la toma de decisiones relacionadas con el aprovechamiento óptimo, integral y multisectorial de los recursos hídricos superficiales y subterráneos de la cuenca. De este modo, han sido desarrollados modelos de pronóstico, hidrogeológicos, de calidad de aguas y de operación del sistema Lauca-Azapa, los que en conjunto han permitido representar a cabalidad el marco global estudiado. En la Figura 1-1, se muestra un esquema general de los sectores modelados.

El **modelo de operación del sistema Lauca-Azapa** es una herramienta desarrollada para el análisis y planificación del aprovechamiento de los recursos hídricos superficiales, para poder determinar finalmente las recargas del acuífero del valle de Azapa que se originan en el uso del agua para regadío en los distintos escenarios que se desee analizar. El modelo, que simula la operación del sistema Lauca Azapa incluyendo la regulación de la laguna Cotacotani ubicada en la cuenca del río Lauca, se procesó para el período histórico de los años hidrológicos 1967/68 a 1993/94 con el objeto de conocer el comportamiento del sistema para las condiciones actuales de infraestructura y demandas de riego del área abastecida por el canal de Azapa.

Para una determinada demanda de riego del área abastecida por este canal, el modelo permite conocer la operación resultante de la laguna Cotacotani, caracterizada por sus afluentes, evaporaciones, entregas efectuadas, vertimientos y estados finales, además los caudales captados por el canal Lauca, el caudal sobrante del río Lauca en la bocatoma del canal Lauca, los caudales con que contaría el canal de Azapa junto con el porcentaje de satisfacción de su demanda y el caudal sobrante del río San José en la bocatoma del canal. Asimismo, parte de la información generada por este desarrollo en relación a las percolaciones, constituyen datos de entrada del modelo hidrogeológico del acuífero del valle de Azapa.

Los **modelos de pronóstico** desarrollados se basan en métodos estadísticos convencionales de pronóstico de escorrentía en base a correlaciones entre volúmenes estacionales y caudales medios mensuales con variables tales como precipitación, caudales antecedentes y otras variables explicativas disponibles. Los pronósticos se realizaron para estimar los recursos de los afluentes a la laguna Cotacotani, de los aportes netos de las Ciénagas de Parinacota y de la cuenca del río San José, a partir del comienzo de la temporada

de riego, estimando el volumen de escorrentía total y los caudales medios mensuales de dicha temporada, con la posibilidad de ir actualizándose mensualmente a medida que se recopila mayor información. Además, también para fines de pronóstico, se intentó como alternativa metodológica la utilización de modelos de simulación hidrológica para cuencas pluviales y/o nivopluviales a escala mensual, con los que no se obtuvieron resultados aceptables.

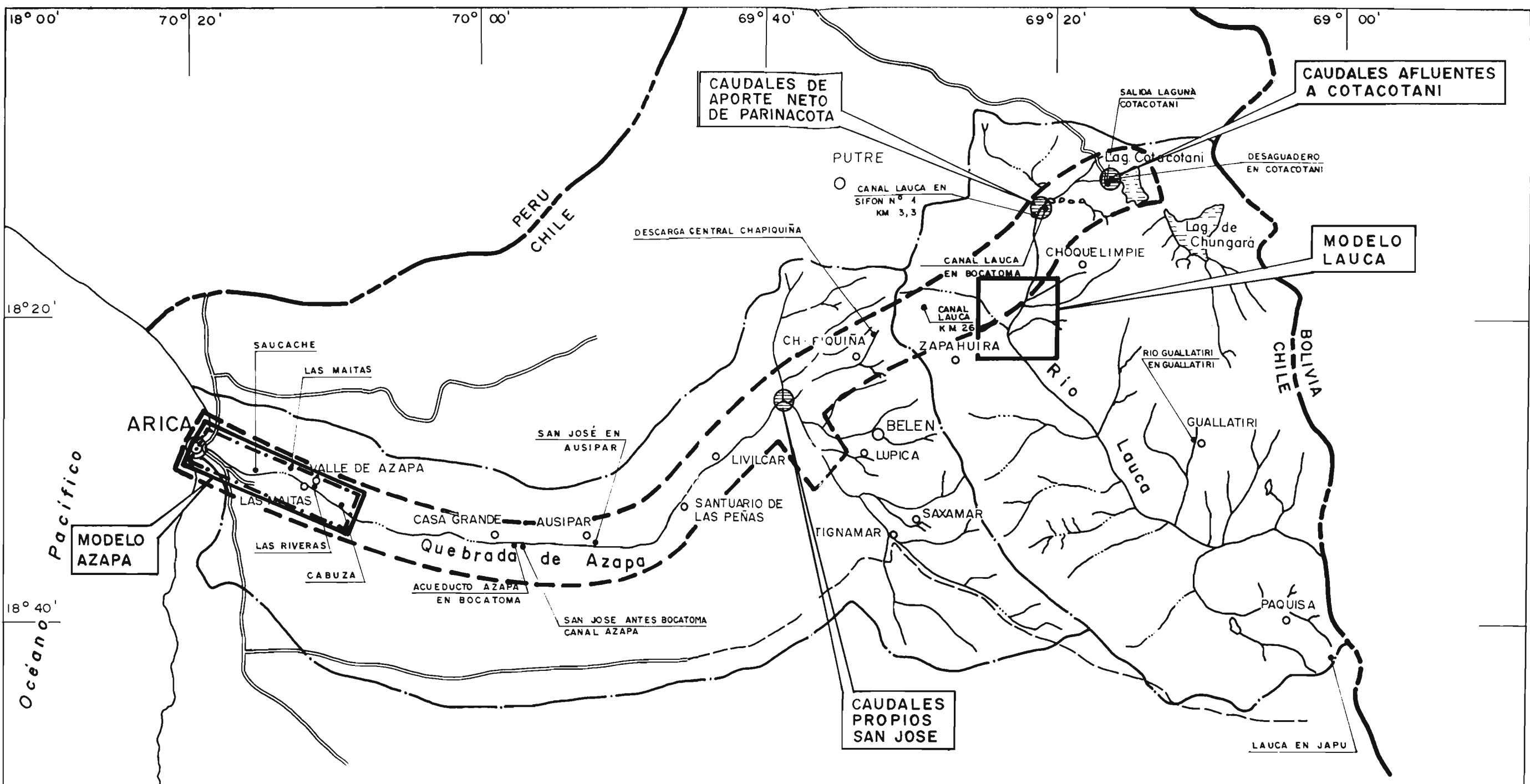
Por otra parte, se investigó la existencia de alguna correlación o relaciones causa-efecto entre fenómenos climatológicos a macroescala tales como la denominada Oscilación del Sur y la Corriente del Niño (ENOS), con el régimen pluviométrico del sector altiplánico, que permitieran utilizarlos para el desarrollo de pronósticos con mayor antelación que los que permiten los métodos estadísticos convencionales. Los resultados no fueron satisfactorios, con coeficientes de correlación menores a 25%, desechándose la posibilidad de utilizar variables ENOS para pronósticos de caudales en el altiplano de la zona de estudio.

En cuanto a los recursos subterráneos, se han elaborado **dos modelos hidrogeológicos de simulación** independientes, los cuales permiten determinar el comportamiento de los sistemas acuíferos asociados al Valle de Azapa y al sector costero de Arica, y a gran parte del sector altiplánico del río Lauca. Con ellos es posible estudiar diversas situaciones en la explotación de los recursos subterráneos y cuantificar sus efectos, tanto en los niveles freáticos o piezométricos como en los flujos y balances globales de agua; determinar los balances parciales por zonas y flujos que intervienen; incorporar nuevas captaciones o modificar sus reglas de operación y ensayar distintas condiciones hidrológicas reflejadas en distintas tasas medias de infiltración desde zonas de riego y cauces. El modelo empleado corresponde al programa MODFLOW desarrollado por el USGS de Estados Unidos en conjunto con un pre y post-procesador desarrollado en Canadá por la Universidad de Waterloo y luego perfeccionado y comercializado por Waterloo Hydrogeologic Software, denominado VISUAL MODFLOW en su versión 1.5 de 1996.

Una vez caracterizado el sector en estudio se consideró toda la información disponible para reproducir las extracciones históricas de agua subterránea que permitieran la elaboración de un patrón de ajuste para la calibración del modelo. Así, se determinó para el caso del valle de Azapa la evolución del sistema por un período de 8 años (1988 hasta 1996), y por medio de ajustes sucesivos en el modelo se consiguió su representación de una manera razonable. El modelo del sector del Lauca fue calibrado en régimen permanente, debido a la ausencia de una "historia" del sistema acuífero y validado para un año de bombeo en los pozos construidos por la Dirección de Riego, por comparación con los resultados de pruebas de bombeo realizadas en ellos.

El modelo hidrogeológico del valle de Azapa y Arica fue utilizado para evaluar el comportamiento futuro de los niveles de la napa sometida a diferentes escenarios o casos que incluyeron distintas condicionantes externas en lo relativo a las extracciones generadas en el mismo. A este respecto, ha sido posible determinar que las variaciones dentro del rango





CAUDALES DE APORTE NETO DE PARINACOTA




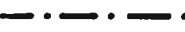
CAUDALES AFLUENTES A COTACOTANI

MODELO LAUCA

MODELO AZAPA

CAUDALES PROPIOS SAN JOSE

**SIMBOLOGIA**

-  MODELOS DE PRONOSTICO DE CAUDALES
-  MODELO SUPERFICIAL SISTEMA LAUCA-AZAPA
-  MODELOS HIDROGEOLOGICOS
-  MODELO DE CALIDAD DEL AGUA SUBTERRANEA

DIRECCION GENERAL DE AGUAS MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS		
AC Ingenieros Consultores	PROYECTO:	FECHA:
PLANO ESQUEMA GENERAL DE SECTORES MODELADOS	MODELO DE SIMULACION HIDROLOGICO OPERACIONAL	MARZO 1997
	CUENCA DEL RIO SAN JOSE	ESCALA:
		1 : 500.000
		FIGURA
		1-1

definido para el comportamiento más probable de las condiciones hidrológicas en el valle no influyen sobre las depresiones del acuífero de una manera importante en relación a los efectos producidos por la variación de las magnitudes de extracción de agua desde el sistema.

Sobre la base de los casos analizados ha sido posible confirmar la sobreexplotación en la que se encuentra este sector del valle de Azapa, con lo que resulta directo prever que los continuos descensos en los niveles del agua del subsuelo continuarán en forma sostenida en el futuro al mantenerse las explotaciones actuales del recurso, a no ser que las condiciones hidrológicas tiendan a revertir en parte las condiciones que imperan, lo que en todo caso no mejoraría completamente las tendencias actuales. Por otra parte, en virtud del comportamiento del sistema frente a la incorporación de nuevos derechos, es decir, de las disminuciones de los caudales actuales debido a la interferencia entre los propios pozos y al agotamiento del acuífero en algunos sectores, se estima que no resulta conveniente realizar nuevas perforaciones en el mismo acuífero, por cuanto los aumentos netos en la disponibilidad de agua alcanzarán pequeñas magnitudes y períodos de seguridad reducidos.

En ese sentido se recomienda mantener el área de prohibición para nuevas explotaciones dictada recientemente, hasta que no se estudien detenidamente todas las solicitudes pendientes.

En relación a las recargas del acuífero, la operación del modelo ha permitido determinar las magnitudes para el caudal medio de recarga total que entra al sistema subterráneo del valle de Azapa para los años de la calibración (1988-1995). De acuerdo con la estadística disponible de los caudales medios afluentes a la laguna Cotacotani, el año hidrológico 1987/88 correspondió a una probabilidad de excedencia de 20%. Para este año, fecha de inicio del período de calibración, el caudal medio de recarga total resultó alto, cercano a los 750 l/s. Esta cifra se ha considerado representativa de condiciones hidrológicas más húmedas que las actuales registradas previamente al período de calibración. Luego, la recarga se redujo por condiciones de sequía hasta menos de 400 l/s como lo señalan los resultados del modelo para los últimos años. Esta última magnitud puede relacionarse con una probabilidad de excedencia de 78% correspondiente a los caudales afluentes a la laguna Cotacotani en el año hidrológico 1993/94.

En relación al **modelo de calidad de aguas**, éste se ha desarrollado como una herramienta sencilla con carácter preliminar (modelo de balances por dilución) con el objetivo de representar los fenómenos de incremento de la salinidad de los recursos subterráneos, tanto espaciales como temporales. El tramo del valle del río San José constituyente del modelo, incorpora aproximadamente los últimos 40 kilómetros de la cuenca y está comprendido entre el sector de Pampa Grande y la desembocadura en la ciudad de Arica.

Dado el diferente enfoque conceptual y de aproximación entre el modelo de calidad del agua y el hidrogeológico de simulación (este último es una representación espacial y temporal mucho más fina), la comunicación entre ambos es principalmente vía el flujo de

entrada por aguas arriba y los bombeos totales agrupados por sectores en que se dividió el valle.

No fue posible calibrar acabadamente el modelo de calidad debido a la falta y continuidad de la información. De los nueve sectores en que se dividió el valle para ser modelado, los cinco sectores ubicados aguas abajo de San Miguel, cuentan con información y ésta es de carácter puntual. Para el inicio del período de calibración casi no existe información por lo que tuvo que ser estimada. Pese a lo anterior, el modelo es capaz de dar cuenta de tendencias en los procesos de salinización del valle.

En general el modelo representa el fenómeno de salinización paulatina de las aguas subterráneas del valle de Azapa debido principalmente al uso y reuso de dichas aguas (junto con la lixiviación de sales asociada a la percolación de riego) y al descenso sostenido de los niveles en los últimos años.

En relación al control de los sistemas subterráneos, se recomienda estudiar el diseño de una red ambiental de monitoreo de la calidad del agua, para proveer de información sistemática que permita mejorar o efectuar una nueva simulación del transporte de masas en el acuífero mediante modelos desagregados espacial y temporalmente.

De acuerdo con el conocimiento que se tiene de la dinámica general del valle, se propone efectuar corridas de mediciones con una frecuencia trimestral que incluyan los niveles estáticos o dinámicos según corresponda, los caudales de explotación, las conductividades y los contenidos de cloruros y nitratos, en una red determinada de fuentes subterráneas extendidas a lo largo de sector de interés. Dado que las principales intervenciones sobre el acuífero del valle de Azapa se producen aguas abajo del sector de Cabuza, este punto y la desembocadura del río San José han sido considerados como los límites del área de monitoreo. En la red de vigilancia recomendada en esta zona, se propone la incorporación de la totalidad de los sondajes destinados a la producción de agua potable de la ciudad de Arica, incluyéndose además, algunas fuentes de particulares que complementen el panorama global del sistema para disponer de los antecedentes requeridos para su conocimiento cabal. En el Cuadro 1-1 se presenta el listado de los puntos definidos para la realización del plan de control propuesto.

**CUADRO 1-1**  
**RED DE MONITOREO PROPUESTA EN VALLE DE AZAPA**  
**I REGIÓN - ARICA**

FUENTE	UBICACION	PROPIETARIO	SECTOR
N-9	BARRIO INDUSTRIAL, AV. STA. MARIA	CORMETAR	ARICA NORTE
N-44	RENATO ROCA 1999	YPFB	CERRO CHUNO
N-62		PASCUAL ROCO	KM 16,5 CHUVAL
N-73	SAN MANUEL	FACUNDO GUTIERREZ V.	KM 17,5 CHUVAL
N-117	LA HUANCA	MARIA GUTIERREZ (EX SAUL OVIEDO)	KM 10,5 LAS MAITAS
N-123	SAN FRANCISCO DE ASIS	ISAAC BALUARTE	KM 13,0 SAN MIGUEL
N-195	STA. IRENE SUR	FRANCISCO CONDORI	KM 20,0 CABUZA
N-205	LOTE AB	MANUEL MADRID	KM 15,0 LAS RIVERAS
N-206	PARQUE BRASIL - CASINO	MUNICIPALIDAD DE ARICA	ARICA COSTA
N-207		M. ORTUÑO	LA MAITAS
N-208	PARCELA I	SANTIAGO BLANCO	CHUVAL
N-210		JUAN VEGA	CHUVAL
N-215		ESTELA CASTRO V. (Ex Mamani)	CABUZA
N-220	PARCELA EL SAUCE	JAIME CESPEDES	PLANTA AZAPA
N-223	PARCELA SAN ELIAS, KM 6,0	YUSSEF BU-ANTUN	LAS ANIMAS
N-224	PARQUE CENTENARIO	P. CENTENARIO. MUNIC. DE ARICA	ARICA COSTA
N-233		ANDRES LLAMPARA	LAS RIVERAS
S-112	CAMPAMENTO LAS RIVERAS	DIRECCION DE RIEGO - ESSAT S. A.	LAS RIVERAS
S-139	ESSAT COPAJA	ESSAT S. A.	ARICA SUR
S-140	ESSAT ESTADIO	ESSAT S. A.	ARICA SUR
S-141	ESSAT RETEN	ESSAT S. A.	ARICA SUR
S-142	ESSAT TUCAPEL	ESSAT S. A.	ARICA SUR
S-143	ESSAT LIGA DE EMPLEADOS	ESSAT S. A.	ARICA SUR
S-147	ESSAT SAN JOSE	ESSAT S. A.	ARICA COSTA
S-157	ESSAT AZAPA 491 N	ESSAT S. A.	PLANTA AZAPA
S-158	PLANTA AZAPA	ESSAT S. A.	PLANTA AZAPA
S-160	PLANTA AZAPA	ESSAT S. A.	PLANTA AZAPA
S-161	PLANTA AZAPA	ESSAT S. A.	PLANTA AZAPA
S-165	ESSAT LOS PINOS	ESSAT S. A.	ARICA ORIENTE
S-166	ESSAT SAUCACHE	ESSAT S. A.	ARICA ORIENTE
S-167	ESSAT PILON 18 DE SEPTIEMBRE	ESSAT S. A.	ARICA ORIENTE
S-186	PLANTA AZAPA	ESSAT S. A.	PLANTA AZAPA
S-187	PLANTA AZAPA	ESSAT S. A.	PLANTA AZAPA
S-195		RICARDO FERNANDEZ	LAS MAITAS
S-205		COOPERATIVA JUAN NOE	SAN MIGUEL
S-206		COOPERATIVA JUAN NOE - ESSAT	SAN MIGUEL
S-214	HOSPITAL DE ARICA	ESSAT S. A.	ARICA SUR
S-221		ESSAT PAGO DE GOMEZ - 1113	LAS ANIMAS
S-222		ESSAT PAGO DE GOMEZ - 1114	LAS ANIMAS
S-223		ESSAT PAGO DE GOMEZ - 1142	LAS ANIMAS
S-230	PLANTA AZAPA	ESSAT S. A.	PLANTA AZAPA
S-235		APR SAN MIGUEL	SAN MIGUEL
S-265	ESSAT SAN MIGUEL N	ESSAT S. A.	SAN MIGUEL
S-266	ESSAT SAN MIGUEL S	ESSAT S. A.	SAN MIGUEL
S-267	ESSAT RODOVIARIO	ESSAT S. A.	ARICA SUR
S-268	ESSAT JOAQUIN ARACENA	ESSAT S. A.	ARICA NORTE
S-269	ESSAT ANGELMO	ESSAT S. A.	ARICA ORIENTE
S-270	ESSAT OHIGGINS	ESSAT S. A.	ARICA ORIENTE
S-271	ESSAT LAS TORRES	ESSAT S. A.	ARICA ORIENTE
S-272	ESSAT NUEVA ESPERANZA	ESSAT S. A.	SAUCACHE
S-273	ESSAT TAMBO QUEMADO	ESSAT S. A.	SAUCACHE
S-278		ESSAT CENTELLA	PLANTA AZAPA
S-279	PARCELA DE MARCOS GARDILIC	ESSAT ORTUÑO	LAS ANIMAS
S-280		ESSAT Km 7	LAS ANIMAS

**CUADRO 1-1 (Continuación)**  
**RED DE MONITOREO PROPUESTA EN VALLE DE AZAPA**  
**I REGIÓN - ARICA**

FUENTE	UBICACION	PROPIETARIO	SECTOR
S-283		ESSAT ROMERO	CABUZA
S-284		ESSAT CID	CABUZA
S-285	ESSAT FABRES	ESSAT S. A.	ARICA ORIENTE
S-286	ESSAT LOA	ESSAT S. A.	ARICA NORTE
S-287		ESSAT CARBONE	LAS RIVERAS
S-288	PARCELA SAN LUIS (Km 1)	ESSAT - DOMINGO DEVOTTO 1	SAUCACHE
S-289	ESSAT - DOMINGO DEVOTTO (Km 3)	ESSAT - DOMINGO DEVOTTO 2	PLANTA AZAPA
S-291		FERNANDEZ	LAS MAITAS
S-293	EX PREDIO DE S. CAVALAN	ORLANDO ILAJA	PLANTA AZAPA
S-297	KILOMETRO 7,5		LAS ANIMAS
S-316	CAMPAMENTO LAS RIVERAS	DIRECCION DE RIEGO	LAS RIVERAS
S-350		JUAN LLERENA	CHUVAL
S-357	PARCELA EL LAUREL	FILIBERTO FERNANDEZ	KM 4,5 PAGO DE GOMEZ
S-358	PARCELA EL LAUREL	FILIBERTO FERNANDEZ	KM 5,0 PAGO DE GOMEZ

Finalmente, a partir de las distintas representaciones desarrolladas, surge como principal conclusión la evidente sobreexplotación del acuífero del sector bajo del valle de Azapa que condiciona la proyección futura de los continuos descensos de los niveles de agua del subsuelo. Por otra parte, a través de este estudio, se ha logrado advertir la notoria influencia en los rendimientos de nuevas perforaciones con respecto a las existentes, lo que determina que la perforación de fuentes adicionales a las actuales no constituya una solución definitiva a la escasez de recursos en la zona. A este respecto, cabe confirmar la prohibición para nuevas explotaciones dictadas recientemente por la Dirección General de Aguas, además de recalcar la importancia de estudios rigurosos en relación a las solicitudes actualmente en tramitación.

## 2 ESTUDIO HIDROLÓGICO

### 2.1 PLUVIOMETRÍA

El presente estudio hidrológico, tuvo como objetivo principal el caracterizar la zona de interés, en lo que a regímenes pluviométricos y fluviométricos se refiere.

El análisis pluviométrico, se realizó con el propósito de generar series de lluvias homogeneizadas, rellenadas y extendidas a un período de tiempo suficientemente largo como para obtener conclusiones y resultados válidos de ellas.

Por otro lado, la caracterización fluviométrica permitió evaluar adecuadamente los recursos hídricos disponibles en la zona.

Tanto el estudio pluviométrico como el fluviométrico fueron utilizados posteriormente, con el propósito de buscar relaciones estadísticas que permitieran realizar pronósticos de escorrentía en el período Abril-Noviembre, para lo cual fue necesario disponer de índices de precipitación y caudales.

Con el objeto de verificar la posibilidad de realizar pronósticos de escorrentía con mayor antelación, se buscó establecer relaciones entre índices del fenómeno oceánico-atmosférico a macroescala denominado "El Niño-Oscilación del Sur" y las series de precipitaciones que finalmente se utilizaron en las relaciones precipitación-escorrentía. El desarrollo de este análisis fue realizado en el punto 6.2 del presente informe.

#### 2.1.1 Recopilación de Antecedentes

De acuerdo a la metodología propuesta, este estudio comprende la recopilación de toda la información pluviométrica a nivel de precipitaciones mensuales y meteorológica (temperaturas extremas, humedad relativa, velocidad del viento, etc.) existente en la zona de interés a nivel diario. Estos antecedentes se obtuvieron de estudios anteriores en la zona, o directamente de la Dirección General de Aguas, de la Dirección Nacional de Riego del M.O.P. y de la Dirección Meteorológica de Chile.

Las fuentes bibliográficas consultadas, de la cual se obtuvo antecedentes utilizables en este estudio son las siguientes:

- "Análisis Operacional del Sistema Lauca-Azapa", 1995, elaborado por CONIC-BF.
- "Estudio Hidrometeorológico de las Cuencas del río Lauca y Chungará", 1975, A. Benítez-ENDESA.

## 2.1.2 Precipitaciones

El presente capítulo tiene por objeto caracterizar adecuadamente el régimen de precipitaciones de los sectores de las cuencas de los ríos Lauca y San José, con el propósito de aportar la información básica para el desarrollo del estudio de los recursos hídricos superficiales.

### a) Recopilación de Estadísticas

La recopilación de la información básica a nivel de precipitaciones mensuales, se efectuó en la Dirección Meteorológica de Chile, en la Dirección General de Aguas y en la Dirección Nacional de Riego.

En base a toda la información recopilada, se confeccionaron los diagramas de barra, indicando la longitud y período de información disponible, que se presentan en los Cuadros 2.1-1a y 2.1-1b.

Las series de datos originales correspondientes a precipitaciones mensuales, se entregan en el Anexo 2.1-1. Todas las series pluviométricas se entregan por año hidrológico, que comienza el 1 de Octubre y termina el 30 de Septiembre, debido a que en esta forma se facilita el manejo de las mismas, especialmente para el pronóstico.

CUADRO 2.1-1a  
ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS CONSIDERADAS

Rol BNA	Nombre	Control	Tipo	Latitud (° ')	Longitud (° ')	Elevación (m.s.n.m.)
01310050-0	Arica (Oficina)	DGA	PM	1829	7019	20
01310053-5	Arica (U. del Norte)	DGA	PM	1830	7020	27
01310051-9	Azapa	DGA	PM	1831	7001	250
01300053-0	Belén Belén-Retén	DGA DMC	PM PM	1829 1828	6931 6932	3240 3240
01001050-0	Caquena	DGA	PM	1803	6912	4400
01300052-2	Central Chapiquiña	DGA	PM	1823	6933	3280
01030050-9	Chilcaya	DGA	PM	1848	6901	4140
01020053-9	Chucuyo Carabineros	DGA	PM	1813	6920	4200
01020055-5	Chucuyo Ex-Endesa Chungará	DGA DNR	PM PM	1813	6920	4200
01010053-4	Chungará Ajata	DGA	PM	1814	6907	4570
01010052-6	Chungará Guardería	DGA	PM	1816	6907	4570
01010050-K	Chungará Retén	DGA	PM	1813	6907	4570
01020051-2	Cotacotani Cotacotani	DGA DNR	PM PM	1811	6914	4500
01021050-K	Guallatite	DGA	PM	1830	6910	4280
01020050-4	Isla Blanca	DGA	PM	1811	6913	4500
01010051-8	Misitune	DGA	PM	1820	6906	4200
01020052-0	Parinacota Conaf	DGA	PM	1812	6916	4390
01020054-7	Parinacota Ex- Endesa	DGA	PM	1812	6916	4390
01300054-9	Tignamar	DGA	PM	1835	6930	3200

Fecha elaboración: 22-Julio-1996 Fuente: Elaboración propia





Las excepciones a este criterio fueron las siguientes estaciones:

- Guallatire que dada su ubicación, es poco útil para propósitos de pronóstico. Por otro lado, al intentar rellenarse mediante correlaciones lineales con sus estaciones vecinas, se obtuvo coeficientes de correlación demasiado bajos, con lo cual, su relleno y extensión sería muy poco confiable.
- Cotacotani DGA, cuyo control ha sido suspendido, pero se considera en este estudio debido a que es muy útil como apoyo para Cotacotani DNR.

c) Relleno y Extensión de Estadísticas Mensuales.

Una vez definido el período de análisis, se procedió a descartar aquellas estaciones que no reunían el requisito mínimo establecido relacionado con la extensión de las estadísticas disponibles.

A las estaciones restantes que presentaran algunos vacíos de información o no tuviesen una longitud de estadística mayor que el período de análisis, se procedió a rellenarlas, extenderlas hacia atrás o a actualizarlas, en caso de haber sido descontinuadas en los años recientes.

Para el relleno y extensión de estadísticas mensuales se utilizó el procedimiento detallado a continuación.

i) Relleno de vacíos aislados

En aquellas estaciones que presentaban estadísticas casi completas en algún período, faltando sólo datos aislados o cuyos registros fuesen altamente dudosos, se procedió a rellenarlos en base a promedios ponderados con las estaciones más cercanas, de acuerdo a la expresión:

$$P_{xj} = \frac{M_x}{i} * \sum_i \left( \frac{P_{ji}}{M_i} \right) \quad 1 < i \leq 3$$

donde

$P_{xj}$  = Es la precipitación mensual desconocida del mes j.

$P_{ij}$  = Es la precipitación mensual del mes j de la estación vecina i.

$M_i$  = Es el módulo pluviométrico de la i-ésima estación vecina.

$M_x$  = Es el módulo pluviométrico de la estación en análisis.

$i$  = Número de estaciones vecinas consideradas.

En algunos casos, en que existía más de una estación pluviométrica en un mismo sector se rellenaron valores faltantes con la información de la otra estación del mismo sector (estación Belén).

La estación Chucuyo-Carabineros, se rellenó a nivel mensual con un procedimiento distinto. Para dicha estación, se utilizaron correlaciones a nivel mensual para datos aislados, rellenándose con la estación cuyo coeficiente de correlación fuese el mayor. La razón de haber adoptado este criterio obedece a la ubicación geográfica de la estación, que no se encuentra cercana a las demás estaciones seleccionadas, por lo cual el uso de los promedios ponderados sería cuestionable.

También se efectuaron correlaciones analíticas a nivel anual en el caso de existir valores anuales aislados faltantes y tener la imposibilidad de utilizar el método de los promedios ponderados debido a la falta de datos mensuales en la mayor parte del año. La correlación se efectuó entre la estación a rellenar y sus estaciones vecinas, seleccionándose aquella que tuviese el mayor coeficiente de correlación.

En el Cuadro 2.1-2 se explica en forma sumaria el tratamiento realizado a cada una de las estaciones utilizadas, mientras que en el Anexo 2.1-2 son presentadas las estadísticas rellenadas correspondientes a las distintas estaciones consideradas.

## ii) Homogeneización de estadísticas

Para verificar la homogeneidad de la información se sometió la estadística de precipitaciones anuales a un análisis de curvas doble acumuladas. Después de intentar varias combinaciones, se llegó a definir un patrón de precipitaciones, configurado por el promedio de las estaciones Belén DGA, Chucuyo Carabineros, Cotacotani DNR, Chungará Retén y Chungará DNR.

**CUADRO 2.1-2  
TRATAMIENTO EFECTUADO A CADA ESTACIÓN**

Nº Estación	Inst.	Tratamiento Efectuado
Arica Oficina	DGA	No se rellena. Se elimina pues no es útil para pronóstico.
Arica U. del Norte	DGA	No se utiliza, control suspendido.
Azapa	DGA	No se rellena. Se elimina pues no es útil para pronóstico
Belén	DMC	No se rellena. Se utiliza como apoyo para Belén DGA.
Belén	DGA	Se unifica con Belén DMC y se rellena con Central Chapiquiña, Chucuyo Carabineros y Tignamar.
Caquena	DGA	Se elimina, esta fuera de la zona de interés para pronóstico.
Central Chapiquiña	DGA	Se rellena con Chucuyo Carabineros, Belén, Chungará DNR y Guallatire.
Chilcaya	DGA	Se elimina, control suspendido.
Chucuyo Carabineros	DGA	Se rellena a nivel anual con Cotacotani DGA y a nivel mensual con la estación anterior, más Central Chapiquiña y Guallatire.
Chucuyo (Ex-Endesa)	DGA	Se elimina, longitud del registro demasiado breve
Chungará	DNR	Se rellenan valores aislados con Cotacotani DGA, Cotacotani DNR y Chungará Retén. Se rellenan valores anuales a partir de correlación con Cotacotani DGA.
Chungará Ajata	DGA	Se elimina, longitud del registro demasiado breve
Chungará Guardería	DGA	Se elimina, longitud del registro demasiado breve
Chungará Retén	DGA	Se rellenan valores aislados con Chungará DNR, Cotacotani DGA y Cotacotani DNR. Los valores anuales se rellenan con Cotacotani DNR.
Cotacotani	DGA	Se rellenan valores aislados con Cotacotani DNR. En caso de no ser posible, se utiliza Chungará Retén y Chungará DNR. Los valores anuales se rellenan con Cotacotani DNR.
Cotacotani	DNR	Se rellena anualmente y parcialmente con Cotacotani DGA. En caso de no ser posible, se utiliza el mismo tratamiento que en Cotacotani DGA.
Guallatire	DGA	Se utiliza como estación apoyo. No se rellena, debido a baja correlación con estaciones vecinas.
Isla Blanca	DGA	No se utiliza, control suspendido.
Parinacota Conaf	DGA	No se utiliza, control suspendido.
Parinacota (Ex-Endesa)	DGA	Se elimina, longitud del registro demasiado breve.
Tignamar	DGA	Se rellenan valores aislados con Belén unificada y Central Chapiquiña. Se extiende con Belén

Fecha elaboración: 22-Julio-1996

Fuente: Elaboración propia

En las Figuras 2.1-1 a 2.1-5, se observan las curvas doble acumuladas de las distintas estaciones integrantes del patrón versus el propio patrón, donde se observa que las estadísticas son homogéneas. Las Figuras 2.1-6 a 2.1-8, muestran las curvas doble acumuladas para las estaciones Central Chapiquiña, Cotacotani DGA y Tignamar. Como puede observarse de estas últimas curvas, se aprecia homogeneidad en estas estaciones, siendo la excepción la estación Central Chapiquiña, donde existen dos precipitaciones en exceso que corresponden a los años 1975 y 1976, un cambio de pendiente a partir del año 1972 hacia atrás y precipitaciones por defecto en los años 1962 y 1963. En razón a lo anterior, se procedió a homogeneizar esta última estación, previa verificación en planillas originales de la información que aparece anómala utilizando los procedimientos de rutina establecidos para estos efectos.

En el caso de las precipitaciones por defecto o exceso, se tiene:

$$P_c = P_{xp} * A$$

En el caso de cambios de pendiente, se tiene:

$$P_c = P_{xb} * A_b / A_x$$

donde

$P_c$  = Precipitación corregida.

$P_{xp}$  = Precipitación medida en el patrón pluviométrico.

$P_{xb}$  = Precipitación medida en la estación base.

$A$  = Pendiente de la curva doble acumulada de la estación a corregir.

$A_x$  = Pendiente del período a corregir de la curva doble acumulada.

$A_b$  = Pendiente del período base supuesto correcto en la curva doble acumulada.

En el Anexo 2.1-3 se presenta la estadística corregida de la estación Central Chapiquiña, mientras que en la Figura 2.1-9 se ha graficado la curva doble acumulada de esta estación homogenizada versus el patrón pluviométrico.

Por otra parte, las pendientes de las curvas doble acumuladas de los distintos períodos para cada estación, se indican en el Cuadro 2.1-3.

### iii) Extensión de estadísticas

Para extender la estadística de la estación Tignamar al período de análisis de 33 años manteniendo a su vez la homogeneidad y variabilidad propia de las estaciones individuales, se utilizó el siguiente procedimiento.

Fig. 2.1 - 1

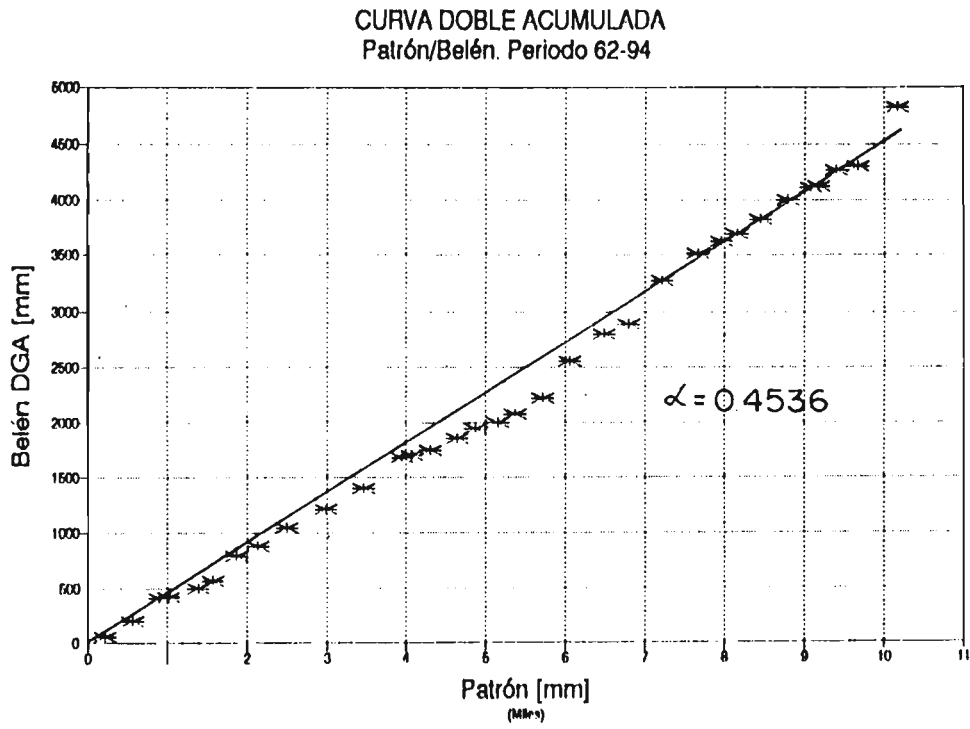


Fig. 2.1 - 2

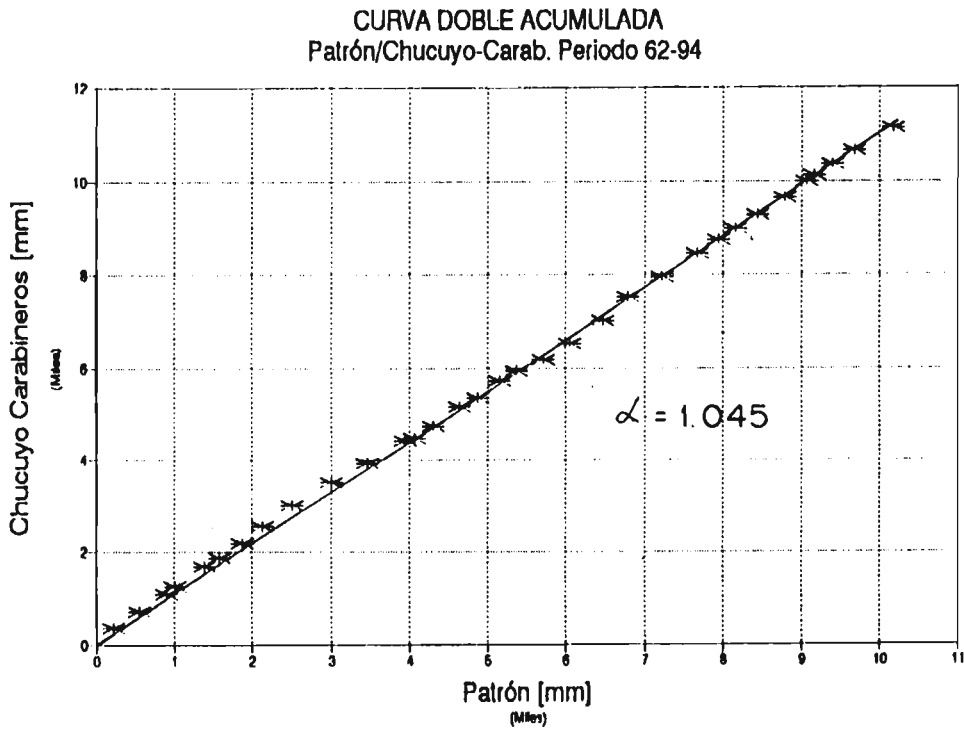


Fig. 2.1 - 3

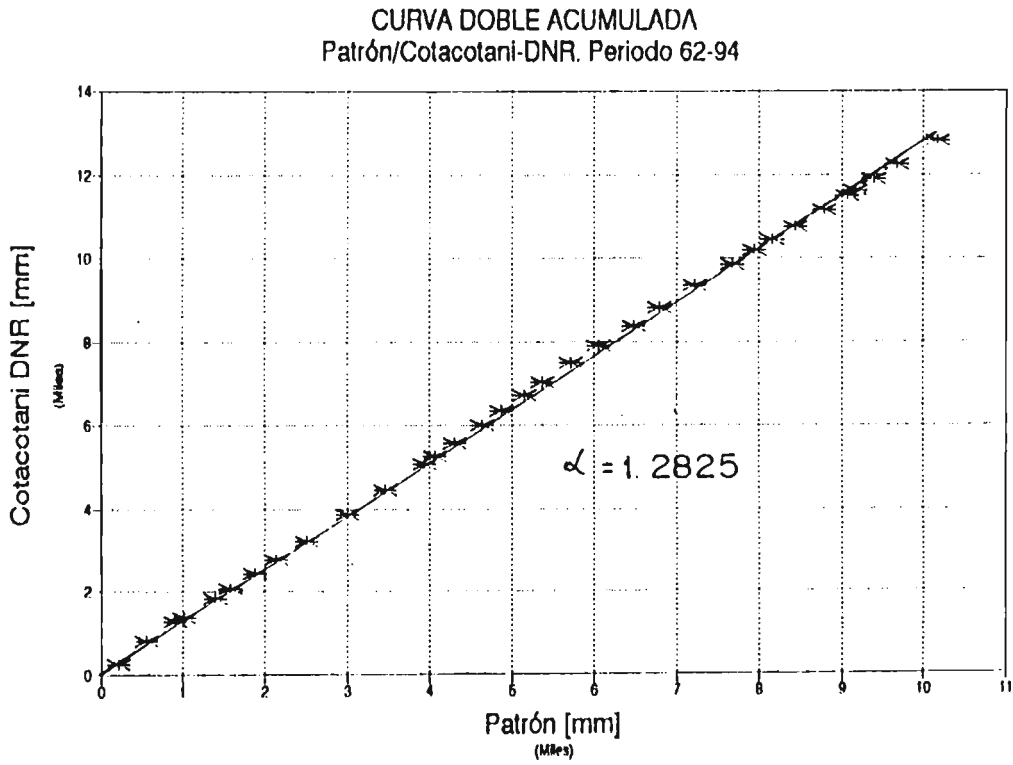


Fig. 2.1 - 4

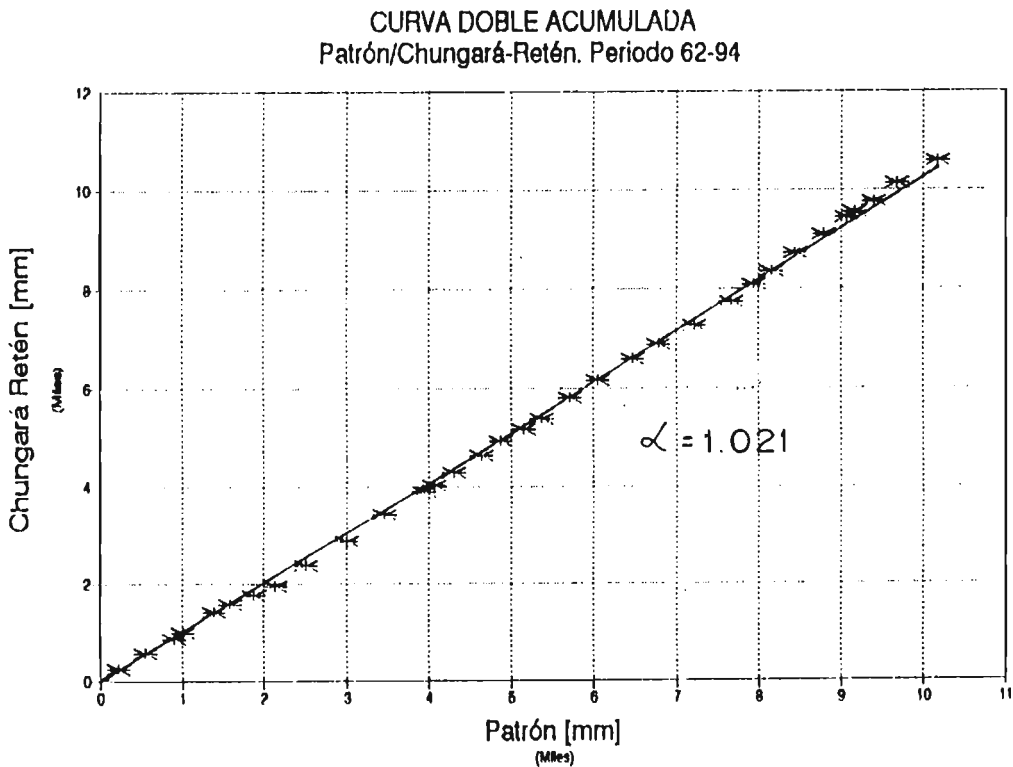


Fig. 2.1 - 5

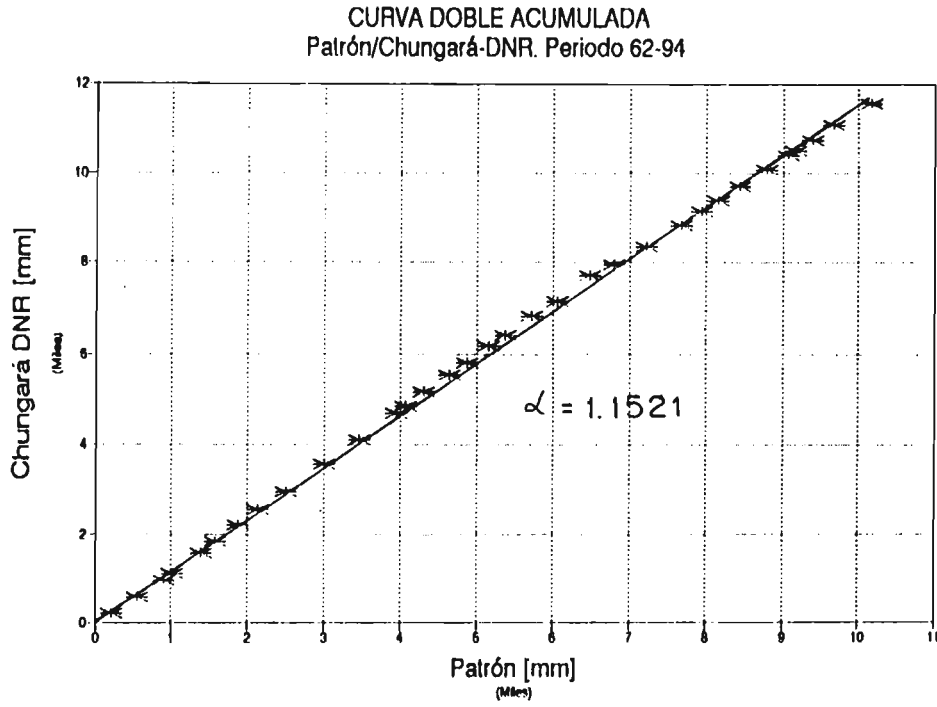


Fig. 2.1 - 6  
ESTADISTICA ORIGINAL

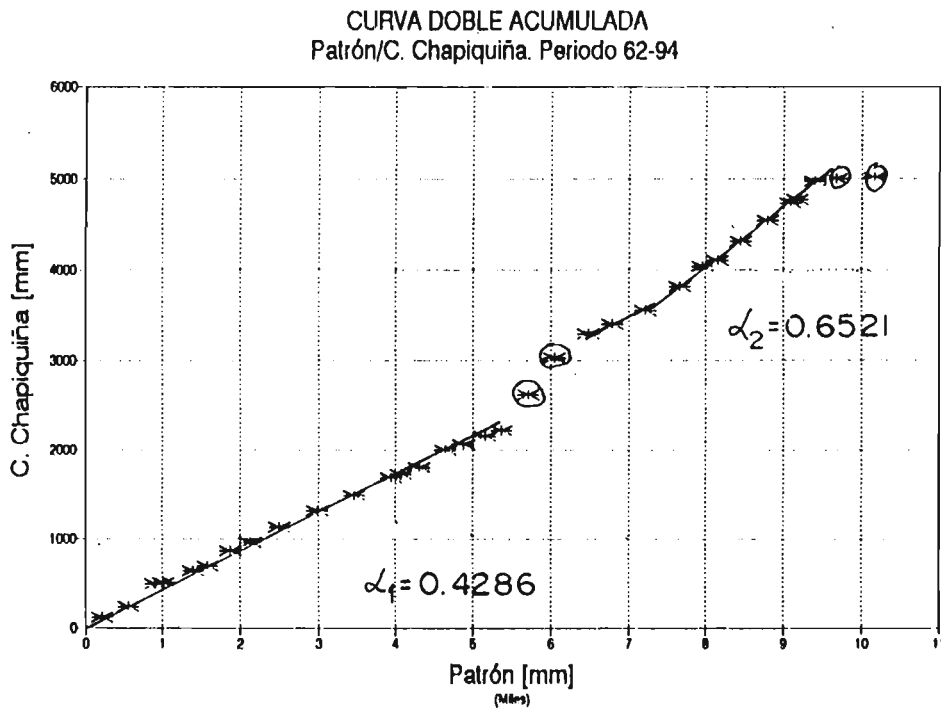




Fig. 2.1 - 7

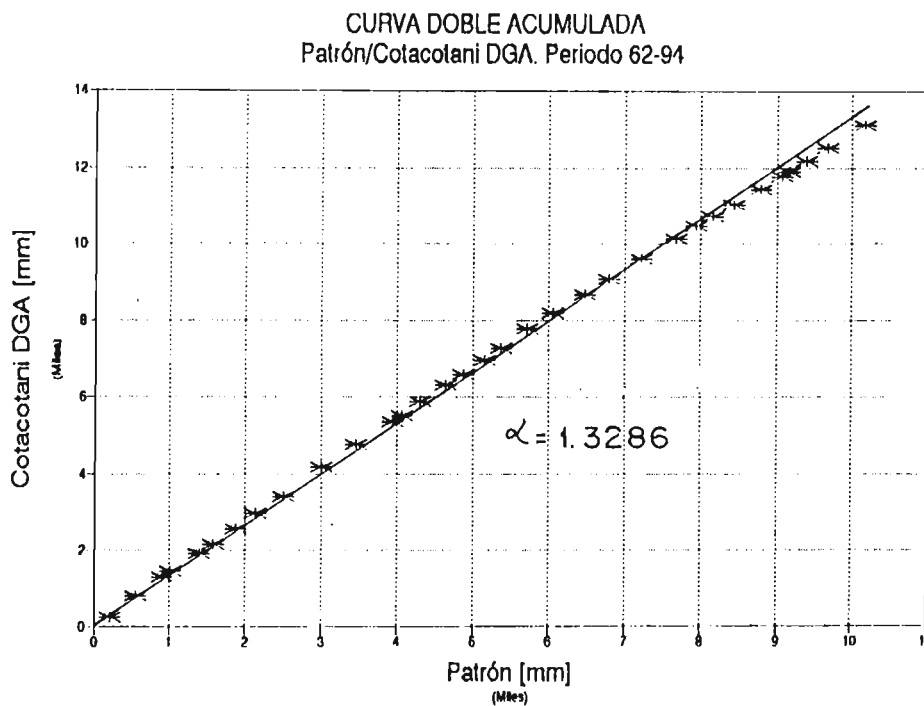


Fig. 2.1 - 8

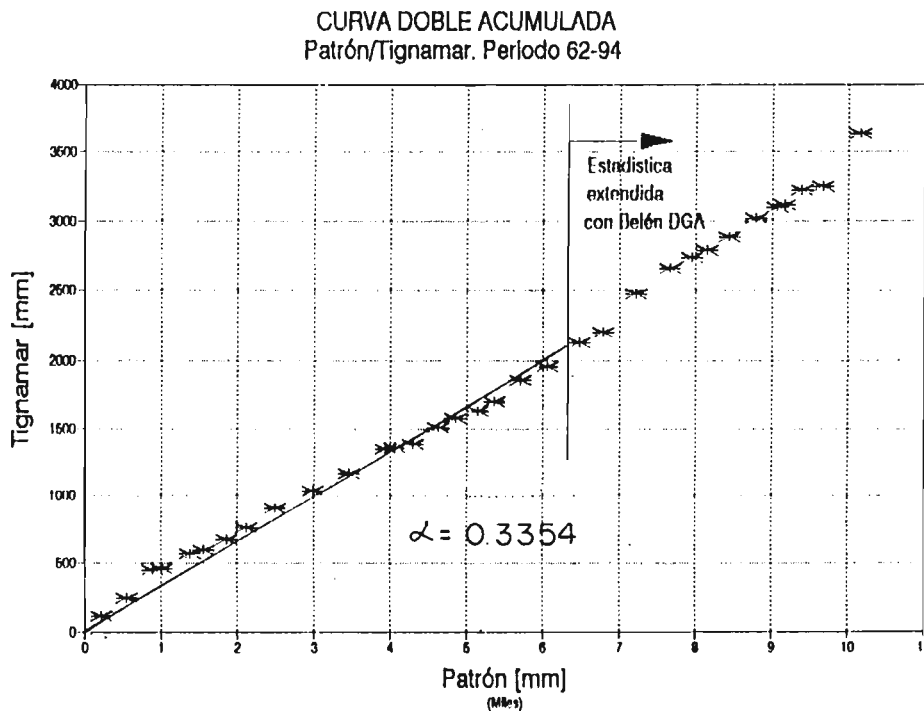
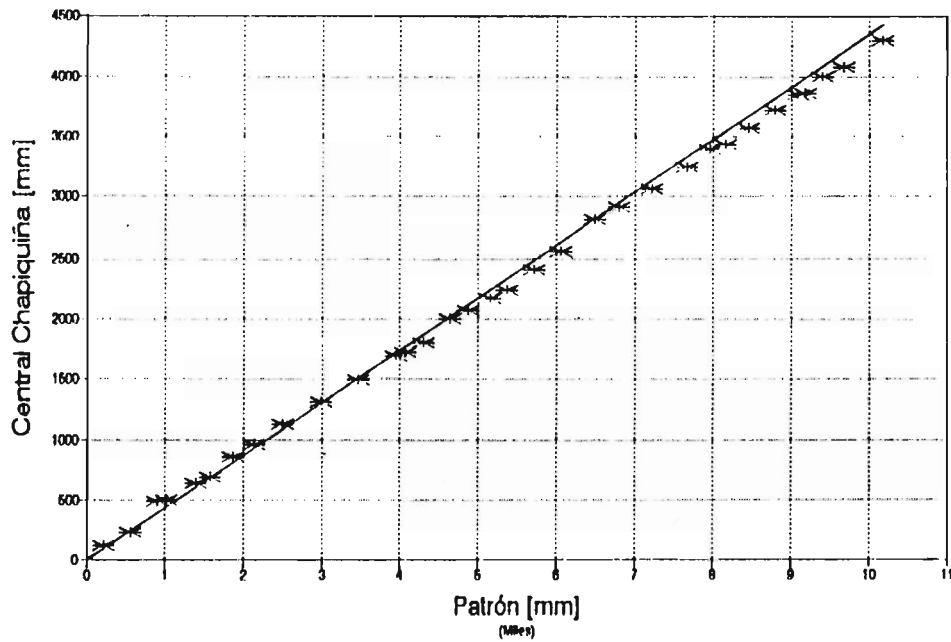


Fig. 2. 1 - 9  
 ESTADISTICA HOMOGENEIZADA

CURVA DOBLE ACUMULADA  
 Patrón/C. Chapiquiña. Periodo 62-94



CUADRO 2. 1 - 3

PENDIENTES DE LAS CURVAS DOBLE ACUMULADAS

N. ESTACION	PERIODO	PENDIENTE
BELEN DGA	1962-1994	0.4536
CHUCUYO CARABINEROS	1962-1994	1.045
COTACOTANI DNR	1962-1994	1.2825
CHUNGARA RETEN	1962-1994	1.021
CHUNGARA DNR	1962-1994	1.1521
CENTRAL CHAPIQUIÑA	1964-1972	0.6521
	1977-1994	0.4286
COTACOTANI DGA	1962-1994	1.3286
TIGNAMAR	1975-1994	0.3354

Se seleccionó una estación cercana que tuviera el período faltante, que en este caso fue Belén DGA. Se obtuvo la pendiente entre el patrón pluviométrico y cada una de las estaciones (Belén y Tignamar). Posteriormente, se calculó el factor de proporcionalidad entre ambas estaciones de la siguiente manera:

$$P_t = P_b * A_t / A_b$$

donde

$P_t$  = Precipitación anual en la estación a extender (Tignamar)

$P_b$  = Precipitación anual en la estación base (Belén)

$A_t$  y  $A_b$  = Pendiente de la curva acumulada respecto al patrón pluviométrico de la estación a extender y la estación base respectivamente.

La estadística extendida de la estación Tignamar se puede observar en el Anexo 2.1-3, mientras que en la Figura 2.1-8, citada en el punto anterior, se indica el período correspondiente a la extensión de datos en este punto a partir de la estación Belén.

#### d) Estadísticas Mensuales Definitivas

En base a los procedimientos antes descritos, se logró obtener la precipitación media total anual para un total de 8 estaciones, 6 de las cuales poseen estadísticas homogéneas para el período de 33 años.

Estas estadísticas definitivas corresponden a las que se presentan en el Anexo 2.1-2 para las estaciones Belén, Chucuyo Carabineros, Chungará, Chungará Retén, Cotacotani DGA y Cotacotani DNR. Para el caso de las estaciones Central Chapiquiña y Tignamar, las estadísticas definitivas utilizadas corresponden a las del Anexo 2.1-3, en razón de que en estos puntos fue necesario realizar los procedimientos de homogeneización y extensión, respectivamente.

En el Cuadro 2.1-4 se presenta el listado de las estaciones utilizadas en definitiva para el presente estudio, indicando el promedio anual correspondiente al período 1962-1994.

**CUADRO 2.1 - 4**  
**PRECIPITACIONES MEDIAS (mm) PERÍODO 1962-1994**

NOMBRE ESTACION	INSTITUCIÓN	PRECIPITACIÓN (mm)
BELÉN	DGA	146.0
C. CHAPIQUIÑA	DGA	124.0
CHUCUYO CARABINEROS	DGA	337.4
CHUNGARA	DNR	350.6
CHUNGARA RETEN	DGA	320.0
COTACOTANI	DGA	396.5
COTACOTANI	DNR	387.3
TIGNAMAR	DGA	109.9

Fecha de elaboración: 22-julio-1996; Fuente: elaboración propia

## 2.2 FLUVIOMETRÍA

### 2.2.1 Introducción

El objetivo del estudio es determinar las estadísticas de caudales medios mensuales que permitan caracterizar los recursos hídricos disponibles en el Sistema Lauca - Azapa y contar entonces con los antecedentes necesarios para su modelación.

Los recursos hídricos superficiales del valle de Azapa provienen principalmente de la cuenca del río Lauca, siendo transportados hacia las zonas de riego a través del canal Lauca que entró en servicio en abril de 1962. La bocatoma del canal permite captar los caudales entregados por la laguna Cotacotani, de unos 20 millones de m<sup>3</sup> de capacidad y los de las ciénagas de Parinacota, que corresponden al aporte natural de la cuenca intermedia entre Cotacotani y la bocatoma.

El canal Lauca, con un recorrido de canal revestido de más de 28 Km y un túnel de 4500 m, conduce las aguas hasta la central hidroeléctrica Chapiquiña, aguas abajo de la cual se descargan, manteniendo un caudal relativamente constante a través del estanque de compensación, al cauce natural de la quebrada Cosapilla, para alcanzar el río Seco y posteriormente el río San José. Poco aguas abajo se juntan con los eventuales excedentes de las cuencas prealtiplánicas, quebradas Tignamar y Zapahuira o río Seco, para luego proseguir,

sin ningún otro aporte, hasta la zona de la bocatoma del canal de Azapa donde es captado para su uso en el regadío del valle.

Los recursos propios de las cuencas prealtiplánicas de los ríos Tignamar y seco son escasos, provienen principalmente de vertientes y se aprovechan en el riego de las áreas cultivadas en las diferentes quebradas tributarias, como son Murmuntani, Chapiquiña, Lupica, Belén y Tignamar, de modo que el caudal que llega al río San José es en realidad el excedente o sobrante. Estos excedentes son más importantes durante los meses de diciembre a marzo, época del llamado invierno boliviano, cuando ocurren lluvias de cierta importancia en la zona.

Dado el origen de los caudales del sistema Lauca Azapa, según se ha explicado precedentemente, los antecedentes requeridos para modelar sus recursos superficiales son los que permiten determinar los afluentes a la laguna Cotacotani, los aportes naturales de las ciénagas de Parinacota y los excedentes de las cuencas prealtiplánicas Tignamar y río Seco.

Como no existen mediciones directas para ninguno de los antecedentes requeridos, debe recurrirse a métodos indirectos para obtenerlos.

Los afluentes a la laguna Cotacotani deben deducirse mediante un balance hídrico a partir de los controles de niveles, curvas de embalse, mediciones de evaporación y precipitación y caudal de entrega que lleva la Dirección de Riego para la laguna.

La ecuación de balance para la laguna es

$$Q_{aflCC} = Q_{eflCC} + Q_{vrtCC} + Q_{evpCC} - Q_{lluCC} + (V_f - V_i) / T$$

donde

$Q_{aflCC}$  es el afluente a la laguna

$Q_{eflCC}$  es el caudal entregado

$Q_{vrtCC}$  es el caudal evacuado por el vertedero

$Q_{evpCC}$  es el caudal perdido por evaporación

$Q_{lluCC}$  es el aporte de las lluvias

$V_f$  y  $V_i$  son los estados finales e iniciales de la laguna

$T$  es el número de segundos del mes.

A su vez, los aportes naturales de las ciénagas de Parinacota deben determinarse como la diferencia entre su caudal saliente y su entrante. Este último es el caudal entregado por Cotacotani y el saliente es el caudal del canal Lauca sumado con el caudal vertido por la obra de toma, caudal este último que es de importancia solamente en los días en que hay crecidas, durante los meses del invierno boliviano.

Algebraicamente se tiene

$$Q_{aflCP} = (Q_{capCL} + Q_{vrtCL}) - (Q_{eflCC} + Q_{vrtCC})$$

donde

$Q_{aflCP}$  es el afluente natural de las ciénagas

$Q_{capCL}$  es el caudal captado por el canal Lauca

$Q_{vrtCL}$  es el caudal del vertedero de la bocatoma del canal Lauca

De igual manera la estadística de excedentes de la cuenca alta del río San José debe obtenerse restando a los caudales del río San José, según se mide en la estación San José antes bocatoma Azapa, los caudales descargados por la central Chapiquiña, habida consideración de los derechos de aprovechamiento de los regantes de las quebradas de Laco y Cosapilla y de la pérdida de caudal por infiltración en el lecho del río en el tramo entre Ausípar y la bocatoma del canal de Azapa.

La ecuación para este caso es

$$Q_{excSj} = Q_{Sjaza} / (1 - p) - (1 - d) * Q_{ch}$$

en que

$Q_{excSj}$  es el caudal excedente de la cuenca alta del río San José

$p$  es la pérdida de caudal en el tramo Ausípar y bocatoma Azapa

$d$  es el derecho de los regantes de Laco y Cosapilla

$Q_{ch}$  es el caudal descargado por la central Chapiquiña

La Dirección General de Aguas (DGA), la Dirección de Riego del MOP (DR) y la empresa Edelnor, propietaria de la central Chapiquiña, mantienen controles fluviométricos en la zona y cuentan con estadísticas de caudales, las que ya han sido objeto de análisis hidrológicos como parte de diferentes estudios desarrollados para este valle.

Es por ello que la información fluviométrica se obtuvo de estudios anteriores y se complementó con datos obtenidos directamente en la DGA y en la DR.

En la Figura 2.2-1 se muestra la zona del estudio y la ubicación de las estaciones fluviométricas y también pluviométricas existentes en ella.

La bibliografía consultada, que ha permitido contar con los datos más completos y que es utilizable en el presente estudio, es la siguiente:

“Análisis Operacional del Sistema Lauca - Azapa”, elaborado por Conic - bf en 1995 para la Dirección de Riego.

“Diagnóstico de Pérdidas en Canales de Riego Lauca - Azapa”, desarrollado por Conic bf en 1991 para la Dirección de Riego.

Los antecedentes obtenidos del estudio de Conic - bf 1995, corresponden a las estadísticas fluviométricas originales, complementadas con los datos de los últimos años recopilados en DGA y DR, a estadísticas de caudales medios mensuales rellenas y extendidas, a estadísticas calculadas a partir de estas últimas y a antecedentes de laguna Cotacotani que permiten deducir sus afluentes con un balance hídrico.

Los antecedentes obtenidos del estudio de Conic - bf 1991, corresponden a información relativa a las características del canal Lauca en cuanto a capacidad y eficiencia de conducción y a las características de pérdidas por infiltración en el lecho del río San José en el tramo entre Ausípar y la bocatoma del canal Azapa.

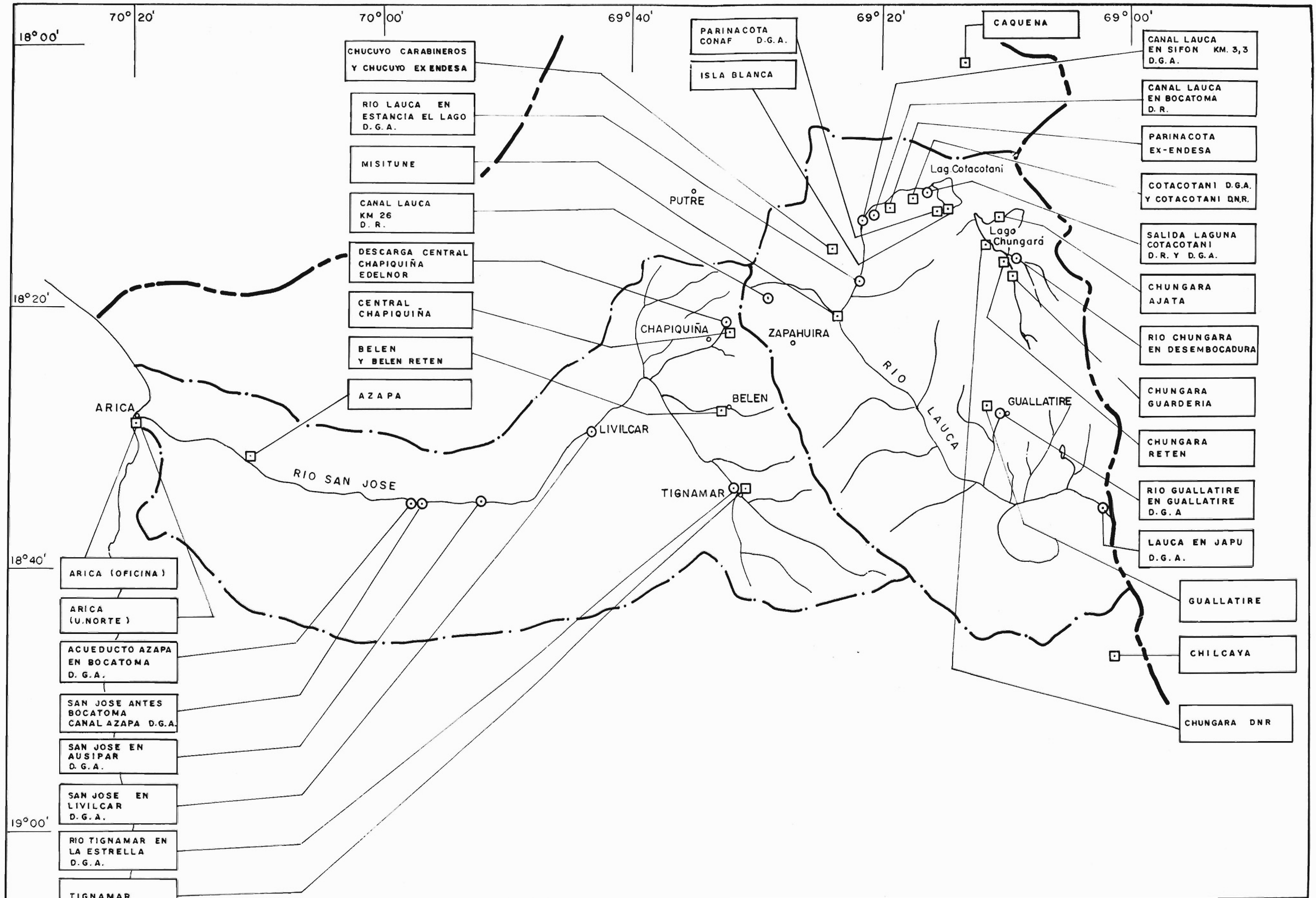
### 2.2.2 Recopilación de Información Disponible

Las estadísticas originales de caudales medios mensuales, obtenidas del estudio de Conic - bf 1995 y complementadas con los datos del último período proporcionados por DGA y DR que se presentan en el Anexo 2.2-1, son las siguientes:

- Desaguadero Cotacotani, DGA
- Desaguadero Cotacotani, DR
- Canal Lauca en Bocatoma, DR
- Canal Lauca en sifón N° 1, Km 3,3 DGA
- Descarga central Chapiquiña, Edelnor
- San José en Ausípar, DGA
- San José antes Bocatoma Azapa, DGA
- Acueducto Azapa en Bocatoma, DGA

Además, y para su eventual uso en el desarrollo de relaciones para pronosticar los afluentes a Cotacotani, se ha agregado la estadística de niveles del lago Chungará correspondientes al día 31 de marzo de cada año, tomada del informe de Conic-bf de 1995, que se encuentra en el Anexo 2.2-1.

En el Cuadro 2.2-1 se presenta un diagrama de barras con la longitud y período de información fluviométrica disponible a nivel mensual para todas las estaciones existentes en la zona del estudio. En cada año se indica el número de meses que cuenta con datos.



18°00' 70°20' 70°00' 69°40' 69°20' 69°00'

18°20' 18°40' 19°00'

CHUCUYO CARABINEROS Y CHUCUYO EX ENDESA

RIO LAUCA EN ESTANCIA EL LAGO D.G.A.

MISITUNE

CANAL LAUCA KM 26 D.R.

DESCARGA CENTRAL CHAPIQUIÑA EDELNOR

CENTRAL CHAPIQUIÑA

BELEN Y BELEN RETEN

AZAPA

ARICA

RIO SAN JOSE

ARICA (OFICINA)

ARICA (U.NORTE)

ACUEDUCTO AZAPA EN BOCATOMA D.G.A.

SAN JOSE ANTES BOCATOMA CANAL AZAPA D.G.A.

SAN JOSE EN AUSIPAR D.G.A.

SAN JOSE EN LIVILCAR D.G.A.

RIO TIGNAMAR EN LA ESTRELLA D.G.A.

TIGNAMAR

PARINACOTA CONAF D.G.A.

ISLA BLANCA

PUTRE

CHAPIQUIÑA

ZAPAHUIRA

BELEN

LIVILCAR

TIGNAMAR

CAQUENA

Lago Cotacotani

Lago Chungará

GUALLATIRE

CHILCAYA

CHUNGARA DNR

CANAL LAUCA EN SIFON KM. 3,3 D.G.A.

CANAL LAUCA EN BOCATOMA D.R.

PARINACOTA EX-ENDESA

COTACOTANI D.G.A. Y COTACOTANI DNR.

SALIDA LAGUNA COTACOTANI D.R. Y D.G.A.

CHUNGARA AJATA

RIO CHUNGARA EN DESEMBOCADURA

CHUNGARA GUARDERIA

CHUNGARA RETEN

RIO GUALLATIRE EN GUALLATIRE D.G.A.

LAUCA EN JAPU D.G.A.

GUALLATIRE

CHILCAYA

CHUNGARA DNR

SIMBOLOGIA

- ⊙ ESTACION FLUVIOMETRICA
- ESTACION PLUVIOMETRICA (D.G.A.)

<b>AC Ingenieros Consultores</b> PLANO <b>UBICACION DE ESTACIONES PLUVIOMETRICAS Y FLUVIOMETRICAS</b>	PROYECTO <b>MODELO DE SIMULACION HIDROLOGICO OPERACIONAL CUENCA DEL RIO SAN JOSE</b>	FECHA <b>JULIO -1996</b>
	ESCALA	FIGURA <b>2.2 -1</b>



Cuadro 2.2 - 1  
ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS

DECADA	1940									1950									1960									1970									1980									1990																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9									
NOMBRE ESTACION / AÑO HIDROLÓGICO																																																																					
ACUEDUCTO AZAPA EN B.T.																																																																					
CANAL LAUCA EN B.T.																																																																					
CANAL LAUCA EN Km 26,16																																																																					
CANAL LAUCA EN SIFÓN N°1 (Km 3,3)																																																																					
CHUNGARA EN DESEMBOCADURA																																																																					
DESAGUADERO EN COTACOTANI																																																																					
DESCARGA CENTRAL CHAPIQUINA																																																																					
GUALLATIRE EN GUALLATIRE																																																																					
LAUCA EN ESTANCIA EL LAGO	c	c	c	3						b	b	6							3	5	c	5							6	c	a																																						
LAUCA EN JAPU																																																																					
RÍO TIGNAMAR EN LA ESTRELLA																																																																					
SALIDA LAGUNA COTACOTANI																																																																					
SAN JOSÉ EN AUSIPAR																																																																					
SAN JOSÉ ANTES DE B.T. AZAPA																																																																					
SAN JOSÉ EN LIVILCAR	c	c	b	c	a																																																																

NOTA: El año hidrológico comienza el 1° de octubre y termina el 30 de septiembre

Simbología:

- 1,2,3...9 : Número de meses con información  
a : Año con 10 meses de información  
b : Año con 11 meses de información  
c : Año con 12 meses de información

### ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS

ROL BNA	NOMBRE	CONTROL	TIPO	LATITUD (° ')	LONGITUD (° ')	ELEVACIÓN (msnm)
01310004-7	ACUEDUCTO AZAPA EN B.T.	DGA	LG	1830	7000	960
Dir. de Riego	CANAL LAUCA EN B.T.	DR	LG	-	-	-
Dir. de Riego	CANAL LAUCA EN Km 26,16	DR	LG	-	-	-
01020004-0	CANAL LAUCA EN SIFÓN N°1 (Km 3,3)	DGA	LG	1813	6918	4384
01010002-K	CHUNGARÁ EN DESEMBOCADURA	DGA	LG	1817	6508	4518
01020002-4	DESAGUADERO EN COTACOTANI	DGA*	LG	1812	6917	4500
EDELNOR	DESCARGA CENTRAL CHAPIQUIÑA	EDELNOR	LG	-	-	-
01021002-K	GUALLATIRE EN GUALLATIRE	DGA	LG	1829	6909	4280
01020003-2	LAUCA EN ESTANCIA EL LAGO	DGA	LG	1813	6918	4370
01021001-1	LAUCA EN JAPU	DGA	LG	1836	6901	3907
DGA	RÍO TIGNAMAR EN LA ESTRELLA	DGA	-	-	-	-
Dir. de Riego	SALIDA LAGUNA COTACOTANI	DR*	LM	-	-	-
01310002-0	SAN JOSÉ EN AUSIPAR	DGA	LG	1835	6953	1300
01310003-9	SAN JOSÉ ANTES DE B.T. AZAPA	DGA	-	-	-	-
01310001-2	SAN JOSÉ EN LIVILCAR	DGA	LG	1830	6943	-

LG: Limnigráfica

LM: Limnométrica

\*: son físicamente la misma estación. La DGA controla el limnigráfico y la DR el limnómetro.

Como se explicó anteriormente, para la modelación se necesitan los afluentes a la laguna Cotacotani, los aportes de las ciénagas de Parinacota y los excedentes propios de la cuenca alta del río San José, provenientes de los ríos Seco y Tignamar, pero dado que no existen controles fluviométricos directos para conocer estos recursos, resulta necesario determinarlos a partir de los datos de las estaciones existentes.

Como puede apreciarse en el diagrama de barras, las estadísticas presentan algunos meses sin información y otros con información incompleta, de modo que ha sido necesario rellenar los datos faltantes recurriendo a correlaciones entre ellas.

### 2.2.3 Evaluación de los Recursos Hídricos

El objetivo consiste en evaluar los recursos hídricos del sistema que interesan para el modelo de operación del sistema.

En el informe de Conic -bf 1995, se incluye un estudio hidrológico en que se evalúan los caudales en los puntos de interés para la modelación, después de analizar y completar sus estadísticas mediante correlaciones. Los resultados de ese análisis se consideran satisfactorios y adecuados, razón por la cual se han adoptado para el presente estudio.

Las estadísticas de esos puntos de interés rellenas por Conic - bf 1995, reproducidas del Anexo IV de su informe, se presentan en el Anexo 2.2-2 y son las siguientes:

San José antes Bocatoma Azapa, DGA  
 Acueducto Azapa en Bocatoma, DGA  
 Descarga central Chapiquiña, Edelnor  
 Bocatoma Canal Lauca, DR  
 Canal Lauca en sifón N° 1 , Km 3,3, DGA  
 Desaguadero en Cotacotani, DGA

A continuación se explica el procedimiento que permitió obtener las estadísticas requeridas para la modelación.

#### a) Afluentes a la Laguna Cotacotani.

El caudal afluente a la laguna se ha calculado como resultado de un balance volumétrico a nivel mensual empleando los datos de las planillas de control de la Dirección de Riego.

En el Anexo 2.2-3 se reproduce el balance volumétrico de la laguna Cotacotani, obtenido del Anexo VI del informe de Conic - bf 1995

De este modo, el afluente se calcula sumando a la variación de almacenamiento en el período, el caudal registrado a la salida de la laguna y la evaporación desde el área inundada y restando la precipitación sobre la misma.

La ecuación de balance para la laguna, con las definiciones del punto 2.2.1, es

$$Q_{aflCC} = Q_{eflCC} + Q_{vrtCC} + Q_{evpCC} - Q_{lluCC} + (V_f - V_i) / T$$

La Dirección de Riego lleva un control diario de estas variables desde el año 1978, para el período anterior a ese año se recurrió a los datos de evaporación y precipitación de la estación Cotacotani, los caudales de salida son los de la estación Desaguadero en Cotacotani y las variaciones de almacenamiento se obtienen con los niveles de agua a fin de mes transformando a caudal con la curva de embalse vigente.

Durante los años 1983 a 1985 el caudal afluente a Cotacotani incluye los aportes de la impulsión Ajata que condujo aguas del lago Chungará, los cuales fueron descontados obteniéndose finalmente el afluente a Cotacotani en régimen natural, estadística que se presenta en el Cuadro 2.2-2.

b) Aportes Netos de las Ciénagas de Parinacota

Entre la descarga de la laguna Cotacotani y la bocatoma del canal Lauca se producen aportes intermedios que es necesario considerar para evaluar los recursos totales disponibles para el canal Lauca.

Este aporte se evaluó como la diferencia entre el caudal saliente y el entrante a las ciénagas. El caudal entrante corresponde al registrado en la estación Desaguadero en Cotacotani DGA que se incluye como último cuadro del Anexo 2.2-2. El caudal saliente es el captado por el canal Lauca, según la estadística Bocatoma Canal Lauca DR, incluida como cuarto cuadro del Anexo 2.2-2.

**CUADRO 2.2 - 2 Fuente: Conic - bf 1995**  
**AFLUENTES A LAGUNA COTACOTANI.**  
**CAUDALES MEDIOS MENSUALES (l/seg)**

<b>AÑO</b>	<b>oct</b>	<b>nov</b>	<b>dic</b>	<b>ene</b>	<b>feb</b>	<b>mar</b>	<b>abr</b>	<b>may</b>	<b>jun</b>	<b>jul</b>	<b>ago</b>	<b>sep</b>	<b>prom</b>
<b>1967/68</b>	296	361	365	642	2447	739	643	369	252	301	361	382	<b>597</b>
<b>1968/69</b>	306	527	485	839	703	621	410	417	461	480	438	447	<b>511</b>
<b>1969/70</b>	160	655	389	694	558	342	411	378	388	338	311	362	<b>416</b>
<b>1970/71</b>	714	354	309	492	587	398	306	342	378	408	386	324	<b>417</b>
<b>1971/72</b>	288	179	494	876	562	700	500	434	526	497	523	382	<b>497</b>
<b>1972/73</b>	345	427	534	665	830	545	504	733	521	1093	674	510	<b>615</b>
<b>1973/74</b>	457	369	369	1229	1141	920	801	602	584	632	861	236	<b>683</b>
<b>1974/75</b>	544	436	371	624	1422	1235	783	809	792	723	790	657	<b>766</b>
<b>1975/76</b>	533	561	514	936	909	1033	676	697	742	788	701	852	<b>745</b>
<b>1976/77</b>	726	656	545	1456	1501	971	2976	738	33	1890	906	923	<b>1110</b>
<b>1977/78</b>	790	897	447	556	1442	745	787	608	810	788	732	864	<b>789</b>
<b>1978/79</b>	540	755	564	690	1196	559	769	802	808	716	683	600	<b>724</b>
<b>1979/80</b>	566	489	552	313	541	781	526	559	686	636	539	502	<b>558</b>
<b>1980/81</b>	460	403	462	474	782	617	548	431	481	510	459	428	<b>505</b>
<b>1981/82</b>	285	281	371	598	321	591	446	418	473	466	421	376	<b>421</b>
<b>1982/83</b>	400	212	206	452	266	608	407	391	422	400	287	208	<b>355</b>
<b>1983/84</b>	410	130	409	559	595	790	524	273	433	410	445	351	<b>444</b>
<b>1984/85</b>	301	434	308	319	959	786	589	454	573	507	504	442	<b>515</b>
<b>1985/86</b>	331	522	681	841	852	913	700	704	720	776	617	550	<b>684</b>
<b>1986/87</b>	633	717	756	1031	778	745	894	868	960	905	604	664	<b>796</b>
<b>1987/88</b>	640	706	660	1158	861	877	761	723	810	775	699	624	<b>775</b>
<b>1988/89</b>	507	577	751	963	730	803	572	604	637	706	664	670	<b>682</b>
<b>1989/90</b>	501	595	664	699	468	532	453	476	785	476	435	424	<b>542</b>
<b>1990/91</b>	395	198	670	627	500	68	542	490	455	532	499	462	<b>453</b>
<b>1991/92</b>	427	297	175	698	191	425	425	616	507	402	422	351	<b>411</b>
<b>1992/93</b>	333	323	300	491	303	364	468	360	472	374	384	316	<b>374</b>
<b>1993/94</b>	317	348	368	497	490	395	415	403	332	350	393	431	<b>395</b>
<b>Medio</b>	<b>452</b>	<b>460</b>	<b>471</b>	<b>719</b>	<b>812</b>	<b>670</b>	<b>661</b>	<b>544</b>	<b>557</b>	<b>625</b>	<b>546</b>	<b>494</b>	<b>584</b>
<b>Máximo</b>	<b>790</b>	<b>897</b>	<b>756</b>	<b>1456</b>	<b>2447</b>	<b>1235</b>	<b>2976</b>	<b>868</b>	<b>960</b>	<b>1890</b>	<b>906</b>	<b>923</b>	<b>1110</b>
<b>Mínimo</b>	<b>160</b>	<b>130</b>	<b>175</b>	<b>313</b>	<b>191</b>	<b>68</b>	<b>306</b>	<b>273</b>	<b>33</b>	<b>301</b>	<b>287</b>	<b>208</b>	<b>355</b>

La ecuación de balance para este caso, según las definiciones dadas en el punto 2.2.1, es:

$$Q_{afICP} = (Q_{capCL} + Q_{vrtCL}) - (Q_{eflCC} + Q_{vrtCC})$$

En el cálculo mismo se redujo el caudal de Bocatoma canal Lauca DR multiplicándolo por un coeficiente de 0.91, deducido de los aforos de 1995 y de la comparación con los caudales medios anuales de Canal Lauca en sifón N° 1 DGA.

A partir del año 1984, DR lleva un registro diario de niveles en la poza del vertedero de la bocatoma del canal Lauca, antecedente que permitió calcular el caudal con la ecuación para vertedero en pared gruesa y arista redondeada.

Los resultados de este cálculo para el período 1984 a 1995 mostraron que los caudales vertidos ocurren solamente en los meses de diciembre a abril y por otro lado se producen algunos valores errados por exceso, pues no se conoce el número de horas al día en que se produce vertimiento.

No obstante, se compararon los caudales medios anuales vertidos con los captados por el canal Lauca, llegándose a que, salvo tres años con valores dudosos por el error en exceso mencionado, el caudal vertido equivaldría a porcentajes entre 0,0 % y 5,7 % con un valor promedio de 2,5%. Dado lo poco significativo de estos caudales vertidos se decidió omitirlos, ello implica una estimación conservadora de los aportes naturales de las ciénagas, como se aprecia en la ecuación de balance y también de los recursos disponibles para el canal Lauca.

En el Cuadro 2.2-3 se presenta la estadística final de caudales de las ciénagas de Parinacota.

Para su relleno y extensión, la estadística de Desaguadero en Cotacotani se correlacionó a nivel mensual con la estadística de Salida Cotacotani de la Dirección de Riego. Esta última se correlacionó a su vez con las variaciones de almacenamiento de la laguna para ser completada.

Las estadísticas de Canal Lauca en Bocatoma y Canal Lauca en Sifón N°1 se rellenaron mediante correlaciones de caudales medios mensuales con los caudales de la descarga de la central Chapiquiña, que controla la empresa eléctrica Edelnor S:A. Esta última estación, dadas sus características, se considera la más confiable de todas las ubicadas en el canal Lauca.

**CUADRO 2.2 - 3 Fuente : CONIC - BF 1995**  
**APORTES NETOS CIENAGAS DE PARINACOTA.**  
**CAUDALES MEDIOS MENSUALES (l/seg)**

<b>AÑO</b>	<b>oct</b>	<b>nov</b>	<b>dic</b>	<b>ene</b>	<b>feb</b>	<b>mar</b>	<b>abr</b>	<b>may</b>	<b>jun</b>	<b>jul</b>	<b>ago</b>	<b>sep</b>	<b>prom</b>
1967/68	135	56	152	275	0	817	132	364	269	337	361	227	260
1968/69	206	212	138	70	551	311	52	212	199	284	286	207	227
1969/70	84	60	84	144	197	150	159	164	224	237	251	177	161
1970/71	134	88	58	328	865	502	148	207	154	295	267	191	270
1971/72	129	196	134	889	628	843	673	453	359	447	367	351	456
1972/73	297	0	27	534	703	535	274	0	0	0	239	364	248
1973/74	130	152	97	639	692	541	255	241	271	384	489	580	373
1974/75	9	112	116	436	748	1094	487	440	408	341	358	242	399
1975/76	261	46	212	734	781	617	289	246	408	532	469	268	405
1976/77	170	29	140	402	420	1021	531	454	369	341	326	305	376
1977/78	144	121	213	406	345	264	229	193	364	411	443	384	293
1978/79	273	197	226	445	219	605	217	249	350	488	412	299	332
1979/80	241	61	100	206	871	1054	310	287	363	406	319	297	376
1980/81	214	128	45	254	963	954	408	340	326	346	333	358	389
1981/82	135	96	154	472	336	330	231	237	250	406	396	364	284
1982/83	339	154	138	77	66	195	174	206	281	291	307	254	207
1983/84	183	66	54	533	928	1030	588	287	361	381	374	221	417
1984/85	417	956	175	416	494	724	923	404	432	266	273	293	481
1985/86	221	436	701	1185	1131	1394	839	510	576	562	590	434	715
1986/87	317	198	300	997	693	495	227	229	323	604	587	283	438
1987/88	161	80	0	539	463	506	494	341	309	330	266	132	302
1988/89	68	0	0	234	239	419	433	211	272	206	153	29	189
1989/90	93	0	0	97	170	184	133	171	410	325	279	141	167
1990/91	134	115	277	728	728	738	263	253	269	353	361	164	365
1991/92	165	160	97	456	152	100	132	180	264	302	410	265	224
1992/93	262	240	275	971	338	774	198	277	318	313	488	256	393
1993/94	182	69	456	556	1182	392	271	282	323	361	285	235	383
<b>Medio</b>	<b>189</b>	<b>149</b>	<b>162</b>	<b>482</b>	<b>552</b>	<b>614</b>	<b>336</b>	<b>275</b>	<b>313</b>	<b>354</b>	<b>359</b>	<b>271</b>	<b>338</b>
<b>Máximo</b>	<b>417</b>	<b>956</b>	<b>701</b>	<b>1185</b>	<b>1182</b>	<b>1394</b>	<b>923</b>	<b>510</b>	<b>576</b>	<b>604</b>	<b>590</b>	<b>580</b>	<b>715</b>
<b>Mínimo</b>	<b>9</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>70</b>	<b>0</b>	<b>100</b>	<b>52</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>153</b>	<b>29</b>	<b>161</b>

De acuerdo con los estudios y mediciones efectuados por Conic - bf, la estación Canal Lauca en bocatoma sobre estima el caudal en aproximadamente un 10%, por lo que decidió trabajar con la estadística corregida por el factor 0,91 tal como se señaló anteriormente en la determinación de los aportes de las ciénagas de Parinacota.

c) Excedentes de la Cuenca del Río San José

Estos caudales corresponden a los excedentes de las cuencas prealtiplánicas que son aportados por los ríos Seco y Tignamar al río San José en la parte alta de la cuenca.

Estos aportes se deducen a partir de los caudales de la estación San José antes Bocatoma Azapa y los de la descarga de la central Chapiquiña, pero tomando en cuenta las extracciones de los regantes de los sectores Laco Cosapilla y Livílcar Ausípar, como también las pérdidas o infiltraciones del río San José en su lecho en el tramo Ausípar y la bocatoma del canal Azapa.

Conceptualmente, el caudal de Chapiquiña, descontado lo que captan según derechos los regantes de Laco Cosapilla y sumado con los excedentes de la cuenca alta del río San José es el que llega a Ausípar donde sufre una cierta pérdida, llegando el resto a la zona de bocatoma del canal Azapa.

Algebraicamente, se puede escribir entonces la ecuación:

$$QSjaza = (1 - p) * [(1 - d) * QCh + QExc ]$$

siendo:

- Qsjaza : caudal del río San José antes de la bocatoma del canal Azapa
- Qch : caudal de la descarga de la central Chapiquiña.
- Qexc : caudal excedente propio de la cuenca alta del río San José.
- p : porcentaje de pérdidas del río San José en el tramo Ausípar y la bocatoma del canal Azapa.
- d : derechos de los regantes Laco Cosapilla.

Conic - BF estimó el porcentaje de pérdidas en el referido tramo en **20 %** a partir del análisis de las estadísticas de San José en Ausípar y San José antes bocatoma canal Azapa.

Comparando los caudales medios anuales de las estaciones Acueducto Azapa en bocatoma con los de la descarga de la central Chapiquiña, el estudio de BF Ingenieros Civiles del año 1991 llegó a que, en promedio, la pérdida del tramo es de 20,4 %, cifra que también se obtuvo como resultado de las corridas de aforo efectuadas en esa época.

Por otro lado, los resultados de las campañas de aforo efectuadas por este consultor permiten validar la cifra de **20 %**. Los resultados de estos aforos se incluyen en el Anexo 2.2-4.

El porcentaje de derechos de los regantes de Laco Cosapilla es de 131,94 acciones de un total de 2608,1 así que **d = 5,06 %**.

De la ecuación anterior se despeja QExc obteniendo:

$$QExc = QSjaza / (1 - p) - (1 - d) * Qch$$

La estadística final para QExc se presenta en el Cuadro 2.2 - 4.

Cabe señalar que la estadística elaborada por Conic - bf corresponde en realidad a los excedentes netos de la cuenca alta del río San José, es decir, equivale a los excedentes que llegarían a la bocatoma del canal Azapa habiendo experimentado una pérdida en el río de p%.

Como en la modelación podría ser de interés eventualmente representar situaciones en que dicho porcentaje p tuviera otro valor, resulta necesario disponer de los excedentes antes de dicha pérdida, razón por la cual en el presente informe se trabaja con QExc.

La estadística de QSjaza hubo que rellenarla y extenderla mediante correlaciones, antes de emplearla en el cálculo de QExc. Se establecieron correlaciones mensuales con los caudales captados por el canal Azapa y con los de la descarga de la central Chapiquiña.

Para los meses de enero a marzo, durante los cuales se producen normalmente las precipitaciones en esta región, las correlaciones no son muy buenas por lo que Conic - bf elaboró un índice de precipitaciones relacionándolo con el caudal neto  $(1-p)*QExc$ , y deduciendo para dichos meses QSjaza de la primera ecuación de balance anterior.





El índice de precipitaciones se formó con el promedio simple de las precipitaciones registradas en las estaciones Central Chapiquiña, Belén y Ticnamar pero ponderando las precipitaciones de los meses anteriores como una forma de considerar condiciones antecedentes de humedad.

La estadística de Acueducto Azapa en bocatoma se rellenó finalmente mediante correlaciones mensuales con los caudales de la descarga de la central Chapiquiña y con San José antes bocatoma Azapa.

La estadística de la descarga de la central Chapiquiña se presenta en el Anexo 2.2-1, mientras que las estadísticas fluviométricas finales rellenadas y extendidas de Acueducto Azapa en bocatoma y San José antes bocatoma Azapa se incluyen en el Anexo 2.2-2.

- 3                    ESTUDIO HIDROGEOLOGICO
- 3.1                GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA
- 3.1.1            Geología del Valle de Azapa y Sector Costero
- a)        Marco Geológico General

La cuenca del río San José nace en el sector precordillerano de la Provincia de Arica en la Pampa de Oxaya. Esta cuenca alcanza una superficie superior a los 3.000 Km<sup>2</sup> y lleva agua sólo en su parte superior mientras que en la parte inferior (parte baja del Valle de Azapa) llega al mar sólo esporádicamente.

El curso inferior del Valle de Azapa, comprendido entre la bocatoma del canal Azapa y su desembocadura en el mar se ha desarrollado cortando principalmente las formaciones Oxaya y Azapa, atravesando además rocas más antiguas del tipo intrusivo plutónico en el sector de Cabuza (intrusivo diorítico El Buitre) y rocas estratificadas volcánicas y sedimentarias Jurásicas y Cretácicas (Formaciones Camaraca, Los Tarros y Atajaña) en la banda sur del sector de la desembocadura situado aguas abajo de la quebrada de Llosyas (AC-DGA, 1989).

Las rocas más antiguas del área de la desembocadura corresponden a la Formación Camaraca (Jurásico Medio) la cual está constituida principalmente por lavas andesíticas con intercalaciones de calizas, lutitas y areniscas marinas fosilíferas. Esta secuencia se desarrolla en la franja costera constituyendo el cuerpo principal del Morro de Arica bajo una delgada cobertura de estratos de las formaciones Azapa y Oxaya. Inmediatamente al interior, extendiéndose hasta la zona de quebrada de Acha se desarrollan los estratos de la Formación Los Tarros (Jurásico Superior) constituida por areniscas, calizas y lutitas fosilíferas con algunas intercalaciones de lavas, todas ellas depositadas en un ambiente marino (AC-DGA, 1989).

Dispuestas discordantemente sobre lo anterior se desarrollan los estratos de la Formación Atajaña (Cretácico Superior). Estos constituyen el área comprendida entre las Quebradas de Acha y de Llosyas, y están compuestos por conglomerados gruesos con algunas intercalaciones de lavas silíceas y de areniscas grises, todas ellas depositadas aparentemente en un ambiente continental.

Las unidades anteriormente descritas están intruidas por batolitos los cuales desarrollan un cuerpo plutónico importante en el área de El Buitre, extendiéndose además en varios puntos entre quebrada de Acha y quebrada de Llosyas. La roca que constituye este cuerpo corresponde a una diorita. Por relaciones de contacto, en especial por el hecho de intruir la Formación Atajaña y subyacer las rocas de la Formación Azapa, se atribuye una edad Cretácica Media a Superior a este cuerpo plutónico. Cuerpos intrusivos similares al de El

Buitre se desarrollan además en el sector de Cabuza a ambos lados del valle de Azapa, dando origen en este sector a una especie de estrechamiento del valle (AC-DGA, 1989).

Las rocas estratificadas mesozoicas y los cuerpos intrusivos cretácicos están recubiertos en discordancia de erosión por los estratos de la Formación Azapa y de la Formación Oxaya, ambos asignados al Terciario. La Formación Azapa ha sido atribuida al Terciario Inferior (Tobar et. al., 1968) y está compuesta por areniscas de grano fino a medio, colores pardos claros, con intercalaciones de arcillolitas pardo oscuras y de conglomerados finos hacia el techo. El espesor total de esta secuencia es variable, desde unos pocos metros hasta aproximadamente 250 m, aumentando hacia el este. Esta unidad se distribuye en el área limítrofe entre las cuencas de Azapa y Camaraca, aflorando en la parte baja de los flancos de las quebradas principales, entre ellas en la de Azapa, y como remanentes sobre las rocas mesozoicas hacia la costa.

A la anterior se sobreponen los estratos de la Formación Oxaya de edad estimada Terciaria Superior. Esta unidad está compuesta por ignimbritas gris claras y tobas blancas. En la parte media de la secuencia se intercalan areniscas y conglomerados finos de piedra pómez. El espesor de esta secuencia es variable y queda comprendido entre 60 y 200 m, aumentando de oeste a este. Esta unidad se distribuye en prácticamente toda el área de la cuenca de Azapa, presentando buenos afloramientos en el flanco norte y parte superior del flanco sur de la quebrada de Azapa.

La formación Oxaya está recubierta en gran parte del área del interfluvio entre los valles de Azapa-Lluta y Azapa-Vitor por un manto de sedimentos continentales de la Formación El Diablo. Esta unidad ha sido atribuida al cuaternario y está constituida por una alteración de conglomerados y areniscas gruesas, de colores oscuros con intercalaciones de evaporitas. Su espesor está comprendido entre unos 50 y 150 m, aumentando de oeste a este; su techo corresponde a la superficie del terreno con recubrimientos en algunos sectores de depósitos de corrientes de barro recientes.

Las rocas mesozoicas de las formaciones Camaraca, Los Tarros y Atajaña presentan un manteo de unos 20 a 30° al este, con algunos pliegues suaves muy abiertos. Esta estructura contrasta notablemente con las de las rocas cenozoicas de las formaciones Azapa, Oxaya y El Diablo que se presentan prácticamente horizontales o con una suave inclinación, probablemente primaria o depositacional, hacia el oeste. Las rocas mesozoicas están fuertemente falladas según sistemas de dirección EW, NS y NE-SW. Estas fallas han condicionado un intenso fracturamiento de estas rocas.

Con posterioridad al Terciario Superior se habría producido una reactivación del fallamiento de dirección N-S, condicionando la formación del acantilado de la costa. Los sistemas de fallas mencionados han tenido movimientos relativamente recientes afectando las rocas cenozoicas en mayor o menor grado (AC-DGA, 1989).

b) Depósitos de Relleno Cuaternario del Valle de Azapa y Arica

En el sector comprendido por las laderas y fondo del valle de Azapa se han reconocido diferentes tipos de depósitos de relleno cuaternario entre los cuales cabe mencionar los depósitos marinos, fluviales, de remoción en masa o aluvionales y los coluviales. A continuación se describen las características más importantes que presentan estos depósitos, estableciéndose además su distribución en el Mapa Geológico-Geomorfológico (Plano 3.1-1) que acompaña al presente informe y que fue sintetizado a partir de la información recopilada (AC-DGA, 1989 y Vogel y Vila, 1980).

**Depósitos de playa actuales (Qp):** Estos depósitos están constituidos por arenas que forman una banda de unos 50 a 100 m de ancho en la zona litoral de la playa Chinchorro. El origen de estos depósitos está ligado a la actividad actual del mar en el área comprendida entre las bajas mareas y la marea más alta de tormenta.

**Depósito de la terraza marina costera (Qt):** Esta unidad constituye una terraza de altura comprendida entre 9 y 45 m sobre el nivel actual del mar y un ancho promedio en el sentido E-W de unos 3 a 3,5 Km; sobre ella se dispone la mayor parte de la ciudad de Arica. Esta terraza equivale a la unidad denominada Formación Concordia. Dicha formación de edad cuaternaria está compuesta de materiales de relleno, de origen continental y marino; consisten principalmente en aluviones y arenas con intercalaciones de arcilla, ceniza volcánica y horizontes de conchas, estos últimos ubicados en la parte superior de la formación y en las cercanías de la costa. Los rodados del aluvio, varían desde pocos centímetros a bolones y están formados por material volcánico cuaternario y las rocas antiguas de la región. El espesor aproximado para esta unidad es de 200 m, bajo la cual se tendría un basamento rocoso mesozoico. Se distinguen tres miembros estratigráficos dentro de la unidad "Concordia".

- un miembro superior de 30 a 40 m de espesor, compuesto por arena con intercalaciones de arcillolitas, conglomerado medio poco consolidado y conchas marinas. En este miembro se ubicarían principalmente las norias o captaciones superficiales que presentan una alta salinidad. No ofrece condiciones hidrogeológicas favorables.
- un miembro intermedio de unos 40 m de espesor constituido por ceniza volcánica con intercalaciones de arena, arcillolitas y ripio-bolones. En este miembro se ubicarían los principales acuíferos actualmente productores de agua (sondajes profundos de Arica). Cabe destacar que la naturaleza heterogénea de esta unidad explicaría la gran variabilidad de rendimientos observados en los pozos de más de 50 m de profundidad construidos en el sector costero de Arica.
- el miembro inferior de aproximadamente 120 m de espesor, constituido por arenas con intercalaciones de capas delgadas de arcillolitas y conglomerado medio a grueso poco consolidado.

Los depósitos de esta unidad se engranarían con los depósitos de la terraza fluvial, la cual se desarrolla valle arriba por el río San José. En superficie esta situación se manifiesta en un paso gradual y continuo debido a lo cual el contacto señalado entre dichas unidades es estimativo.

**Depósitos fluviales actuales (Qfa):** Los depósitos de esta unidad están restringidos al cauce actual de los ríos San José, Lluta y al de la quebrada de Acha. En el caso del río Lluta se localizan en forma abundante en su desembocadura con un ancho máximo de 1 kilómetro para luego restringirse el cauce actual del río. En el río San José se presentan con un ancho restringido en su curso inferior, con un promedio de unos 50 a 100 m en la zona de la desembocadura, el cual aumenta gradualmente valle arriba para alcanzar unos 300 m en la zona de Cabuza, continuando luego de la zona de Pampa Algodonal con un ancho de unos 400 m y ocupando prácticamente la totalidad del fondo del valle. Los depósitos de esta unidad consisten en una alternancia de capas lenticulares discontinuas de mezclas de grava, gravilla, arena y limos arcillosos, que a veces contienen bolones y a menudo presentan capas de arenas. Todo este conjunto está suelto o muy pobremente cementado. La granulometría de estos depósitos va engrosando continuamente aguas arriba de la desembocadura en el mar, en los cursos señalados. El origen de estos materiales es parcialmente fluvial de aguas limpias normales y parcialmente de aguas torrenciales o corrientes de barro.

**Depósitos fluviomarinos (Qfm):** En la desembocadura del río San José se desarrolla una pequeña depositación de sedimentos fluviales los cuales dan lugar a una especie de cuerpo deltaico menor. Estos forman una banda de unos 100 m de ancho a ambos lados de la desembocadura, constituida por sedimentos de preferencia finos del rango arenas y limos con algunos esporádicos fragmentos mayores de ripios y gravas. La edad de estos depósitos de confluencia de la acción marina con la fluvial es reciente.

**Depósitos fluviales aterrizados (Qft):** Esta unidad se extiende valle arriba desde la zona de engrane con la terraza marina, hasta al menos la zona de la bocatoma del canal Azapa. En la parte inferior se desarrolla prácticamente a todo lo ancho del valle con valores de unos 2,5 Km los cuales van disminuyendo gradualmente valle arriba para alcanzar 1 Km promedio en la zona de Cabuza y unos 100 a 200 m en la zona de la bocatoma. Morfológicamente constituye una terraza que se desarrolla a ambos lados del curso del río San José con alturas relativas por sobre el nivel actual de dicho río de unos 2 a 10 m. Las características de los depósitos que constituyen esta terraza son conocidas a través de los numerosos pozos, sondajes y norias que los han atravesado. El espesor máximo sería de 40 a 60 m. Los sedimentos corresponden a mezclas de gravas, arenas, limos y arcillas con intercalaciones de capas de cenizas riolíticas y algunos lentes con bolones y clastos desarrollados, así como depósitos evaporíticos de yeso y salinos. Estos sedimentos presentan un bajo grado de cohesión y corresponden por lo general a capas discontinuas o lentiformes, con una granulometría que tiende a engrosar aguas arriba. La edad estimada para estos depósitos es cuaternaria.

**Depósito de conos aluvionales y corrientes de barro (Qa):** Estos depósitos ocupan el fondo de quebradas laterales que confluyen al valle de Azapa distribuyéndose en gruesos espesores en el área de desembocadura de dichos tributarios. Los principales depósitos constituyen cuerpos en forma de abanicos o conos con anchos promedio comprendidos entre 400 y 1.000 m, y desarrollados en las desembocaduras de las quebradas de Acha, de Llosyas y del Diablo. Las características de estos depósitos se conocen sólo a través de cortes de calicatas labradas en la quebrada de Llosyas (sector alto Ramírez), en donde se exponen hasta unos 4 metros de arenas finas limosas y limos arenosos superiores con ripios gruesos de bolones con matriz limo arenosa suelta. Estos depósitos presentan baja consistencia y aspecto caótico. Se estima que su espesor total puede alcanzar a varias decenas de metros, predominando los agregados sedimentarios heterogéneos en tamaño y de alta energía. Estos abanicos han sido depositados preferentemente por aluviones torrenciales o avenidas esporádicas (corrientes de barro) ocurridas en ciclos que pueden comprender tanto lustros como decenas de años, originadas por lluvias locales en el área correspondiente a la Pampa y eventualmente zona precordillerana. En los depósitos correspondientes a esta unidad se pueden intercalar sedimentos fluviales limpios ocasionados durante la fase terminal de los fenómenos avenidales.

**Depósitos de remoción de masa (Qrm):** Estos depósitos se desarrollan en la ladera norte del valle de Azapa, en especial en su curso inferior comprendido entre 3 y 10 Km aguas arriba de su desembocadura. La mayor parte corresponde a bloques caídos, fragmentados y molidos, o a bloques poco movilizados que afectan afloramientos de rocas del Terciario Volcánico y sedimentario de las formaciones Azapa y Oxaya. El espesor de estos depósitos alcanza algunas decenas de metros y su extensión está limitada al faldeo y pie de la ladera de valle mencionada. El material que constituye estos depósitos corresponde a un agregado de bloques de lavas e ignimbritas riolíticas y gravas, arenas y cenizas derrumbados. Los factores que han favorecido la producción de estos fenómenos son por una parte topográficos, derivados de la existencia de laderas abruptas, y litográficos debido a la disposición en dichas laderas de rocas volcánicas densas y rígidas sobre sedimentos sueltos y frágiles o deleznable, todos ellos de edad terciaria.

**Depósitos coluviales (Qc):** Estos depósitos tienen una amplia distribución en la zona, desarrollándose en la mayor parte de las laderas del relieve. En parte se presentan como láminas o mantos desarrollados en los sectores medios y basales de las laderas, y en parte como conos al pie de surcos o cauces menores cortados en el relieve. Si bien su distribución es amplia, los depósitos más extensos se ubican en el faldeo de los cerros que caen hacia el sector de Chinchorro, en el faldeo de los cerros al suroeste de quebrada de Acha y en el faldeo sur y norte del sector de Pampa Algodonal. El material que constituye estos depósitos corresponde a un agregado de bloques angulosos y clastos menores con una matriz de fragmentos líticos de tamaño variado, acompañados de arena, limo y arcilla. Los depósitos presentan poca o ninguna estratificación interna y alcanzan algunas decenas de metros de espesor. Pueden presentar contenidos de arenas eólicas, yeso y de material salino o calcáreo.

**Rellenos Artificiales (RA):** Estos materiales corresponden principalmente a bloques con agregados de materiales muy finos, los cuales han sido utilizados tanto para la construcción de las obras del puente y molo de unión de la isla Alacrán, como para relleno del camino que va hacia la zona sur de la ciudad y playa de La Lisera. Estos materiales proceden principalmente al parecer de excavaciones efectuadas en la zona del morro de Arica.

c) **Propiedades Hidrogeológicas de las Diferentes Unidades**

Para los efectos del análisis del comportamiento como acuíferos de las diferentes unidades reconocidas en la zona éstas han sido separadas en dos tipos fundamentales: por una parte las rocas fundamentales mesozoicas y cenozoicas, y por la otra los rellenos cuaternarios (AC-DGA, 1989; Vogel y Vila, 1980 y Salas et al., 1966).

**Rocas Fundamentales.** Estas comprenden tanto las rocas mesozoicas integradas por las formaciones Camaraca, (Jurásico Inferior), Los Tarros (Jurásico Superior) y Atajaña (Cretácico Inferior), como las rocas Terciarias-Cuaternarias de las formaciones Azapa (Terciario Inferior), Oxaya (Terciario Superior) y El Diablo (Cuaternario).

Las rocas, fundamentalmente mesozoicas, son prácticamente impermeables y para los efectos de existencia de acuíferos se les puede considerar sin posibilidades de contener aguas subterráneas.

Las rocas Terciarias-Cuaternarias de las formaciones mencionadas presentan tanto niveles permeables representados por lavas, tobas e ignimbritas riolíticas como sedimentos y rocas sedimentarias de grano medio (areniscas) a grueso (conglomerados), los cuales son poco cementados en algunos niveles y presentan buenos valores de permeabilidad. La presencia por otra parte de fracturas y fallas en las rocas volcánicas impermeables de estas unidades provee de buenas vías de circulación de las aguas contenidas en los niveles permeables y puede eventualmente alimentar subterráneamente a acuíferos situados en la base de rellenos euaternarios. La calidad de estas rocas como acuíferos es sin embargo reducida y su principal importancia radicaría en la presencia de acuíferos confinados y eventualmente fuentes termales.

**Rellenos Cuaternarios:** Los depósitos de rellenos cuaternarios constituyen los principales contenedores de agua subterránea. Estos depósitos están restringidos al fondo y laderas de los valles de la zona. Entre éstos, aquéllos que se restringen exclusivamente a la zona de laderas, como es el caso de los depósitos coluviales y de remoción en masa, tienen un valor nulo como acuíferos, debido a su granulometría e impermeabilidad y a que se encuentran fuera o desconectados de las zonas de recarga.

Los depósitos de conos aluvionales y corrientes de barros corresponden a sedimentos de granulometría muy heterogénea y poco “lavados”, debido a lo cual su



permeabilidad es baja. El valor de esta unidad como acuífero es en consecuencia bajo o nulo con excepción de algunos niveles permeables intercalados que corresponden a facies fluviales.

Los depósitos fluviales actuales y antiguos o aterrazados, constituyen las principales vías para la circulación y recarga de las aguas subterráneas. Dentro de ellas existen sin embargo condiciones muy variables, desde niveles de granulometría fina o muy heterogénea con valores de permeabilidad muy bajos, a niveles de granulometría gruesa o “lavadas” los cuales presentan valores altos de permeabilidad. La estructura lateral de estos niveles es también discontinua derivada del desarrollo de paleocanales.

Los depósitos de terrazas marinas no constituyen por su ubicación áreas favorables para la recarga de las napas subterráneas. Sin embargo, debido a que ellas se conectan lateralmente con depósitos fluviales modernos y antiguos, constituyen buenas vías de circulación para las aguas subterráneas (miembros intermedios e inferior de la formación Concordia). El problema principal para su aprovechamiento como fuente de agua se relaciona con la gran heterogeneidad de sus secuencias estratigráficas.

#### d) Prospecciones Geofísicas en el Valle de Azapa

Finalmente, para completar la identificación y delimitación de las formaciones sedimentarias cuaternarias se efectuó un estudio de prospección geofísica por gravimetría en la zona costera de la ciudad de Arica y del Valle de Azapa (ver Anexo 3.1-1). En Arica se tomaron puntos aislados configurando una red que se extiende por toda la ciudad y un perfil transversal que parte del Morro de Arica y termina en los cerros al Noreste de la ciudad. De esta forma se identificó adecuadamente la base de la formación sedimentaria marina en la cual se ubican los acuíferos principales. Otro objetivo fue el de investigar la existencia de alguna barrera rocosa en la costa que impida el ingreso de aguas salinas (mar) hacia los acuíferos profundos. La prospección no detectó dicha supuesta formación impermeable, sin embargo, la naturaleza de la formación marina La Concordia con sus estratos impermeables alternados con estratos permeables, explicarían la desconexión existente entre las napas profundas y el mar. Lo anterior se estudia en detalle en el punto correspondiente a las formaciones acuíferas.

Respecto del basamento en la zona costera, se obtuvo las siguientes conclusiones:

- A partir del Morro de Arica el basamento se profundiza rápidamente hacia el NE hasta alcanzar profundidades de 340 metros (entre calles Chacabuco e Independencia aproximadamente), volviendo a subir hasta alcanzar profundidades de 140 metros (entre calles Gonzalo Cerda y Aurelio Valdivieso aproximadamente). Desde este último tramo el basamento vuelve a profundizarse hasta alcanzar profundidades de 500 metros (sector Cerro Colo-Colo). Estas estructuras en el basamento tenderían a prolongarse en

las direcciones SE-NW y probablemente coincidan con paleocanales del antiguo lecho del río San José (Figura A.3.1-7).

Respecto del basamento en la zona del Valle de Azapa, se obtuvo las siguientes conclusiones:

- En la zona de aguas abajo de Ausípar (Figura A.3.1-8), la profundidad máxima del basamento sería de 270 metros aproximadamente, en su costado Sur.
- En Cabuza (Figura A.3.1-10), la profundidad máxima de la roca hacia el NE, es de 100 metros, aproximadamente.
- En el sector de Las Riveras (Figura A.3.1-11), se observa una profundidad máxima del basamento, en la parte Sur del perfil, del orden 190 metros.
- Para el sector de San Miguel (Figura A.3.1-12), la profundidad máxima es 80 metros al costado Sur del valle.

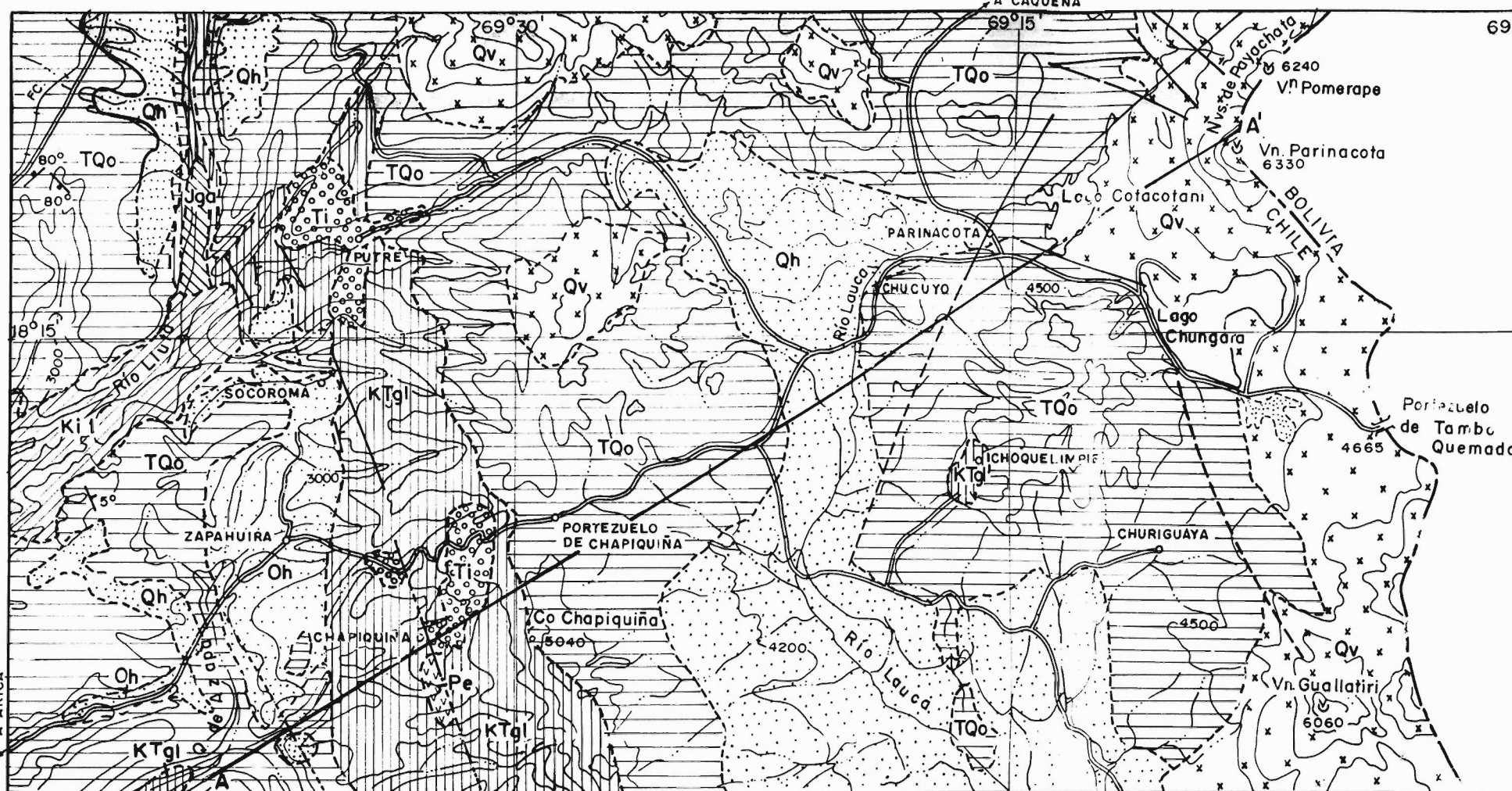
### 3.1.2 Geología del Sector del río Lauca

#### a) Marco Geológico General

La zona de estudio, que forma parte del Parque Nacional Lauca, desde un punto de vista geomorfológico se caracteriza por una orografía planiforme elevada, cuya altitud promedio es de 4.400 m.s.n.m., sin grandes variaciones. Esta meseta, llamada comúnmente “Altiplano chileno”, se ubica entre las Cadenas Occidental y Oriental de la Cordillera de los Andes. Está rellena por sedimentos y material volcánico moderno y en ella se forma el sistema fluvial del río Lauca, que nace en las ciénagas de Parinacota con afluentes provenientes del cordón montañoso de Choquelimpie y Guallatire por el oriente y hacia el occidente desde los cordones montañosos de Chapiquiña y Belén. El sustrato geológico de esta planicie está constituido por rocas volcánicas de carácter ácido, principalmente riolita e ignimbritas y constituye lo que se ha denominado “plateau riolítico o ignimbrítico” (Salas et al., 1966).

Desde el punto de vista geológico y a una escala regional, las unidades geológicas que se ubican en la zona de estudio, son la Formación Lupica, la Formación Huaylas, la Formación Oxaya, las rocas y sedimentos cuaternarios del valle del río Lauca, y con una menor importancia, la Formación Esquistos de Belén y los Cuerpos intrusivos de Dioritas y Granodioritas (Salas et al., 1966). Las formaciones mencionadas se muestran en la Figura 3.1-2.

**Formación Lupica (Ktgl):** La formación Lupica corresponde al conjunto de rocas sedimentarias y volcánicas que afloran en la Precordillera y Altiplano, entre el límite con



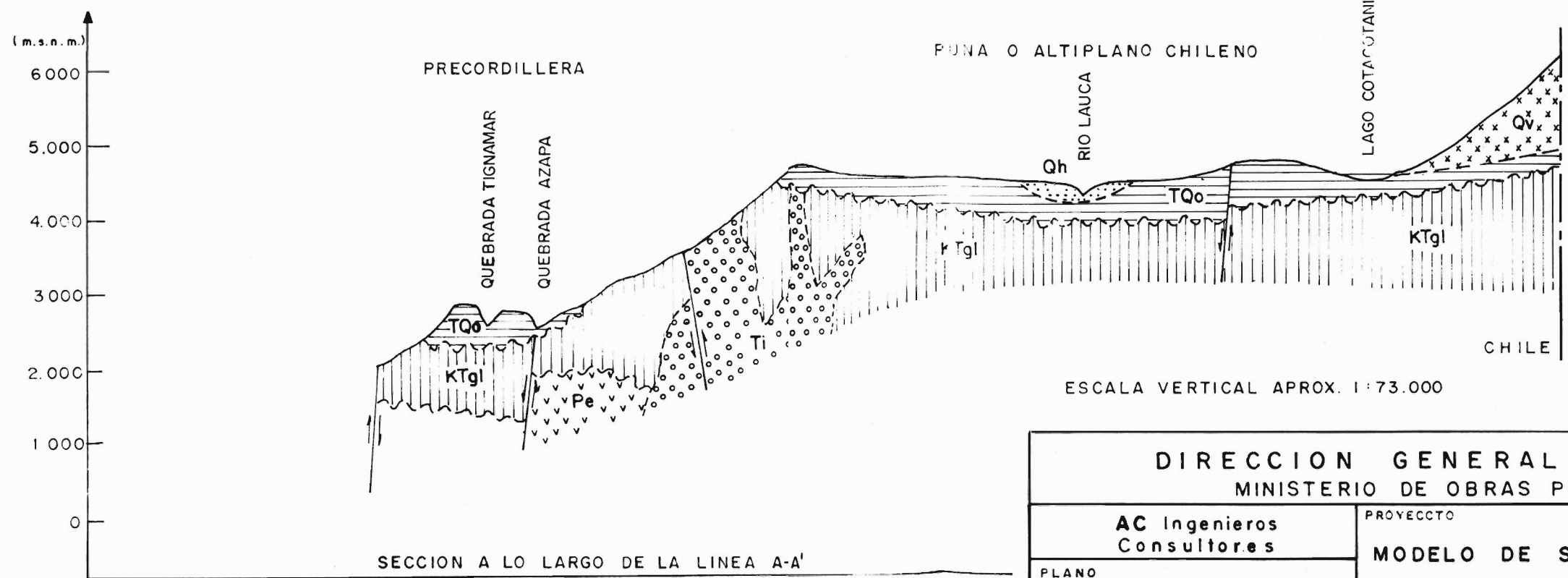
**LEYENDAS**

- Qv** ROCAS VOLCANICAS CUATERNARIAS  
Lavas y piroclásticos (traquiandesíticos) incluye azufreras.
- Qh** FORMACION HUAYLAS  
Conglomerados, areniscas, lutitas y tobas ignimbríticas.
- TQo** FORMACION OXAYA Tobas ignimbríticas y sedimentos clásticos continentales; también dolomitas y dia tomitas
- KTgl** GRUPO LUPICA  
Brechas, tobas, lavas y sedimentos lacustres
- Pe** FORMACION ESQUISTOS BELEN  
Esquistos micáceos y gneises.
- Ti** DIORITA
- Kil** GRANODIORITA
- Jga** GRUPO ARICA  
Rocas volcánicas andesíticas y rocas sedimentarias marinas.

ESCALA 1 : 300.000

0 5 10 15 20

EQUIDISTANCIA ALTIMETRICA APROX. 300 m.



FUENTE :  
Salas et. al. 1966

<b>DIRECCION GENERAL DE AGUAS MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS</b>		
<b>AC Ingenieros Consultores</b>	PROYECTO	FECHA
PLANO <b>GEOLOGIA GENERAL SECTOR RIO LAUCA</b>	<b>MODELO DE SIMULACION HIDROLOGICO OPERACIONAL</b>	MAYO 1996
	<b>CUENCA DEL RIO SAN JOSE</b>	ESCALA INDICADAS
		FIGURA 3.1 - 2

el Perú por el Norte y hasta la altura de Pisagua por el Sur. Esta unidad sobreyace discordantemente a la formación Esquistos de Belén y subyace discordantemente a la formación Oxaya. Se asigna tentativamente al Cretácico Superior y Terciario Inferior. De aproximadamente 1.000 m de espesor, está constituida por brechas, tobas y lavas andesíticas, alternadas con conglomerados y areniscas. La distribución vertical de esta unidad permite distinguir cuatro miembros litológicos, dos sedimentarios y dos volcánicos; éstos son (de arriba hacia abajo):

- Miembro 4: Arenisca de grano fino a grueso, de color gris con intercalaciones de arcillolita lacustre de color blanquecino. Espesor 110 m.
- Miembro 3: Tobas riolíticas de color amarillento, brechas tobíferas de color gris violáceo e intercalaciones de lavas andesíticas de color marrón. Espesor 280 m.
- Miembro 2: Conglomerados de color gris claro formados por clastos de rocas volcánicas en una matriz arenosa. Espesor 210 m.
- Miembro 1: Brechas y tobas de estratificación gruesa y color gris violáceo, con intercalaciones de lavas andesíticas. Espesor 450 m.

La formación Lupica tiene amplia distribución en la Precordillera, donde constituye una franja de dirección Nornoroeste (al Poniente y Sur-poniente de la zona de estudio del río Lauca). En varios lugares solamente los miembros 1 y 2 aparecen representados, lo que probablemente se debe a la total desaparición de los miembros superiores por erosión. Extensas zonas de alteración hidrotermal se han desarrollado en rocas de esta formación en la Precordillera, en las que están ubicados los sectores de Tignamar y Belén. Para los fines del estudio del sector Altiplánico del río Lauca, esta unidad no es de interés hidrogeológico salvo que constituye el basamento sobre el cual se emplazan las unidades geológicas que a continuación se describen y que sí reportan interés hidrogeológico.

**Formación Oxaya (TQo):** La formación Oxaya corresponde a una secuencia de tobas ignimbríticas, con intercalaciones de sedimentos continentales, que cubre gran parte de la I Región del país. Sobreyace discordantemente sobre la formación Lupica antes descrita en toda la zona del Parque Nacional Lauca. (Figura 3.1-2). Su techo está marcado por una colada de ignimbrita, cuya disposición coincide, generalmente, con la topografía actual de los bordes de la cuenca del río Lauca, es decir, el flanco oriental de la Cordillera occidental (desde Putre al Sur) y el flanco occidental de la Cordillera oriental (Choquelimpie hasta Guallatire). Particularmente, en la zona del Altiplano del río Lauca, esta unidad está compuesta por tobas ignimbríticas y, en menor proporción, por andesitas. Se distinguen tres miembros:

- Miembro Superior : Tobas ignimbríticas de color blanco amarillento a marrón claro, de composición riolítica o dacítica, que presentan diferentes grados de compactación y soldamiento. Las tobas soldadas son

generalmente muy compactas, con textura fluida y con clastos de cuarzo y abundante vidrio. Espesor aproximado 700 m.

- Miembro Intermedio : Gruesas capas de brechas de color gris blanquecino a rosáceo, con fragmentos subangulares de ignimbritas y andesitas, con intercalaciones de arenisca tobácea de color gris blanquecino. El espesor se estima en 250 m.
- Miembro Inferior : Mantos de andesita con intercalaciones de tobas ignimbritas y cenizas volcánicas. Espesor estimado 140 m.

La edad de esta unidad ha sido asignada entre Miocena y Pleistocena (Terciario-Cuaternario). Dada las características litológicas de esta unidad, se estima que desde un punto de vista hidrogeológico no ofrece condiciones como acuífero productor. También constituye los bordes impermeables que definen la zona acuífera a ser modelada.

**Formación Huaylas (Qh):** Esta formación corresponde a una secuencia sedimentario-volcánica continental, que habría rellenado la depresión de la cuenca del río Lauca. Se distinguen tres miembros:

- Miembro Superior : Tobas riolíticas 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 cementadas. Espesor estimado 60 m.
- Miembro Medio : Areniscas, limolitas y arcillas de colores gris blanquecino a rojo amarillento con intercalaciones de delgados lentes de diatomitas. La arenisca es de grano medio con fragmentos de cuarzo y mica cementados. Espesor aproximado 80 m.
- Miembro Inferior : Conglomerados poco consolidados, de color marrón rojizo, con rodados de riolitas y andesitas redondeadas a subredondeadas, de tamaños entre 3 y 15 cm, incluidos en una matriz arenosa. Espesor estimado de 80 m.

Las rocas de esta unidad se disponen prácticamente horizontales. Su edad sería Pleistocena (Cuaternario) y se disponen discordantemente sobre la formación Oxaya. Su techo constituye la actual superficie de erosión del valle del río Lauca. En esta unidad estarían contenidas las napas principales del valle del río Lauca, y que son de interés para la modelación y como fuente de recursos hídricos aprovechables.

b) Depósitos Cuaternarios en el Valle del Río Lauca y sus Propiedades Hidrogeológicas

Los depósitos cuaternarios más importantes reconocidos en el sector del río Lauca corresponden a las rocas volcánicas de la formación Huaylas, descritas anteriormente, y a sedimentos no consolidados del tipo aluvial y coluvial próximos al cauce actual del río. A continuación se describen estas dos macrounidades hidrogeológicas (Unidad Sedimentaria y Unidad Ignimbrítica), señalándose sus capacidades para constituir acuíferos.

**Unidad Sedimentaria:** Corresponde a la depositación de los sedimentos arrastrados por el río Lauca. En el sector de Misitune se identifican, de arriba hacia abajo, las siguientes subunidades hidrogeológicas:

- Aluvial : Son escasamente consolidados y constituidos por mezclas heterogéneas de gravas, gravas arenosas y niveles de finos (arcillas y limos arcillosos). Su potencia es de aproximadamente 8 m como promedio. No conforman un buen acuífero puesto que no se encuentran saturados.
- Ignimbrita Misitune: Corresponde a cenizas volcánicas con fragmentos líticos y de pómez. Se estima una potencia de 20 m y no corresponde a un buen acuífero debido a la nula permeabilidad de esta subunidad. Su importancia es que confina la unidad que subyace y que sí ha sido reconocida como acuífero.
- Aluvial-Coluvial : Corresponden a sedimentos indiferenciados, del tipo gravas y arenas gruesas, con algunos lentes arcillosos asociados probablemente a depositación lagunar. La potencia máxima ha sido reconocida en Misitune como de 50 m. Constituye un acuífero confinado dada su alta permeabilidad y grado de saturación.
- Toba-Ignimbrita Basal: Corresponden a rocas masivas con variaciones texturales y algunas fracturas. Se ubicaría bajo los 80 m de profundidad y no constituye un acuífero de interés.

**Unidad Ignimbrítica:** Posee un amplia distribución areal en la zona, y aflora especialmente en los entornos de Misitune. Dentro de esta unidad no se presentan buenas condiciones para conformar acuíferos de interés, salvo algunos niveles de baja permeabilidad y con porosidad secundaria por fracturamiento. El sondaje PECH-1 de Minera Vilacollo, en el sector de Misitune, habría sido construido y habilitado en esta unidad obteniéndose de él un bajo rendimiento.

c) Prospecciones Geofísicas en el Valle del río Lauca

Al igual que para el caso de Arica y el Valle de Azapa, en el relleno cuaternario volcánico del río Lauca se realizó una prospección geofísica por gravimetría con el fin de detectar la ubicación del basamento rocoso impermeable que delimita las formaciones volcánicas cuaternarias (ver Anexo 3.1-1).

Más detalles sobre los resultados de la prospección llevada a cabo para este estudio, así como de anteriores exploraciones por gravedad y resistividad que fueron realizadas en la zona, se comentan en el punto siguiente, correspondiente al estudio de las formaciones acuíferas.

Por último, hay que señalar que la información de contactos geológicos (basamento-relleno cuaternario) ha sido digitalizada en un formato gráfico compatible con el modelo Visual Modflow.

### 3.2 FORMACIONES ACUÍFERAS

A partir de la información geológica se definieron cualitativamente los basamentos rocosos impermeables que delimitan a las formaciones sedimentarias no consolidadas susceptibles de contener acuíferos de importancia, tanto en el Valle de Azapa como en el sector medio del río Lauca. A continuación se presenta la caracterización de las formaciones acuíferas dentro de los rellenos cuaternarios. Para ello se ha utilizado la extensa información estratigráfica existente para el Valle de Azapa que fue analizada e interpretada en estudios anteriores. En el presente informe se utilizan los perfiles estratigráficos desarrollados en el estudio efectuado para elaborar el anterior modelo de simulación (AC-DGA, 1989), los cuales fueron utilizados y reinterpretados en un reciente estudio (JICA-DGA, 1995).

Para el sector del río Lauca, se consideraron las descripciones estratigráficas existentes para algunos de los pozos emplazados en la zona.

La información estratigráfica fue interpretada y verificada en conjunto con los resultados de las prospecciones gravimétricas (basamento rocoso) para el Valle de Azapa, Arica y río Lauca, y, además la interpretación geoelectrica para la zona de estudio en el río Lauca.

a) Formaciones Acuíferas en el Valle de Azapa y Arica

La información base utilizada para la descripción de las formaciones acuíferas corresponde a los estudios señalados y a la campaña de terreno e interpretación geofísica efectuada especialmente para el presente trabajo.

Para facilitar la identificación de continuidades de los estratos acuíferos, tanto en sentido longitudinal como transversal al valle, se cuenta con perfiles estratigráficos en diferentes secciones de interés, además de un perfil longitudinal que abarca desde Cabuza hasta la ciudad de Arica (Figura 3.2-1).

Para una mejor identificación de los perfiles, se indica el número del sondaje con información estratigráfica.

Los rellenos que tienen interés desde el punto de vista del escurrimiento y almacenamiento de aguas subterráneas son aquéllos ubicados en el valle principal, el que alcanza un ancho de unos 3.500 m en la zona de la desembocadura al mar, para disminuir paulatinamente hacia aguas arriba, hasta llegar a Cabuza con menos de 1.000 m.

En todo el valle, los rellenos cuaternarios con orígenes de distintos tipos, sobreyacen a rellenos terciarios, cuyo valor como estratos acuíferos es considerablemente menor, aunque no completamente despreciable. Estos rellenos terciarios se ubicarían a profundidades mayores a 100 m y no tendrían características de acuíferos aprovechables, ya que a pesar de que podrían existir estratos lenticulares de permeabilidades más altas, ellos quedarían aislados del sistema general de recarga y transporte de agua subterránea.

Con respecto a los diferentes tipos de relleno reciente que se ha identificado en la cuenca, algunos de ellos no tienen ningún interés desde el punto de vista hidrogeológico. El caso más evidente, es el del relleno artificial del puerto de Arica. Igualmente, los depósitos coluviales ubicados sobre las laderas de los cerros laterales de la cuenca y de remoción en masa, que se extienden sobre la ladera norte del valle de Azapa, especialmente en los primeros 10 Km desde la desembocadura, tienen nulo valor como acuíferos, debido a su baja permeabilidad y a su total desconexión con las zonas de recarga.

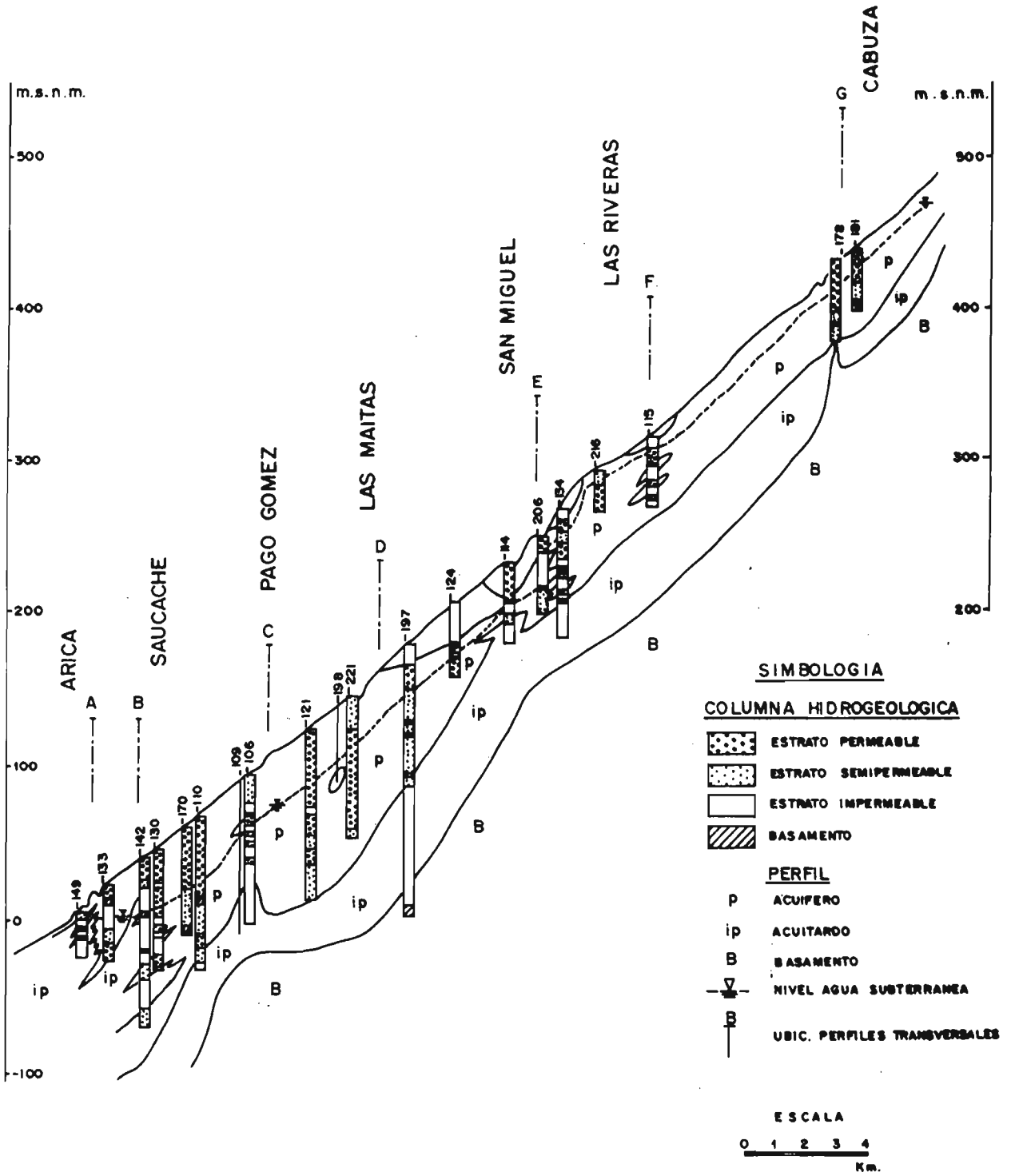
Debido a que la mayor parte del acarreo de material se produce mediante corrientes de barro, que transportan y depositan en forma discontinua sedimentos de baja selección y mala clasificación, los rellenos son altamente heterogéneos dificultándose la detección de continuidades longitudinales o transversales. Además, el aporte de sedimentos aluviales finos producido por las quebradas afluentes al río San José, contribuye adicionalmente a la heterogeneidad de los rellenos.

En términos generales puede señalarse que los acuíferos principales de la cuenca tienden a ubicarse a profundidades variables entre 0 y 70 m, dando lugar a la existencia de napas libres, algunas de las cuales, ubicadas en rellenos antiguos, estarían en condición de semiconfinamiento.

A pesar de la continuidad longitudinal del relleno, la cuenca se puede separar en tres grandes sectores, atendiendo a la presencia de singularidades que provocan discontinuidad en el flujo subterráneo, debido a disminuciones locales de la transmisibilidad



Figura 3.2 - 1  
PERFIL HIDROGEOLOGICO LONGITUDINAL  
VALLE DE AZAPA



FUENTE : JICA - DGA, 1995 Y AC - DGA, 1989

del acuífero por los aportes de sedimentos finos de quebradas tributarias. Estas discontinuidades se traducen también en variaciones de la profundidad de la superficie freática en dichos puntos, específicamente en la sección del valle en el sector de Albarracines, frente a la Quebrada del Diablo, y en la sección del valle en Alto Ramírez, frente a la Quebrada de Llosyas.

i) Tramo Cabuza-Albarracines

Entre Cabuza y Albarracines, el relleno cuaternario, al igual que en gran parte de la cuenca, está formado por depósitos fluviales aterrizados, excepto en la zona del cauce del río San José, en que se identifican rellenos fluviales actuales.

La información geológica disponible indica que en el sector de Cabuza la sección completa está formada por rellenos fluviales actuales, los que tendrían un ancho de unos 1.200 m. En dicha sección se ha trazado el perfil G-G (Figura 3.2-2) en el que se observa la existencia de un primer estrato acuífero formado por bolones, grava y arena, que se extiende en forma continua hasta los 70 m de profundidad, aproximadamente. En el más profundo de los sondajes del sector, el DGA-117 que tiene 137 m de profundidad, no se aprecian estratos permeables a profundidades mayores a 70 m, observándose arenas de color plomizo, verdoso y amarillo que probablemente pertenecen a los rellenos de tipo terciario. La profundidad de la roca basal según el estudio gravimétrico, sería de alrededor de 100 m concordando con la interpretación estratigráfica anterior.

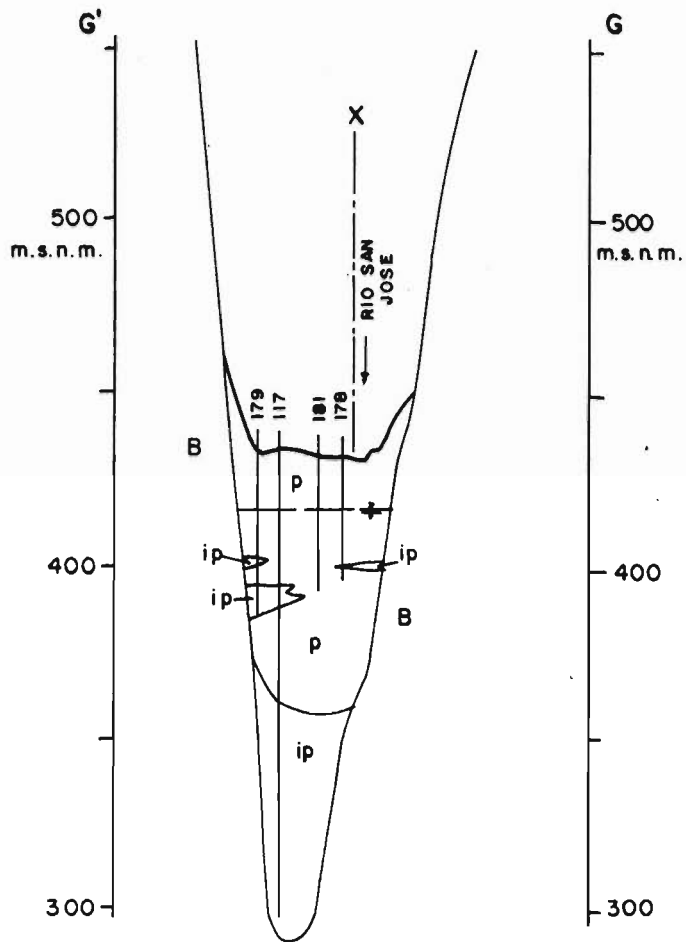
Hacia aguas abajo del valle, entre Cabuza y Las Riveras, no existe información estratigráfica, excepto la proveniente de los pozos DGA-115 y DGA-216, en los cuales aparecen en forma alternada diversos estratos de granulometría gruesa, media y fina, con abundante arcilla. Los principales acuíferos parecen ubicarse entre los 10 y los 50 m de profundidad. (Perfil F-F de la Figura 3.2-3).

Más hacia abajo, en la zona de San Miguel y Albarracines, se ha construido el perfil estratigráfico E-E (Figura 3.2-3). En dicho perfil se aprecia un primer estrato permeable formado por materiales gruesos como bolones, grava gruesa y fina y arena, que alcanza hasta los 15 m de profundidad, y que sin embargo no contiene agua, debido a que los niveles estáticos se ubican en el sector a profundidades mayores a los 20 m. Los materiales predominantes en estos estratos acuíferos son gravas, arenas finas y en algunos casos algo de limo. El resto de los estratos corresponde a intercalaciones caóticas de conglomerados arcillosos y arenosos, de espesores en general muy pequeños, sin que pueda identificarse continuidad lateral.



A partir de cierta profundidad, desde los 35 m en el pozo DGA-205 y los 47 m en el pozo DGA-208, se presentan solamente estratos impermeables de arcilla pura (en el pozo DGA-205), o conglomerados arcillosos en los otros. La profundidad de todos los sondajes es

**Figura 3.2 - 2**  
**PERFIL HIDROGEOLOGICO TRANSVERSAL G**

**CABUZA**



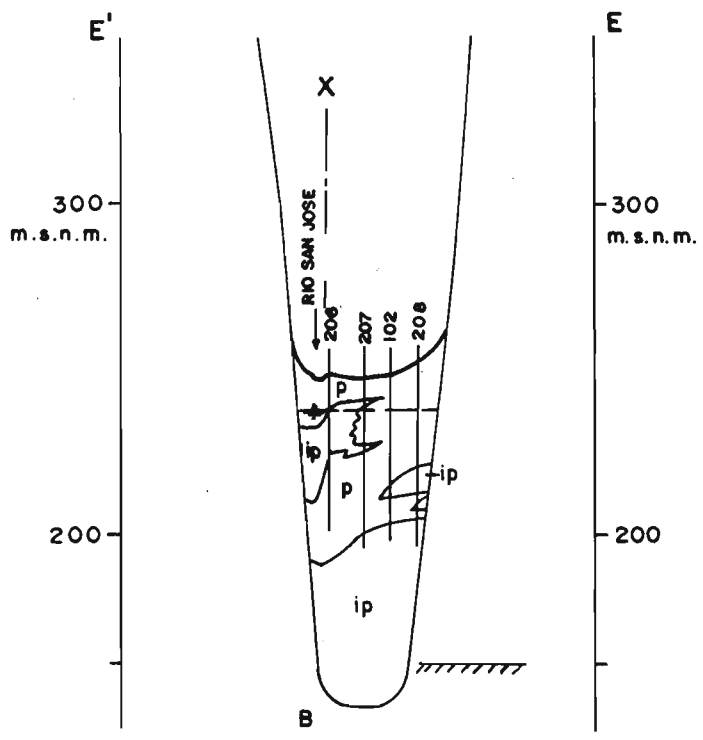
**SIMBOLOGIA**

- P** ACUIFERO
- ip** ACUITARDO
- B** BASAMENTO
-  NIVEL AGUA SUBTERRANEA
-  SONDAJE

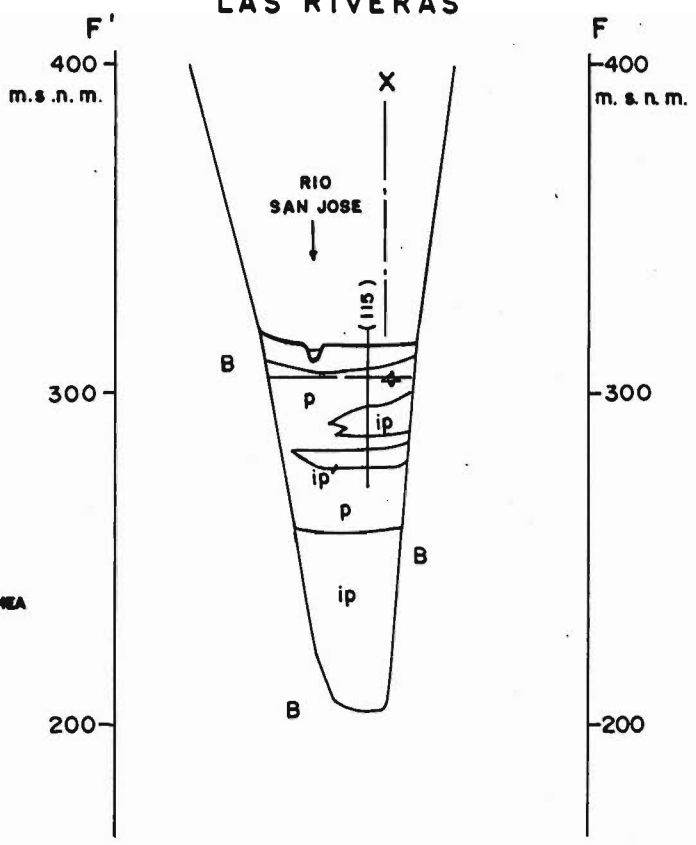
0 1 Km.

FUENTE : JICA - DGA, 1995 Y AC - DGA, 1989

Figura 3.2-3  
PERFILES HIDROGEOLOGICOS TRANSVERSALES E y F  
 SAN MIGUEL



LAS RIVERAS



**SIMBOLOGIA**

- p ACUIFERO
- ip ACUITARDO
- B BASAMENTO
- ∇ NIVEL AGUA SUBTERRANEA
- SONDAJE



FUENTE : JICA - DGA, 1995 Y AC - DGA, 1989

consistentemente de alrededor de 50 m, sin que se haya detectado la presencia de roca basal en ninguno de ellos. Por otro lado, la profundidad de la roca basal fue detectada a los 80 m aproximadamente según la prospección gravimétrica.

La conformación geológica del sector indica que en el costado norte del valle existen depósitos aluviales y de corrientes de barro provenientes de la Quebrada del Diablo. No existen sondajes dentro de dicho relleno; los sondajes DGA-208 y DGA-102 están aguas abajo del área en que se ubican dichos depósitos y muestran escasa presencia de material impermeable.

## ii) Tramo Albarracines-Alto Ramírez

Entre San Miguel y Pago de Gómez, el relleno del valle se compone de los depósitos fluviales actuales del lecho del río San José, y de depósitos fluviales aterrizados, que como ya se indicó constituyen el relleno más importante entre Cabuza y Saucache.

En términos generales, en aquellos sondajes ubicados hacia los costados del valle, tal como el DGA-197, los estratos acuíferos son de menor potencia, alrededor de 3 a 4 m, y se presentan intercalados entre estratos semipermeables o impermeables de considerable espesor. Por otro lado, es posible notar que la potencia de los estratos acuíferos, además de aumentar con la cercanía al río, aumenta con la cota, como se observa por ejemplo en el pozo DGA-124 que estando a unos 300 m del cauce y bastante cerca del límite sur del relleno, presenta dos estratos permeables de más de 15 m de potencia en total.

Los estratos permeables muestran gran variedad de granulometría, siendo lo usual la presencia de material grueso como bolones y gravas en los niveles superiores, los que en general se extienden considerablemente por sobre el nivel estático actual, por lo que constituyen vías de escurrimiento de las napas fráticas sólo desde dicho nivel hacia abajo.

Los acuíferos más profundos son de granulometría media a fina, con presencia de gravas y principalmente arenas, con algo de arcilla en algunos casos. En general, la presencia de dichos estratos se manifiesta entre los 35 y 45 m de profundidad, lo que sin embargo está sujeto a grandes variaciones locales, como ya se ha señalado.

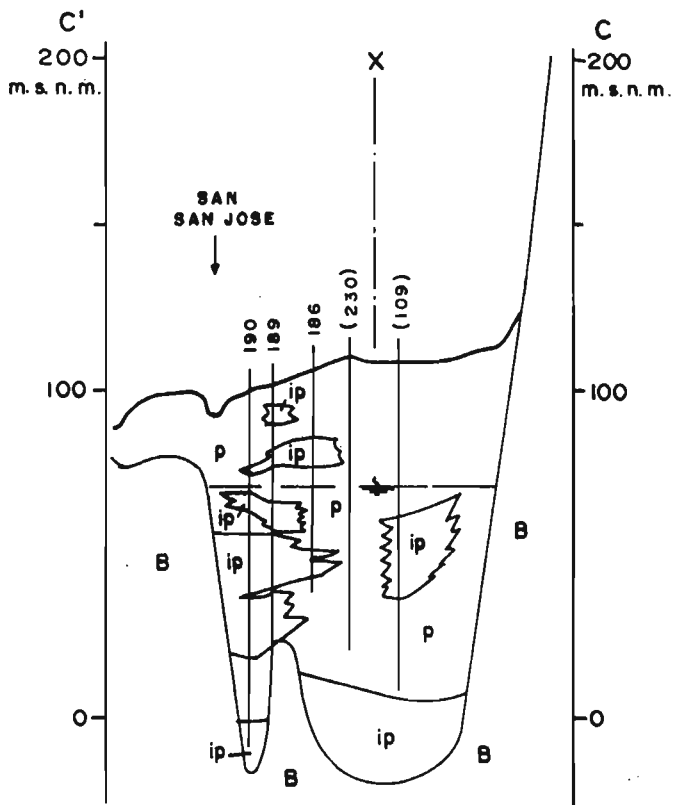
En el sector de Las Maitas (Perfil D-D de la Figura 3.2-4) se aprecia una potencia del acuífero del orden de los 90 m. La roca basal fue detectada a los 170 m de profundidad en la construcción del pozo DGA-197.

En el sector entre Pago de Gómez y Saucache, en que existe una gran concentración de pozos, el río San José escurre por el costado sur del valle, por lo que la totalidad de los sondajes están sobre depósitos fluviales aterrizados.

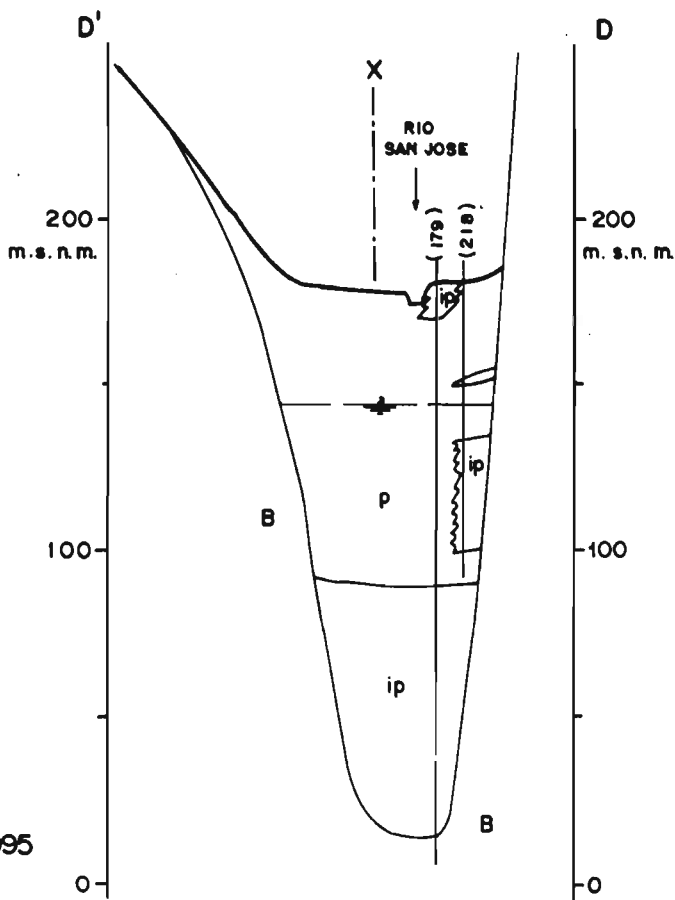
Figura 3.2 - 4

PERFILES HIDROGEOLOGICOS TRANSVERSALES C y D

PAGO DE GOMEZ



LAS MAITAS



**SIMBOLOGIA**

- P ACUIFERO
- ip ACUITARDO
- B BASAMENTO
- NIVEL AGUA SUBTERRANEA
- SONDAJE

FUENTE : JICA - DGA, 1995  
Y AC - DGA, 1989

El perfil estratigráfico C-C (Figura 3.2-4), que atraviesa transversalmente el valle en el sector de Pago de Gómez, muestra la presencia alternada de estratos de muy variada potencia y granulometría, sin que pueda identificarse una clara continuidad lateral. El proceso que habría dado lugar a este tipo de relleno explicaría la gran variedad local del relleno (depositación de los acarreo de la quebrada de Llosyas). Ello ocurre por ejemplo en los pozos DGA-161, DGA-106, DGA-109 y DGA-189 entre otros. En todo caso, por la gran variabilidad del relleno, la descripción anterior no es aplicable a lo que ocurre en todos los sondajes. Es así como los pozos DGA-231 y DGA-232 presentan estratos permeables de gran potencia entre los 20 y los 50 m de profundidad, y el sondaje DGA-267 tiene rellenos permeables que albergan acuíferos a partir del nivel estático hasta los 72 m de profundidad, en forma casi ininterrumpida. Bajo los 80 m de profundidad no se detectan estratos acuíferos, describiéndose sólo estratos impermeables de diferente tipo.

Los estratos acuíferos están formados principalmente por grava, arena y bolones, predominando los bolones en los estratos más recientes o superficiales, mientras que en los más profundos predominan las gravas y las arenas. Por su parte, los estratos impermeables están formados por conglomerados arcillosos, arcilla con limos o arena y más profundamente por ceniza volcánica.

La profundidad de los sondajes es de alrededor de 90 m, excepto el pozo DGA-193 que fue perforado hasta los 36 m solamente, apareciendo roca a los 29 m. Dicha formación rocosa correspondería a una prolongación lateral del contornó rocoso del valle, muy próximo al sondaje (extremo Sur del perfil C-C).

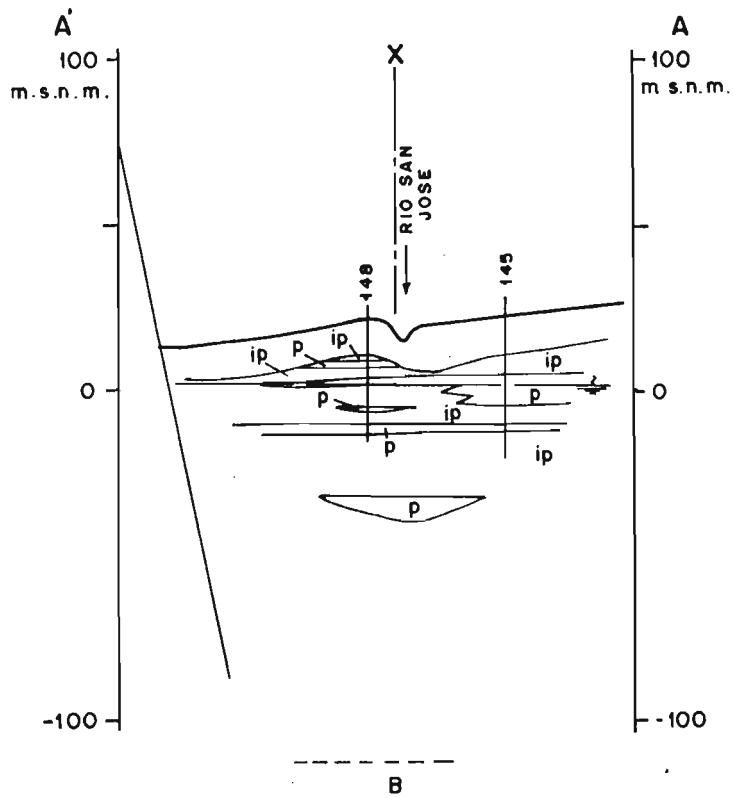
### iii) Tramo Alto Ramírez-Arica Costa

Aproximadamente desde el límite oriental de la ciudad de Arica hacia el mar, cambia radicalmente el tipo de sedimentos descritos, a depósitos de terraza marina, los que se extienden hacia la costa. Este tipo de depósito es generalizado, excepto sobre el cauce del río San José y algunos brazos antiguos de éste.

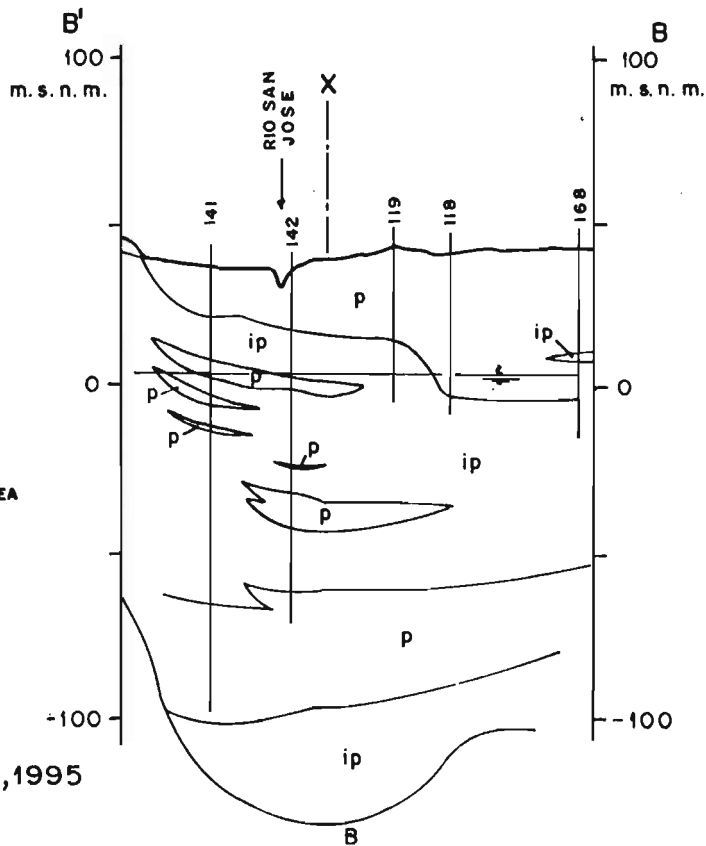
El perfil estratigráfico B-B que cruza el sector central de la ciudad de Arica de norte a sur (Figura 3.2-5), muestra un aumento importante de sedimentos impermeables o semipermeables por el alto contenido de finos presente en los diferentes estratos. Es así como es posible detectar la presencia de limos en aquellos estratos que pueden ser considerados acuíferos, además de estratos de potencias de hasta 15 m en que predomina el limo, acompañado de gravas y arenas en menor proporción, a partir de los 25 m de profundidad aproximadamente. A profundidades mayores a los 35 m a 40 m, los estratos impermeables presentan alto contenido de arcillas y de cenizas volcánicas, como puede apreciarse en los pozos DGA-118, DGA-126, DGA-119 y DGA-227.

Figura 3.2-5  
**PERFILES HIDROGEOLOGICOS TRANSVERSALES A y B**



**ARICA — COSTA**



**CIUDAD — SAUCACHE**



**SIMBOLOGIA**

- p** ACUFERO
- ip** ACUITANDO
- B** BASAMENTO
-  NIVEL AGUA SUBTERRANEA
-  SONDAJE

FUENTE : JICA - DGA, 1995  
 Y AC - DGA, 1989



Los estratos acuíferos corresponden a intercalaciones delgadas de gravas y arenas, notándose la presencia de materiales más gruesos como gravas gruesas y bolones en los estratos ubicados a menos de 10 m de profundidad, que en general no constituyen acuíferos por estar ubicados por sobre el nivel estático. En todo caso puede notarse una clara diferencia entre la calidad acuífera de los rellenos al norte y al sur del río San José, ya que al norte de dicho cauce los rellenos son semipermeables a partir de los 40 m de profundidad aproximadamente, sin que se haya detectado la presencia de granulometría mayor a la de limos, arcillas y cenizas volcánicas a partir de dicha profundidad y hasta las profundidades máximas alcanzadas por los sondeos del sector.

Otros sondeos ubicados a poca distancia del lecho del río San José presentan formaciones permeables más gruesas, con la presencia de estratos de mayor potencia que contienen gravas y ripios, pero también dentro de una matriz de materiales finos e impermeables, como ocurre por ejemplo en el sondeo DGA-142.

La mayoría de los pozos tienen entre 50 y 60 m de profundidad, concentrándose los estratos acuíferos a profundidades de entre 40 y 60 m. Los sondeos más profundos, que llegan hasta 110 y 137 m de profundidad muestran la presencia de rellenos permeables a partir de los 100 m, aproximadamente.

Finalmente, en el sector costero de la cuenca, la información relativa a las formaciones acuíferas es la que se incluye en el perfil estratigráfico A-A' (Figura 3.2-5). Dicho perfil muestra sondeos que penetran el relleno del valle entre 30 y 60 m, excepto el sondeo DGA-136 que llega hasta los 390 m de profundidad, con presencia de roca desde los 260 m hacia abajo, corroborado por la prospección gravimétrica efectuada, en la que se detectó el basamento a profundidades de entre 140 y 340 m (ver Figura A.3.1-7).

La descripción de los estratos que se presentan en profundidad no difiere en forma importante de la descripción hecha en el perfil anterior, excepto por la presencia de un estrato de arenas marinas con algo de ripio de unos 30 m de espesor en el sector norte del perfil, en Chinchorro, de acuerdo a la información del perfil estratigráfico del sondeo DGA-136.

En general, en todo el sector costero de Arica, se observa una gran heterogeneidad de formaciones existiendo estratos acuíferos locales que se ubican dentro de una gran formación de características impermeables (acuitardo) correspondiente a la formación sedimentaria marina "La Concordia". Esta configuración explicaría el hecho de que los estratos profundos no presenten una clara contaminación por intrusión de aguas marinas, a pesar de que los niveles estáticos y dinámicos se ubican muy por debajo del nivel medio del mar, situación que se ha mantenido por muchos años.

## b) Formaciones Acuíferas en el Valle del Río Lauca

La descripción de las formaciones acuíferas presentes en el relleno del área de altiplánica del río Lauca, se ha efectuado en base a los siguientes antecedentes:

- Informes Finales de los Pozos del Parque Nacional Lauca, Sector Río Lauca y Sector Río Vizcachani. (Alamos y Peralta Ingenieros Consultores, D.R., 1993).
- Relación Río-Acuífero, Proyecto Choquelimpie. (Ingeniería y Geología Ltda., 1989).
- Reinterpretación Estudios Geofísicos Sectores Río Blanco y Ancochalloane. (Geoexploraciones S.A., 1995).
- Prospección gravimétrica efectuada para el presente estudio (ver Anexo 3.1-1).

En lo que sigue se describirán las formaciones acuíferas presentes en el área de estudio por sectores. Para la ubicación de las captaciones y los lugares geográficos que se mencionan ver el Plano 3.2-1.

### i) Sector Baños de Morales

El acuífero en el sector de Baños Morales, donde se ubican los pozos 6 y 8, presenta características de confinamiento, y los estratos de mayor interés hidrogeológico se ubicarían bajo los 80 m de profundidad. De acuerdo con la reinterpretación de los estudios geofísicos, en dicho sector el espesor del acuífero sería de 130 m aproximadamente, mientras que el techo del mismo (líneas isobáticas del Plano 3.2-1), se ubicaría entre los 75 m y 100 m de profundidad. En los pozos 6 y 8 el nivel de agua es surgente, con cotas por sobre el nivel de agua del río Lauca en dicho sector.

De acuerdo con los perfiles estratigráficos de los pozos 6 y 8, cuya descripción de los estratos constitutivos del relleno es limitada, el acuífero de interés estaría compuesto principalmente por arena fina, media y gruesa, grava redondeada y limos.

### ii) Sector confluencia de quebrada Ancochalloane con el río Lauca

El acuífero en esta parte del área de estudio también presenta características de confinamiento y de acuerdo a la geofísica reinterpretada, el techo de este acuífero se localizaría cercano a los 50 m, mientras que el espesor sería de 130 m, aproximadamente. Se debe señalar que los perfiles estratigráficos de los pozos 7 y 10 no confirman lo señalado, siendo la descripción del pozo 7 muy limitada. Los materiales constituyentes del acuífero confinado serían principalmente arena gruesa y fina, con importantes porcentajes de arcilla en algunos tramos (pozo 10). No obstante que los niveles del agua subterránea no son surgentes a simple

vista, durante la perforación de los mismos se constató que los niveles estáticos sufrían variaciones ascendentes importantes.

iii) Sector Lauca entre quebradas Ancochalloane y Vizcachani

Entre la confluencia de la quebrada de Ancochalloane con el río Vizcachani y el río Lauca se ubican los pozos 5 y 9. El acuífero en este sector es confinado, y el techo se localizaría cercano a los 50 m de profundidad; no obstante que de acuerdo con el plano isobático las curvas de isovalores no alcanzaron a incluir el pozo 5. El espesor sería de entre 250 m y 275 m, aproximadamente. Los materiales que constituyen el acuífero principal son arena fina y gruesa, gravilla, grava y arcilla, principalmente. Los niveles estáticos son surgentes y por sobre el nivel de aguas del río Lauca en ese sector.

iv) Sector Misitune

Este sector constituye el límite Sur del área del estudio y puede ser descrito de acuerdo con los perfiles estratigráficos de los pozos PECH-1 a PECH-4 de Minera Vilacollo. Se debe mencionar que la geofísica realizada por Geoexploraciones S.A. no abarcó este sector. Hay que destacar que los pozos PECH fueron construidos por SAACOL Ltda., y la descripción estratigráfica es muy completa.

El pozo PECH-4, ubicado en la ribera derecha del río Lauca y muy cerca del lecho del mismo, presenta características de confinamiento. De acuerdo con la clasificación de los estratos constituyentes del relleno atravesado por el pozo PECH-4, existiría un acuífero entre los 6 m y 28 m, y entre los 34 m y 58 m. El último tramo constituye el acuífero confinado principal, ya que de acuerdo a la prueba de bombeo de gasto constante (38 l/s), el nivel dinámico se ubicó a los 32 m, razón por la cual el primer tramo (6 m a 28 m) no estaría aportando recursos subterráneo a la producción del pozo. A los 72 m de perforación se llegó a la roca ignimbrita, constituyendo el límite inferior del acuífero en dicho sector. Los niveles estáticos actuales del pozo PECH-4 son surgentes y por sobre el espejo de agua del río Lauca. Los materiales constituyentes del acuífero principal confinado son arena gruesa, media y fina, grava redondeada y angular, y ripio angular.

Respecto al pozo PECH-3, ubicado 250 m al Noreste del PECH-4, también es confinado y el material permeable se localiza entre los 15 m y 30 m y entre los 37 m y 70 m de profundidad. El acuífero principal se ubica en el segundo tramo señalado. A los 80 m de profundidad se detectó roca descompuesta, y los materiales que constituyen el relleno son similares a los mencionados para el PECH-4. Cuando se construyó el pozo PECH-3, el nivel de agua era surgente (+ 0,13 m respecto del terreno), mientras que recientemente (05 Marzo 1996) se ubicaba a nivel de terreno.

Respecto al Pozo PECH-2, se encontró roca ignimbrita a los 84 m de profundidad. Cuando se construyó era surgente y recientemente (05 Marzo 1996) el nivel se

ubicó a 0,76 m bajo el nivel del terreno. El pozo PECH-1 se profundizó de 120 m a 260,5 m, encontrándose roca ignimbrita y arcilla seca con ceniza volcánica a partir de los 120 m. Entre la superficie y los 120 m de profundidad no se tiene información de la estratigrafía atravesada por el pozo.

De todos los pozos de la Minera Vilacollo, sólo el PECH-4 se encuentra actualmente en operación, los demás se encuentran habilitados sin bomba.

En términos generales es posible afirmar con certeza que el acuífero asociado a la cuenca del río Lauca en la zona de estudio, es del tipo confinado en toda su extensión. En la Figura 3.2-6 se señalan esquemáticamente los espesores de los estratos confinantes y de los acuíferos para cada uno de los sectores antes descritos.

v) Sector Vizcachani alto

En esta parte del área no se efectuó prospección geofísica, razón por la cual el análisis se ha basado exclusivamente en los perfiles estratigráficos de los pozos 1, 2 y 3, cuya descripción de los estratos constitutivos del relleno es bastante deficiente.

De los tres pozos, el 1 y 2 se encuentran entubados pero sin bomba y en el 3 se retiró la cañería. Cuando fueron construidos dieron caudales muy bajos como para ser explotados, y fueron abandonados. Lo anterior podría atribuirse a que fueron perforados en un sector que presenta pocas posibilidades para el desarrollo de secuencias estratigráficas permeables de magnitud apreciable y con deficitarias condiciones de recarga (cerca de la cabecera de la cuenca del río Vizcachani).

El pozo 1 fue entubado sólo hasta los 72 m de profundidad, ya que hacia abajo sólo se registró arcilla plástica, poca grava y arena. Entre 0 m y 72 m de profundidad se encontró principalmente arcilla y arena, con intercalaciones pequeñas de grava. El pozo 2, es el de mejor rendimiento de entre los tres; presentó principalmente arcilla y arena, y entre los 42 m y 65 m de profundidad se detectó tosca. Por último, en el pozo 3 se encontró también arcilla y arena, pero el rendimiento de éste fue tan bajo que se retiró la cañería, abandonándose.

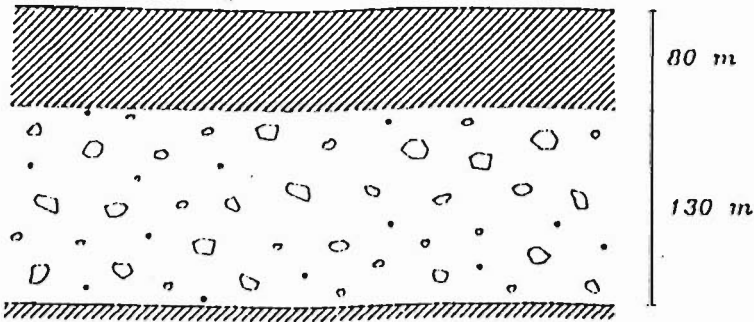
En el sector alto del río Vizcachani, el acuífero presenta malas características hidrogeológicas. Los materiales encontrados en las tres perforaciones efectuadas fueron principalmente arcilla y arenas finas y gruesas.

vi) Sector Vizcachani-Lauca

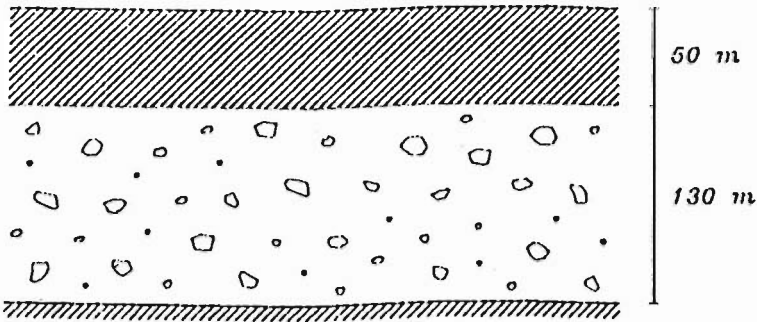
En este sector confluyen la quebrada Tejene con el río Vizcachani. Según la reinterpretación de la geofísica, el techo del acuífero se localizaría entre los 50 m y 75 m de profundidad, y su espesor fluctuaría en torno a los 200 m. De acuerdo con la estratigrafía atravesada por el pozo 4, habría dos acuíferos confinados, ubicados entre los 43 m y 69 m de

FIGURA 3.2-6  
CORTES HIDROGEOLÓGICOS ACUÍFERO CUENCA RÍO LAUCA

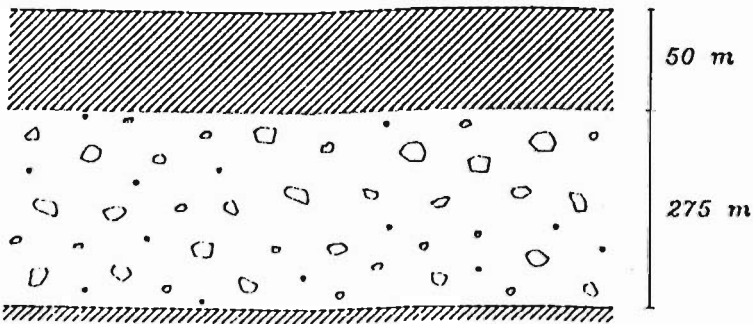
Sector Baños de Morales



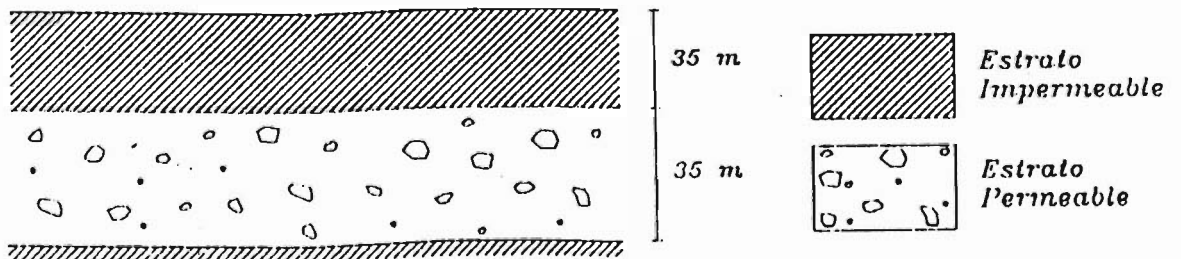
Sector Confluencia Quebrada Ancochalloani



Sector Pozos 9 y 5



Sector Misitune



profundidad y entre los 88 m y 104 m de profundidad. Los materiales de estos acuíferos son arena gruesa y media, grava y arcilla.

vii) Sector entre Quebrada Tejene y Misitune

En este tramo, y hasta la Pampa Quellacota, sólo se cuenta con información geológica. De acuerdo con dicha información, el techo del acuífero se profundiza en dirección Sur, mientras que el espesor aumenta en sentido Este.

De acuerdo con lo señalado, los acuíferos asociados a la cuenca del río Vizcachani serían de malas características hidrogeológicas y confinados. Esta situación mejora desde el pozo 4 hacia aguas abajo.

### 3.3 USO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

#### 3.3.1 Catastro de Captaciones Subterráneas Valle de Azapa y Arica

Con el objeto de caracterizar la utilización actual de los recursos subterráneos del Valle de Azapa, se ha confeccionado un catastro de sondajes y uno de norias en los cuales ha sido incorporada toda la información disponible de los pozos existentes. La base de estos catastros está constituida por los listados correspondientes al estudio “Modelo de Simulación de las Aguas Subterráneas del Valle de Azapa” (AC-DGA, 1989), los que fueron actualizados el año 1993 en el marco del estudio “Monitoreo Cuenca del Valle de Azapa” (AC-ESSAT, 1995).

Los antecedentes disponibles han sido corregidos y completados con información generada a partir de cuatro exhaustivas campañas de terreno efectuadas entre los meses de Marzo y Junio de 1996, en las que se corroboraron los datos de las fuentes anteriormente catastradas y se incorporó la información referente a pozos nuevos no consignados en los estudios previos de la zona.

Ante la ventaja de disponer de una base de información concordante con la existente a la fecha, en el nuevo catastro se ha mantenido la numeración tanto de los sondajes como de las norias ya consignadas. De este modo, a las nuevas captaciones incorporadas a los listados se les ha asignado una numeración correlativa a partir de los últimos puntos de los catastros anteriores.

Del estudio del año 1988 y su actualización al año 1993 se tenían antecedentes de un total de 205 norias distribuidas a lo largo de la zona de interés. En el desarrollo del actual estudio, este número ha sido incrementado hasta totalizar 391 fuentes, en 14 de las cuales (correspondientes a la información anterior) se desconoce completamente su ubicación, sin contarse con información alguna de su historial, y por lo tanto se presume que han

desaparecido por desmoronamiento o por las nuevas construcciones existentes en los sectores en los que se habrían emplazado. De las restantes, 27 corresponden a norias que fueron profundizadas como sondajes, y como tales, además de aparecer en el listado de norias, han sido incorporadas al de sondajes con una nueva numeración. Por otra parte, en 56 casos no fueron encontrados los puntos, aun cuando se conocían sus ubicaciones en los planos de los catastros antiguos.

De este modo, las norias efectivamente halladas alcanzaron un total de 294, y de éstas, sólo 108 se encuentran en uso, desglosándose en 44 utilizadas para fines de riego, 13 para fines domésticos, 15 para usos industriales y 36 utilizadas para más de uno de estos objetivos.

En cuanto a los sondajes existentes en el valle, la información previa disponible incluía un total de 168 fuentes, valor que con el presente estudio se ha incrementado hasta alcanzar 267 pozos. De éstos, 22 no tienen ubicación en el plano, 5 descritos antiguamente como sondajes corresponden a norias y 40 no fueron hallados, con lo que el total de pozos encontrados resulta ser de 200. De estos sondajes, 129 se encuentran actualmente en explotación correspondiendo 44 a fuentes de agua potable, 7 a fuentes industriales y 58 a fuentes para uso de riego. Por otra parte, 17 de los pozos activos tienen uso en riego y agua potable y 3 comparten sus extracciones entre los fines industrial y de regadío.

Toda esta información relacionada con la cantidad de fuentes en funcionamiento está resumida en el Cuadro 3.3.1-1.

CUADRO 3.3.1-1  
RESUMEN FUENTES ENCONTRADAS EN VALLE DE AZAPA

	Norias		Sondajes	
Total	391		267	
Encontradas	294		200	
En Uso	108		129	
Potable	13	12,0%	44	34,1%
Riego	44	40,7%	58	45,0%
Industrial	15	13,9%	7	5,4%
Riego - Potable	32	29,6%	17	13,2%
Riego - Industrial	1	0,9%	3	2,3%
Potable - Industrial	3	2,8%	0	0%

En los Cuadros 3.3.1-2 y 3.3.1-3, se presentan los catastros actualizados de norias y sondajes respectivamente, y en ellos se ha incorporado la mayor parte de la información disponible referente a cada una de las fuentes. Los puntos en los que aparece un asterisco (\*) frente a su numeración corresponden a los que no fue posible darles ubicación en el plano y de los cuales sólo se conoce su existencia anterior por los catastros disponibles de estudios previos. Asimismo, para la columna de las cotas, los valores que aparecen entre paréntesis representan magnitudes interpoladas generadas para este estudio, o bien provenientes de los estudios anteriores a los que ya se hizo referencia. Los restantes datos que de igual modo se encuentran encerrados entre paréntesis corresponden a información determinada de manera aproximada.

Debe hacerse notar que en el Cuadro 3.3.1-3 no aparecen los números 120 y 127, dado que así se encuentran los catastros antiguos los que se ha preferido no modificar. Del mismo modo, proveniente de los listados anteriores, se ha observado que existen 2 puntos con doble numeración (S-295 y S-297), y por esta razón el número total de pozos del catastro difiere del valor real evaluado en 256 fuentes.

Por otra parte, en el Plano 3.3.1-1 es presentada la ubicación de sondajes y las norias incluidos en los listados.



CUADRO 3.3.1-2: CATASTRO DE NORIAS CUENCA DEL RIO SAN JOSE  
I REGION - ARICA

NORIA Nº	UBICACION	PROPIETARIO	SECTOR	USO	COTA m.s.n.m.	PROF. PERF (m)	FECHA CONST.	PRUEBA DE BOMBEO			SITUACION ACTUAL (ABRIL - MAYO - JUNIO 1996)					DERECHOS CONCED.	OBSERVACIONES	
								CAUDAL (Vs)	N. E. (m)	N. D. (m)	PROF. (m)	DIAMETRO (m)	N. E. (m)	N. D. (m)	CAUDAL (Vs)			
1	PLAYA CHINCHORRO		ARICA NORTE	AB	(10)				1,23									
2	PLAYA CHINCHORRO		ARICA NORTE	AB	9				0,80									
3	PLAYA CHINCHORRO		ARICA NORTE	P	(3)	2,00			1,02									
4	PLAYA CHINCHORRO		ARICA NORTE	P	(3)	3,00			2,09									
5	PLAYA CHINCHORRO		ARICA NORTE	P	(3.1)	1,90			1,23									
6		GALLO	ARICA	SU	3													
7	CHUNO	D. PEREZ	CERRO CHUNO	SU	(30)		1920											
8	ENAMI	ENAMI	CERRO CHUNO	SU	(20)													
9	BARRIO INDUSTRIAL, AV. STA. MARIA	CORMETAR	ARICA NORTE	SU	25	28,70			18,44			22,23				NO SE EXPLOTA		
10	BARRIO INDUSTRIAL	EDELNOR	ARICA NORTE	TA	2											ABANDONADO		
11	RIO SAN JOSE	PAREDES	ARICA NORTE	TA			1959									ABANDONADO		
12	HOTEL EL PASO	HOTEL EL PASO	ARICA COSTA	R	(7)	9,00			5,33			7,07				BOMBA CENTRIFUGA HORIZONTAL		
13		MARIA GALINDO			(6)													
14	HIJUELA 14	SRA. ALVARADO (MARIO CHANG)	KM 4,0 P. GOMEZ	SU	(118.7)		1953		5,00		(30)			SECO		SE SECO HACE MAS DE 15 AÑOS		
15	LA PORTADA	T. NUNEZ	KM 4,0 P. GOMEZ		(118.4)				23,33							ACTUAL S-261		
16	MARAVILLA	DOMINGA SALAS	KM 4,0 P. GOMEZ	SU	(115.7)	12,00			5,00		15,00			SECO	10,0	SE SECO HACE MAS DE 20 AÑOS		
17		CANEPA																
18	OCURICA Y LEONOR	NEVERMAN	KM 3,3 P. GOMEZ	TA	(102.2)													
19	PARCELA LA PORTADA	T. NUNEZ	KM 4,0 P. GOMEZ	SU	(113.8)		1958		5,00		43,00			SECO		SE SECO EN EL AÑO 1990		
20	SAN GABRIEL	S. CAVALAN	KM 2,5 SAUCACHE	SU	96		1954											
21	ACEITUNAS PUCARA	PRIETO	KM 2,5 SAUCACHE		(92.8)													
22	COLCHAGUA	SUCESION LY	KM 2,0 SAUCACHE	SU	(90.5)	30,00	1957		5,00		20,85	1,50		SECO	2,0 (T)	ESTA SECO DESDE ANTES DE 1981		
23	COLCHAGUA	SUCESION LY	KM 2,0 SAUCACHE	SU	(89.3)	20,00			5,00		8,37	1,90		SECO	2,0 (T)	ESTA SECO DESDE ANTES DE 1986		
24	ESTADIO ITALIANO	COMUNIDAD ITALIANA	KM 2,0 SAUCACHE	SU	(86.9)		1965				48,85	1,00		SECO		SE DEJO DE BOMBLEAR EN NOVIEMBRE DE 1995 PORQUE SE DERRUMBO		
25	VILLA VERONA	HERNAN PERI	KM 2,0 SAUCACHE	TA			1964									LA NORIA FUE RELLENADA HACE 9 AÑOS, Y NO SE BOMBEA DESDE HACE 15		
26	JUAN MARCELO	J.PANIAGUA	KM 2,0 SAUCACHE		(83.7)				20,53							ACTUAL S-264		
27	KM 2,5 AZAPA	HEINZ NEDERMAN	KM 2,5 SAUCACHE	SU	(90)		1958				43,59			SECO		LA NORIA SE SECO EN 1992		
28	PARCELA H. LOTE 8, KM. 2,5 AZAPA	CARLOS CARRASCO	KM 2,5 SAUCACHE	P	(88)		1944				53,00			52,36		PARCELA LOTEADA DE HEINZ NEDERMAN		
29	HACIENDA LOS MOLINOS	LUIS NIKLITSCHKEK	KM 2,5 SAUCACHE	R	(85.8)		1964				65,00				49,00	NORIA PROFUNDIZADA CON SONDAJE. CORRESPONDE AL ACTUAL S-275		
30	LOS MOLINOS	TERESA TORO	KM 2,5 SAUCACHE	R			1920				53,52	1,30		52,77		EXISTE INTENCION DE PROFUNDIZARLA A FUTURO		
31	LOS MOLINOS	TERESA TORO	KM 2,5 SAUCACHE	TA												NO SE EXPLOTA DESDE 1984 Y SE TAPO EL AÑO 1994		
32	PARCELA SAN LUIS	DOMINGO DEVOTTO	KM 1,5 SAUCACHE	SU	(76.1)		1940		5,00							FUNCIONO HASTA EL AÑO 1962		
33	PARCELA SAN LUIS	DOMINGO DEVOTTO	KM 1,5 SAUCACHE	SU	(76.3)	28,00	1935		5,00							FUNCIONO HASTA EL AÑO 1968		
34	PARCELA SAN LUIS	DOMINGO DEVOTTO	KM 1,0 SAUCACHE	TA	76	45,00												
35	AZAPA 4120	A.WORM	KM 1,5 SAUCACHE						28,40							ACTUAL S-257		
36	AZAPA 4120	LUIS MATORANA (Ex Aguirre)	KM 1,5 SAUCACHE	R	(76.6)	40,00	1970	2,0	25,56							NO SE PERMITIO EL INGRESO. SE INFORMO QUE ESTABA TAPADO Y SIN USO		
37		SUC. SANCHEZ	KM 1,5 SAUCACHE	AB	(78.4)		1950											
38	VILLA CHABELA	CARLOS CRIGNOLA	KM 2,0 SAUCACHE	SU	(82.5)	30,00	1950		24,45		56,00	1.3 m - 12"		SECO		SE TRANSFORMO EN SONDAJE EN 1970. ACTUAL S-309. SE BOMBEO HASTA 1993		
39		M. CHANG	KM 1,5 SAUCACHE		81	50,00			25,09							ACTUAL S-256		
40	CAMPO VERDE 2170	JOSE DOMINGO CATALAN	KM 2,0 CAMPO VERDE	SU			1965				44,20	1,30		SECO		NUNCA HA SIDO EXPLOTADO EN FORMA PERMANENTE		
41	VILLA COLEGIO MEDICO	RUIZ	KM 0,5 SAUCACHE	TA			1960									SE TAPO HACE 8 AÑOS CUANDO SE CONSTRUYO EL CONDOMINIO		
42	COLEGIO ALEMAN	INGE BAHAMONDES	KM 1,0 SAUCACHE	SU	(70.6)	50,00	1961		33,88		56,54	1,20		SECO		ESTA SECO DESDE ANTES DE 1990 CUANDO SE COMPRO EL TERRENO		
43	QUEBRADA LA HIGUERA	ALVARADO	ARICA SAUCACHE	SU	62	30,00			5,00									
44	RENATO ROCA 1999	YPPB	CERRO CHUNO	SU	36	27,00			18,86									
45	BARRIO INDUSTRIAL	PEREZ	ARICA NORTE		30													
46	PARCELA LAS CARMENES	RINA BLANEY	KM 7,0 LAS ANIMAS	SU	(168)	18,00			7,79		14,55	1,25		9,26		8,0 (T)		
47	LOS ALAMOS	SUC. FERNANDEZ	KM 6,5 PAGO GOMEZ	SU	(152.6)	20,00	1925		10,55									
48	EL GALLITO	CECILIA CESPEDAS	KM 6,5 PAGO GOMEZ	R-SU	(153.5)	23,00	1958		13,83		44,10	1.4 m - 12"		31,97		SE PROFUNDIZO EN 1992 PERO NO SE HA USADO. ACTUAL S-359		
49	PONGO	CARLOS MOZO	KM 6,5 PAGO GOMEZ	AB	(150.9)	15,00	1960		5,00									
50	HACIENDA LAS PALMERAS	PABLO BENAVIDES	KM 6,5 PAGO GOMEZ	R	(157.2)	38,00	1964		8,0	10,88	51,00	1.5 m - "		38,00		NORIA TRANSFORMADA EN SONDAJE. CORRESPONDE AL ACTUAL S-351		
51	PARCELA EL TRIANGULO	SUSANA BRAVO (vda. de A. Corvacho)	KM 6,0 PAGO GOMEZ	AB	(140.1)	30,00	1950		38,0	21,56	36,20	1,90		36,00		SE SECO EN 1993 Y LA BOMBA QUEDO COLGADA		
52	PARCELA EL SAUCE	JAIME CESPEDAS	KM 6,0 PAGO GOMEZ	AB	138	44,00	1965			21,04	36,38	2,10		55,50		20,0 (T)		
53	PARCELA EL LAUREL	FILIBERTO FERNANDEZ	KM 5,0 PAGO GOMEZ	R-P	(133.4)	26,00	1984			23,08		14"			15,0	SE TRANSFORMO EN SONDAJE EN 1993. CORRESPONDE AL ACTUAL S-358		
54	PARCELA EL LAUREL	FILIBERTO FERNANDEZ	KM 4,5 PAGO GOMEZ	R	(130.8)	35,00	1936		25,8			14"			10,0	SE TRANSFORMO EN SONDAJE EN 1993. CORRESPONDE AL ACTUAL S-357		
55		A. GUTIERREZ	KM 4,5 PAGO GOMEZ						21,72							ACTUAL S-242		
56	JUAN DE C.	BRAZ	KM 4,5 PAGO GOMEZ															
57	SANTA ELEDINA	DANIEL SALINAS	KM 4,5 PAGO GOMEZ	R	(130.5)	46,00	03/96		22,57		46,25	1,30		45,00		8,0		
58	PARCELA ALGODONAL	YUSSEF BU-ANTUN (Câceres)	KM 4,0 PAGO GOMEZ	SU	(123.2)		1945		5,00		30,31	1,95		SECO		EL POZO SE BOMBEO HASTA EL AÑO 1965		
59	HACIENDA MIRAMAR	CRESCENCIA SALAS	KM 4,0 PAGO GOMEZ	R	122	40,00			25,82		60,00	1.4 m - 12"				SE TRANSFORMO EN SONDAJE EN 1995. ACTUAL S-290		
60	PARCELA SANTA JUANA	SUCESION JUANA HENRIQUEZ	KM 4,5 PAGO GOMEZ	TA												NORIA TAPADA. EL TERRENO FUE VENDIDO A SABINO BAEZ		
61	PARCELA SANTA JUANA	SUCESION JUANA HENRIQUEZ	KM 4,5 PAGO GOMEZ	R-SU	(122.6)	37,00	1945		25,12		42,00	1,50				NORIA TRANSFORMADA EN SONDAJE. CORRESPONDE AL ACTUAL S-320		
62		PASCUAL ROCO	KM 16,5 CHUVAL	R-P	334	29,00	1952		19,2	9,49	24,79			20,00		17,5	45,0 (T)	
63	DAVID	RAMOS-MOLINA	KM 16,0 CHUVAL	I	330	20,00	1965		0,2	11,20								
64	CERRO MORENO	LIDO CARBONE	KM 15,5 LAS RIVERAS	P	(311.6)	20,00	1936		0,6	5,25							ESTA PROXIMA A S-115 Y REEMPLAZADA POR ESTE PARA LOS MISMOS FINES	
65	CERRO MORENO	DANAE SAMOHOD LOMBARDI	KM 15,0 LAS RIVERAS	TA	300		1958									5,0 (T)	CORRESPONDE A UN SONDAJE QUE SE ATERRO HACE TIEMPO	
66	CERRO MORENO	JOSE A. ANDIA T.	KM 14,5 LAS RIVERAS	R-P	302		1960		4,42		20,72	3,60		20,19		12,0	8,0 (T)	2 BOMBAS DE 7 HP

CUADRO 3.3.1-2: CATASTRO DE NORIAS CUENCA DEL RIO SAN JOSE  
I REGION - ARICA

NORIA Nº	UBICACION	PROPIETARIO	SECTOR	USO	COTA m.s.n.m.	PROF PERF (m)	FECHA CONST	PRUEBA DE BOMBEO			SITUACION ACTUAL (ABRIL - MAYO - JUNIO 1996)					DERECHOS CONCED.	OBSERVACIONES		
								CAUDAL (Vs)	N. E. (m)	N. D. (m)	PROF. (m)	DIAMETRO (m)	N. E. (m)	N. D. (m)	CAUDAL (Vs)				
67	SAN FELIPE	JORGE TELENTE	KM 13,5 LAS RIVERAS	TA	294		1960										NORIA DE NO MAS DE 6 m ACTUALMENTE TAPADA		
68	SAN EDUARDO	LIDO CARBONE S.	KM 13,5 LAS RIVERAS	TA	292				5,00			50,00	10 "	16,68			SE TRANSFORMO EN SONDAJE EN 1995. CORRESPONDE AL ACTUAL S-345		
69	LAS RIVERAS	SAJAMA	KM 13,5 LAS RIVERAS	R	283			5,0	5,00								NO SE OBTUVIERON ANTECEDENTES EN TERRENO		
70	SAN FELIPE	ANGELICA KU BELLO	KM 13,5 LAS RIVERAS	SU	297		1972	5,0	5,00			12,05	1,30	SECO			SE SECO EN ENE/96. SE PRETENDE PROFUNDIZAR A FUTURO		
71	CHUVAL	PEDRO HUANCA M. (Ex Bakuer)	KM 18,0 CHUVAL	TA	372		1944	5,0									LA NORIA SE DERRUMBO HACE 10 AÑOS Y LUEGO SE TAPÓ		
72	SAN JUAN	SIMON YUSIC	KM 18,0 CHUVAL	R-SU	373		1955					28,62	1,40	SECO			SE ESTA PROFUNDIZANDO PARA SACAR AGUA PARA RIEGO		
73	SAN MANUEL	FACUNDO GUTIERREZ V.	KM 17,5 CHUVAL	R	(366.1)		1951		10,14			28,53	1,40	(28)			BOMBA HORIZONTAL DE 2"		
74	LA TARA	ANTONIA ESTORAICA A.	KM 17,5 CHUVAL	R	(359.4)		1954		10,89			23,40	1,80	25,35		30,0 (T)	ROL IREN 1830-7000 AC-6		
75	LA TARA	DOMINGO AVILES (Ex Melger)	KM 17,5 CHUVAL	R-P	(361.5)		1955		11,49			27,06	1,40	26,39			BOMBA DE 5,5 HP Y 1,5"		
76	SAN MARCOS	EDUARDO H. ROJAS M.	KM 17,5 CHUVAL	R-P/SU	354	28,00	1954		12,64			26,32	1,80	26,00			SIN USO DESDE NOV/95 POR DESCENSO DEL N. E. ROL IREN 1830-7000 AC-7		
77	EL OLIVO	AGRICOLA LOMBARDI	KM 17,0 CHUVAL	R	(353.8)	32,00	1949	40,0	10,82			70,00	11 "		26,27	30,0	SE PROFUNDIZO HACE 6 AÑOS Y AHORA ES SONDAJE (S-308)		
78	STA. INES	J. LOMBARDI	KM 18,0 CHUVAL	R	353				12,25										
79	STA. FILOMENA	STAGNARO	KM 20,0 CABUZA	P	393	25,00			23,15								2,5 (T)		
80	LA CUCANA	CHONG	KM 8,5 ALTO RAMIREZ	TA	197		1959												
81	SAN AGUSTIN	PALZA	KM 8,5 LAS MAITAS						21,30									ACTUAL S-259	
82	LA EXOTICA	SUC. OSORIO	KM 8,0 ALTO RAMIREZ	SU	190	35,00	1966		16,92										
83	LAS CADENAS	ALICIA PONCE	KM 8,0 ALTO RAMIREZ	P	(185.4)	20,00	1940		13,61										
84		JULIO SANTA MARIA	KM 7,5 LAS ANIMAS	R			1955					35,33	1,20	33,64		5,7	8,0 (T)		
85	LAS ANIMAS	JOHNNY YUCRA	KM 7,5 LAS ANIMAS	R	186	30,00	1955		19,94			34,23	1,50	29,58				FUNCIONA CON BOMBA DESDE 1981	
86	LAS CADENAS	ALIACI PONCE	KM 7,0 ALTO RAMIREZ	SU	(166.5)	8,00			5,00										
87	SAN FERNANDO	OSORIO	LAS MAITAS																
88	LA YARA	ENRIQUE CHANG R.	KM 17,0 CHUVAL	P-R	(337.9)	23,00	1946		11,45			27,45	1,40	25,09				BOMBA SUPERFICIAL DE 2"	
89	PARCELA LA AURORA	ARTURO BUITANO	KM 7,0 ALTO RAMIREZ	R	159	35,00	1944					38,14	2,00	33,12				LA ULTIMA PROFUNDIZACION SE HIZO EN 1980	
90	LAS ANIMAS	REINALDO FERNANDEZ	KM 6,5 PAGO GOMEZ	R-SU	(155.3)	20,00	1960		9,64			15,96	2,30	SECO				SE SECO EN 1994	
91	PARCELA LA PALMAS	JUAN ZABALA R.	KM 6,5 PAGO GOMEZ	SU	158	18,00	1945		8,88					SECO				NO FUE POSIBLE EL ACCESO	
92	LAS ANIMAS	KENNY YANULAQUE	KM 6,5 PAGO GOMEZ	SU	(155.6)	17,00			9,52			17,27	2,50	SECO				SE BOMBEO APROX. HASTA EL AÑO 1970	
93		CALOS MOZO	KM 6,5 PAGO GOMEZ						18,66									ACTUAL S-239	
94		CALOS MOZO	KM 6,5 PAGO GOMEZ	TA															
95	SAN ELIAS	Y. NADER BUJ-ANTUN	PAGO GOMEZ																
96	HACIENDA PIEMONTE (TIENDA)	ALDO LOMBARDI	KM 6,5 PAGO GOMEZ	R	(153.7)	31,00	1954		17,76			56,00		44,00		5,0	5,0	SE PROFUNDIZO COMO SONDAJE. CORRESPONDE AL ACTUAL S-323	
97	HACIENDA PIEMONTE	LOMBARDI	KM 6,5 PAGO GOMEZ	TA			1967	50,0											
98	HACIENDA PIEMONTE (MOLINO)	ALDO LOMBARDI	KM 6,5 PAGO GOMEZ	R	154	55,00	1945	8,0	23,67			51,78	1,40	42,68			25,0		
99	HACIENDA PIEMONTE (RIO)	ALDO LOMBARDI	KM 6,5 PAGO GOMEZ	R	155	77,00	1946		22,12			74,00	12 "				15,0	FUE TRANSFORMADO EN SONDAJE. CORRESPONDE AL ACTUAL S-324	
100	NOVA ITALIA	ALDO LOMBARDI	KM 7,0 ALTO RAMIREZ	R	(145.2)	63,00	1952		27,30			64,10				11,0		FUE TRANSFORMADO EN SONDAJE. CORRESPONDE AL ACTUAL S-325	
101	NOVA ITALIA	LOMBARDI	KM 7,0 ALTO RAMIREZ	TA															
102	LO ANDRADE	ALDO LOMBARDI	KM 6,0 PAGO GOMEZ	R	143	42,00	1945	1,7	30,85			47,33	1,40	SECO				FUE EXPLOTADO HASTA 1962, Y SE SECO EN AGOSTO DE 1995	
103	LA GONDOLA	ALDO LOMBARDI	KM 5,8 PAGO GOMEZ	R	(158.5)	30,00	1944		5,00			45,85		SECO			10,0	SE SECO HACE POCOS MESES	
104	SAN JUAN DE Ocurrir	M. GARDILIC	KM 4,5 PAGO GOMEZ	SU	(122)	25,00	1950		5,00										
105	AGRADECIDA	MAGDALENA HENRY ALBARRACIN	KM 13,0 SAN MIGUEL	P-R	281	17,00	1959	5,6	5,23			15,80		13,08	14,32				
106	BUEN RETIRO	LOMBARDI	LAS RIVERAS	TA															
107	LAS RIVERAS	E. CHONG	KM 13,5 LAS RIVERAS	SU	279				4,70										
108	SAN FCO. DE ASIS	ISAAC BALLUARTE	KM 13,0 SAN MIGUEL	TA	272		1950		0,54					SECO					
109	SAN JUAN	FOCACCI	KM 12,0 ALBARRACINES	SU	270	37,00			4,38										
110		BERETTA	KM 12,0 ALBARRACINES																
111	SAN FRANCISCO	DANTE NOCE	KM 12,5 SAN MIGUEL	AB	267	20,00	1945		30,00										
112	PARCELA 36 Y 37	A. CENTELLA	KM 12,5 SAN MIGUEL	SU	(269)	20,00	1963		17,65										
113	SAN LORENZO	ALBERTO FOCACCI	KM 11,0 ALBARRACINES	R	246	10,00	1953		5,00			34,57	1,60		32,34	5,0	35,0 (T)		
114	LA RINCONADA	GUTIERREZ	KM 11,5 ALBARRACINES	SU	237	33,00	1966		18,34										
115	LA HUERTA	FOCACCI	KM 10,5 LAS MAITAS	SU	(226.6)	67,00	1948		25,33										
116	LA HUANCA	ENRIQUE ALMONTE B.	KM 10,5 LAS MAITAS	AB	225	20,00	1943		5,00			24,12	2,50					ABANDONADA. SE SECO EN 1984. ROL IREN 1830-7010 BC-12	
117	LA HUANCA	MARIA GUTIERREZ (EX SAUL OVIEDO)	KM 10,5 LAS MAITAS	R	221	36,00	1957	1,5	23,04			38,31	2,50	32,00	37,00	0,8	20,0 (T)	BOMBEO PERMANENTE	
118	SAN ISIDORO	MIGUEL ISHIHARA	KM 10,5 LAS MAITAS	R	(221)	38,00	1942		22,59			39,57	1,50		35,57	17,0			
119	PARCELA 30	A. TORRES	KM 9,0 LAS ANIMAS	SU	(203.5)	20,00			18,84								12,0		
120		ROXANA GARDILIC	KM 8,5 LAS ANIMAS	R	200				1836,00										ACTUAL SONDAJE S-260
121		TORRES	KM 8,5 LAS ANIMAS																
122		COLONIA J. NOE	KM 12,0 SAN MIGUEL		250														
123	SAN FRANCISCO DE ASIS	ISAAC BALLUARTE	KM 13,0 SAN MIGUEL	R	275	12,00	1986	1,7	4,55			22,00	2,30	10,26					
124	QUEBRADA DEL DIABLO	MIGUEL CARBONE	KM 15 LAS RIVERAS	P-SU	302	11,00		4,0	9,52										SE ATERRÓ Y SE CONTRUYO LA NORIA N-269 AL LADO PARA SU REEMPLAZO
125	PARCELA 1	NELLY SOTO	KM 14,0 LAS RIVERAS	P-R	(285.1)	12,00	1970		1,00			11,60	1,50	10,90		1,3	20,0 (T)	BOMBA HORIZONTAL DE 1,5"	
126	LAS RIVERAS	EDA CARBONE	KM 15,5 LAS RIVERAS	P-R	(317.8)	17,00	1983		6,52			23,13	1,20	SECO			12,0 (T)	EXISTE INTENCION DE PROFUNDIZARLO COMO SONDAJE	
127		MANUEL MELGAR O. (Ex Chirinos)	KM 15,5 LAS RIVERAS	P-R	(317.9)		1955		5,65			24,60	1,30		24,00	(4.5)		BOMBA HORIZONTAL DE 2"	
128	LAS DUNAS	DOROTEA SORTA	ARICA CHINCHORRO	P	(4.5)				2,84								1,5 (T)		
129	RESTAURANT G. COJO	DOROTEA SORTA	ARICA CHINCHORRO	P	(4.5)	2,50			1,55								1,5 (T)		
130	RESTAURANT G. COJO	DOROTEA SORTA	ARICA CHINCHORRO	P	(4.5)	3,00	1958		1,43								1,5 (T)		
131	LAS DUNAS	DOROTEA SORTA	ARICA CHINCHORRO	SU	(4.5)				1,40										
132	LAS DUNAS	CLINICA VETERINARIA	ARICA CHINCHORRO	SU	(4.5)				1,22										

CUADRO 3.3.1-2: CATASTRO DE NORIAS CUENCA DEL RIO SAN JOSE  
I REGION - ARICA

NORIA Nº	UBICACION	PROPIETARIO	SECTOR	USO	COTA m.s.n.m.	PROF. PERF (m)	FECHA CONST.	PRUEBA DE BOMBEO			SITUACION ACTUAL (ABRIL - MAYO - JUNIO 1996)				DERECHOS CONCED. (Vs)	OBSERVACIONES	
								CAUDAL (Vs)	N. E. (m)	N. D. (m)	PROF. (m)	DIAMETRO (m)	N. E. (m)	N. D. (m)			CAUDAL (Vs)
133	PLANTA TOMATIN	AGRICOLA LOMBARDI	KM 17,0 CHUVAL	SU	(352.2)	14,00		7,0	12,84		25,35	1,10	SECO		SE SECO APROX. EN OCTUBRE/1995		
134	PLANTA TOMATIN	AGRICOLA LOMBARDI	KM 17,0 CHUVAL	I	(350)	10,00			5,00		30,34	1,20	25,88		SE BOMBEEA APROX. 50 HORAS POR SEMANA		
135	SAN ANTONIO	LUCIA RAMOS B.	KM 16,0 CHUVAL	R-P	(327.4)	12,00	1985		9,62		30,78	1,30	26,08	6,5 (T)	BOMBA HORIZONTAL DE 2"		
136	COLEGIO SAN JORGE	COLEGIO	KM 2,5 SAUCACHE	SU	(89.8)	50,00	1984		22,70						ESTA TAPADO Y FUE IMPOSIBLE ABRIRLO		
137		GIANPIER OHACO ADAM	KM 2,5 SAUCACHE	SU	(92.7)				23,60		30,95	1,20	SECO	10,0 (T)	PROPIETARIO RESIDENTE EN SANTIAGO. POZO SECO DESDE ANTES DE 1992		
138		PEDRO BEOVIC	KM 2,5 SAUCACHE	P	(94.6)						42,18	1,00	SECO				
139	OCURICA Y LEONOR	NEVERMAN	KM 3,3 PAGO GOMEZ	SU	(101.7)				24,73								
140	PARCELA 25 LOTE O ALGODONAL	ROBERTO ALLENDE (EX C. CESPEDES)	KM 3,5 ALGODONAL	SU	(105.1)	48,00		8,5	24,77		(50)		SECO		SE USO HASTA EL 94. EN 1995 SE SECO. NO SE PERMITIO EL INGRESO		
141	PARCELA 43	C. FOCACCI	KM 3,5 ALGODONAL	P	(107.7)	32,00		0,8	24,84								
142	CUNCUMEN, PARCELA 41	ALEX LEBNER	KM 2,5 ALGODONAL	R-P	(107.6)	28,00		1,0	24,06		53,17	1,20	51,54	2,2	LA PARCELA PERTENECIA A PAUL BIRO. EL ACTUAL DUENO VIVE EN IQUIQUE		
143	CUNCUMEN, PARCELA 41	ALEX LEBNER	KM 2,5 ALGODONAL	SU	(106)	30,00		1,5	24,27						LA PARCELA PERTENECIA A PAUL BIRO. EL POZO SE ENCUENTRA SELLADO.		
144	CUNCUMEN 3940	JORGE VELEZ	KM 2,5 ALGODONAL	R	(105.1)				23,88		54,36	1,20	50,85	5,8	LA ULTIMA PROFUNDIZACION FUE EN NOV/96.		
145	LOTEO ALGODONAL	S. DONOSO	KM 2,5 ALGODONAL	SU	(102.6)	38,00		1,7	23,10		50,00	1,10	SECO		SE BOMBEO HASTA MAY/95. EN OCT/95 SE PROFUNDIZO SIN USARSE		
146	PETORCA 5809	C. RAMIREZ	KM 3,0 ALGODONAL	P	(98.5)	40,00		3,0	29,26								
147	PARCELA 19	EDUVIGIS LEIVA	KM 2,5 ALGODONAL	SU	(95.1)	16,00	1984		5,00		15,00	1,50			SE SECO AL AÑO SIGUIENTE DE SU CONSTRUCCION		
148	PARCELA 48	DANTE CROSSA	KM 2,5 ALGODONAL	SU	(104.6)	16,00			5,00		12,96	1,30	SECO		NO SE BOMBEEA HACE 9 AÑOS. AHORA SE ARRIENDA EL PREDIO A UN JARDIN		
149	PARCELA 49	GASTON VICENCIO	KM 2,5 ALGODONAL	SU	(105.8)	35,00		1,0	24,70						LA NORIA SE CLAJSURO CON UNA LOSA DE HORMIGON		
150	CUNCUMEN, PARCELA 38	RENATO AGUIRRE	KM 2,5 ALGODONAL	SU	(101)				24,76						NO SE PERMITIO EL INGRESO A LA PROPIEDAD		
151	CUNCUMEN, PARCELA 28	RUBEN CONTRERAS	KM 2,5 ALGODONAL	SU	(95)	25,00			21,71		49,77	1,10	48,48		SE BOMBEO HASTA ENERO/95 CUANDO LA BOMBA QUEDO COLGADA		
152	CUNCUMEN, PARCELA 36	P BEOVIC	KM 2,5 ALGODONAL	SU	(100.1)		1988		24,08						LA PARCELA ESTA ABANDONADA		
153	COMBARBALA, PARCELA 29	ANDRES CAREVIC	KM 2,5 ALGODONAL	SU	(99)						(50)	1,30	SECO		SE SECO APROX. EN EL AÑO 1993		
154		V. SABA	KM 3,5 ALGODONAL	P	(101.8)	14,00			5,00								
155	PETROCA 5968, PARCELA 23	OTTO KOCH	KM 2,5 ALGODONAL	SU	(104.8)						15,00		SECO		NO SE PERMITIO EL INGRESO		
156	CENTRO ESPAÑOL	COMUNIDAD ESPAÑOLA	KM 2,5 ALGODONAL	R							56,78	1,30	50,98	2,3	LA ULTIMA PROFUNDIZACION FUE EN ENE/96		
157	LAS CANAS 2198	M. PEREZ	KM 3,0 ALGODONAL	P	(94.9)	35,00		2,0	28,26					1,0 (T)			
158	COMBARBALA 2036	PIO LOPEZ	KM 3,0 ALGODONAL	R	(99)	35,00		1,5									
159	PARCELA 2	ALICIA SOLARI	KM 2,5 ALGODONAL	R-P	(100)	35,00		5,5	30,45		57,13	1,25	55,97	0,6	SE PROFUNDIZO EN JUNIO/95		
160		R. CASTRO	KM 2,5 SAUCACHE	R	(96)	34,00		1,5	45,40					1,25 - 1,0(T)			
161	LOS ITALIANOS 2090	MARCO A. AGUIRRE	KM 2,0 SAUCACHE	R-P	(89.8)	32,00			22,41		52,40			51,84	(5)	1,1	PROFUNDIZADO EN ABRIL DE 1995. EL RENDIMIENTO VA EN DESCENSO
162	LOS ITALIANOS 2110	EDUARDO AJTRAN	KM 2,0 SAUCACHE	R	(88.2)	30,00		1,0		22,98	30,45	1,50	SECO		SE BOMBEO PERMANENTEMENTE HASTA SEP/1995 FECHA EN QUE SE SECO		
163	PANAMERICANA 2831	M. CALVANESE	ARICA-SAUCACHE	SU	(61.4)	25,00			5,00								
164	CAMPO VERDE 2140	FRANCISCO NIEDMMAN	KM 2,0 CAMPO VERDE	SU	(82.9)		1986		24,92		48,25	1,20	SECO		SE PROFUNDIZO EN EL AÑO 1994, Y UN AÑO DESPUES SE SECO		
165	PARCELA 5-A	XIMENA SOLARI	KM 2,0 CAMPO VERDE	SU	(77.3)		1986		25,55		42,40	1,30	SECO		SE SECO EN EL AÑO 1994		
166	PARCELA 5	NARDA COLQUE	KM 2,0 CAMPO VERDE	SU	(76.3)	28,00	1986						SECO		LA NORIA ESTA ABANDONADA AL IGUAL QUE LA PARCELA. NO SE MIDIO		
167	CAMPO VERDE 707	FERNANDO BRITO	KM 2, 0 CAMPO VERDE	SU	(78.3)		1988								EL DUENO NO PERMITIO EL INGRESO PARA MEDIR LA NORIA		
168	HOT. S. GEORGETTE, AZAPA 3221	ANDRES PAVISIC	ARICA ORIENTE	SU	(60.3)	16,00			5,00			1,6 m - 8"		(7)	NORIA PROFUNDIZADA COMO SONDAGE. ACTUAL S-303		
169	HOTEL LOS HIBISCOS	ANDRES PAVISIC	ARICA ORIENTE	SU	(59.5)		1987		34,13		52,50	1,60	52,00		FUERA DE USO. EXISTE INTENCION DE TRANSFORMARLA EN SONDAGE		
170	CAMPUS SAUCACHE	U. DE TARAPACA	ARICA SAUCACHE	SU	(46)	28,00			5,00						ABANDONADO		
171	ESCUELA ALGODONAL	SERME ARICA	KM 45,0	P-SU		53,00		0,8	5,00		48,72	2,20	SECO				
172	PARCELA AZAPA	EJERCITO DE CHILE	KM 30,0 CASAGRANDE	P		12,00		5,0	4,00								
173	PARCELA AZAPA	EJERCITO DE CHILE	KM 30,0 CASAGRANDE	SU					5,30								
174	PLAYA CHINCHORRO		ARICA NORTE	SU	(3)	2,00			1,00								
175	BARRIO INDUSTRIAL	GENERAL MOTORS	ARICA NORTE	P-I	(26.2)					22,54					NORIA PROFUNDIZADA COMO SONDAGE. ACTUAL S-302		
176	BARROS ARANA 2599	BOTTAJ HNOS.	ARICA NORTE	I	(28.3)			4,2	22,06		32,00	1,20	29,13	30,0 (T)	USO INDUSTRIAL EN PREFABRICADOS DE HORMIGON		
177	HOTEL EL PASO	HOTEL EL PASO	ARICA COSTA	R	(5.9)				3,81				5,14		BOMBA CENTRIFUGA HORIZONTAL		
178	HOTEL EL PASO	HOTEL EL PASO	ARICA COSTA	R	(6)	8,00			3,75				6,10		RIEGO DE JARDINES Y CANCHA DE TENIS		
179	LAVANDERIA MODERNA	NINO BALTOU	ARICA CENTRO	I	(11.7)	13,00	1969	2,0	7,95		12,31	1,25	9,70		LAVADO DE TELAS		
180	SAN GABRIEL	S. CORVALAN	KM 2,5 SAUCACHE	R-P	(96)			1,5	22,67								
181	LOS MOLINOS	HUGO HUANCA (PANADERIA HH)	KM 2,5 SAUCACHE	R	(82.1)	30,00		3,5	22,20		52,57	1,20	51,57		HUGO HUANCA COMPRO EL TERRENO A TERESA TORO		
182	PARCELA LOS MOLINOS	TERESA TORO	KM 2,5 SAUCACHE	R	(86)	25,00			24,07		15,52	1,40			SE ENCUENTRA EN CONSTRUCCION. EXPECTATIVAS DE CAUDAL: 10 Vs		
183	AVICOLA DONOSO	DONOSO	KM 2,5 SAUCACHE	SU	(83)				24,72								
184	PARCELA SAN LUIS	D. DEVOTO	KM 1,5 SAUCACHE	R	(77)	39,40			29,44								
185	VILLA PAULITA	SILVIA PELIZARI	KM 2,5 SAUCACHE	SU	(85.5)	30,00	1985		21,17		48,00	1,30	SECO		SE SECO EN EL AÑO 1992		
186	VALLE DE AZAPA 4427	DOMINGO MONTALVO	KM 1,0 SAUCACHE	SU	(77.6)		1980		27,60		50,05	1,40	SECO		SE BOMBEO HASTA 1993. EXISTE INTENCION DE PROFUNDIZARLO		
187	PARCELA 8 STA. CLARA	HERMINIA HERNANDEZ	KM 2,0 CAMPO VERDE	SU	(85.5)	27,00	1986		21,55		40,00	1,00	SECO		SE SECO EN EL AÑO 1990		
188	PARCELA 2	PESQUERA COLOSO	KM 2,0 CAMPO VERDE	SU	(74.3)	32,00	1986		25,09		38,60	1,30	SECO		EL PREDIO FUE COMPRADO POR P. COLOSO A GERARDO DIAZ HACE 9 AÑOS		
189	SANTA EDELINA	ABUSLEME (Suc. Salinas)	KM 4,5 PAGO GOMEZ	AB	(130.6)	27,00	1958	1,0	22,98		(45)				EN 1979 SE DERRUMBO Y QUEDO FRAGIL. ES PELIGROSO ARREGLARLO		
190	PARCELA 7 HAC. LA HUERTECITA	AMADOR TORRES	KM 4,5 PAGO GOMEZ	SU	(128.7)	27,00	1986		25,02		34,30	1,30	SECO				
191	PARCELA 5 HAC. LA HUERTECITA	HECTOR CASTILLO	KM 4,5 PAGO GOMEZ	SU	(128.5)	27,00	1986	1,0	22,80		43,18	1,20	SECO		SE BOMBEO HASTA 1993		
192	CERRO MORENO	DANA E SAMOHOD LOMBARDI	KM 15,0 LAS RIVERAS	R-P	(501.3)		1984	8,5	2,08		27,00		20,44	4,0	5,0 (T)	SE SECO EN NOV/95 Y SE PROFUNDIZO PARA CONTINUAR LA EXPLORACION	
193	PARCELA 22	E. EVACA	KM 7,0 ALTO RAMIREZ	P	(165.2)	10,80			4,05								
194	LAS CARMENES	RINA BLAMEY	KM 7,0 LAS ANIMAS	SU	(161.5)				7,55								
195	STA. IRENE SUR	FRANCISCO CONDORI	KM 20,0 CABUZA	SU	(412.1)	25,00	1988		19,52		24,22	1,20	23,89				
196	OLIVAR WEGUELI	HUGO MOZC	KM 5,5 PAGO GOMEZ	SU	(140.6)	33,00	1967		25,95		40,61	1,55	39,79	25,0 (T)	ULTIMA PROFUNDIZACION EN 1991 SE BOMBEO HASTA 1993		
197	ALAMEDA	SUC. FERNANDEZ	KM 6,5 PAGO GOMEZ	SU	(154.7)	10,00			5,00								
198	PARCELA LAS PALMAS	DELFINA LEON - FERNANDO ROQUE	KM 5,0 PAGO GOMEZ	SU	(145)				4,90		25,00	1,50	12,39		DETENIDO HACE MAS DE 10 AÑOS. EXISTE INTENCION DE PROFUNDIZARLO		

USOS DE LAS FUENTES: P: POTABLE, R: RIEGO, I: INDUSTRIAL, SU: SIN USO, O: OBSERVACION, E: ESTUDIO, AB: ABANDONADO, TA: TAPADO

CUADRO 3.3.1-2: CATASTRO DE NORIAS CUENCA DEL RIO SAN JOSE  
I REGION - ARICA

NORIA Nº	UBICACION	PROPIETARIO	SECTOR	USO	COTA m.s.n.m.	PROF. PERF (m)	FECHA CONST.	PRUEBA DE BOMBEO			SITUACION ACTUAL (ABRIL - MAYO - JUNIO 1995)				DERECHOS CONCED.	OBSERVACIONES
								CAUDAL (Vs)	N. E. (m)	N. D. (m)	PROF. (m)	DIAMETRO (m)	N. E. (m)	N. D. (m)		
199		OVANDO	KM 4,5 PAGO GOMEZ	SU	(125.2)											
200		OVANDO	KM 4,5 PAGO GOMEZ	SU	(125.6)	18,00		5,00								
201	SAN JOSE	A. CARBONE	KM 13,0 SAN MIGUEL	SU	(279)	10,00		5,79								
202	LADERA IZQUIERDA	M. CABRERA	KM 13,5 LAS RIVERAS	SU	(285)		1988	7,46								
203	ESCUELA G-9	MUNICIPALIDAD DE ARICA	KM 10,5 LAS MAITAS	P-SU	(226.7)	39,00	1983	0,3	24,16	27,44	2,00	SECO			DEJO DE FUNCIONAR EN EL AÑO 1991	
204		E. CUESTA	KM 11,0 ALBARRACINES	P	(241.6)	30,00	1983	3,0	18,02							
205	LOTE AB	MANUEL MADRID	KM 15,0 LAS RIVERAS	R-P	(303)	18,00	1980	12,0	1,52	21,00	1,30	16,70		12,0	SE CONSTRUYO LA NORIA N-303 PARA REEMPLAZAR A ESTE POZO	
206	PARQUE BRASIL - CASINO	MUNICIPALIDAD DE ARICA	ARICA COSTA	R	6		1962			5,80	3,00		4,85	(1.5)	RIEGO DE JARDINES. BOMBA HORIZONTAL DE 4 KW	
207		M. ORTUÑO	LA MAITAS	R	227									45,0		
208	PARCELA 1	SANTIAGO BLANCO	CHUVAL	R	367		1991			37,54	1,30		36,04		BOMBA DE 5 HP	
209		JUAN LLERENA	CHUVAL	R-P	392					50,00	1,5 m - 12"	34,00			SE PROFUNDIZO CON UN SONDAJE. CORRESPONDE AL ACTUAL S-350	
210		JUAN VEGA	CHUVAL	R-P	393		1991			32,36	1,10	29,87		10,0 (T)	BOMBA HORIZONTAL DE 1,5"	
211		JOSE MADARIAGA C.	CHUVAL	R-P	393		1984			32,51	1,20	32,01				
212		PABLO CESPEDES (Ex Mamani)	CABUZA	R	408		1989			36,56	1,40	34,00		7,3 (T)	IMPULSION DE 3"	
213		DAVID ARCE	CABUZA	R-P	415		1990			41,78	1,30	38,02			IMPULSION DE 2"	
214		ESTELA CASTRO V. (Ex Mamani)	CABUZA	R-P	427		1988			32,30	1,20	30,30			BOMBA DE 7 HP Y 2"	
215		ESTELA CASTRO V. (Ex Mamani)	CABUZA	R	428		1985			35,64	1,20	19,18				
216	ESSAT-CHINCHORRO N.	ESSAT S. A.	ARICA COSTA	SU	3							1,80			NORIA FUERA DE USO	
217	HOTEL EL PASO	HOTEL EL PASO	ARICA COSTA	R	6			6,40				4,59			BOMBA CENTRIFUGA HORIZONTAL	
218	PARCELA 46	OMAR ALFARO	KM 3,0 ALGODONAL	SU	105			32,32	1,20	SECO					HASTA EL AÑO 1995 SE BOMBEABA APROX 2 l/s UNA HORA DIARIA	
219		S. ANTUM	PLANTA AZAPA		124											
220	PARCELA EL SAUCE	JAIMÉ CESPEDES	PLANTA AZAPA		139	35,00	1946			34,75	1,40	33,19		15,0 (T)	ESTA MUY INFLUIDO POR EL BOMBEO DEL S-358	
221	PARCELA EL GALLITO	CÉCILIA CESPEDES	PLANTA AZAPA	R	140	40,00	1981			39,55	1,25	34,94		4,0	15,0 (T)	RIEGA PARCELAS EL GALLITO Y EL SAUCE
222	PARCELA LAS CARMENES	RINA BLAMEY	LAS ANIMAS		180					43,08	1,75 m - 20"		35,74			NORIA PROFUNDIZADA. CORRESPONDE A ACTUAL SONDAJE S-219
223	PARCELA SAN ELIAS, KM 6,0	YUSSEF BU-ANTUN	LAS ANIMAS	SU	154		1995			42,39	1,2 m - 12"	37,73				SE TRANSFORMO EN SONDAJE. CORRESPONDE AL ACTUAL S-355
224	PARQUE CENTENARIO	P. CENTENARIO. MUNIC. DE ARICA	ARICA COSTA	R	4			8,00				5,61				INACTIVA DESDE 1994. SE ESTA LIMPIANDO PARA OPERARLA
225	PARQUE CENTENARIO	P. CENTENARIO. MUNIC. DE ARICA	ARICA COSTA	R	4							3,99				BOMBA HORIZONTAL DE 1,5 KW
226	PARQUE CENTENARIO	P. CENTENARIO. MUNIC. DE ARICA	ARICA COSTA	R	4			7,20				5,52				INACTIVA DESDE 1994. SE ESTA LIMPIANDO PARA OPERARLA
227	PLAYA CHINCHORRO	MUNICIPALIDAD DE ARICA	ARICA COSTA	R	3							2,53				LA CONDUCTIVIDAD SOBREPASO LOS 20.000 umhos/cm
228		JUAN VEGA	CABUZA	SU	410		1992			22,42	1,20	22,45				SE PRETENDE HABILITAR A FUTURO PARA USAR EN RIEGO
229	PEREZ ZUJOVIC 353	AGUACOR S. A.	ARICA COSTA	P			1995	35,0		8,00		(6)	(8)	8,0	35,0 (T)	DREN L=80 m. DOS CAMARAS DE 25 m Y UNA DE 12 m DE PROFUNDIDAD
230		ALDEA POLINESICA	ARICA COSTA		3											
231		EPIFANIA SALAS (S)	CHUVAL	SU			1989			28,28	1,20	21,70				
232		EPIFANIA SALAS (N)	CHUVAL	R-P			1991			25,21	1,20	22,96				BOMBA HORIZONTAL DE 1,5" Y 1,5 HP
233		ANDRES LLAMPARA	LAS RIVERAS	P			1981			26,75	1,70	23,20				BOMBA HORIZONTAL DE 5,5 HP Y 1,5"
234		FRANCISCO MARCHESI	LAS RIVERAS	R-P			1973			28,16	1,30	19,68				BOMBA DE 3 HP Y 1,5"
235		NELSON SUPANTA	LAS RIVERAS	R-P						26,90	1,40	23,48				NORIA ARRENDADA A ANDRES LLAMPARA
236		ORLANDO GREGORIO C.	LAS RIVERAS	P			1992			26,20	1,50	21,02				BOMBA SUPERFICIAL DE 3 HP Y 1,5"
237	PARCELA 4, EL OVALLINO	CLARA MAMANI	KM 16,0 CHUVAL	R-P		20,00	1992			26,33	1,30		24,10	1,0		LA ULTIMA PROFUNDIZACION FUE EN AGOSTO/95
238		CIRIACO HUANCA		R-P			1995			20,27	1,50	19,15				BOMBA DE 1,5"
239		SUCESION GUTIERREZ VELASQUEZ		R-P			1989			37,29	1,30	34,17				
240		FRANCISCO CONDORI		SU						15,96		SECO				SE UBICA A 5 m DE LA NORIA N-195
241		ELCILIA CONDORI		SU						31,00	1,30	30,73				EXISTE INTENCION DE HABILITARLA PARA RIEGO Y AGUA POTABLE
242		OSCAR MENA M.		P						18,67	1,30	17,64				
243		LEONEL SALINAS		R-P			1995			34,00	1,25	32,45				BOMBA DE 2" Y 7 HP
244		ABDON CAYO								38,50	1,30	SECO				NORIA EN CONSTRUCCION
245	PARC. 6, KM 10,0, COOP. JUAN NOE	LUIS OLIVARES		SU			1970			36,21	1,40	16,10				FUE SONDAJE, PERO POR BAJO RENDIMIENTO SE SACARON LOS TUBOS
246	PARC. SORRENTO Nº17 ALGODONAL	ALDO LOMBARDI		R		34,00	08/70	1,5	51,12	51,54			1,5			SE PROFUNDIZO EN JUN/95. PRUEBA DE BOMBEO DE JUL/95
247	OLIVAR WEGUELI	HUGO MOZO		R-P			1987			42,55	1,80	36,88		(25)	51,5 (T)	SE PROFUNDIZO EN 1995.
248	PARCELA 6 HAC. LA HUERTECITA	EJERCITO DE CHILE	KM 4,5 PAGO DE GOMEZ	SU						45,24	1,30	SECO				SE BOMBEO HASTA 1993
249	PARCELA 1 HAC. LA HUERTECITA	EDITH REYGADAS O.		SU						(50)	1,20	SECO				SE SECO EN 1995
250		BÓTTAI	VILLA FRONTERA	I-SU	(48)						1,30	30,10				ERA UTILIZADA PARA LAVAR ARIDOS
251		NAZARIA SOTO	VILLA FRONTERA	P	(43)	32,00				31,84	1,50	29,30		0,9		SE BOMBEO 30 MINUTOS DIARIOS
252	CAMPING MARINA (K-14)	AIDA DICKINSON	VILLA FRONTERA	P	(40)	30,00				30,00	1,50	24,12		3,0		SE USA OCASIONALMENTE PARA RIEGO Y PARA UNA PISCINA
253	PARCELA N-6	MIGUEL MORENO	VILLA FRONTERA	SU	(52)	25,00	1990			24,89	1,30	23,52				
254	PARCELA N-15	LUIS CARLOS FOCACCI	VILLA FRONTERA	SU	(20)					21,05	1,20	19,20				
255	PARCELA N-1	JUAN ACUNA	VILLA FRONTERA	P	(40)		1990			28,12	1,50	SECO				EXISTE INTENCION DE PROFUNDIZAR
256	PARCELA M-7	ELEODORO CARDENAS	VILLA FRONTERA	P	(25)	25,00	1984			24,60	1,50	16,65				
257	PARCELA M-15	DONALD ERKINS	VILLA FRONTERA	R	(20)					18,07	2,05	15,81				SE BOMBEO SOLO EN FORMA ESPORADICA
258	PARCELA N-18	JUAN AGUIRRE - ROSA ARAYA	VILLA FRONTERA	R-I	(17)		1985			27,46	1,00	17,36		5,6		SE REALIZA VENTA DE AGUA EN CAMIONES
259			VILLA FRONTERA	AB	(15.7)					16,30	1,36	SECO				EL PREDIO SE ENCUENTRA ABANDONADO
260	PAARCELA M-13		VILLA FRONTERA	AB	(15.7)					23,17	2,20	SECO				
261	AVICOLA LAS 3 E (PARC. N-21 Y N-22)	CARLOS CABEZAS	VILLA FRONTERA	I	(14.7)		1993			19,00	1,20	16,30		(1.5)		SE BOMBEO UNA VEZ CADA 3 DIAS, 30 MINUTOS
262	PARCELA I-15	DOMINGO BUSTOS	VILLA FRONTERA	R-O	(29.3)					32,00	1,30	27,46		3,3		RIEGO DE JARDINES Y PISCINA
263	PARCELA D-8	GABRIEL AHUMADA	VILLA FRONTERA	SU	(27.5)					27,20	1,30	SECO				NUNCA SE LE HA DADO USO
264	PARCELA F-17	RICARDO BREMER	VILLA FRONTERA	I-P	(25)					28,00	1,00	24,52		1,1		DEJO DE BOMBEO EN SEP/95 POR FALLA DE LA BOMBA

USOS DE LAS FUENTES: P: POTABLE, R: RIEGO, I: INDUSTRIAL, SU: SIN USO, O: OBSERVACION, E: ESTUDIO, AB: ABANDONADO, IA: TAPADO

CUADRO 3.3.1-2: CATASTRO DE NORIAS CUENCA DEL RIO SAN JOSE  
I REGION - ARICA

NORIA N°	UBICACION	PROPIETARIO	SECTOR	USO	COTA	PROF. PERF (m)	FECHA CONST.	PRUEBA DE BOMBEO			SITUACION ACTUAL (ABRIL - MAYO - JUNIO 1998)				DERECHOS CONCED.	OBSERVACIONES
								CAUDAL (l/s)	N. E. (m)	N. D. (m)	PROF. (m)	DIAMETRO (m)	N. E. (m)	N. D. (m)		
265	RANCHO PARAISO (PARC. F-11)	U. DE TARAPACA	VILLA FRONTERA	R	(23)		04/96				30,00	1,30	20,30			TODAVIA NO HA SIDO PUESTA EN OPERACION
266	PARCELA 21	PABLO CASTELLON	VILLA FRONTERA	I	(29)		1996				31,00	1,30	29,08			HASTA LA FECHA NO HA HABIDO EXTRACCION
267		M. FIGUEROA	PLANTA AZAPA													SE ESTA EXCAVANDO AL LADO DEL SONDAGE S-153
268	PARC. VECINA A CAMPING S. CARLOS	COM. VILLA FRONTERA	VILLA FRONTERA	AB	(28.5)						24,00	1,30	SECO			PERTENECIO A LA COMUNIDAD. HOY ESTA SECO Y ABANDONADO
269	QUEBRADA DEL DIABLO	MIGUEL CARBONE		P-R							26,00	1,20	25,70			NORIA NUEVA QUE REEMPLAZA A LA N-124 QUE SE DESMORONO
270	PARCELA J-5	ALFREDO GUTIERREZ	VILLA FRONTERA	P-I	(41)		1995				30,00	1,30	25,34	2,5		
271		FERNANDO OLGUIN	VILLA FRONTERA	R	(23.4)		03/96				25,00	1,50	22,53	0,7		
272	PARCELA A-7	ASOC. GUIAS Y SCOUT DE CHILE	VILLA FRONTERA	P	(23.5)		1994				(29)	1,50	25,70	1,4		NORIA DE USO PARA CAMPAMENTOS ESCOLARES Y SCOUT
273	CHACRA EL MOLINO	CELITE CHILE S. A.	CHACALLUTA KM 10	I	(14.7)						10,58	1,30	9,38			
274	LA PONDEROSA, PARCELA 23	ARTURO MURILLO	LA PONDEROSA	R	(14.8)		1993				7,00	1,00	4,50	10,0		
275			LA PONDEROSA - CHINCHORRO	AB	(2.8)						3,60	1,25	1,60			ANTES SE UTILIZO PARA CAMIONES ALGIBES
276	HIJUELA 5	EMILIO MARIN	LA PONDEROSA	P	(4.4)		1978				3,25	1,80	2,15	0,2		
277	PARCELA 7	SOC. ANONIMA LAS MACHAS	LA PONDEROSA	P	(7.6)		1993				3,51	1,00	2,68			POZO PARA USO EN COMPLEJO DE RECREACION
278		SINDICATO PESQUERA INDO	LA PONDEROSA	P	(10.8)		1990				6,00	1,00	2,80			
279	PARCELA D-2	JUAN GIMENEZ	VILLA FRONTERA	P-I			1970				32,50	1,30		31,10	3,7	
280	PARCELA M-7	CHILCO LTDA.	VILLA FRONTERA	I	(20)		1986				20,00	1,30	16,33			
281	HIPODROMO DE ARICA	HIPODROMO ARICA S. A.	ARICA NORTE	R	(8)		1963				5,40	2,00	3,00	2,1		
282	HIPODROMO DE ARICA	HIPODROMO ARICA S. A.	ARICA NORTE	R	(5.4)		1963				7,00	2,00	3,30			SE UTILIZA PARA RIEGO DE JARDINES
283		CONSTRUCTORA AGUAS CLARAS	LA PONDEROSA	I	(18.8)		1988				6,70	1,30	5,50			
284	PARQUE CENTENARIO	PARQUE CENTENARIO	ARICA NORTE	R			1994				5,00	0,60		3,95	1,1	NORIA NUEVA PARQUE CENTENARIO
285	HOTEL BAHIA CHINCHORRO	INVERSIONES PACTA S. A.	ARICA COSTA	R			1985				9,33	1,20		4,50	(1.5)	USO EN RIEGO DE JARDINES Y PISCINA
286	AVDA. ARGENTINA 3185	TRANSP. CANEPA Y CIA. LTDA.	ARICA NORTE	I	(24.9)	29,00					27,89	1,00	16,65			BOMBA CENTRIFUGA HORIZONTAL DE 6 HP
287		METALURGICA ARICA S. A.	ARICA NORTE	I	(23)		1986				23,39	1,15	22,85			SU USO ES EXIGUO YA QUE SE UTILIZA SOLO EN CASOS DE EMERGENCIA
288		CONDENSA S. A.	ARICA NORTE, SEC. INDUSTRIAL	I	(27.3)	30,00	1984				29,93		29,41			
289		AGA S. A.	ARICA NORTE, SEC. INDUSTRIAL	R	(28.3)		1988				28,11	1,30	27,69			ACTUALMENTE ESTA FUERA DE USO
290		SOMARCO LTDA.	ARICA COSTA	I	(5.4)		1990				5,25	0,90	4,90	1,0		RIEGO DE MINERAL Y CARPETA DE CIRCULACION
291	AZAPA 5201	ROXANA SOTO	KM 2,0 CAMPO VERDE	R	91	50,00	1983				59,62	1,60	51,30	3,3		CORRESPONDE AL EX SONDAGE S-251
292		CONTEX LTDA.	ARICA NORTE	I			1993				34,17	1,20		33,78	10,0 (T)	CONSUMO INDUSTRIAL LAVADO DE TELAS
293	AVDA. ARGENTINA 5234	OSCAR PALZA	ARICA NORTE	SU	(31.6)		1982				32,51	1,20	11,58			NUNCA EXPLOTADO. SE CONSTRUYO PARA DESAGUAR AGUAS SERVIDAS
294	AVDA. SANTA MARIA 2384	AGRICOLA TARAPACA	ARICA NORTE	I							28,94	1,15		27,85	5,8	BOMBA MOTOR SUMERGIDO DE 5,5 KW
295	AVDA. SANTA MARIA	DEPOSITOS SAAM	ARICA NORTE	I	(22.2)		1960				20,95	1,15	18,90		1,5 (T)	
296	AVDA. SANTA MARIA 2415	SOC. DIST. MARMENTINI	ARICA NORTE	SU	(25)						27,08	1,30	25,45			ACTUALMENTE NO TIENE USO. SE PRETENDE UTILIZAR A FUTURO
297	AVDA. SANTA MARIA 2764	NINO BALTOLU (LIASSA S. A.)	ARICA NORTE	I			1988				31,10	1,20		30,64	2,8	USO INDUSTRIAL EN LAVADO DE TELAS
298	AVDA. SANTA MARIA 2764	NINO BALTOLU (LIASSA S. A.)	ARICA NORTE	I	(5.1)											SE ESTA CONSTRUYENDO A 15 m DE LA NORIA N-297
299	PISCINA OLIMPICA MUNICIPAL	MUNICIPALIDAD DE ARICA	ARICA COSTA	SU			1973				2,69	0,60	SECO			PODRIA CORRESPONDER A N-3, N-4, ó N-5
300		CONST. ALEJANDRO MARTINETI LTDA.		SU			1991				9,12	1,60				PROPIETARIO DESDE 1995
301		LUCIA RAMOS B.		R-P			(1970)				28,50	1,30	23,80		3,5 (T)	BOMBA SUMERGIBLE DE 50 mm
302		MARIO LOREDO									20,66	1,20	SECO			LA NORIA SE SECO EN EL AÑO 1995
303		MANUEL MADRID		R-P			05/96				22,00	1,30	16,90			BOMBA DE 50 mm. ESTA NORIA REEMPLAZO A LA N-205
304		TORIBIO MAMANI		R-P			1992				25,46	1,20	21,80			BOMBA DE 5 HP Y 2"
305																SOLO FUE POSIBLE UBICARLA EN TERRENO. NO EXISTEN DATOS
306	PARCELA 2, KM. 2.5 AZAPA	GUSTAVO RAMOS		P							49,00					ESTA SIENDO PROFUNDIZADA
307		CARLOS BERRIOS					1993				39,27	1,00	SECO			
308		ARMANDO LOPEZ					48,00				1992					NUNCA HA SIDO PUESTA EN OPERACION
309	PARCELA LA PORTADA						1920				51,00		SECO			SE SECO EN EL AÑO 1992
310																SOLO FUE POSIBLE UBICARLA EN TERRENO. NO EXISTEN DATOS
311		MATUS		R			1995									NO FUE POSIBLE OBTENER ANTECEDENTES EN TERRENO
312		BUNEDER		SU			1993				42,26	1,30				NO SE HA EXPLOTADO. SE PRETENDE PROFUNDIZAR PARA EXTRAER 10 l/s
313												2,20	SECO			SE ENCUENTRA LLENA DE BASURA. NUNCA FUE EXPLOTADO
314		REINALDO ORDONEZ TELENTE		SU			1935				20,00	1,00	SECO			ESTA SECO. NUNCA HA SIDO EXPLOTADA
315		CARLOS BUNEDER		SU			1950				(33)		SECO			SE DEJO DE EXPLOTAR EN 1962. SE SECO EN 1992
316		JOSE CUTIPA PILCO		R-P			1990				19,50		18,95			SE ESTA PROFUNDIZANDO
317				R			1986				34,13			31,42		SE PROFUNDIZO EN 1995. NO SE TIENEN ANTECEDENTES DEL PROPIETARIO
318		LUIS OLIVARES		R-P			1994				24,40	1,20	22,54			BOMBA SUMERGIBLE DE 2"
319		LAIURA SANTA MARIA									33,67	1,50	30,44			NORIA EN CONSTRUCCION. AUN NO HA SIDO EXPLOTADA
320		LAIURA SANTA MARIA		P			1940									SE USABA CUANDO SE AGOTABAN LAS VERTIENTES. SE TAPO EN 1970
321		HARALD EIKNOF		R							35,00	1,25		30,47	5,0	12,0 (T) IMPULSION 5"
322		ROBERTO EDIAP		R			05/96				41,96	1,30	33,79			NO HA SIDO PUESTA EN MARCHA
323		ELENA VILLALBA					1995				34,00	1,20	SECO			NUNCA FUE EXPLOTADA. FUE ABANDONADA POR LITIGIO
324		ISHIHARA					1995				41,30	1,30	37,60			
325		ENRIQUE ALMONTE		R			1994				39,00	1,24	35,88			SE BOMBEO HASTA SEP/85. SE PRETENDE PROFUNDIZAR COMO SONDAGE
326		ANGULO		R							38,37	1,24	35,80			DIAMETRO IMPULSION 2"
327		COOPERATIVA JUAN NOE		R							25,00	2,00	SECO			SE SECO ANTES DE 1971.
328																ACTUALMENTE EN CONSTRUCCION. NO SE TIENEN ANTECEDENTES
329		MARIA CALLES		R			1995				7,59	2,00	6,57	5,5	20,0 (T)	
330		MARIA ESTAY		R			1950				9,41	2,90	SECO			SE DEJO DE EXPLOTAR EN 1994

CUADRO 3.3.1-2: CATASTRO DE NORIAS CUENCA DEL RIO SAN JOSE  
I REGION - ARICA

NORIA Nº	UBICACION	PROPIETARIO	SECTOR	USO	COTA m.s.n.m.	PROF. PERF (m)	FECHA CONST.	PRUEBA DE BOMBEO			SITUACION ACTUAL (ABRIL - MAYO - JUNIO 1996)				DERECHOS CONCED. (Vs)	OBSERVACIONES
								CAUDAL (Vs)	N. E. (m)	N. D. (m)	PROF. (m)	DIAMETRO (m)	N. E. (m)	N. D. (m)		
331		MARIA ESTAY		R			1995				12,26	2,10	8,58	3,0		
332	PARCELA SAN JUAN	PABLO BENAVIDES		R						24,45	1,20	23,38			NO SE HA PUESTO EN MARCHA. CAUDAL PROYECTADO ENTRE 630 - 1320 l/h	
333	PARCELA SAN PEDRO	PABLO BENAVIDES		R			1930			11,36		10,04			IMPULSION DE 3"	
334		PABLO BENAVIDES					0				1,20				SE ESTA PROFUNDIZANDO	
335		PABLO BENAVIDES								9,68	1,20	9,34			FUNCIONO ENTRE LOS ANOS 1977 Y 1982	
336		JUANA ALCIRA		P						14,66	1,50	11,95				
337		AMADO CENTELLA		P			1993			20,96	1,20	15,10			NO SE HA EXPLOTADO POR LITIGIO CON SONDAGE S-134	
338		DOMINGO BALUARTE		P			1990			13,49	1,50	11,93				
339		DOMINGO BALUARTE		R			1993			10,85	1,50	8,19				
340		LARRY JONES								37,94	1,20	SECO			NUNCA FUE EXPLOTADO	
341		LUIS ARMANDO LOPEZ		SU						38,69	1,40	SECO			ESTA SECA Y NUNCA HA SIDO EXPLOTADA	
342		DAVID DIAZ		P						16,81	1,50	14,96			ESTA EN CONSTRUCCION. TENDRA UNA IMPULSION DE 2 PULGADAS	
343		SERGIO D. RAMOS M.								19,60	1,50				NORIA EN CONSTRUCCION PARA USO DOMESTICO. NO ESTA HABILITADA	
344				SU						26,00					FUNCIONO HASTA EL AÑO 1980	
345	PARCELA 10	JOSE CARLOS SOTO	KM 2,0 CAMPO VERDE	SU						38,00	1,20	SECO			SE SECO EN EL AÑO 1993	
346	PARCELA 7	VICENTE ORDONEZ	KM 1,5 CAMPO VERDE	SU			1990			48,00	1,30	SECO			NUNCA SE HA BOMBEADO EN FORMA PERMANENTE	
347	PARCELA 1 - CASA 4	CARLOS VALLEJOS	KM 1,0 SAUCACHE	SU						51,54	1,20	SECO			NUNCA SE HA BOMBEADO EN FORMA PERMANENTE	
348	COLCHAGUA	SUCESION LY	KM 2,0 ALGODONAL	R	(89 3)					50,43	1,20	47,72	3,0		SE BOMBEA 1 HORA DIARIA EN INVIERNO Y VERANO	
349		SUCESION DAVID RAMOS B.		R-P			1992			22,85	1,80	21,91				
350	EL CALLEJON PARCELA 34	HORMAN - FUENTES	KM 3,0 ALGODONAL	SU						10,32	1,80	SECO			SE SECO ANTES DE 1976	
351	PARCELA 20	HORACIO LEONARIO	KM 2,0 SAUCACHE	SU						38,07	1,30	SECO			NO HAY INFORMACION HISTORICA POR CAMBIO DE DUENO	
352	COMBARBALA 2037	GINO ROSSI	KM 2,5 ALGODONAL	SU			1981			30,00	1,20	SECO			SE AGOTO HACE 10 ANOS. EXISTE INTENCION DE PROFUNDIZARLO	
353	PETORCA 5845 / 5809	PATRICIO BOTTAI	KM 2,5 ALGODONAL	SU						33,60	1,20	SECO			SE SECO HACE MAS DE 10 ANOS	
354	PARCELA VECINA A Nº 19	BELTRAN	KM 2,5 ALGODONAL	SU								SECO			PREDIO ABANDONADO VECINO A PARCELA 19. NO FUE POSIBLE MEDIR	
355	LAS CAÑAS PARCELA 35	GLADYS RICHTER	KM 2,5 ALGODONAL	R						53,40	1,25	50,37	2,0		DEL AÑO 95 AL 95 SE HA PROFUNDIZADO 11 m	
356	PARCELAS 21 Y 22	CORP. IGLESIA ADVENTISTA	KM 2,5 ALGODONAL	R-P		38,00	1990			60,00	1,20	50,42	10,0		SE ESTA PROFUNDIZANDO HASTA LOS 60 m	
357	CALLE COMBARBALA	JAIME CESPEDDES	KM 2,5 ALGODONAL	SU						26,74	1,30	SECO		8,0 (T)	SE SECO EN EL AÑO 1981. EXISTE INTENCION DE PROFUNDIZACION	
358	LOS ITALIANOS 2155	SAMUEL CANCHAYA	KM 2,0 SAUCACHE	R-P			1985			51,46	1,25	49,73	1,1		EN 1995 SE PROFUNDIZO 5 m	
359	EL CALLEJON, PARCELA 26	SOC. ALDEAS INFANTILES	KM 3,0 ALGODONAL	R						54,17	1,30	51,29			LA ULTIMA PROFUNDIZACION FUE EN DIC/95	
360	DISC. SUNSET, AZAPA 5981	EDUARDO ZARZAR	KM 2,5 ALGODONAL	R-P			1987			58,93	1,30	55,3 (R)	4,5		LA ULTIMA PROFUNDIZACION FUE EN MAY/95	
361	PARCELA 20, LAS CAÑAS 2124	ORLANDO PIRO	PLANTA AZAPA	SU	100					43,50	1,10	SECO			CORRESPONDE A EX SONDAGE S-250	
362	COMBARBALA, PARCELA 30	BARBATO-QUINTANA-LOPEZ	KM 2,5 PLANTA AZAPA	SU	101			26,00		47,66	1,20	SECO			CORRESPONDE A EX SONDAGE S-249	
363	PARCELA CINCO OLIVOS	HUGO MOZO		SU			1952			24,58		SECO		25,0 (T)	CORRESPONDE A EX SONDAGE S-174. SECO HACE MAS DE 15 ANOS	
364	PARCELA LAS PALMAS	DELFINA LEON - FERNANDO ROQUE	KM 5,0 PAGO DE GOMEZ	R			1996			40,89	1,30	38,37			NO SE HA TERMINADO SU CONSTRUCCION	
365	PARCELA 45	HERNAN LAGOS (Suc. de la Fuente)		SU								SECO			NO FUE POSIBLE EL ACCESO. SE SECO EN 1989. EX SONDAGE S-262	
366	PARCELA SAN CAYETANO	MAXIMO KARL		R-SU		28,00	1986			33,34	1,30	33,00			SE USO HASTA ENERO DE 1996. SE PROFUNDIZARA PROXIMAMENTE	
367		DANIEL CHIPANA		SU						40,00	1,20	SECO			SE CONSTRUYO HACE 3 ANOS Y NUNCA SE LLEGO AL AGUA	
368		PEDRO LOBERA		SU			1992			47,17	1,30	SECO			SE CONSTRUYO EL AÑO 1992 Y NUNCA SE LLEGO AL AGUA	
369		ANA QUISPE		P			1993			7,79	1,30	5,80	1,1			
370		RUBEN CACERES		SU		40,00	1993								NO SE LLEGO NUNCA AL AGUA Y NO HAY INTENCION DE PROFUNDIZARLA	
371		EJERCITO DE CHILE		R						7,85	1,90	6,89				
372		EJERCITO DE CHILE		SU						9,06		8,47				
373	ESCUELA CHITITA, G-28	MUNICIPALIDA DE ARICA		P		21,00	1983	(15-16)		20,55	2,60	19,90	5,0		BOMBA DE 1,5 HP	
374	PARCELA 39	SOC. AYCA TERRAZAS		R		26,00	1993			27,46		26,68	2,0			
375	PARCELA KM 26	PEDRO VISCARRA MARZA		R-P		(26)	1993	25,35		(26)	1,20	(25,65)	8,3		BOMBA DE 7,5 HP	
376	PARCELA KM 25	CLAUDIO SOLARI		R-P			(92-93)			17,48	1,30	14,49	0,3			
377		VALERIO CANIPA		SU			(1989)			35,00	1,50	SECO			NO EXISTE INTENCION DE PROFUNDIZARLA	
378	PARCELA 44	CONRADA DELGADO		SU			(1986)			38,68	1,90	SECO			EXISTE INTENCION DE PROFUNDIZARLA	
379	PARCELA 43	SEBASTIAN ARIAS		SU		40,00	1993			41,26	1,30	40,68			NO SE HA USADO NUNCA, EXISTE INTENCION DE PROFUNDIZARLA	
380	PARCELA 42	RENE ARIAS		R-P		(40)	1993	1,5		40,83	1,30		37,50			
381	PARCELA 5	JENNIFER BLANCO	SOBRAYA	R-P		25,00	1991			26,07	1,30	24,94			BOMBA DE 5 HP CON MOTOR SUMERGIDO	
382	PARCELA 47	FLORINDA CARDOZO		P			(93-95)	(33)		39,89	1,60	36,20	2,2		SE BOMBEA 1 VEZ CADA 15 DIAS	
383	PARCELA 49	TOMAS GOMEZ		R						41,72	1,30		41,26	0,3	SE PROFUNDIZO LA ULTIMA VEZ HACE 5 ANOS Y SE HARA DE NUEVO	
384	PARCELA 46	GLADYS TRIGO JUAREZ		P-R		44,28	1996	33,10		44,63	1,35		37,83		SE BOMBEA 1 HORA POR SEMANA	
385	PARCELA 36	SANTIAGO ARIAS		R		29,50	1994	27,50		31,54	13,30	27,06	11,7		SE PROFUNDIZO EN ENERO DE 1996	
386	PARCELA 6	PABLO LAGOS Y CIA. LTDA.		R-P		(40)	1992	37,60		43,34	1,20	42,37	(10)	10,0 (T)	SE PROFUNDIZO EN ENERO DE 1996	
387	PARCELA 5	RAQUEL NOGALES		R-P			1992	38,00		41,82	1,40	39,20	3,3		SE PROFUNDIZO EN 1996	
388	PARCELA 4	JUSTINA MAMANI		P			1991			40,39	1,30	39,17	0,4		SE PROFUNDIZO EN 1994	
389	PARCELA 4, LOTE 2	RITA MAMANI		SU						36,75	1,30	SECO			SE SECO AL INICIO DE 1995	
390	PARCELA 3	BERNARDO TARQUE		R			1993			39,00	1,50	35,23	2,5		BOMBA DE 7 HP	
391	PARCELA 2-A	ASCENCIO MAMANI		R-SU				29,00		32,73	2,00	31,26			SE BOMBEO HASTA EL AÑO 1994	

CUADRO 3.3.1-3: CATASTRO DE SONDAJES CUENCA DEL RIO SAN JOSE

I REGION - ARICA

POZO Nº	ROL REN LAT. LON.		UBICACION	PROPIETARIO	SECTOR	CONSTRUCTOR	USO	COTA (msnm)	PROF. PER (m)	PROF. HAB. (m)	DIAM. HAB. (pulg)	FECHA CONST.	PRUEBA DE BOMBEO			SITUACION ACTUAL (MAYO - JUNIO - JULIO 1996)				DERECHOS CONCED (Vs)	OBSERVACIONES						
	CAUDAL (Vs)	N. E (m)											N. D. (m)	PROF. (m)	DIAMETRO (pulg)	N. E. (m)	N. D. (m)	CAUDAL (Vs)									
100	1830	7010	AD-3	DIRECCION DE RIEGO	CABUZA	RIEGO-	R-SU	432,3	57,0			05/73	40,0	31,80	36,20												
101	1830	7000	AA-5	COMCA Km 16 S	LAS RIVERAS	RIEGO-1007	R	289,5	195,0				20,0	10,00													
102	1830	7010	BB-6	MUSEO SAN MIGUEL	SAN MIGUEL	RIEGO-1029	R-SU	247,1	49,0	49,0		03/52	45,0	16,40	21,00	16,84	12					NUNCA HA SIDO OPERADO					
103	1830	7010	BA-2		LAS MATAS	CORFO-378	E	188,0	342,0	164,0		11/61	24,0	16,40	63,70												
104	1830	7010	BA-10		PLANTA AZAPA	CORFO-389	R	131,8	88,0	54,0		10/61	32,0	31,00	37,00							35,0					
105	1830	7010	BA-11		PLANTA AZAPA	RIEGO-1028	P	103,9	46,0	46,0		02/52	11,0	32,00		(67)	10	(45)									
106	1820	7010	CD-12		PLANTA AZAPA	CORFO-452	P	98,8	96,0	35,0		08/70		31,70	33,10												
107	1830	7010	BA-5	PARCELA LAS MERCEDES	LAS ANIMAS	RIEGO-1083	R	180,6	45,0	45,0		09/56				45,00	12			37,80	4,5	20,0 (T)	BOMBA DE 10 HP A 40 m				
108	1820	7010	CD-31		SAUCACHE	CORFO-1252	E-AB	85,0	103,0	100,0		08/73	32,0	47,00	67,00												
109	1820	7010	CD-32		PLANTA AZAPA	CORFO 1298	E	97,5	102,0	102,0		04/74	30,0	23,00	55,00												
110	1820	7010	CD-24	LOS CISNES 2809	SAUCACHE	CORFO-1203	E	68,1	111,0	82,0		06/73		31,50		61,80	6	SECO					POZO DE ESTUDIO DE LA JUNTA DE ADELANTO				
111	1820	7010	CD-25		ARICA ORIENTE	CORFO-1229	O-E	53,5	50,0	50,0		07/73		22,50									ABANDONADO				
112	1830	7000	AA-3	CAMPAMENTO LAS RIVERAS	DIRECCION DE RIEGO - ESSAT S. A.	RIEGO-1013	P	301,8	31,0	27,7			28,0	17,24	23,00	25,50	12	23,90					LA BOMBA FUE SACADA Y SE HABILITO EL SONDAJE S-346 DISTANTE A 15 m				
113	1830	7000	AA-4		LAS RIVERAS	RIEGO-1006	R	291,7	36,0			04/73	35,0	5,30	8,10												
114	1830	7010	BB-8		LAS MATAS	RIEGO-1033	R-SU	230,4	50,0	50,0		07/52	40,0	12,50	22,00								SE ENCUENTRA FUERA DE OPERACION, ABANDONADO				
115	1830	7000	AA-2		LAS RIVERAS	RIEGO-1062	R-P	314,1	45,0	45,0		05/56	15,0	26,00								80,0 (T)	BOMBA SUMERGIBLE DE 4"				
116	1830	7010	AD-4		CABUZA	RIEGO-1068	R	433,7	71,0	71,0			27,0	43,00	46,00												
117	1830	7010	AD-5		CABUZA	RIEGO-1044	R-AB	433,9	137,0	112,0		10/57	35,0	30,00	48,50												
118	1820	7010	CD-26		ARICA NORTE	CORFO-1290	O	38,3	50,0	50,0		07/73		31,70													
119	1820	7010	CD-27		ARICA NORTE	CORFO-1231	O	39,7	50,0	50,0		07/73		37,10													
121	1820	7010	DC-4		PLANTA AZAPA	CORFO-1308	E	126,7	100,0	100,0		04/74	30,0	15,00	36,00												
122	1820	7010	DC-5		PLANTA AZAPA	CORFO-1317	O-AB	127,6	90,0	90,0		04/74		15,00													
123	1830	7010	BA-7	PARCELA SAN ELIAS, KM 6,0	LAS ANIMAS	RIEGO-	TA	154,6	50,0		12,0	1940											SE TAPO EN EL AÑO 1980				
124	1830	7010	BB-10		LAS MATAS	RIEGO-1081	R	205,6	47,0	46,0		10/56	30,0	31,10		60,00	10	33,31									
125	1830	7010	BA-6	PARCELA SAN ELIAS, KM 6,0	LAS ANIMAS	RIEGO-1086	R	152,8	50,0	50,0		03/57		25,50		59,76	1,6 m - 12"	39,62					EN 1995 SE SACO LA BOMBA SE REINSTALARA PROXIMAMENTE				
126	1820	7010	CC-18		ARICA NORTE	CORFO-1233	O	32,4	50,0	50,0		05/73		39,60													
128	1820	7010	CD-18		ARICA SUR	CORFO-512	I-SU	46,1	83,0	80,3		03/65	20,0	33,15	43,00							50,0	NO EXPLOTADO. EN EL SECTOR SE CONSTRUYE UN CONJUNTO HABITACIONAL				
129	1830	7000	AA-1		LAS RIVERAS	RIEGO-1096	R	323,1	48,0	48,0	12,0	03/58	40,0	25,40			12						EL SONDAJE ES ARRENDADO A H. MOZO				
130	1820	7010	CD-19		ARICA SUR	CORFO-334	P	43,9	79,0	79,0		1952	25,0	18,58	27,50							50,0	NO EXPLOTADO. EN EL SECTOR SE CONSTRUYE UN CONJUNTO HABITACIONAL				
131	1820	7010	CC-19		ARICA NORTE	CORFO-1237	O	47,5	60,0	60,0		06/73		37,80													
132	1820	7010	CD-20		ARICA NORTE	CORFO-1084	O-AB	31,8	58,0	58,0		1971															
133	1820	7010	CC-15		ARICA SUR	CORFO-1232	O	23,5	50,0	50,0		05/73		22,40													
134	1830	7010	BB-2		SAN MIGUEL	CORFO-372	R	262,5	80,0	83,0		07/61	19,0	18,90	48,00							20,0					
135	1820	7010	CC-6		ARICA SUR	CORFO-476	O-AB	22,8	33,0	33,0		04/64		22,70	25,20									ABANDONADO			
136	1820	7010	CA-1		ARICA NORTE	CORFO-414	E-AB	10,0	390,0			08/63															
137	1820	7010	CD-30		SAUCACHE	CORFO-1262	E-AB	65,0	100,0	100,0		08/73	45,0	44,50	54,50												
138	1820	7010	CD-17		ARICA ORIENTE	CORFO-434	O	47,1	69,0	69,0		1960															
139	1820	7010	CC-1	ESSAT COPAJA	ARICA SUR	SAACOL	P	40,0	110,0	91,0		11/65	30,0	33,93	40,50							12	77,73	10,0	8,0		
140	1820	7010	CC-2	ESSAT ESTADIO	ARICA SUR	CORFO-399	P	38,9	67,0	68,0		1961	25,0	18,50	24,50							12	47,59	11,9			
141	1820	7010	CC-3	ESSAT RETEN	ARICA SUR	SAACOL - CORFO-525	P	37,0	81,0	81,0		07/65	25,0	30,50	39,00								65,63	18,0	10,0		
142	1820	7010	CC-4	ESSAT TUCAPEL	ARICA SUR	SAACOL - CORFO-543	P	29,0	110,0	91,9		11/65	45,0	33,90	47,50								67,26	24,3	40,0		
143	1820	7010	CC-5	ESSAT LUGA DE EMPLEADOS	ARICA SUR	SAACOL - DOS	P	24,0	108,0	108,0			40,0	26,30	44,00							12	61,71	30,5	35,0		
144	1820	7010	CC-7	AVDA. SANTA MARIA 2652	ARICA NORTE	BONACI	I	27,7				1970		22,70		(27)	12 m - 10"							15,0	NO FUE POSIBLE EFECTUAR LAS MEDICIONES DE NIVEL Y PROFUNDIDAD		
145	1820	7010	CC-8	AVDA. SANTA MARIA 2251	ARICA COSTA	CORFO-388	I	22,9	45,0	45,0		05/61	8,0	16,80	26,90							10	(17)	(28)	5,0	AGUA PARA REFRIGERACION Y RIEGO	
146	1820	7010	CC-9		ARICA COSTA	CORFO-472	R	3,1	30,0	30,0		01/64		16,60													
147	1820	7010	CC-10	ESSAT SAN JOSE	ARICA COSTA	SAACOL - DOS	P	8,0	94,0	94,0			30,0	14,50	31,00									44,77	27,2	22,0	
148	1820	7010	CC-11		ARICA COSTA	CORFO-363	P-SU	21,2	36,0	36,0		12/60	8,0	12,80	25,70											NO SE PERMITIO EL INGRESO. SE INFORMO SU INEXISTENCIA	
149	1820	7010	CC-12		ARICA COSTA	CORFO-475	O-AB	5,9	30,0	30,0		01/64															
150	1820	7010	CC-13		ARICA COSTA	CORFO-471	R	5,5	30,0	30,0		12/63														ABANDONADO	
151	1820	7010	CC-14		ARICA COSTA	RIEGO-1051	P-AB	4,1	30,0	30,0		09/54															
152	1820	7010	CC-18		ARICA SUR	CORFO-1235	O-AB	20,0	50,0	50,0		06/73		28,80													
153	1820	7010	CD-1		PLANTA AZAPA		R	116,5	50,0			1955														ESTA QUEDANDO COLGADO. ESTA EXCAVANDOSE UNA NORIA AL LADO (N-287)	
154	1820	7010	CD-2	HACIENDA LIGANESA	PLANTA AZAPA, KM 3,0		R	109,0	47,0			1958										80,00	8		5,0	7,0 (T)	EL SONDAJE SE ENCUENTRA SELLADO
155	1820	7010	CD-3	HACIENDA LIGANESA	PLANTA AZAPA, KM 3,0		R	109,5	50,0			1967										70,00	8		3,0	5,0 (T)	EL SONDAJE SE ENCUENTRA SELLADO
156	1820	7010	CD-4	EL CALLEJON 2216 (VICECONS. ITALIANO)	PLANTA AZAPA, KM 3,0		SU	109,8	39,0			1966															EL SONDAJE FUE TAPADO EN EL AÑO 1991 Y SE CONSTRUYO EL S-305 DE REEMPLAZO
157	1820	7010	CD-5		PLANTA AZAPA	HIDROSAN	P	106,2	90,0	90,0		01/03/88	45,0	25,80	54,80												
158	1820	7010	CD-6	PLANTA AZAPA	PLANTA AZAPA	HIDROSAN	P	111,0	90,0	90,0		07/02/88	50,0	28,59	40,21								72,58	10,6	27,0		CORRESPONDE AL SONDAJE ESS

CUADRO 3.3.1-3: CATASTRO DE SONDAJES CUENCA DEL RIO SAN JOSE  
I REGION - ARICA

POZO Nº	ROL REN			UBICACION	PROPIETARIO	SECTOR	CONSTRUCTOR	USO	COTA (msnm)	PROF. PERF (m)	PROF. HAB (m)	DIAM. HAB (pulg)	FECHA CONST.	PRUEBA DE BOMBEO			SITUACION ACTUAL (MAYO - JUNIO - JULIO 1986)				DERECHOS CONCED (Vs)	OBSERVACIONES				
	LAT.	LON.	AD-											CAUDAL (Vs)	N. E. (m)	N. D. (m)	PROF. (m)	DIAMETRO (pulg)	N. E. (m)	N. D. (m)			CAUDAL (Vs)			
																								CONCED (Vs)		
177	1830	7010	AD-1		DIRECCION DE RIEGO	CABUZA	RIEGO-1066	E-AB	445,8	79,0	79,0		05/53	28,0	36,00	42,00										
178	1830	7010	AD-2		DIRECCION DE RIEGO	CABUZA	RIEGO-1070	E-AB	432,5	52,0	52,0				18,00											
179	1830	7010	AD-6		DIRECCION DE RIEGO	CABUZA	RIEGO-1091	R-SU	433,2	55,0			05/53		31,00											
180	1830	7010	AD-7		DIRECCION DE RIEGO	CABUZA	RIEGO-	E-AB	433,9																	
181	1830	7010	AD-8		DIRECCION DE RIEGO	CABUZA	RIEGO-1046	E-AB	434,8	39,0	39,0		01/54	40,0	31,00											
182	1830	7010	AD-9		TRUFFA HIJOS.	CHIVAL	RIEGO-1071	R-P	381,6				1971				45,00		34,00		38,00		10,0		EXPLOTACION CONJUNTA CON S-346	
183	1830	7010	AD-10		CORFO		CORFO-470	E-AB		300,0	0,0		10/64													
184	1830	7010	AD-11		CORFO		CORFO-573	E-AB		90,0	0,0															
185	1830	7010	AD-12		CORFO		CORFO-594	O		84,0	84,0		10/66		66,00											
186	1830	7010	AB-1		PLANTA AZAPA	ESST S. A	HIDROSAN	P	112,9	90,0	90,0		12/09/88	50,0	23,40	32,25		12			70,72		9,4	14,0	CORRESPONDE AL SONDAJE ESSAT AZAPA 184	
187	1830	7010	AB-2		PLANTA AZAPA	ESST S. A.	HIDROSAN	P	110,5	90,0	90,0		25/03/88	18,0	23,23	32,25		12			77,00		6,4	21,0	CORRESPONDE AL SONDAJE ESSAT AZAPA 47	
188	1830	7010	AB-3		PLANTA AZAPA	CARLOS BERRIOS	CAS	P-SU	112,8	53,0	53,0			23,0	20,50	31,40		28,38							SE ENCUENTRA ABANDONADO, SECO DESDE 1871	
189	1830	7010	AB-4		HACIENDA SAN RAFAEL	PABLO BENAVIDES	PLANTA AZAPA	SU										10							SE ENCUENTRA TAPADO, SIN USO	
190	1830	7010	AB-5		HACIENDA SAN RAFAEL	PABLO BENAVIDES	PLANTA AZAPA	R	98,0	110,0	110,0		01/66	23,0	21,90	59,90		12					23,0		SE BOMBEO APROX. 15 HORAS SEMANALES	
191	1830	7010	AB-6		PLANTA AZAPA	R. DEFILIPPIES	PLANTA AZAPA	R-AB	100,0	36,0	0,0		02/62													
192	1830	7010	AB-7		PLANTA AZAPA	R. DEFILIPPIES	RIEGO-	R-AB	87,7	52,0	38,0		06/46	25,0	21,50											
193	1830	7010	AB-8		PLANTA AZAPA	EDUARDO CONTRERAS	CORFO-418	R-AB	90,0	105,0	70,0		01/73	24,7	47,70	64,00										POZO ABANDONADO E INACCESIBLE
194					PLANTA AZAPA	CORFO (Queb. Acha)	CORFO-459	E-AB		98,0			10/63													
195	1830	7010	BA-1		LAS MAITAS	RICARDO FERNANDEZ		R	182,5				1958					45,00		12						FUE NORIA HASTA 1982
196	1830	7010	BA-3		LAS ANIMAS	CARLOS MOZO / AMERICO TRUFFA	RIEGO-1087	R	178,3	42,0	42,0		04/58	26,0												
197	1830	7010	BA-4		LAS ANIMAS	HUGO MOZO	CORFO-370	R-AB	180,7	175,0	96,0		03/73	32,0	32,00	68,00										CORRESPONDE AL ACTUAL S-297
198	1830	7010	BA-8		PLANTA AZAPA	MOZO	RIEGO-1042	R	140,0	51,0	45,0		10/53		23,50											
199	1830	7010	BA-9		PLANTA AZAPA	REINALDO ORDONEZ YUCRA	CORFO-1002	R	133,1	45,0	45,0		01/71	20,0	28,20	37,80		45,00		10						SE PRETENDE PROFUNDIR A FUTURO PARA EXTRAER 5 Vs
200	1830	7010	BA-12		PLANTA AZAPA	REINALDO ORDONEZ TELEANTE (S)	RIEGO-1015	R-SU	123,7				1958					48,00		13 m - 10"	SECO			40,0 (T)	SE SECO EN EL AÑO 1992	
201	1830	7010	BA-13		PLANTA AZAPA	COLONIA BELLAVISTA	RIEGO-1015	R-SU	123,7				1958					48,00		13 m - 10"	SECO			40,0 (T)	SE SECO EN EL AÑO 1992	
202	1830	7010	BA-14		PLANTA AZAPA	REINALDO ORDONEZ TELEANTE (N)	RIEGO-1213	R	126,9	111,0									14						SE ESTA PROFUNDIRANDO HASTA 60 m HASTA 1994 SE ARRENDABA A ESSAT	
203	1830	7010	BA-15		PLANTA AZAPA	IGNACIO MIRANDA	RIEGO-1090	R-SU	128,2	50,0			08/56	38,0				49,02		12				40,0 (T)	ESTA SECO DESDE 1995	
204	1830	7010	BB-1		SAN MIGUEL	SUCESION CARBONE	RIEGO-1078	R	282,9	51,0	51,0		06/56		8,60					12		14,00				
205	1830	7010	BB-3		SAN MIGUEL	COOPERATIVA JUAN NOE	RIEGO-1016	R	248,8	50,0	50,0		05/47	45,0	17,00	18,30						21,62		35,0		
206	1830	7010	BB-4		SAN MIGUEL	COOPERATIVA JUAN NOE - ESSAT	RIEGO-1023	P	248,1	48,0	48,0		10/51	45,0	19,70	24,90						8		14,2		SE ARRIENDA A ESSAT S. A.
207	1830	7010	BB-5		PARCELA UNIVERSIDAD DE TARAPACA	COOPERATIVA JUAN NOE	RIEGO-1026	R-SU	247,3	51,0	51,0		11/51	38,0	18,30	37,00		20,18		10		SECO				NUNCA SE EXPLOTO. SE SECO CUANDO EMPEZO EL BOMBEO EN S-265 Y S-266
208	1830	7010	BB-7		SAN MIGUEL	COOPERATIVA JUAN NOE	RIEGO-1032	R	252,4	55,0	55,0		06/52	60,0	22,00	29,00						43,54		10,0	330,0 (T)	
209	1830	7010	BB-9		LAS MAITAS	JUAN FOACCICI	BONACI	SU	218,9																	
210	1830	7010	BA-16		PLANTA AZAPA	ALDO LOMBARDI		R					1945					75,00		8				7,2		
211	1830	7010	BA-17		PLANTA AZAPA	CENTELLA		P	132,3	43,0			1954					69,95		12		47,66		(65)	(4)	
212	1830	7010	BB-11		LAS MAITAS	EDUARDO CHONG		R	207,9	50,0			1959	30,0	30,20	40,85		>50		12		32,70		44,47	18,0	PRUEBA DE BOMBEO DEL 28/5/95
213	1820	7010	CC-20		ARICA ORIENTE	U. DEL NORTE	C.R.	P-SU	49,5																	ABANDONADO
214	1820	7010	CC-21		HOSPITAL DE ARICA	ESSAT S. A.	ARICA SUR	P	25,0																	NO SE EXPLOTA
215	1820	7010	DC-6		LAS ANIMAS	E. YANULAQUE		R-SU	151,7	40,0			1964													
216	1830	7000	AA-6		LAS RIVERAS	DOS	CELZAC-1678	P-SU	230,0	25,0	25,0		03/80	20,0	8,40	14,90										
217	1830	7010	AB-9		PLANTA AZAPA	EDUARDO CONTRERAS	RIEGO-1074	P	82,0	29,0			04/56		14,10											SE EXTRAEN APROX 20 M3/SEMANA
218	1830	7010	BA-18		LAS ANIMAS	DOS 1218	CELZAC-1436	P	178,8	80,0	90,0		11/76													ACTUAL S-285
219	1830	7010	BA-19		PARCELA LAS CARMENES	RINA BLAMEY	LAS ANIMAS	R-P	182,6	21,0			1959		17,30			43,08		1,75 m - 20"			35,74		15,0 (T)	CORRESPONDE A EX NORIA N-222
220	1830	7010	BA-20		PLANTA AZAPA	S. ORDONEZ		R	134,7																	
221	1830	7010	BA-21		LAS ANIMAS	ESSAT PAGO DE GOMEZ - 1113	HIDROSAN	P	148,6	88,0	88,0		22/03/91	20,0	34,88	63,70								6,1	22,0	
222	1830	7010	BA-22		LAS ANIMAS	ESSAT PAGO DE GOMEZ - 1114	HIDROSAN	P	148,0	90,0	90,0		05/08/92	20,0	32,98	52,50								6,9	35,0	
223	1830	7010	BA-23		LAS ANIMAS	ESSAT PAGO DE GOMEZ - 1142	HIDROSAN	P	151,0	86,0	86,0		31/01/92		32,17									9,4	25,0	
224	1830	7010	AB-10		PLANTA AZAPA	MARCOS GARDILCIC		R	121,3											(70)			(50)			
225	1830	7010	AC-2		CHIVAL	FACUNDO GUTIERREZ	RIEGO-1072		365,3	38,0	38,0		01/56													
226	1830	7010	AD-13		COMUNIDAD ARICA	MUNICIPALIDAD ARICA																				
227	1820	7010	CC-17		ARICA SUR	JUNTA ADELANTO	CORFO-1234	O-AB	30,7	60,0	60,0		06/73		28,40											
228	1830	7010	AB-12		PLANTA AZAPA	ESSAT S. A.	CAS-	P-SU	112,9	67,0	67,0		11/59	20,0	21,00	30,40					12		52,90			ABANDONADO
229	1820	7010	CD-33		PLANTA AZAPA	DOS	HIDROSAN	P	112,0	90,0	90,0		1987	50,0	25,50	40,00										
230	1820	7010	CD-34		PLANTA AZAPA	ESSAT S. A.	COS-491	P	106,2	105,0	105,0		05/62	22,0	27,10	49,90							68,32	11,9	27,0	CORRESPONDE AL SONDAJE ESSAT AZAPA 491 A
231	1820	7010	CD-35		PLANTA AZAPA	ESSAT S. A.	CAS-	P-SU	101,0	62,0	52,0		04/60	29,0	21,00	35,70				12		SECO				ABANDONADO
232	182																									



CUADRO 3.3.1-3: CATASTRO DE SONDAJES CUENCA DEL RIO SAN JOSE  
I REGION- ARICA

POZO Nº	ROL REN		UBICACION	PROPIETARIO	SECTOR	CONSTRUCTOR	USO	COTA	PROF. PERF	PROF. HAB.	D.M.	FECHA CONST.	PRUEBA DE BOMBEO			SITUACION ACTUAL (MAYO - JUNIO - JULIO 1986)				DERECHOS CONCED.	OBSERVACIONES				
	LAT.	LONG.											CAUDAL (Vs)	N. E. (m)	N. D. (m)	PROF. (m)	DIAMETRO (pulg)	N. E. (m)	N. D. (m)			CAUDAL (Vs)			
252	1820	7010	CD-45	MARIO CHANG	SAUCACHE	CHANG	R-I	80,8	50,0			1983		24,20			82,00	10			EL POZO ERA NORIA Y SE TRANSFORMÓ EN SONDAJE EN 1984				
253	1820	7010	CD-46	EJERCITO DE CHILE	SAUCACHE		P	71,4	100,0			1873		40,80											
254	1820	7010	CD-47	SOTO	ARICA ORIENTE		P	56,7																	
255	1820	7010	CD-48	MARIO CHANG	SAUCACHE	CHANG	SU	72,7	40,0					33,00		50,00	1	SECO			LOS ULTIMOS 7 m SON DE SONDAJE. ESTA SECO DESDE 1982				
256	1820	7010	CD-49	MARIO CHANG	SAUCACHE	CHANG	I	80,3	50,0			1983		25,10		80,00	10			18,0	EL POZO ERA NORIA Y SE TRANSFORMO EN SONDAJE EN 1984				
257	1820	7010	CD-50	A. WORM	SAUCACHE		P	76,7						26,40							EX NORIA N-35				
258	1820	7010	CD-51	NEVERMAN	PLANTA AZAPA	NEVERMAN	R	98,0	37,6			1985		24,20											
259	1830	7010	BA-28	SAN AGUSTIN	MANUEL PALZA B.	LAS MAITAS	SAACOL	R	198,1	50,0		1985		21,30		70,00	12	34,00			ERA NORIA DESDE EL AÑO 1954 EX N-81				
260	1830	7010	BB-17	ROXANA GARDILIC	LAS MAITAS		R	199,8	54,0			1948								45,17					
261	1820	7010	CD-52		MUNEZ	PLANTA AZAPA		P	117,5					23,30							EX NORIA N-15				
262	1820	7010	CD-53	HERNAN LAGOS (Suc. de la Fuente)	PLANTA AZAPA		SU	117,5	30,0			1985			24,50				SECO		NO ES SONDAJE. CORRESPONDE A NORIA N-385				
263	1820	7010	CD-54	PARCELA PUCARA EX STA. MARIA	JORGE PRIETO	PLANTA AZAPA	CORFO	R-P	93,4	42,5		1946				80,00	12	50,58		6,0	ACTUALMENTE SE BOMBEA 3 HORAS DIARIAS APROX. EX NORIA N-21				
264	1820	7010	CD-55		JULIO PANIAGUA	PLANTA AZAPA	R-SU	85,7						20,50							EX NORIA N-26				
265	1830	7010	BB-12	ESSAT SAN MIGUEL N	ESSAT S. A.	SAN MIGUEL	HIDROSAN	P	248,0	100,0	100,0	24/08/82		25,0	28,58	48,00				15,0					
266	1830	7010	BB-13	ESSAT SAN MIGUEL S	ESSAT S. A.	SAN MIGUEL	HIDROSAN	P	248,3	85,0	85,0	23/08/82		20,0	32,85	51,30				9,9					
267				ESSAT RODOVARO	ESSAT S. A.	ARICA SUR		P	16,0			12,0								28,66	13,0	30,0			
268				ESSAT JOAQUIN ARACENA	ESSAT S. A.	ARICA NORTE	CAPTALIA	P	48,0	109,0	85,0	20/04/83		8,5	40,31	67,03		12		74,14	4,5	40,0 (T)			
269				ESSAT ANGELO	ESSAT S. A.	ARICA ORIENTE	CAPTALIA	P	49,5	150,0	143,0	17/03/83		30,0	44,86	75,35				74,46	17,0	26,0 (T)			
270				ESSAT O'HIGGINS	ESSAT S. A.	ARICA ORIENTE	CAPTALIA	P	55,0	130,0	109,0	12/03/83		30,0	48,78	75,60				74,26	7,5	25,0 (T)			
271				ESSAT LAS TORRES	ESSAT S. A.	ARICA ORIENTE	CAPTALIA	P	57,0	125,0	120,0	21/03/83		18,0	42,57	81,43				71,62	8,5				
272				ESSAT NUEVA ESPERANZA	ESSAT S. A.	SAUCACHE		P	62,0								12			61,60	8,4				
273				ESSAT TAMBO QUEMADO	ESSAT S. A.	SAUCACHE	CAPTALIA	P	64,0	120,0	120,0	21/03/83		30,0	53,15	82,58				71,18	17,0	29,0 (T)			
274					PEREZ				100,0																
275				HACIENDA LOS MOLINOS	V. ORDONEZ	PLANTA AZAPA		P	79,0			1964					65,00			49,00	18,0	ANTES PERTENECIO A TERESA TORO. CORRESPONDE A EX-NORIA N-28			
276				PARCELA ALGODONAL	YUSSEF BUANTUN	PLANTA AZAPA		R	104,0	55,0		1956					58,67	10	49,30		3,0	SE PROFUNDIZO EN 1995. SE BOMBEO HASTA MAY/86 Y SE SACO LA BOMBA			
277					DEVOTTO (N)	PLANTA AZAPA		R	99,0																
278					ESSAT CENTELLA	PLANTA AZAPA	ARAUJO	P-R	135,0	70,0	70,0	19/12/83		13,0	41,26	53,03						4,0			
279				PARCELA DE MARCOS GARDILIC	ESSAT ORTUÑO	LAS ANIMAS		P	144,0												14,0	ORTUÑO VENDIO A GARDILIC Y ESTE MANTIENE EL CONTRATO CON ESSAT			
280					ESSAT Km 7	LAS ANIMAS		P	174,0												7,0	70,0			
281					BUTANO	LAS ANIMAS			163,0																
282				PARCELA SANTA ANA	AUGUSTO PEREZ	LAS MAITAS		R	208,0			1958													
283					ESSAT ROMERO	CABUZA	ARAUJO	P-R	437,0	98,5	90,0	30/08/83		40,0	32,30	51,18					18,9				
284					ESSAT CID	CABUZA	ARAUJO	P-R	435,0	102,0	99,0	20/11/83		50,0	30,91	37,59					45,0				
285					ESSAT FABRES	ESSAT S. A.	ARICA ORIENTE	HIDROSAN	P	49,0	90,0	90,0	28/10/81		35,0	38,87	50,40				72,44	9,3			
286					ESSAT LOA	ESSAT S. A.	ARICA NORTE	CAPTALIA	P	41,0	120,0	115,0	22/05/83		8,0	40,10	76,20				74,10	6,3	40,0 (T)		
287					ESSAT CARBONE	LAS RIVERAS	CAPTALIA	P-R	313,0	90,0	90,0	29/08/83		41,0	19,87	28,01					36,8				
288				PARCELA SAN LUIS	ESSAT - DOMINGO DEVOTTO 1 (Km 1)	SAUCACHE		P-R	69,0	90,0							90,00				6,6	5,0 (T)			
289					ESSAT - DOMINGO DEVOTTO 2 (Km 3)	PLANTA AZAPA		P-R	124,0								75,00				10,9	SONDAJE ARRENDADO A ESSAT S. A.			
290				HACIENDA MIRAMAR	CRESCENCIA SALAS	KM 4,0 PAGO DE GOMEZ		R	125,0								(60)	1.4 m - 12"				CORRESPONDE A LA EX NORIA N-59			
291					FERNANDEZ	LAS MAITAS			189,0																
292					MUNEZ	PLANTA AZAPA			119,0																
293				EX PREDIO DE S. CAVALAN	ORLANDO ILAJA	PLANTA AZAPA	R-P	97,8				1985								57,00	8	0,4	LA ULTIMA PROFUNDIZACION FUE EN EL AÑO 1983		
294				PAGO DE GOMEZ NORTE LOTE 6-7	HERNAN FIGUEROA	PLANTA AZAPA, KM 2,0	R-I	108,0	70,0	60,0	10,0	1992								70,00	10	0,2	DISPONE DE SENSOR DE ARRANQUE/DETENCION EN 45,2 m Y 57,2 m		
295				PARCELA LAS CARMENES	RINA BLAMEY	LAS ANIMAS	SU	180,0												79,00	12	29,98	10,0 (T)		
296					COOPERATIVA JUAN NOE	SAN MIGUEL		R	266,0													42,00	25,0		
297				KILOMETRO 7,5		LAS ANIMAS			180,0											31,49	13	27,72	30,0 (T)		
298					GARDILIC	LAS MAITAS																			
299	1830	7010	AB-11	PLANTA AZAPA	ESSAT S. A.	PLANTA AZAPA	DOS-47	P-SU	110,5	45,0	45,0	09/47		40,0	15,80	25,30				12	SECO		CORRESPONDE AL SONDAJE S-287 DEL ESTUDIO DE 1989		
300				CAMPING SAN CARLOS	EUGENIO DONOSO	VILLA FRONTERA		R-P	(26.5)												24,58	(6)	ANTIGUA NORIA DE 1,3 m DE DIAMETRO, PROFUNDIZADA COMO SONDAJE		
301				PARCELA F-8	HERNAN LAGOS	VILLA FRONTERA		R-P	(17)			1974								23,00	1,3 m - 12"	23,00	ANTIGUA NORIA PROFUNDIZADA. NO SE BOMBEO		
302				ARICA NORTE, SECTOR INDUSTRIAL	GENERAL MOTORS	ARICA NORTE		I											41,00	1,5 m - 10" - 8"			NO SE LOGRO MEDIR EL NIVEL DEL SONDAJE. N. E. BAJO LOS 25 m (EX N-175)		
303				HOTEL SAINT GEORGETTE, AZAPA 3221	ANDRES PAVISIC	ARICA ORIENTE		R											67,00	1,6 m - 8"		(7)	NORIA PROFUNDIZADA COMO SONDAJE. EX N-168		
304				AVDA. SANTA MARIA 2852	COCA-COLA	ARICA NORTE	CAPTALIA	I				1983							40 - 44	10		27,94	2,5	EL AGUA EXTRAIDA ESTA SIENDO CLORADA	
305				EL CALLEJON 2216 (VICECONS. ITALIANO)	GIAN LUIGI CANEPA	KM 3,0 PLANTA AZAPA		R		60,0	10,0	1991							60,00	10		2,6	1,0 (T)	REEMPLAZO AL S-158	
306				PREDIO EL OLIVO	AGRICOLA LOMBARDI	KM 17,0 CHUVAL		R	(353,8)	32,00		1948		40,0	10,82				70,00	11		26,27	30,0	65,0 (T)	SONDAJE CORRESPONDIENTE A LA EX NORIA N-77
307				JUAN ANTONIO RIOS ESQ. VELASQUEZ	AGUACOR S. A.	ARICA COSTA		SU				1994		2,0					(30)	8				NO SE USA POR SU BAJO RENDIMIENTO	
308				JUAN ANTONIO RIOS ESQ. VELASQUEZ	AGUACOR S. A.	ARICA COSTA		SU				1994		5,0					(30)	8				NO SE USA POR SU BAJO RENDIMIENTO	
309				VILLA CHABELA	CARLOS CRIGNOLA	KM. 2,0 SAUCACHE		SU	(82.5)	30,0		1950		24,45					56,00	1,3 m - 12"	SECO		SE BOMBEO HASTA 1983. CORRESPONDE A EX NORIA N-38		
310	1820	7010	A-1	AEROPUERTO CHACALLUTA	DIR. DE AERONAUTICA	CHACALLUTA	REGO	R		59,0	59,0	12/59		10,0	42,70	47,00				12			SE USA SOLO CUANDO LOS SONDAJES DE LA CONCORDIA FALLAN		
311				PARQUE ZOFRI - CHACALLUTA	ZOFRI	CHACALLUTA	HIDROSAN	R		100,0	100,0	1991		15,0	52,13	60,92						55,68	SE BOMBEO APROX. 20 MIN/DIA		
312				EL TAMARUSAL	READY MIX	VILLA FRONTERA		I	(47.5)	40,0											14	30,14	18,5		
313				PARCELA K-13	ISIDORO ALVAREZ	VILLA FRONTERA	ISIDORO ALVAREZ	R-I	(34.2)	40,0		20,0								40,00	20	25,31	27,7	EL AGUA SE VENDE A CAMIONES PARTICULARES Y MUNICIPALES	
314				RECINTO FISCAL	ASOC. DE REGANTES	VILLA FRONTERA	CORFO A-4	R	(48.8)	64,0	64,0	20,0	1968							20		35,06	30,0	EL RECINTO FISCAL FUE ENTREGADO AL EJERCITO	
315				PARCELAS M-9																					

CUADRO 3.3.1-3: CATASTRO DE SONDAJES CUENCA DEL RIO SAN JOSE  
I REGION - ARICA

POZO Nº	ROL REN		UBICACION	PROPIETARIO	SECTOR	CONSTRUCTOR	USO	COTA (msnm)	PROF. PERF (m)	PROF. HAB. (m)	DIAM. HAB. (pulg)	FECHA CONST.	PRUEBA DE BOMBEO			SITUACION ACTUAL (MAYO - JUNIO - JULIO 1996)				DERECHOS CONCED. (%)	OBSERVACIONES	
	LAT	LONG											CAUDAL (%)	N. E. (m)	N. D. (m)	PROF. (m)	DIAMETRO (pulg)	N. E. (m)	N. D. (m)			CAUDAL (%)
327			DESAFIO LAS PIEDRAS	ALDO LOMBARDI			R					1991				40,00		36,60		5,0	5,0 (T)	
328			FIORA DEL FABRO	ALDO LOMBARDI			R									68,00	12	33,00			6,0 (T)	
329			IL PARADISO DE PIEMONTE	ALDO LOMBARDI			R					1991				65,00	8			4,5		
330			PICCOLA MADROGNE	ALDO LOMBARDI			SU									104,00	8					ACTUALMENTE NO SE USA
331			HACIENDA LAS PALMERAS	PABLO BENAVIDES			R	(157,2)				1964				51,00	1,5 m - "	38,00				CORRESPONDE A EX NORIA N-50
332			PARCELA 20	IGNACIO MIRANDA			R									58,00	9	45,00		3,0		
333			SANTA JACINTA	IGNACIO MIRANDA			R						5,0		58,00	61,72		46,28				PRUEBA DE BOMBEO AÑO 1996. AUN NO SE HA BOMBEADO. PROYECCION 5 1/2
334			A. P. R. CERRO SOMBRERO	ESSAT S. A.			P					1983				90,00	12		73,58		25,0 (T)	
335			SANTIAGO FLORES 185	RAUL GUERRA		CAPTAGUA	R					1993				84,00	10	77,36		4,6		
336			DISCOTHEQUE AVANT PREMIERE	PEDRO CAYO			P					1992				80,00	8					USO PERMANENTE HASTA 1994, AHORA SOLO EN FORMA ESPORADICA
337				AMALIA NIETO			R					1980				36,00						
338							R					1994					8					NO ES POSIBLE EL ACCESO
339				JORGE LOMBARDI			R-P	48,0									10	20,30				SE HABILITO EN 1986 PARA RIEGO DE ZONAS EN PRODUCCION
340				MARCOS GARDILCIC			R										12	32,44				
341				AGRICOLA LOMBARDI		ROCK DRILLING	R					10/9/95				60,00	10		44,03	30,0		
342				AGRICOLA LOMBARDI		ROCK DRILLING	R					1995					10		34,66	15,0		SE CONSTRUYO COMO NORIA EN 1992
343				COOPERATIVA JUAN NOE			R												41,58	25,0		
344				HUANCA			R					1988				19,30		4,95				DIAMETRO IMPULSION 5", MOTOR DE 50 HP
345				LIDO CARBONE S		ROCK DRILLING	R	292,0				1995				50,00	10	16,68				
346				TRUFFA HNOS			R-P									56,00		25,60	34,20	24,0		REALIZA EXTRACCION CONJUNTA CON SONDAJE S-182
347			PARCELA LAS PALMAS	DELFINA LEON - FERNANDO ROQUE	KM 5,0 PASO DE GOMEZ		SU									32,54	1,25 m - "					EL TUBO ESTA OBSTRUIDO. NO FUNCIONA HACE MAS DE 10 AÑOS
348				MARCOS GARDILCIC			R									52,00	13		48,51			
349				FERNANDO FEMUY			R		50,0			1980					8	33,32		14,0		CONSTRUIDA COMO NORIA EN 1966 Y TRANSFORMADA EN SONDAJE EN 1980
350				JUAN LLERENA			R-P	392,0								50,00	1,5 m - 12"	34,00				CORRESPONDE A EX NORIA N-209
351			PARCELA 33 LOTE ALGODONAL	CESAR CESPEDES	KM 3,5 ALGODONAL		P-R					1990				57,25	1,3 m - "	55,27		1,7	2,5 (T)	EXISTE INTENCION DE PROFUNDIZARLO PROXIMAMENTE HASTA LOS 60 m
352			PARCELA ALGODONAL	YUSSEF BU-ANTUN			R-SU					1940				(45)	12	SECO				SE BOMBEO HASTA EL AÑO 1985
353			PARCELA ALGODONAL	YUSSEF BU-ANTUN			R					1980				67,00	12			3,0		SE PROFUNDIZO HACE 1 AÑO
354			PARCELA CINCO OLIVOS	HUGO MOZO			R	103,0				(1955)					12			5,0	19,0 (T)	H. MOZO LO TIENE PRESTADO A Y. BU-ANTUN DESDE HACE DOS AÑOS
355			PARCELA SAN ELIAS, KM 6,0	YUSSEF BU-ANTUN			SU					1985				42,39	1,2 m - 12"	37,73				SE PROFUNDIZARA HASTA 80 m. CORRESPONDE A EX NORIA N-223
356			PARCELA SAN ELIAS, KM 6,0	YUSSEF BU-ANTUN			R					1995				67,00	1,2 m - 12"		48,13	8,0	5,0 (T)	BOMBA DE 30 HP
357			PARCELA EL LAUREL	FILIBERTO FERNANDEZ			R					1936				80,00	14			4,5	20,0 (T)	CORRESPONDE A EX NORIA N-54
358			PARCELA EL LAUREL	FILIBERTO FERNANDEZ			P-R					1984					14			15,0	20,0 (T)	CORRESPONDE A EX NORIA N-53
359			PARCELA EL GALLITO	CECILIA CESPEDES			SU	(153,5)				1958				44,10	1,4 m - 12"	31,97			20,0 (T)	CORRESPONDE A EX NORIA N-48
360			KM 1 CRUCE PANAM.	DGA-JICA	LLUTA	JICA J-B	E	73,8	200,0			1993	18,9	34,56	65,19							
361			KM 3,5 CRUCE PANAM.	DGA-JICA	LLUTA	JICA J-2	E	107,4	225,0			1993	4,9	35,02	41,78							
362			PAMPA ALGODONAL		PAMPA ALGODONAL		TA									0,00	12	TAPADO				NUNCA FUE BOMBEADO
363			BADEN SOBRE RIO SAN JOSE	DIRECCION DE RIEGO		RIEGO	TA	(120)				(1991)				0,00		TAPADO				
364			PARCELA 45, KM 24	ABIJO CANPA (P. Céspedes)	CERRO BLANCO		R					1981				42,43	1,45 m - 8"	35,84		2,0	18,0 (T)	A. CANPA LE ARRIENDA LA PARCELA A PABLO CESPEDES
365			PARCELA 39	ABIJO CANPA (P. Céspedes)	CERRO BLANCO		SU					1981				62,61	10	38,83			20,0 (T)	NO SE UTILIZA PORQUE TIENE MUY LENTA RECUPERACION
366			PARCELA 52	LUIS SANTOS (P. Céspedes)	CERRO BLANCO		R					(1981)				50,98	12	40,20		2,0		A. CANPA LE ARRIENDA LA PARCELA A PABLO CESPEDES
367			PARCELA 5	RAQUEL NOGALES			AB									24,63	12	SECO				POZO ANTIGUO QUE SE SECO HACE MAS DE 30 AÑOS
368			VALLE DE AZAPA, KM 18			ROCK DRILLING	R					1996					10	31,44				

### 3.3.2 Explotación desde Sondajes y Norias Valle de Azapa y Arica

Con el objeto de determinar el volumen de agua extraído actualmente del acuífero del Valle de Azapa se ha analizado la información disponible de norias y sondajes en forma separada. Para estimar el volumen mensual de bombeo se consideró toda la información que fuera de utilidad para tal efecto. Por ejemplo, número de horas de bombeo diario, caudales instantáneos estimados a partir de aforos, de estadísticas del propietario, de datos de la prueba de bombeo realizada en la construcción del pozo, estimación según el tipo de equipo de bombeo y en general toda aquella información directa o indirecta que permitiera estimar el bombeo promedio a nivel mensual.

En el caso de las norias, según se mencionó en el punto anterior, existe un total de 108 fuentes catastradas con bombeo activo y estas corresponden a las presentadas en el Cuadro 3.3.2-1.

De estas fuentes, se dispone de información referente a los volúmenes medios de extracción mensual o de los datos suficientes para poder estimarla en 84 casos, correspondiendo estos valores a los de la columna de la derecha del cuadro anterior. En el Cuadro 3.3.2-2 se puede apreciar los volúmenes totales de producción según los distintos usos.

CUADRO 3.3.2-1: NORIAS ACTUALMENTE EN USO EN EL VALLE DE AZAPA I REGION - ARICA

NORIA Nº	UBICACION	PROPIETARIO	SECTOR	USO	CAUDAL	VOLUMEN MENSUAL
					INSTANTANEO	APROXIMADO
					(l/s)	(m3)
12	HOTEL EL PASO	HOTEL EL PASO	ARICA COSTA	R	(2 22)	240
28	PARCELA H. LOTE 8, KM. 2,5 AZAPA	CARLOS CARRASCO	KM 2,5 SAUCACHE	P	1 1	240
57	SANTA ELEDINA	DANIEL SALINAS	KM 4,5 PAGO GOMEZ	R	8	3591
62		PASCUAL ROCO	KM 16,5 CHUVAL	R-P	17 5	3591
66	CERRO MORENO	JOSE A. ANDIA T.	KM 14,5 LAS RIVERAS	R-P	12	31104
73	SAN MANUEL	FACUNDO GUTIERREZ V.	KM 17,5 CHUVAL	R		864
74	LA TARA	ANTONIA ESTORAICA A.	KM 17,5 CHUVAL	R		6480
75	LA TARA	DOMINGO AVILES (Ex Melger)	KM 17,5 CHUVAL	R-P		3240
84		JULIO SANTA MARIA	KM 7,5 LAS ANIMAS	R	5 7	4925
85	LAS ANIMAS	JOHNNY YUCRA	KM 7,5 LAS ANIMAS	R		
88	LA YARA	ENRIQUE CHANG R.	KM 17,0 CHUVAL	R-P		864
89	PARCELA LA AURORA	ARTURO BUITANO	KM 7,0 ALTO RAMIREZ	R		
98	HACIENDA PIEMONTE (MOLINO)	ALDO LOMBARDI	KM 6,5 PAGO GOMEZ	R		
105	AGRADECIDA	MAGDALENA HENRY ALBARRACIN	KM 13,0 SAN MIGUEL	R-P		1296
113	SAN LORENZO	ALBERTO FOCACCI	KM 11,0 ALBARRACINES	R	5	2160
117	LA HUANCA	MARIA GUTIERREZ (EX SAUL OVIEDO)	KM 10,5 LAS MAITAS	R	0 8	2074
118	SAN ISIDORO	MIGUEL ISHIHARA	KM 10,5 LAS MAITAS	R	17	22032
123	SAN FCO. DE ASIS	ISAAC BALUARTE	KM 13,0 SAN MIGUEL	R		
125	PARCELA 1	NELLY SOTO	KM 14,0 LAS RIVERAS	R-P	1.3	421
127		MANUEL MELGAR O. (Ex Chirinos)	KM 15,5 LAS RIVERAS	R-P	(4.5)	1620
134	PLANTA TOMATIN	AGRICOLA LOMBARDI	KM 17,0 CHUVAL	I	15	10800
135	SAN ANTONIO	LUCIA RAMOS B.	KM 16,0 CHUVAL	R-P		
142	CUNCUMEN, PARCELA 41	ALEX LEBNER	KM 2,5 ALGODONAL	R-P	2 2	
144	CUNCUMEN 3940	JORGE VELEZ	KM 2,5 ALGODONAL	R	5 8	420
156	CENTRO ESPAÑOL	COMUNIDAD ESPAÑOLA	KM 2,5 ALGODONAL	R	2 3	270
159	PARCELA 2	ALICIA SOLARI	KM 2,5 ALGODONAL	R-P	0.6	60
161	LOS ITALIANOS 2090	MARCO A. AGUIRRE	KM 2,0 SAUCACHE	R-P	(5)	1080
176	BARROS ARANA 2599	BOTTAI HNOS.	ARICA NORTE	I		300
177	HOTEL EL PASO	HOTEL EL PASO	ARICA COSTA	R	(2.22)	240
178	HOTEL EL PASO	HOTEL EL PASO	ARICA COSTA	R	(2.22)	240
179	LAVANDERIA MODERNA	NINO BALTOLU	ARICA CENTRO	I	(2.22)	240
181	LOS MOLINOS	HUGO HUANCA (PANADERIA HH)	KM 2,5 SAUCACHE	R		18
192	CERRO MORENO	DANAE SAMOHOD LOMBARDI	KM 15,0 LAS RIVERAS	R-P	4	3024
206	PARQUE BRASIL - CASINO	MUNICIPALIDAD DE ARICA	ARICA COSTA	R	(1.5)	1764
207		M. ORTUÑO	LA MAITAS	R		
208		M. BLANCO	CHUVAL	R		
210		JUAN VEGA	CHUVAL	R-P		216
211		JOSE MADARIAGA C.	CHUVAL	R-P		
213		DAVID ARCE	CABUZA	R-P		
214		ESTELA CASTRO V. (Ex Mamani)	CABUZA	R-P		2160
217	HOTEL EL PASO	HOTEL EL PASO	ARICA COSTA	R		
221	PARCELA EL GALLITO	CECILIA CESPEDES	PLANTA AZAPA	R	4	3456
225	PARQUE CENTENARIO	P. CENTENARIO. MUNIC. DE ARICA	ARICA COSTA	R		270
227	PLAYA CHINCHORRO	MUNICIPALIDAD DE ARICA	ARICA COSTA	R		2700
229	PEREZ ZUJOVIC 353	AGUACOR S. A.	ARICA COSTA	P	8	20736
232		EPIFANIA SALAS (N)	CHUVAL	R-P		432
233		ANDRES LLAMPARA	LAS RIVERAS	P		130
234		FRANCISCO MARCHESI	LAS RIVERAS	R-P		54
235		NELSON SUPANTA	LAS RIVERAS	R-P		
236		ORLANDO GREGORIO C.	LAS RIVERAS	P		
237	PARCELA 4, EL OVALINO	CLARA MAMANI	KM 16,0 CHUVAL	R-P	1.02	432
238		CIRIACO HUANCA		R-P		648
239		SUCESION GUTIERREZ VELASQUEZ		R-P		
243		LEONEL SALINAS		R-P		270
246	PARC. SORRENTO Nº17 ALGODONAL	ALDO LOMBARDI		R	1 5	162
247	OLIVAR WEGUELI	HUGO MOZO		R-P	(25)	32400
251		NAZARIA SOTO	VILLA FRONTERA	P	0 9	173
252	CAMPING MARINA (K-14)	AIDA DICKINSON	VILLA FRONTERA	P	3	
256	PARCELA M-7	ELEODORO CARDENAS	VILLA FRONTERA	P		
257	PARCELA M-15	DONALD ERKINS	VILLA FRONTERA	R		

CUADRO 3.3.2-1: NORIAS ACTUALMENTE EN USO EN EL VALLE DE AZAPA I REGION - ARICA

NORIA Nº	UBICACION	PROPIETARIO	SECTOR	USO	CAUDAL INSTANTANEO	VOLUMEN MENSUAL APROXIMADO
					(l/s)	(m3)
256	PARCELA N-18	ROSA ARAYA	VILLA FRONTERA	R-I	5.6	4234
261	AVICOLA LAS 3 E (N-21 Y N22)	CARLOS CABEZAS	VILLA FRONTERA	I	(1.5)	27
262	PARCELA I-15	DOMINGO BUSTOS	VILLA FRONTERA	R	3.3	900
264	PARCELA F-17	RICARDO BREMER	VILLA FRONTERA	P-I	1.1	12
270	PARCELA J-5	ALFREDO GUTIERREZ	VILLA FRONTERA	P-I	2.5	90
271		FERNANDO OLGUIN	VILLA FRONTERA	R	0.7	90
272	PARCELA A-7	ASOC. GUIAS Y SCOUT DE CHILE	VILLA FRONTERA	P	1.38	180
273	CHACRA EL MOLINO	CELITE CHILE S. A.	CHACALLUTA KM 10	I		30
274	LA PONDEROSA, PARCELA 23	ARTURO MURILLO	LA PONDEROSA	R	10	
276	HIJUELA 5	EMILIO MARIN	LA PONDEROSA	P	0.2	15
277	PARCELA 7	SOC. ANONIMA LAS MACHAS	LA PONDEROSA	P		
278		SINDICATO PESQUERA INDO	LA PONDEROSA	P		45
279	PARCELA D-2	JUAN GIMENEZ	VILLA FRONTERA	P-I	3.7	45
280	PARCELA M-7	CHILCO LTDA.	VILLA FRONTERA	I		30
281	HIPODROMO DE ARICA	HIPODROMO ARICA S. A.	ARICA NORTE	R	2.12	1590
282	HIPODROMO DE ARICA	HIPODROMO ARICA S. A.	ARICA NORTE	R		150
283		CONSTRUCTORA AGUAS CLARAS	LA PONDEROSA	I		30
284	PARQUE CENTENARIO	PARQUE CENTENARIO	ARICA NORTE	R	1.1	831
285	HOTEL BAHIA CHINCHORRO	INVERSIONES PACTA S. A.	ARICA COSTA	R	(1.5)	945
286	AVDA. ARGENTINA 3185	TRANSP. CANEPA Y CIA. LTDA.	ARICA NORTE	I		60
288		CONDENSA S. A.	ARICA NORTE	I		900
290		SOMARCO LTDA.	ARICA COSTA	I	1	324
291	AZAPA 5201	ROXANA SOTO	KM 2,0 CAMPO VERDE	R	3.3	535
292		CONTEX LTDA.	ARICA NORTE	I		1800
294	AVDA. SANTA MARIA 2384	AGRICOLA TARAPACA	ARICA NORTE	I	5.8	5400
295	AVDA. SANTA MARIA	DEPOSITOS SAAM	ARICA NORTE	I		150
297	AVDA. SANTA MARIA 2764	NINO BALTOLU (LIASSA S. A.)	ARICA NORTE	I	2.8	3960
298	AVDA. SANTA MARIA 2764	NINO BALTOLU (LIASSA S. A.)	ARICA NORTE	I		
301		LUCIA RAMOS B.		R-P		
303		MANUEL MADRID		R-P		
304		TORIBIO MAMANI		R-P		810
317				R		
318		LUIS OLIVARES		R-P		432
321		HARALD EIKNOF		R	5	540
326		ANGULO		R		324
329		MARIA CALLES		R	5.5	2376
331		MARIA ESTAY		R	3	972
333	PARCELA SAN PEDRO	PABLO BENAVIDES		R		54
336		JUANA ALCIRA		P		
338		DOMINGO BALUARTE		P		22
339		DOMINGO BALUARTE		R		162
348	COLCHAGUA	SUCESION LY	KM 2,0 ALGODONAL	R	3	324
349		SUC. DAVID RAMOS		R-P		435
355	LAS CAÑAS PARCELA 35	GLADYS RICHTER	KM 2,5 ALGODONAL	R	2	300
356	PARCELAS 21 Y 22	CORP. IGLESIA ADVENTISTA	KM 2,5 ALGODONAL	R-P	10	2400
358	LOS ITALIANOS 2155	SAMUEL CANCHAYA	KM 2,0 SAUCACHE	R-P	1.1	60
359	EL CALLEJON, PARCELA 26	SOC. ALDEAS INFANTILES	KM 3,0 ALGODONAL	R		216
360	DISC. SUNSET, AZAPA 5981	EDUARDO ZARZAR	KM 2,5 ALGODONAL	R-P	4.5	1439

CUADRO 3.3.2-2  
VOLÚMENES MEDIOS MENSUALES DE EXTRACCIÓN DE AGUA  
DESDE NORIAS CON INFORMACIÓN

Uso	Nº de Norias	Volumen Medio de Extracción m <sup>3</sup> /mes
Potable	8	21.540
Riego	34	62.214
Industrial	14	24.041
Riego-Potable	24	88.488
Riego-Industrial	1	4.234
Potable Industrial	3	147
Total	84	200.664

Para las 24 norias sin información de sus caudales de bombeo, se ha realizado una estimación proporcional basada en las magnitudes según los distintos usos de las norias para las que estos datos existen.

De este modo, se ha calculado que la producción media mensual, en conjunto de las norias sin información alcanzaría los 62.974 m<sup>3</sup>, con lo que el volumen mensual total de explotación de estas fuentes se eleva a la cifra estimada en 263.638 m<sup>3</sup>.

En relación a la producción de los sondajes se ha realizado el mismo procedimiento anterior. En este caso, la cantidad de pozos actualmente en uso corresponde a 129, según se desprende del Cuadro 3.3.1-1. De este total, sólo 108 puntos cuentan con la información referente a los volúmenes de extracción mientras que en los 21 restantes los datos disponibles no permitieron estimar sus magnitudes. Los sondajes en uso, han sido separados del catastro del punto anterior y se han consignado en el Cuadro 3.3.2-3, mientras que en el Cuadro 3.3.2-4 se presentan los volúmenes agregados de producción, separados según la utilización del agua de las fuentes.

CUADRO 3.3.2-3: SONDAJES ACTUALMENTE EN USO EN EL VALLE DE AZAPA  
I REGION - ARICA

POZO N°	UBICACION	PROPIETARIO	SECTOR	USO	CAUDAL	VOLUMEN MENSUAL
					INSTANTANEO	APROXIMADO
					(l/s)	(m <sup>3</sup> )
105		CARLOS BUNEDER	PLANTA AZAPA	P		6048
107	PARCELA LAS MERCEDES	ALFREDO GARDILCIC	LAS ANIMAS	R	4.5	4860
113		COMCA Km 18 N	LAS RIVERAS	R		
115		AMADEO CARBONE	LAS RIVERAS	R-P		7560
116		COMCA CABUZA	CABUZA	R		
124		MARCOS GARDILCIC	LAS MAITAS	R		
128		ANTONIO ANDIA	LAS RIVERAS	R		5184
134		COOPERATIVA JUAN NOE	SAN MIGUEL	R	20	4320
138	ESSAT COPAJA	ESSAT S. A.	ARICA SUR	P	10	27000
140	ESSAT ESTADIO	ESSAT S. A.	ARICA SUR	P	11.9	30700
141	ESSAT RETEN	ESSAT S. A.	ARICA SUR	P	18	48300
142	ESSAT TUCAPEL	ESSAT S. A.	ARICA SUR	P	24.3	65500
143	ESSAT LIGA DE EMPLEADOS	ESSAT S. A.	ARICA SUR	P	30.5	82500
144	AVDA. SANTA MARIA 2652	COCA COLA	ARICA NORTE	I		270
145	AVDA. SANTA MARIA 2251	EDELNOR S. A.	ARICA COSTA	I		1000
147	ESSAT SAN JOSE	ESSAT S. A.	ARICA COSTA	P	27.2	70700
153		M. FIGUEROA	PLANTA AZAPA	R		900
154	HACIENDA LIBANESA	EID KHARRAT	PLANTA AZAPA, KM 3,0	R	5	2916
155	HACIENDA LIBANESA	EID KHARRAT	PLANTA AZAPA, KM 3,0	R	3	4860
157		ESSAT AZAPA 481N	PLANTA AZAPA	P	9.8	25100
158	PLANTA AZAPA	ESSAT S. A.	PLANTA AZAPA	P	10.6	27700
160	PLANTA AZAPA	ESSAT S. A.	PLANTA AZAPA	P	6.3	16500
161	PLANTA AZAPA	ESSAT S. A.	PLANTA AZAPA	P	10.7	16700
164		HOTEL AZAPA INN	SAUCACHE	P		
165	ESSAT LOS PINOS	ESSAT S. A.	ARICA ORIENTE	P	10.1	27200
168	ESSAT SAUCACHE	ESSAT S. A.	ARICA ORIENTE	P	14.2	37400
167	ESSAT PILON 18 DE SEPTIEMBRE	ESSAT S. A.	ARICA ORIENTE	P	18.3	49000
176		IGNACIO MIRANDA	CHUVAL	R-P		1944
182		TRUFFA HNOS.	CHUVAL	R-P	10	12960
186	PLANTA AZAPA	ESSAT S. A.	PLANTA AZAPA	P	9.4	24600
187	PLANTA AZAPA	ESSAT S. A.	PLANTA AZAPA	P	6.4	16750
190	HACIENDA SAN RAFAEL	PABLO BENAVIDES	PLANTA AZAPA	R		1161
195		RICARDO FERNANDEZ	LAS MAITAS	R		25272
200		REINALDO ORDOÑEZ TELENTE (S)	PLANTA AZAPA	R	22	40392
202		REINALDO ORDOÑEZ TELENTE (N)	PLANTA AZAPA	R		
204		SUCESION CARBONE	SAN MIGUEL	R		2592
205		COOPERATIVA JUAN NOE	SAN MIGUEL	R	35	45360
206		COOPERATIVA JUAN NOE - ESSAT	SAN MIGUEL	P	14.3	37900
208		COOPERATIVA JUAN NOE	SAN MIGUEL	R	10	12960
210	VENECIA (EX SAN JUAN)	ALDO LOMBARDI	PLANTA AZAPA	R	7.2	1555
211		CENTELLA	PLANTA AZAPA	P	(?)	
212		EDUARDO CHONG	LAS MAITAS	R	18	
217		EDUARDO CONTRERAS	PLANTA AZAPA	P		86
219	PARCELA LAS CARMENES	RINA BLAMEY		R-P		
221		ESSAT PAGO DE GOMEZ - 1113	LAS ANIMAS	P	6.1	16300
222		ESSAT PAGO DE GOMEZ - 1114	LAS ANIMAS	P	6.9	18400
223		ESSAT PAGO DE GOMEZ - 1142	LAS ANIMAS	P	9.4	24900
224		MARCOS GARDILCIC	PLANTA AZAPA	R		
230	PLANTA AZAPA	ESSAT S. A.	PLANTA AZAPA	P	11.9	31600
235		APR SAN MIGUEL	SAN MIGUEL	P		
236		MANUEL CONTRERAS	SAN MIGUEL	R		
240	PARCELA SAN ELIAS, KM 8,0	CHEIDID BUNEDER	LAS ANIMAS	P	5	4860
243		EDUARDO CONTRERAS	PLANTA AZAPA	R		216
244	PARCELA 50 LOTE0 ALGODONAL	YUSSEF BU-ANTUN	PLANTA AZAPA	P		378
252		MARIO CHANG	SAUCACHE	R-I	10	9000
258		MARIO CHANG	SAUCACHE	I	18	18000
259	SAN AGUSTIN	MANUEL PALZA B.	LAS MAITAS	R		17820
260		ROXANA GARDILCIC	LAS MAITAS	R		2916
263	PARCELA PUCARA EX STA. MARIA	JORGE PRIETO	PLANTA AZAPA	R-P	6	1944
265	ESSAT SAN MIGUEL N	ESSAT S. A.	SAN MIGUEL	P	15	40000
266	ESSAT SAN MIGUEL S	ESSAT S. A.	SAN MIGUEL	P	9.9	26400
267	ESSAT RODOVARI0	ESSAT S. A.	ARICA SUR	P	13	34700
268	ESSAT JOAQUIN ARACENA	ESSAT S. A.	ARICA NORTE	P	4.5	10600
269	ESSAT ANGELMO	ESSAT S. A.	ARICA ORIENTE	P	17	45700
270	ESSAT OHIGGINS	ESSAT S. A.	ARICA ORIENTE	P	7.5	20100
271	ESSAT LAS TORRES	ESSAT S. A.	ARICA ORIENTE	P	8.5	22000

USOS DE LAS FUENTES: P: POTABLE, R: RIEGO, I: INDUSTRIAL.

CUADRO 3.3.2-3: SONDAJES ACTUALMENTE EN USO EN EL VALLE DE AZAPA I REGION - ARICA

POZO N°	UBICACION	PROPIETARIO	SECTOR	USO	CAUDAL INSTANTANEO	VOLUMEN MENSUAL APROXIMADO
					(l/s)	(m3)
272	ESSAT NUEVA ESPERANZA	ESSAT S. A.	SAUCACHE	P	8.4	22600
273	ESSAT TAMBO QUEMADO	ESSAT S. A.	SAUCACHE	P	17	45600
275	HACIENDA LOS MOLINOS	V. ORDOÑEZ	PLANTA AZAPA	P	18	19440
276	PARCELA ALGODONAL	YUSSEF BU-ANTUN	PLANTA AZAPA	R	3	2592
277		DEVOTTO (N)	PLANTA AZAPA	R		
279	PARCELA DE MARCOS GARDILCIC	ESSAT ORTUÑO	LAS ANIMAS	P	14	31200
280		ESSAT Km 7	LAS ANIMAS	P	7	18700
282	PARCELA SANTA ANA	AUGUSTO PEREZ	LAS MAITAS	R		
283		ESSAT ROMERO	CABUZA	R-P	16.9	39700
284		ESSAT CID	CABUZA	R-P	45	105100
285	ESSAT FABRES	ESSAT S. A.	ARICA ORIENTE	P	9.3	24800
286	ESSAT LOA	ESSAT S. A.	ARICA NORTE	P	6.3	16300
287		ESSAT CARBONE	LAS RIVERAS	R-P	36.9	84500
288	PARCELA SAN LUIS	ESSAT - DOMINGO DEVOTTO 1 (KM 1)	SAUCACHE	R-P	6.6	12400
289		ESSAT - DEVOTTO 2 (Km 3)	PLANTA AZAPA	R-P	10.9	25300
290	HACIENDA MIRAMAR	CRESCENCIA SALAS	KM 4,0 PAGO DE GOMEZ	R		14
293	EX PREDIO DE S. CAVALAN	ORLANDO ILAJA	PLANTA AZAPA	R-P	0.4	86
294	PAGO DE GOMEZ NORTE LOTE 6-7	HERNAN FIGUEROA	PLANTA AZAPA, KM 2,0	R-I	0.17	263
296		SAN MIGUEL SO	SAN MIGUEL	R		
300	CAMPING SAN CARLOS	EUGENIO DONOSO	VILLA FRONTERA	R-P	(8)	3888
302	ARICA NORTE, SECTOR INDUSTRIAL	GENERAL MOTORS	ARICA NORTE	I		1800
303	HOTEL SAINT GEORGETTE, AZAPA 3221	ANDRES PAVISIC	ARICA ORIENTE	R	(7)	6000
304	AVDA. SANTA MARIA 2852	COCA-COLA	ARICA NORTE	I	2.5	6480
305	EL CALLEJON 2218 (VICECONS. ITALIANO)	GIAN LUIGI CANEPA	KM 3,0 PLANTA AZAPA	R	2.6	1404
306	PREDIO EL OLIVO	AGRICOLA LOMBARDI	KM 17,0 CHUVAL	R	30	19440
311	PARQUE ZOFRI - CHACALLUTA	ZOFRI	CHACALLUTA	R		
312	EL TAMARUGAL	READY MIX	VILLA FRONTERA	I	18.5	430
313	PARCELA K-13	ISIDORO ALVAREZ	VILLA FRONTERA	R-I	27.7	5632
314	RECINTO FISCAL	ASOC. DE REGANTES	VILLA FRONTERA	R	30	38880
315	PARCELAS M-9 Y M-10	SOC. AVICOLA GALLO	VILLA FRONTERA	I		
316	CAMPAMENTO LAS RIVERAS	DIRECCION DE RIEGO		P		
317		PERCY PAREDES		R	5	842
321	PARC 6, KM 10,0, COOP. JUAN NOE	LUIS OLIVARES		R	8	1728
322		CARLOS BUNEDER		R	0.5	648
323	HACIENDA PIEMONTE (TIENDA)	ALDO LOMBARDI		R	5	2160
324	HACIENDA PIEMONTE (RIO)	ALDO LOMBARDI		R		
325	NOVA ITALIA	ALDO LOMBARDI		R	11	5940
326	NOVA ITALIA	ALDO LOMBARDI		R	11	7128
327	DESAFIO LAS PIEDRAS	ALDO LOMBARDI		R	5	2700
328	FIORA DEL FABRO	ALDO LOMBARDI		R		9720
329	IL PARADISO DE PIEMONTE	ALDO LOMBARDI		R	4.5	4860
331	HACIENDA LAS PALMERAS	PABLO BENAVIDES		R		18144
332	PARCELA 20	IGNACIO MIRANDA		R	3	7776
334	A. P. R. CERRO SOMBRERO	ESSAT S. A.		P		4860
335	SANTIAGO FLORES 165	RAUL GUERRA		R	4.8	2081
336	DISCOTHEQUE AVANT PREMIERE	PEDRO CAYO		P		
339		JORGE LOMBARDI		R-P		648
340		MARCOS GARDILCIC		R		
341		AGRICOLA LOMBARDI		R	30	9720
342		AGRICOLA LOMBARDI		R	15	38880
343		COOPERATIVA JUAN NOE		R	25	32400
344		HUANCA		R		4860
345		LIDO CARBONE S.		R		
346		TRUFFA HNOS.		R-P	24	31104
348		MARCOS GARDILCIC		R		7776
349		FERNANDO FEMUY		R	14	1512
350		JUAN LLERENA		R-P		2160
351	PARCELA 33 LOTE ALGODONAL	CESAR CESPEDES	KM 3,5 ALGODONAL	R-P	1.7	360
353	PARCELA ALGODONAL	YUSSEF BU-ANTUN		R	3	1620
354	PARCELA CINCO OLIVOS	HUGO MOZO		R	5	9720
356	PARCELA SAN ELIAS, KM 6,0	YUSSEF BU-ANTUN		R	8	2995
357	PARCELA EL LAUREL	FILIBERTO FERNANDEZ		R	4.5	11900
358	PARCELA EL LAUREL	FILIBERTO FERNANDEZ		R-P	15	16200



**CUADRO 3.3.2-4**  
**VOLÚMENES MEDIOS MENSUALES DE EXTRACCIÓN DE AGUA**  
**DESDE SONDAJES CON INFORMACIÓN**

Uso	Nº de Sondajes	Caudal Medio de Extracción (m <sup>3</sup> /mes)
Potable	39	1.089.122
Riego	44	427.624
Industrial	6	27.980
Riego - Potable	16	345.854
Riego - Industrial	3	15.095
Potable - Industrial	0	0
Total	108	1.905.675

Realizando estimaciones proporcionales para cada uno de los usos determinados para estas fuentes, se ha calculado para los sondajes sin información un volumen medio mensual de 301.972 m<sup>3</sup>, con lo que el volumen mensual total estimado para estas extracciones alcanzan los 2.207.647 m<sup>3</sup> por mes.

Toda la información referente a los volúmenes tanto de las norias como de los sondajes, ha sido resumida y se ha incorporado en el Cuadro 3.3.2-5, en el que además se han incluido las porcentualidades para los diferentes usos del recurso desagregando en forma proporcional las magnitudes de las fuentes con más de una utilización.

**CUADRO 3.3.2-5**  
**RESUMEN DE EXTRACCIONES EN EL VALLE DE AZAPA**

Usos	Volumen Extraído de Noria		Volumen Extraído de Sondajes		Total	
	m <sup>3</sup> /mes	%	m <sup>3</sup> /mes	%	m <sup>3</sup> /mes	%
Potable	70.838	26.9	1.480.661	67.1	1.551.499	62.8
Riego	165.953	62.9	693.517	31.4	859.470	34.8
Industrial	26.847	10.2	33.470	1.5	60.317	2.4
Total	263.638		2.207.647		2.471.288	

Finalmente, a partir del volumen medio mensual total obtenido según el cuadro anterior, es posible determinar el caudal medio de extracción permanente sobre todo el Valle de Azapa, magnitud que alcanza a 940 l/s. Tomando en cuenta que en terreno fue posible advertir la negativa de algunos pequeños agricultores para dar a conocer sus fuentes de agua, se ha considerado razonable incrementar el caudal medio calculado en un 5%, con lo que a través del procedimiento completo del análisis de extracciones se ha determinado un caudal medio de 987 l/s.

En el Cuadro 3.3.2-6 se ha reproducido la información del Estudio Modelo de Simulación de las Aguas Subterráneas del Valle de Azapa relacionada con los caudales históricos estimados sobre el Valle de Azapa (AC-DGA, 1989) al que se ha incorporado el valor actual calculado. Con estos datos se ha construido el gráfico de la Figura 3.3.2-1 en el que es posible apreciar la evolución de los caudales de producción según los distintos usos.

### 3.3.3 Vertientes Valle de Azapa

Las vertientes del Valle de Azapa constituyeron inicialmente la fuente de recursos que dio origen a la agricultura primitiva del valle. Estas corresponden a afloramientos que tienen lugar en el interior del cauce del río San José o en sus cercanías. En épocas pasadas, también se localizaban en puntos específicos alejados del cauce del río. En menor grado corresponden a lumbreras o afloramientos canalizados por el hombre para su mejor aprovechamiento.

El área en que la geología permitió la existencia de vertientes, se encuentra en las diversas terrazas del río San José, desde la quebrada del Diablo por el Oriente hasta la quebrada de Las Llosyas por el Poniente.

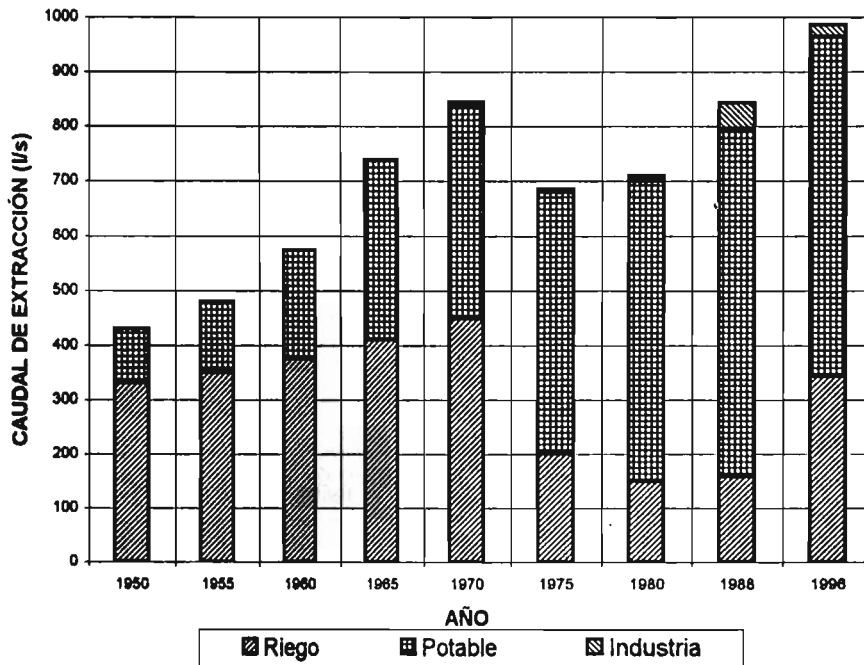
En el conjunto es posible distinguir dos grupos: el primero está ubicado en el sector Las Riveras y es motivado por una cierta interrupción del acuífero, provocada por los acarreo más finos de la quebrada del Diablo. El segundo grupo se encuentra en la zona de Las Animas al final de los sectores Las Maitas y Juan Noé, y es provocado por una acción semejante debida a los acarreo de la quebrada de Las Llosyas.

En el primer grupo existen o existieron 14 fuentes correspondientes a 2 drenes y 12 vertientes denominadas: Caniviri, Ovando (ya no existe), Peña Blanca, La Concepción, San Miguel, La Noria, El Socavón, Las Animas, El Estanque, Matavaca, Conchalique, Pejerrey, Dren El 5° y Dren Comunidad (los 2 últimos construidos por los usuarios). Por su parte, en el segundo grupo existieron 5 vertientes: Mamá Lorenza, Mita Chica, Media Luna, El Gallito y Socavón Maure. En el Cuadro 3.3.3-1 se presentan las características de todas estas fuentes, mientras que sus ubicaciones se han incorporado en la Figura 3.3.1-1, ya mencionada con anterioridad.

**CUADRO 3.3.2-6**  
**CAUDALES HISTÓRICOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**  
**EN EL VALLE DE AZAPA (l/s)**

<b>Año</b>	<b>Riego</b>	<b>Potable</b>	<b>Industria</b>	<b>Total</b>
1950	330	100		430
1955	350	130		480
1960	375	200		575
1965	410	330		740
1970	450	390	5	845
1975	200	480	5	685
1980	150	550	10	710
1988	158	637	48	843
1996	343	620	24	987

**FIGURA 3.3.2-1: CAUDALES HISTÓRICOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**



CUADRO 3.3.3-1 : CARACTERÍSTICAS DE LAS VERTIENTES Y DRENES

	Nº	VERTIENTE	UBICACION Y CARACTERISTICAS
GRUPO 1	V1	Caniviri	Se localiza en la ribera Norte del río San José en la propiedad de Juan Gutiérrez, Rol 3430-14. No tiene utilidad práctica en regadío.
	V2	Peña Blanca	Esta vertiente se localiza fuera del lecho en la ribera Norte del río San José, en el extremo Sur Oriente de la propiedad de Amadeo Carbone, Rol 3430-21. Antiguamente se aprovechaba para reforzar la dotación del canal Azapa.
	V3	La Concepción	Se ubica en la ribera Norte del río San José, aproximadamente a 150 m del lecho del río, entre la propiedad de Humberto Andía, Rol 3430-1 y de Serafina Lombardi, Rol 3430-52. Sus aguas, en conjunto con las de la vertiente San Miguel ubicada a 650 m aguas abajo, pertenecen a la comunidad de aguas que riega la colonia Juan Noé y otros.
	V4	San Miguel	Se localiza en la ribera norte del río San José aproximadamente a 300 m del lecho del río, entre la propiedad de Lido Carbone, Rol 3430-41 y de Eda Carbone, Rol 3430-22. Recibe las aguas de la vertiente La Concepción para regar la colonia Juan Noé.
	V5	La Noria	Se ubica en la ribera Norte del río San José aproximadamente a 300 m de la ribera del río, en el extremo Sur-Oriente de la propiedad de la sucesión Balmonte, Rol 3420-45.
	V6	El Socavón	Se ubica en la ribera sur del río San José, en el extremo Poniente de la Propiedad de Manuel Madrid, Rol 3430-79. Antiguamente regaba los predios Roles 3430-45 y 3430-69 para juntarse finalmente con las aguas de la vertiente Las Animas.
	V7	Las Animas	Esta vertiente se ubica en la ribera Sur del río San José a más de 100 m del lecho del río. Se localiza al interior de la propiedad Rol 3430-44. Regaba la propiedad de origen y a los roles 3420-8 y 3420-12 para juntarse finalmente con la Vertiente el Estanque.
	V8	El Estanque	Se ubica en la ribera Sur del río San José al pie del cerro de la propiedad Rol 3420-12
	V9	Matavaca	Se localiza en la ribera Norte a orillas del río San José en la propiedad rol 3420-40. Esta vertiente forma parte del canal Albarracines.
	V10	Conchalique	Se ubica en la ribera Sur y a orillas del río San José en el extremo Nororiente de la propiedad Rol 3420-12. Forma parte del canal Albarracines.
	V11	Pejerrey	Se ubica al lado sur del río San José, aproximadamente a 150 m del lecho al Oriente de la propiedad Rol 3420-12 cercano al deslinde de la propiedad rol 3420-08. Esta vertiente forma parte del Canal Albarracines.
	V12	Ovando	No existe.
GRUPO 1	D1	Dren Comunidad	Este dren nace al sur de la vertiente Matavaca en la ribera Sur del río San José y desemboca finalmente en el lecho del río San José aguas arriba de la bocatoma que capta las aguas que son conducidas al canal Albarracines.
	D2	Dren Quintay o El Quinto	Está ubicado en la ribera Norte del río. Es un dren perpendicular al río entre las propiedades de la sucesión Baluarte, Rol 3420-45 y de Aurelio Noce, Rol 3420-35. Las aguas de este dren se dejan caer al río y son captadas en una bocatoma ubicada a 200 m aguas abajo y conducidas finalmente a la zona de riego de la comunidad Juan Noé.
GRUPO 2	G1	Mamá Lorenza	Estaba ubicada en la ribera sur del río en la propiedad Rol 3410-4.
	G2	Mita Chica	Se localiza en la ribera sur del río en la propiedad de Alicia Ponce, Rol 3410-7 y regaba la propiedad de Arturo Buitano, Rol 4310-3.
	G3	Media Luna (*)	Se ubica en la ribera Norte del río San José, en la propiedad de Hugo Mozó, Rol 3410-26.
	G4	El Gallito (*)	Se localiza en la ribera norte del río San José en la propiedad de Rina Blamey, Rol 3410-39.
	G5	Socavón Maure	Esta vertiente se localizaba en la ribera norte del río, a los pies del cerro, frente a la propiedad de la Sucesión Fernández, Rol 3400-8.

(\*) : Vertientes sobre las que existen derechos constituidos.

En los últimos años, a medida que los recursos hídricos han ido disminuyendo, se han realizado trabajos en las vertientes para obtener un mayor rendimiento y eficiencia. Es así como la Comunidad de Aguas de las vertientes La Concepción y San Miguel ha efectuado mejoramientos en éstas y se construyó el denominado Dren El 5° que drena las propiedades de Aurelio Noce y Sucesión Baluarte además de aumentar el caudal de esta comunidad.

Por su parte, la comunidad de Aguas Las Maitas construyó el denominado Dren Comunidad en las cercanías de la vertiente Matavaca, el cual constituye una prolongación hacia aguas arriba de esta vertiente con el fin de aumentar su caudal. A consecuencia de esta profundización, el nivel de las aguas descendió, y el caudal que en un momento se observó en este punto correspondía exclusivamente a afloramientos desde el dren, ya que la vertiente cesó su producción.

Los caudales de todas estas vertientes provienen del acuífero subterráneo y al no haber precipitaciones en la zona cercana a la costa, dependen de las del sector alto de la hoya del río San José. La gran variabilidad que presentan dichas precipitaciones se ve reflejada en las variaciones, un poco más suavizadas por efecto del embalse subterráneo, de los caudales de las vertientes.

Entre los años 1964 y 1985 en que la DGA llevó control periódico de algunas de las vertientes mediante aforos mensuales, se observa que los caudales totales de las del primer grupo varían de 70 l/s en el año 1966 a 440 l/s en 1976, mientras que los del segundo grupo, que prácticamente se secaron en 1966, llegaron a 150 l/s en 1976. Esto permite concluir que, a pesar de ser la fuente de riego más antigua existente en el valle, las vertientes por su variabilidad, no pueden sustentar un área regada importante con una seguridad adecuada.

En el Cuadro 3.3.3-2 se muestra un resumen de los datos disponibles de caudales medios anuales de las vertientes para el período comprendido entre 1964 y 1986. En este cuadro, la columna correspondiente al Canal Albarracines incluye los caudales de las vertientes Matavaca, Pejerrey, Conchalique y Dren Comunidad.

En el año 1993, en el marco del estudio Monitoreo Cuenca Valle de Azapa (ESSAT), se constató sólo el flujo de las vertientes La Concepción, San Miguel, y Dren Comunidad, estando las restantes completamente secas. En esa ocasión se incorporó además al estudio, un cuarto afloramiento correspondiente a derrames del río San José antes de su confluencia con el Dren Comunidad.

CUADRO 3.3.3-2  
CAUDALES MEDIOS ANUALES HISTORICOS DE VERTIENTES

Año	La Noria	La Concepción	San Miguel	Dren Quinto	Canal Albarracines	Mamá Lorenza	El Socavón	Peña Blanca	Media Luna	Mita Chica	El Gallito	Ovando	Total
1964		18,1	108,6		57,4				6,2	9,8	17,3		217,4
1965		9,6	67,0		39,7				3,2	12,3	17,6		149,4
1966		4,6	37,1		31,9				0,0	2,2	5,3		81,1
1967		4,0	46,4		43,6				0,0	6,6	2,7		103,3
1968		11,9	84,0		57,2				15,6	23,8	12,4		204,9
1969		12,0	88,3		48,0				38,0	37,3	28,8		252,4
1970		6,4	50,0		35,3				10,8	28,1	28,2		158,8
1971		0,9	15,1		31,3			11,1	10,8	20,5	21,7		111,4
1972		7,8	35,6		32,1			44,5	39,8	39,0	33,6		232,4
1973		32,8	71,9		45,4			71,1	66,0	57,0	10,7		354,9
1974		61,0	106,1		60,3	1,3	2,3	88,0	83,3	67,0			469,3
1975		74,8	131,8		75,0	6,3	19,3	92,3	90,7	70,3		8,8	569,3
1976	9,0	77,3	145,9		88,2	8,0	27,7	87,3	88,6	69,5		15,2	616,7
1977	13,6	70,6	153,6		100,5	6,2	30,0	78,6	81,9	66,9		8,3	610,7
1978	9,2	61,9	157,6		111,4	1,0	25,8	67,6	72,1	60,6		0,2	567,4
1979	10,0	51,4	153,5		120,8		15,2	54,7	59,3	58,9			523,8
1980	5,4	32,7	118,8		104,2		5,8	20,8	36,2	44,1			368,0
1981	4,4	13,6	78,1		66,6		2,5	0,0	8,4	18,1			191,7
1982	1,4	4,1	38,8		40,6		4,3	0,0	0,0	1,0			90,2
1983	0,3	1,3	13,2		35,4		1,3	0,0	0,0	0,0			51,5
1984	0,0	1,5	23,6	5,8	41,9		0,0	0,0	0,0	0,0			72,3
1985	0,0	14,3	71,9	9,5	58,3		4,8	1,1	0,0	3,9			163,0
1986	0,0	35,3	121,9	10,8	85,1		10,7	26,4	0,9	20,0			311,0
1987													
1988		26,5	92,1	7,7	73,4		7,6	18,9	0,6	14,3			
1989		22,1	77,1	6,2	58,7		6,1	15,1	0,5	11,4			
1990		17,7	62,1	4,6	44,0		4,6	11,3	0,4	8,6			
1991		13,2	47,2	3,1	29,3		3,1	7,5	0,3	5,7			
1992		8,8	32,2	1,5	14,7		1,5	3,8	0,1	2,9			
1993		0,1	5,9	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0			
1994		0,0	2,3	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0			
1995		0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0			

NOTA: El Canal Albarracines incluye las vertientes Matavaca, Pejerrey, Conchalique y Dren Comunidad.

A lo largo de los 2 años de duración del estudio de monitoreo mensual se observó un descenso paulatino de los caudales en todas estas fuentes, llegando todas a secarse completamente; este suceso ocurrió en Febrero de 1994 en la vertiente La Concepción, en Enero de 1995 en San Miguel, en Junio de 1995 en el Dren Comunidad y en Noviembre de 1994 en los afloramientos del río. En el caso del tercer punto, fue posible continuar realizando las mediciones al utilizar un nuevo punto ubicado a 200 m aguas abajo del original. Sin embargo, estos afloramientos, que en el último mes de monitoreo también se hicieron nulos, se encontraban directamente relacionados con la infiltración del riego en la zona y no correspondían completamente al flujo subterráneo considerado en un principio.

En las campañas de terreno realizadas para el presente estudio se corroboró el estado de las vertientes en el Valle de Azapa, encontrándose únicamente el afloramiento Conchalique con un ínfimo flujo, el cual sólo fue considerado para realizar un muestreo para los análisis físico-químicos.

#### 3.3.4 Captaciones Subterráneas Río Lauca

En el Cuadro 3.3.4-1 se presenta el catastro de captaciones en el sector altiplánico del río Lauca. La ubicación de los pozos se indica en el Plano 3.3.4-1.

La explotación de aguas subterráneas en la zona del río Lauca es muy baja actualmente, no obstante en un futuro cercano, ésta será considerablemente más intensa. En efecto, los pozos que pertenecen a la Dirección de Riego y que constituyen el mayor porcentaje de entre todos los existentes e identificados en el catastro, están actualmente en proceso de consecución de los derechos de agua subterránea respectivos; posterior a ello, se construirá la impulsión desde cada pozo al canal Lauca para que finalmente entren en operación. Respecto a los demás sondajes, todos ellos pertenecen a la Minera Vilacollo, estando sólo uno de ellos en operación, el cual abastece de agua fresca a la mina Choquelimpie; los demás se encuentran sin uso y no hay indicios de que en un futuro cercano entren en operación.

En el Cuadro 3.3.4-2 se presenta un resumen respecto a la frecuencia de uso de los 2 únicos pozos que están actualmente en operación en el área de estudio.

A partir de esta información, se ha podido calcular que el volumen anual de agua subterránea que se extrae actualmente en el área de estudio es de 473.040 m<sup>3</sup> aproximadamente, sin incluir la explotación del pozo PECH 4. Conviene destacar que el valor presentado es extraído de la cuenca del río Vizcachani.

**CUADRO 3.3.4-1**  
**CATASTRO DE SONDAJES**  
**AGUAS SUBTERRÁNEAS SECTOR RÍO LAUCA**

POZO N°	ROL IREN			COORDENADAS UTM		COMUNA	PROPIETARIO	CONSTRUCTOR	USO	COTA	PROFUNDIDAD		DIAM HABIL (pul)	PRUEBA DE BOMBEO (2)			DERECHOS DE AGUA	FECHA CONST.	SITUACION ENERO 1996	
				NORTE	ESTE						PERF.	HAB.		CAUDAL (l/s)	N.E. (m)	N.D. (m)			CAUDAL (l/s)	N.E. (m)
1	1810	6920	C1	7.973.760,00	451.350,00	PUTRE	DIREC. RIEGO	CAPTAGUA	AB	4.349,83	136,0	72,0	12	6,00	0,62	55,00	08/92	--	N.T.	
2	1810	6920	C2	7.973.550,00	451.560,00	PUTRE	DIREC. RIEGO	CAPTAGUA	AB	4.359,83	134,0	134,0	12	13,00	2,10	37,55	08/92	--	1,00	
3	1810	6920	C3	7.973.600,00	451.790,00	PUTRE	DIREC. RIEGO	CAPTAGUA	AB	4.342,83	120,0	120,0	12	0,70	1,66	27,35	08/92	--	N.T.	
4	1820	6920	B1	7.972.363,66	458.195,01	PUTRE	DIREC. RIEGO	CAPTAGUA	R	4.306,00	125,0	118,0	12	45,00	0,79	51,33	10/92	12 Apr.	--	
5	1820	6920	B3	7.972.257,65	462.503,82	PUTRE	DIREC. RIEGO	CAPTAGUA	RSU	4.291,31	121,0	114,0	12	50,00	Surg.	83,10	11/92	--	Surg.	
6	1810	6920	D1	7.980.155,65	464.207,95	PUTRE	DIREC. RIEGO	CAPTAGUA	RSU	4.332,85	120,5	117,0	12	50,00	Surg.	67,68	02/93	--	Surg.	
7	1810	6920	D3	7.975.030,51	463.560,00	PUTRE	DIREC. RIEGO	CAPTAGUA	RSU	4.310,45	120,0	86,0	12	80,00	2,17	30,26	11/92	--	3,35	
8	1810	6920	D2	7.979.823,74	464.141,60	PUTRE	DIREC. RIEGO	CAPTAGUA	RSU	4.333,19	120,0	120,0	12	70,00	Surg.	37,20	12/92	--	Surg.	
9	1820	6920	B2	7.972.645,59	462.791,36	PUTRE	DIREC. RIEGO	CAPTAGUA	RSU	4.289,49	121,0	118,0	12	70,00	Surg.	72,24	01/92	--	Surg.	
10	1810	6920	D4	7.974.668,50	463.501,38	PUTRE	DIREC. RIEGO	CAPTAGUA	RSU	4.307,74	120,0	83,0	12	15,00	1,80	59,69	01/93	--	1,16	
PECH 1	1820	6920	B7	7.969.094,50	463.071,12	PUTRE	MIN. VILACOLLO	CAPTAGUA	ISU	4.290,95	260,5	260,5	12 3/4	8,00	10,70	48,00	si	11/87	--	23,00
PECH 2	1820	6920	B6	7.969.427,67	462.661,62	PUTRE	MIN. VILACOLLO	CAPTAGUA	ISU	4.280,20	85,0	85,0	12 3/4	12 (3)	3,15	46,43		12/87	--	0,86
PECH 3	1820	6920	B5	7.969.407,16	462.513,06	PUTRE	MIN. VILACOLLO	SAACOL	ISU	4.278,36	81,5	78,5	12	20,00	Surg.	30,57	si	04/88	--	N.T.
PECH 4	1820	6920	B4	7.969.240,53	462.353,66	PUTRE	MIN. VILACOLLO	SAACOL	I	4.275,95	73,4	73,4	12 3/4	40,00	Surg.	35,90	si	10/88	--	Surg.

- (1) Se retiró cañería una vez construido.  
(2) Cuando se efectuó más de una prueba de gasto variable, se escogió aquella de caudal mayor. Si los caudales eran los mismos, se colocó el nivel dinámico máximo correspondiente. Para el caudal máximo se colocó aquel que se bombeó durante un tiempo mayor o igual a 1 hora.  
(3) Gasto constante y nivel no estabilizado.



CUADRO 3.3.4-2  
USO POZOS ACTUALMENTE EN OPERACIÓN

SONDAJE	CAUDAL (l/s)	FRECUENCIA DE USO			VOLUMEN UTILIZADO m <sup>3</sup> /año
		hr/día	día/mes	mes/año	
1820 6920 B1 (P4)	15 *	24	30	12	473.040
1820 6920 B4 (PECH 4)	MINERA VILACOLLO NO ENTREGÓ INFORMACIÓN				

\* Caudal promedio de aflores mensuales del año 1995.

### 3.3.5 Derechos de Aguas

A partir de una exhaustiva revisión relacionada con los derechos de agua en la zona del valle estudiado, ha sido posible caracterizar la situación legal de los recursos del sector.

En el Cuadro 3.3.5-1 se presenta un resumen de los derechos constituidos de agua subterránea, y de éste se desprende que el caudal total otorgado para su extracción desde el subsuelo alcanza los 963,35 l/s, conformados por 888,35 l/s en la zona del valle de Azapa y la ciudad de Arica, y 75,0 l/s en el sector del río Lauca. Por otra parte, se ha podido determinar que no todas las fuentes asociadas a los respectivos derechos se encuentran en funcionamiento, con lo que existen ciertos derechos otorgados que no estarían siendo utilizados. Éstos corresponden a los pozos número 20, 23, 24, 27, 28, 29, 34 y 35 del listado del Cuadro 3.3.5-1 analizado, y con las magnitudes asociadas a cada caso se ha confeccionado el Cuadro 3.3.5-2 que resume esta información.

En relación a la situación legal de los recursos superficiales, en el Cuadro 3.3.5-3 se presentan los derechos constituidos correspondientes. En este caso es posible advertir que todos éstos están ubicados en el sector del río Lauca a excepción de dos derechos en vertientes en la zona del Valle de Azapa.

CUADRO 3 3 5-1  
DERECHOS CONSTITUIDOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS ORDENADOS POR FECHA DE INGRESO  
PROVINCIA ARICA-PARINACOTA

N°	COTIZACIÓN		FUENTE ASOCIADA (*)	UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN	PROPIETARIO	SECTOR	CAUCAL CONC (P4)	EXPED N°	FECHA INGRESO	SOLICITANTE	COMUNA	SOLUCIÓN
	NORTE	ESTE											
1			S-144	POZO UBICADO EN PLANTA, AV. STA. MARÍA LOTE 21 ARICA	POZO 40 M PROFUNDIDAD, SITUADO EN TERRENO DE SOLICITANTE A 17 M AL N DEL EJE DE CALLE PAULA JARAQUEMADA A 36,5 M AL OESTE DE AV. TENIENTE MÉRINO	EMBOTELLADORA ARICA SAC	ARICA	15,0	M-145	2005/71	EMBOTELLADORA ARICA SAC	ARICA	RESOLUCION 207, 19/03/98
2			S-221	POZO 1113, PLANTA SENDOS PAGO DE GOMEZ	POZO 100 M DE PROFUNDIDAD, 18 M DEL CAMINO CARRETERO Y A 5,5 M DESLINDE OESTE DEL RECINTO	SENDOS I REGION	KM 8 VALLE AZAPA	27,0	M-1-98	19/04/80	SENDOS I REGION	ARICA	RESOLUCION 121, 19/03/98
3			S-222	POZO 1114, PLANTA SENDOS PAGO DE GOMEZ	POZO DE 87 M PROFUNDIDAD, UBICADO A 8,8 M DE MURO OMSORO ESTE Y A 82,3 M DEL EJE DEL CAMINO CARRETERO	SENDOS I REGION	KM 8 VALLE AZAPA	35,0	M-1-98	19/04/80	SENDOS I REGION	ARICA	RESOLUCION 121, 19/03/98
4			S-223	POZO 1142, PLANTA SENDOS PAGO DE GOMEZ	POZO 87 M PROFUNDIDAD, UBICADO A 16,8 M DEL EJE DEL CAMINO CARRETERO A 8,5 M DEL MURO OMSORO O DEL RECINTO	SENDOS I REGION	KM 8 VALLE AZAPA	25,0	M-1-98	19/04/80	SENDOS I REGION	ARICA	RESOLUCION 121, 19/03/98
5			S-181	POZO 434, PLANTA SENDOS PAGO DE GOMEZ	POZO 90 M PROFUNDIDAD, UBICADO A 27,2 M DEL EJE DEL CAMINO CARRETERO A 39,5 M DESLINDE DEL OESTE DE LA PLANTA	SENDOS I REGION	KM 3,5 VALLE AZAPA	29,0	M-1-98	19/04/80	SENDOS I REGION	ARICA	RESOLUCION 121, 19/03/98
6			S-230	POZO 481, PLANTA SENDOS PAGO DE GOMEZ	POZO 90 M PROFUNDIDAD, UBICADO A 24 M AL O DE MURO OMSORO PROPIEDAD DEL SR. MUJO MUZO A 118 M M EJE DEL CAMINO CARRETERO	SENDOS I REGION	KM 3,5 VALLE AZAPA	27,0	M-1-98	19/04/80	SENDOS I REGION	ARICA	RESOLUCION 121, 19/03/98
7			S-156	POZO 482, PLANTA SENDOS PAGO DE GOMEZ	POZO 90 M PROFUNDIDAD, UBICADO A 174 M EJE DEL CAMINO CARRETERO A 23,2 M DEL EJE CAMINO VECINAL DE LA COLONIA BELLAVISTA	SENDOS I REGION	KM 3,5 VALLE AZAPA	27,0	M-1-98	19/04/80	SENDOS I REGION	ARICA	RESOLUCION 121, 19/03/98
8			S-186	POZO 184, PLANTA SENDOS PAGO DE GOMEZ	POZO 87 M PROFUNDIDAD, UBICADO A 39 M DEL EJE DEL CAMINO VECINAL DE LA COLONIA BELLAVISTA A 426 M DEL EJE DEL CAMINO CARRETERO	SENDOS I REGION	KM 3,5 VALLE AZAPA	14,0	M-1-98	19/04/80	SENDOS I REGION	ARICA	RESOLUCION 121, 19/03/98
9			S-180	POZO 48, PLANTA SENDOS PAGO DE GOMEZ	POZO 41 M PROFUNDIDAD, UBICADO A 14 M DEL EJE CAMINO INTERIOR DE PLANTA Y A 399 M DEL EJE DEL CAMINO CARRETERO	SENDOS I REGION	KM 3,5 VALLE AZAPA	31,0	M-1-98	19/04/80	SENDOS I REGION	ARICA	RESOLUCION 121, 19/03/98
10			S-187	POZO 47, PLANTA SENDOS PAGO DE GOMEZ	POZO DE 48 M PROFUNDIDAD, UBICADO A 35 M DE CAMINO INTERIOR DE PLANTA Y A 213 M AL SUR DEL POZO N° 48	SENDOS I REGION	KM 3,5 VALLE AZAPA	21,0	M-1-98	19/04/80	SENDOS I REGION	ARICA	RESOLUCION 121, 19/03/98
11			S-185	POZO LOS PINOS 588, UBICADO EN POBLADO ARTESANAL	POZO 100 M PROFUNDIDAD UBICADO AL SE CUIDAD A 53 M AL S DE CALZADA QUE UNE ROTONDAS B OYAGONS Y DIEGO PORTALES A 24 M PASAJE HERALDES	SENDOS I REGION	ARICA	20,0	M-1-98	19/04/80	SENDOS I REGION	ARICA	RESOLUCION 421, 19/12/84
12			S-188	POZO SAUCACHE 880, UBICADO EN CALLE 18 DE SEPTIEMBRE ALTURA 2472	POZO 85 M PROFUNDIDAD UBICADO A 20 M AL SE DE CALLE 18 DE SEPTIEMBRE A 35 M AL ESTE DEL MURO EXTERIOR DE CASA N° 2472	SENDOS I REGION	ARICA	30,0	M-1-98	19/04/80	SENDOS I REGION	ARICA	RESOLUCION 421, 19/12/84
13			S-187	POZO PILON 588, UBICADO EN CALLE 18 DE SEPTIEMBRE CON CALLE A BELMAR	POZO 100 M PROFUNDIDAD UBICADO 58 M SO DE CALLE 18 DE SEPTIEMBRE A 18 M SURESTE DE CALLE AUGUSTO BELMAR	SENDOS I REGION	ARICA	18,0	M-1-98	19/04/80	SENDOS I REGION	ARICA	RESOLUCION 421, 19/12/84
14			S-141	POZO RETÉN ESTADIO 714, UBICADO EN 18 DE SEPTIEMBRE CON CALLE SIMON BOLIVAR	POZO 85 M PROFUNDIDAD UBICADO A 38 M S DE CALLE 18 DE SEPTIEMBRE A 22 M AL ESTE DE CALLE SIMON BOLIVAR	SENDOS I REGION	ARICA	10,0	M-1-98	19/04/80	SENDOS I REGION	ARICA	RESOLUCION 421, 19/12/84
15			S-139	POZO DANIEL COPAJA 715, UBICADO EN 18 DE SEPTIEMBRE CON CALLE DANIEL COPAJA	POZO 85 M PROFUNDIDAD, UBICADO A 83 M AL N DE CALLE 18 DE SEPTIEMBRE A 17,3 M AL ESTE DE CALLE DANIEL COPAJA	SENDOS I REGION	ARICA	8,0	M-1-98	19/04/80	SENDOS I REGION	ARICA	RESOLUCION 421, 19/12/84
16			S-142	POZO TUCAPEL 4897, UBICADO EN CALLE CARLOS PEZO A CON TUCAPEL	POZO 100 M PROFUNDIDAD, UBICADO A 13,2 M SO DE CALLE CARLOS PEZO A A 21 M AL OESTE TUCAPEL	SENDOS I REGION	ARICA	40,0	M-1-98	19/04/80	SENDOS I REGION	ARICA	RESOLUCION 421, 19/12/84
17			S-143	POZO LISA DE EMPLEADOS, UBICADO EN CALLE JUAN A. RIOS	POZO 100 M PROFUNDIDAD, UBICADO 20,3 M AL SO DE CALLE J.A. RIOS A 18 M AL NOROESTE DE CALLE PEDRO AOURRE CERDA	SENDOS I REGION	ARICA	35,0	M-1-98	19/04/80	SENDOS I REGION	ARICA	RESOLUCION 421, 19/12/84
18			S-147	POZO SAN JOSÉ, UBICADO EN JUAN A. RIOS, RECINTO DE SENDOS	POZO 88,5 M PROFUNDIDAD, UBICADO A 81 M AL E DE CALLE J.A. RIOS A 5,4 M DEL DESLINDE ESTE DEL RECINTO SENDOS	SENDOS I REGION	ARICA	22,0	M-1-98	19/04/80	SENDOS I REGION	ARICA	RESOLUCION 421, 19/12/84
19			S-189	POZO AB-5	POZO 78,15 M PROFUNDIDAD, UBICADO EN PREDIO DE INTERESADA, E 2,5 M CASA HABITACION, SE 7M TERMINAL CANAL AZAPA, NO 25,2 TRANSFORMADOR ELÉCTRICO	EVA NANCY DE FILIPPS S	KM 7 VALLE AZAPA	23,0	M-1-114	14/02/83	EVA NANCY DE FILIPPS S.	ARICA	RESOLUCION 83, 05/03/94
20			S-126	POZOS 1 Y 2, UBICADOS EN PROPIEDAD DE COOPERATIVA S-130 CALLE DIEGO PORTALES 2351		COOP. AGRICOLA SOBRAYA	ARICA	100,0	T-2-7-4-002	22/07/88	COOP. AGRICOLA SOBRAYA	ARICA	SENTENCIA JUDICIAL INSCRITA A FOLIAS 14 VTA. 8 DE 1988
21			N-303	PARCELAS DE LA COOPERATIVA		MANUEL MADRID AGUIRRE	KM 15 VALLE AZAPA	12,0	NR-1-1-1	18/03/87	MANUEL MADRID AGUIRRE	ARICA	SENTENCIA JUDICIAL DEL 02/08/88 A FOLIAS 81/88
22	7 957 400	362 185	S-287	TERMINAL RODOVARIO	POZO 88 M PROFUNDIDAD, UBICADO AL COSTADO N CALLE CARLOS PEZO VELZ, SECTOR SIROIENTE DEL LOTEO TERMINAL RODOVARIO	SENDOS I REGION	ARICA	39,0	ND-1-1-3	09/12/87	SENDOS I REGION	ARICA	RESOLUCION 456, 15/12/87
23			S-145	CALLE DIEGO PORTALES 2251, CIUDAD ARICA	POZO DE 53 M DE PROFUNDIDAD	ALDEAS INFANTILES S O S	ARICA	5,0	ND-1-1-13	09/11/88	ALDEAS INFANTILES S O S	ARICA	RESOLUCION 207, 01/06/89
24			N-180	PARCELACION EL ALGODOCUAL	POZO 24 M PROFUNDIDAD, UBICADO PREDIO INTERESADO A 3 M DESLINDE NO DEL PREDIO, A 100 M AL N DEL CAMINO PUBLICO ARICA-AZAPA, PREDIO CORRESPONDE LOTE 8 DE PARCELACION	RAUL CASTRO LETAELER	VALLE AZAPA	1,25	ND-1-1-19	09/03/88	RAUL CASTRO LETAELER	ARICA	RESOLUCION 380, 27/04/80
25	7 969 193	462 286,21	PECH-4		POZO 73,4 M PROFUNDIDAD UBICADO DENTRO PREDIO ROL N°4500-53 PROPIEDAD S/SECCION DON TOMAS OUSPE Y DOÑA MARIELA FERNANDEZ	MINERA VILACOLLO	PECH 4	47,0	ND-1-2-23	08/05/88	MINERA VILACOLLO	PARINACOTA	RESOLUCION 175, 08/06/90
26			N-119	NORRÁ 119		ALICIA FAUNDEZ TESTA	KM 9 VALLE AZAPA	12,0	NR-1-1-28	11/07/88	ALICIA FAUNDEZ TESTA	ARICA	SENTENCIA JUDICIAL INC A FOLIAS Nº 1 DE 1988
27	7 969 045,13	483 001,31	PECH-1		UBICADO EN PREDIO ROL SI N°4500-85	MINERA VILACOLLO	POZO PECH 1	8,0	ND-1-2-35	05/11/89	MINERA VILACOLLO	PARINACOTA	RESOLUCION 358, 02/10/91
28	7 969 357	487 456	PECH-3		UBICADO EN PREDIO ROL SI N°4500-85	MINERA VILACOLLO	PECH 3	20,0	ND-1-2-35	09/11/89	MINERA VILACOLLO	PARINACOTA	RESOLUCION 358, 02/10/91
29	7 953 430	369 720	3-3	VERTIENTE MEDIA LUNA		RAUL LOMBARDI F		33,0	NR-1-1-40	12/11/88	RAUL LOMBARDI F	ARICA	JUDICIAL INSC A FOLIAS 1 Nº 1, REPERTORIO 28 DE 1990
30	7 953 720	369 960	S-323	POZO 98		ALDO LOMBARDI L		5,0	NR-1-1-41	12/11/88	ALDO LOMBARDI L	ARICA	JUDICIAL INSC A FOLIAS 409 Nº 215, REPERTORIO 4340 DE 1990
31	7 953 880	369 880	N-98	POZO 98		LOMBARDI		25,0	NR-1-1-41	12/11/88	ALDO LOMBARDI L	ARICA	JUDICIAL INSC A FOLIAS 409 Nº 215, REPERTORIO 4340 DE 1990
32	7 952 680	369 880	S-324	POZO 98		LOMBARDI		15,0	NR-1-1-41	12/11/88	ALDO LOMBARDI L	ARICA	JUDICIAL INSC A FOLIAS 409 Nº 215, REPERTORIO 4340 DE 1990
33			N-207	SECTOR LAS MANTAS, PARCELA LA M. EPTA		ORTUÑO, NIETO LTDA Y CIA	VALLE AZAPA	45,0	NR-1-1-50	23/03/80	ORTUÑO Y NIETO LTDA Y CIA	ARICA	JUDICIAL INSC A FOLIAS 308 Nº 150, REPERTORIO 1376 DE 1992
34	7 953 470	369 100	N-103	NORRÁ 103		ALDO ELENA Y CARLOS LOMBARDI L		10,0	NR-1-1-54	25/04/90	ALDO ELENA Y CARLOS LOMBARDI L	ARICA	JUDICIAL INSC A FOLIAS 81 Nº 3, REPERTORIO 3 DE 1982
35	7 957 482	369 745	S-104	HACIENDA LA MARSA, POZO BA-10		CARLOS BUNEDER JORRAT		35,0	NR-1-1-57	25/04/90	CARLOS BUNEDER JORRAT	ARICA	JUDICIAL INSC EN REPERTORIO 4032, FOLIAS 283 M 204 DE 1981
36			N-181	PASAJE LOS ITALIANOS	POZO 38 M PROFUNDIDAD, UBICADO PREDIO INTERESADO A 19 M AL E DEL PASAJE LOS ITALIANOS A 112 M N DEL CALZADA CAMINO PUBLICO ARICA-AZAPA PREDIO SE UBICADO EN FM 2 DEL VALLE DE AZAPA EN PASAJE LOS ITALIANOS 2090	MARCO A. AGUIRRE BONILLA	VALLE AZAPA	1,1	ND-1-1-80	07/11/80	MARCO A. AGUIRRE BONILLA	ARICA	RESOLUCION 575, 31/12/92
37			S-280	SONDIAE 1645 LAS MANTAS	SONDIAE 66 M PROFUNDIDAD, UBICADO A 280 M, RUTA A 27 MEDICOS DESDE FM 8 SE AL N SEÑAL DE VALLEAD	ESSAT S A	VALLE AZAPA	20,0	ND-1-1-85	26/11/80	ESSAT S A	ARICA	RESOLUCION 130, 08/04/92
38			S-280	SONDIAE 1648 LAS MANTAS		ESSAT S A	VALLE AZAPA	50,0	ND-1-1-85	28/11/80	ESSAT S A	ARICA	RESOLUCION 130, 08/04/92
39			?	50 M AL SUR DEL CAMINO LONGITUDINAL A ARICA	DISTRIBUCION DE AGUA POR REDONDA 3,2 HA DE PROPIEDAD FISCAL	FELIX LISBOA PASTERI MARIA TERESA PASTERI B	CAMINO LONGITUDINAL SUR DE ARICA	8,0			FELIX LISBOA PASTERI MARIA TERESA PASTERI B	ARICA ARICA	DECTO CONC Nº 1307, 05/07/10 DEF Nº 355, 14/09/87
40			?	UBICADO EN PREDIO DE LA INTERESADA		PROCESADORA DE METALES LTDA Y CIA		30,0			PROCESADORA DE METALES LTDA Y CIA	ARICA	RESOLUCION CONC Nº 172, 20/05/88

**CUADRO 3.3.5-2**  
**MAGNITUDES DE LOS CAUDALES DE LOS DERECHOS**  
**CONSTITUIDOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS (l/s)**

	En Uso	Sin Uso	Total
Valle de Azapa y Ciudad de Arica	704,10	184,25	888,35
Sector Río Lauca	47,00	28,00	75,00
<b>Total</b>	<b>751,10</b>	<b>212,25</b>	<b>963,35</b>

En el ámbito legal existen también en la zona de estudio algunas solicitudes de derechos de agua que se encuentran actualmente en su etapa de tramitación en la Dirección General de Aguas. Las solicitudes correspondientes a captaciones subterráneas han sido incorporadas al Cuadro 3.3.5-4, y de éste se desprende que existen peticiones por un caudal de 2.694 l/s para el sector del Valle de Azapa y la ciudad de Arica. Por su parte, para el caso de la zona del río Lauca, existen solicitudes paralelas de ESSAT S. A. y la Dirección de Riego sobre las mismas fuentes, con magnitudes de 342 l/s y 274,5 l/s, en forma respectiva.

En cuanto a las peticiones de utilización de recursos superficiales que se encuentran en trámite, éstas han sido incorporadas al Cuadro 3.3.5-5 en el que se puede observar que todas corresponden a la zona del río Lauca, situación predecible dada la escasez de flujos en el sector de Azapa.

Finalmente, como complemento del panorama legal de los recursos del sector estudiado, los Cuadros 3.3.5-6 y 3.3.5-7 se han confeccionado con la información relacionada con las áreas de exploración otorgadas y en trámite, respectivamente, utilizadas para definir la existencia de caudales susceptibles de ser concedidos como derechos efectivos.

CUADRO 3.3.5-3  
DERECHOS CONSTITUIDOS DE AGUAS SUPERFICIALES  
PROVINCIA ARICA-PARINACOTA

N°	COORDENADAS U.T.M		FUENTE ASOCIADA	UBICACION	DESCRIPCION	PROPIETARIO	SECTOR	CAUDAL CONCEDIDO (l/s)	EXPEDIENTE N°	FECHA INGRESO	SOLICITANTE	COMUNA	OBSERVACIONES
	NORTE	ESTE											
1				PORTEZUELO CHAPIQUIÑA 165 M		ENDESA	CHAPIQUIÑA	2 700,0	T-3-9-5-002	09/03/51	ENDESA	PARINACOTA	DECRETO 16, 16/04/87
2				PUCARA DE COSAPILLA		PROMEL LTDA. Y CIA. C.P.A	COSAPILLA	3,5	T-3-9-1-001	17/02/86	PROMEL LTDA. CIA. C.P.A	PARINACOTA	RESOLUCION 138, 17/04/89
3	7 254 200	370 140	G-4	VERTIENTE EL GALLITO		ALDO LOMBARDI LOMBARDI		50,0	NR-1-1-37	12/11/89	ALDO LOMBARDI LOMBARDI	ARICA	SENTENCIA JUDICIAL INSC A FOJAS 154, N°115, 1991 REPERTORIO 7014
4	7 553 820	370 820	G-3	VERTIENTE MEDIA LUNA		ALDO LOMBARDI LOMBARDI		100,0	NR-1-1-39	12/11/89	ALDO LOMBARDI LOMBARDI	ARICA	SENTENCIA JUDICIAL REPERTORIO 3451 E INSC A FOJAS 405 N°205 DE 1993
5				VERTIENTE DEL RIO AZUFRE	UBICACION BOCATOMA 3500 M PLANTA ELABORACION	CIA. AZUFRERA DEL PACIFICO		7,5			CIA. AZUFRERA DEL PACIFICO	ARICA	DECRETO CONC. N°177, 25/01/53
6				RIO O AGUADA TARAPACA	CAPTACION 30 M ESTANQUE DE ALMACENAMIENTO DE LAS AGUAS EN PLANTA DE REFINACION	CIA. AZUFRERA TARAPACA		1,0			CIA. AZUFRERA DE TARAPACA	ARICA	DECRETO CONC. N°1891, 04/10/51
7				CIENAGAS DE PARINACOTA	LAS AGUAS SERAN CAPTADAS EN ORILLA IZQUIERDA DE RIO LAUCA, LUGAR DENOMINADO CIENAGAS DE PARINACOTA	FISCO	RIO LAUCA	3 500,0			FISCO	ARICA	DECRETO CONC. N°582, 10/03/90
8					LAS AGUAS SE CAPTARAN EN OBRAS DE DESVIACION RIO LAUCA DENTRO DE TUNEL QUE ATRAVIESA EL PORTEZUELO DE CHAPIQUIÑA APROX. 40 M ANTES DE LA BOCATOMA OCCIDENTAL	EMP. NAC. ELECTRICA S.A. CENTRAL CHAPIQUIÑA	RIO LAUCA	2 700,0			EMP. NAC. ELECTRICIDAD S.A. "CENTRAL" CHAPIQUIÑA	ARICA	DECRETO CONC. N°1941, 30/08/51, TITULO DEFINITIVO N°16, 04/01/57
9				ESTERO JURASE	DOS VERTIENTES EN LADERA N DEL ESTERO JURASE, APROX. 1500 M AGUAS ARRIBA DE CONFLUENCIA RIO PUTRE	SOC. TERMAS DE PUTRE		13,0			SOC. TERMAS DE PUTRE	ARICA	DECRETO CONC. N°129, 20/06/88, CONC. POR 30 AÑOS DESDE CONC. DEFINITIVA
10					CAPTACION ARRIBA DE RAPIDO UBICADO EN KM 13.3 DEL CANAL	MANUEL CABRERA SAAVEDRA	RIO LAUCA	600,0			MANUEL CABRERA SAAVEDRA	ARICA	DECRETO CONC. N°131,08/05/78
11					LA BOCATOMA SE UBICA EN PUNTO 4000 M SURESTE DE CARRETERA INTERNACIONAL A BOLIVIA A 3000 M N.E DE PUCARA COPASULLA	PROCESADORA DE METALES LTDA. Y CIA.		3,5			PROCESADORA DE METALES LTDA. Y CIA.	PARINACOTA	RESOLUCION DE CONC. N°138, 17/04/89
12				CIENAGAS DE PARINACOTA	LAS AGUAS SE CAPTARAN EN RIBERA IZQUIERDA DEL NACIMIENTO DE RIO LAUCA CAMINO INTERNACIONAL A BOLIVIA, POR VALLE LLUTA	USUARIOS CANAL AZAPA HERNAN TARQUE Y OTROS	RIO SAN JOSE				USUARIOS CANAL AZAPA HERNAN TARQUE Y OTROS	PARINACOTA	RESOLUCION DE CONC. N°320, 11/08/89 SE CONCEDE 35 718 308 M3/AÑO (2 188,44 ACCIONES)

CUADRO 3 3 5-4  
DERECHOS EN TRAMITE (AGUAS SUBTERRANEAS)

Nº	COORDENADAS UTM NORTE	ESTE	FUENTE ASOCIADA CATASTRO	UBICACION	PROPIETARIO	SECTOR	CAPDAD SOLICITADO (m³)	EXPEDIENTE Nº	FECHA INGRESO	COMUNA	SOLICITANTE	OBSERVACIONES
1			N-117	POZO 117 PREDIO LA HUASCA KM 10	MR J. GUTIERREZ VALDES	VALLE DE AZAPA	20.0	MA-1-4	22/07/83	ARICA	MR J. GUTIERREZ VALDES	SE ENVOA A CORTJE DE APELACIONES ARICA ORD 107 DE 12/11/84
2			(S-297)	PARCELAS DE LA COOPERATIVA KM 7 5	COOP AGRICOLA DE JUAN NOE SENDOS 1 REGION	VALLE DE AZAPA	300.0	ND-1-1-2	05/08/87	ARICA	COOP AGRICOLA DE JUAN NOE SENDOS 1 REGION	USO AGRICOLA
3	7.953.990	372.505	(S-297)	POZO 111 K	COMANDANCIA VI DIVISION DE EJTO	VALLE DE AZAPA	20.0	ND-1-1-4	08/12/87	ARICA	COMANDANCIA VI DIVISION DE EJTO	SE ENVOA A CORTJE DE APELACIONES ARICA ORD 98 DE 03/05/90 (A POST)
4			N-62	PARCELA CHAGOL, SECTOR CERRO MORENO KM 16	PASCUAL ROCCO CACERES	VALLE DE AZAPA	45.0	NR-1-1-47	03/05/80	ARICA	PASCUAL ROCCO CACERES	SE ENVOA A CORTJE DE APELACIONES ARICA ORD 111 31/81/80
6	7.950.586	366.000	(S-236)		CARLOS MOZO WAGUELIN	VALLE DE AZAPA	30.0	NR-1-1-53	04/10/80	ARICA	CARLOS MOZO WAGUELIN	SE ENVOA A CORTJE DE APELACIONES ARICA ORD 174 DE 24/02/84
7	7.953.418	368.015	S-201	COLONIA JUAN NOE, SECTOR BELLAVISTA	CARLOS GOMEZ A., SUCESION B PERIC	VALLE DE AZAPA	40.0	NR-1-1-55	25/04/80	ARICA	CARLOS GOMEZ A., SUCESION B PERIC	SE ENVOA A CORTJE DE APELACIONES ARICA ORD 175 DE 31/81/80
8	7.953.920	368.260	S-203	POZO BA-15 O 1080	MIROSLAV GARDICIL BOCK	VALLE DE AZAPA	40.0	NR-1-1-56	25/04/80	ARICA	MIROSLAV GARDICIL BOCK	SE ENVOA A CORTJE DE APELACIONES ARICA ORD 181 DE 03/05/81
9			S-237 E S-238	LAS MAITAS KM 8	MP SOLEDAD PARIS, NKSA BEZMALINOVIC	VALLE DE AZAPA	20.0	NR-1-1-68	04/10/81	ARICA	MP SOLEDAD PARIS, NKSA BEZMALINOVIC	SE ENVOA A CORTJE DE APELACIONES ARICA ORD 187 DE 03/05/81
10				MARIO I. CHANG ALVARADO	MARIO I. CHANG ALVARADO	VALLE DE AZAPA	1.5	NR-1-1-70	21/06/81	ARICA	MARIO I. CHANG ALVARADO	SE ENVOA A CORTJE DE APELACIONES ARICA ORD 200/81
11			N-46	NORIA 46, HACIENDA LAS MERCEDES	RHYNA E. BLAMEY ROJAS	VALLE DE AZAPA	8.0	NR-1-1-71	07/03/81	ARICA	RHYNA E. BLAMEY ROJAS	SE ENVOA A CORTJE DE APELACIONES ARICA ORD. 36 DE 10/05/85
12			(N-212)	PARCELA 26, COLONIA JUAN NOE	MANUEL CABRERA SAAVEDRA	VALLE DE AZAPA	7.3	NR-1-1-72	07/08/81	ARICA	MANUEL CABRERA SAAVEDRA	SE ENVOA A CORTJE DE APELACIONES ARICA ORD. 37 DE 18/02/92
13			S-208	KM 12	COOP. AGRICOLA DR. JUAN NOE	VALLE DE AZAPA	330.0	NR-1-1-77	10/08/81	ARICA	COOP. AGRICOLA DR. JUAN NOE	SE ENVOA A CORTJE DE APELACIONES ARICA DESDE NIVEL CENTRAL
14	7.954.237	371.432	S-219	KM 7 (POZO SAN RICARDO)	RHYNA E. BLAMEY ROJAS	VALLE DE AZAPA	15.0	NR-1-1-81	25/11/81	ARICA	RHYNA E. BLAMEY ROJAS	SE ENVOA A CORTJE DE APELACIONES ARICA ORD. 164 DE 20/07/95
15	7.954.370	370.560	S-295	KM 7 (POZO SAN CARLOS)	RHYNA E. BLAMEY ROJAS	VALLE DE AZAPA	10.0	NR-1-1-81	25/11/81	ARICA	RHYNA E. BLAMEY ROJAS	SE ENVOA A CORTJE DE APELACIONES ARICA ORD. 164 DE 20/07/95
16	7.954.450		S-288	HACIENDA SAUCACHE	LUIS DEVOTTO ORDONEZ	VALLE DE AZAPA	5.0	NR-1-1-82	24/12/81	ARICA	LUIS DEVOTTO ORDONEZ	SE ENVOA A CORTJE DE APELACIONES ARICA ORD. 64 DE 11/03/83
17				LOTEO 8 PAGO DE GOMEZ	MP LORENA GARBIN ASTE	VALLE DE AZAPA	0.16	ND-1-1-83	02/05/82	ARICA	MP LORENA GARBIN ASTE	EN TRAMITE
18			(N-22)	NORIA 22	ROSA LAMCHIPA ACHA	VALLE DE AZAPA	2.0	NR-1-1-84	02/05/82	ARICA	ROSA LAMCHIPA ACHA	EN TRAMITE, SE SOLICITO PRUEBA DE BOMBEO
19			(N-23)	NORIA 23	ROSA LAMCHIPA ACHA	VALLE DE AZAPA	2.0	NR-1-1-84	02/05/82	ARICA	ROSA LAMCHIPA ACHA	ORD. 64, 26/02/95
20			S-305	VILLA FRONTERA	GHAN LUIGI CANEPA CAPELLINO	VALLE DE AZAPA	1.0	NR-1-1-86	20/03/82	ARICA	GHAN LUIGI CANEPA CAPELLINO	SE SOLICITA PRUEBA DE BOMBEO, ORD. 66 DE 26/02/95
21			N-257	VILLA FRONTERA	DONALD ERSKINE MOLINA	VALLE DE AZAPA	0.25	NR-1-1-87	20/03/82	ARICA	DONALD ERSKINE MOLINA	SE ENVOA A CORTJE DE APELACIONES ARICA, ORD. 177 DE 06/08/92
22				VALLE DE LLUTA	ANGEL E. LEIVA AGUIRRE	VALLE DE AZAPA	2.0	NR-1-1-88	24/03/82	ARICA	ANGEL E. LEIVA AGUIRRE	EN TRAMITE
23					ENRIQUE DVORQUEZ FELMAN	VALLE DE AZAPA	0.27	NR-1-1-10	08/12/82	ARICA	ENRIQUE DVORQUEZ FELMAN	SE SOLICITA PRUEBA DE BOMBEO ORD. 63 DE 26/02/95
24	7.965.750	360.500	N-258	VILLA FRONTERA	ROSA ARAYA BARIICH	VALLE DE AZAPA	10.0	NR-1-1-10	18/05/82	ARICA	ROSA ARAYA BARIICH	SOLICITO PRUEBA DE BOMBEO Y PUBLICACIONES ORD. 73, 26/02/95
25			S-240	SONDAJE BA-27	CHEDDI BUNEDER JORRAY	VALLE DE AZAPA	15.0	NR-1-1-10	25/05/82	ARICA	CHEDDI BUNEDER JORRAY	SE ENVOA A CORTJE DE APELACIONES ARICA ORD. 115 DE 17/05/83
26	7.959.144	363.574	N-295	SONDAJE CERRO SOMBRERO	S.A.A.M.	VALLE DE AZAPA	1.5	NR-1-1-10	07/06/82	ARICA	S.A.A.M.	SE ENVOA A CORTJE DE APELACIONES ARICA ORD. 125 DE 26/05/83
27	7.953.600	366.571	S-334	SONDAJE CERRO SOMBRERO	ESSAY S.A.	VALLE DE AZAPA	25.0	NR-1-1-10	24/08/82	ARICA	ESSAY S.A.	EN TRAMITE
28	7.950.020	377.525	N-66		JOSE ANTON TICONA	VALLE DE AZAPA	8.0	NR-1-1-11	23/11/82	ARICA	JOSE ANTON TICONA	ENVIADO A LA CORTJE DE APELACIONES ARICA, ORD. 197, 12/12/94
29	7.948.945	362.248	N-19		BARTOLOME STANGARO MOYA	VALLE DE AZAPA	2.5	NR-1-1-11	23/11/82	ARICA	BARTOLOME STANGARO MOYA	EN TRAMITE
30	7.952.442	361.205	S-328		GHAN FRANCO LOMBARDI, FIORA DEL FABRO	VALLE DE AZAPA	6.0	ND-1-1-12	20/12/82	ARICA	GHAN FRANCO LOMBARDI, FIORA DEL FABRO	EN TRAMITE
31	7.956.567	364.370	S-288	SONDAJE 12 ARACENA	ESSAY S.A.	CUIDAD DE ARICA	40.0	ND-1-1-12	26/12/82	ARICA	ESSAY S.A.	EN TRAMITE
32	7.946.990	364.279	S-286	SONDAJE 12 LOA	ESSAY S.A.	CUIDAD DE ARICA	40.0	ND-1-1-12	21/01/82	ARICA	ESSAY S.A.	EN TRAMITE
33	7.954.799	366.542	N-160		RAUL CASTRO LETELIER	VALLE DE AZAPA	1.0	NR-1-1-12	21/01/83	ARICA	RAUL CASTRO LETELIER	SE ENVOA A LA CORTJE DE APELACIONES ARICA, ORD. 248, 28/10/83
34	7.949.897.5	379.516.46			MIGUEL ORTUNO NIETO	VALLE DE AZAPA	23.0	NR-1-1-12	02/12/82	ARICA	MIGUEL ORTUNO NIETO	SE SOLICITO PRUEBA DE BOMBEO, ORD. 65 DE 26/02/95
35			(N-292)	PLANTA WRANGLER, B. ARANA 2365, ARICA	PATRICIO PINA LECARGOS	VALLE DE AZAPA	10.0	ND-1-1-12	17/03/83	ARICA	PATRICIO PINA LECARGOS	EN TRAMITE
36	7.963.968.7	361.809.38			LUIS MATURANA JARPA	CHACALLUTA	0.28	ND-1-1-13	26/03/83	ARICA	LUIS MATURANA JARPA	EN TRAMITE
37	7.951.971	367.024	(N-113)		ALBERTO FOCACCI VIVES	VALLE DE AZAPA	5.0	NR-1-1-13	13/04/83	ARICA	ALBERTO FOCACCI VIVES	ENVIADO A LA CORTJE DE APELACIONES ARICA, ORD. 9 DE 14/01/94
38	7.953.211	373.758	S-321	COLONIA JUAN NOE	LUIS OLIVARES LMAIRE	VALLE DE AZAPA	10.0	NR-1-1-13	05/04/83	ARICA	LUIS OLIVARES LMAIRE	SE SOLICITO PRUEBA DE BOMBEO, ORD. 70 DE 26/02/95
39	7.954.790	461.250	S-300	VILLA LA FRONTERA	EUGENIO DONOSO RAMIREZ	VALLE DE AZAPA	15.0	ND-1-1-13	18/05/83	ARICA	EUGENIO DONOSO RAMIREZ	PROPONE CONSTITUIR DERECHO ORD. 232 DE 30/08/85
40	7.954.759	367.163	S-244	LOTEO 60 ALGODONAL	YOUSSEF NADER BON ANTUR M.	VALLE DE AZAPA	7.0	NR-1-1-13	06/04/83	ARICA	YOUSSEF NADER BON ANTUR M.	SE SOLICITO PRUEBA DE BOMBEO ORD. 68 DE 26/02/95
41	7.953.712	370.094	S-356		MIGUEL NADER BON ANTUR KARKY	VALLE DE AZAPA	5.0	NR-1-1-13	06/04/83	ARICA	MIGUEL NADER BON ANTUR KARKY	SE SOLICITO PRUEBA DE BOMBEO ORD. 69 DE 26/02/95
42	7.948.215	362.400	S-327		ALDO LOMBARDI LOMBARDI	VALLE DE AZAPA	5.0	ND-1-1-13	06/04/83	ARICA	ALDO LOMBARDI LOMBARDI	EN TRAMITE
43	7.954.850	367.478	S-154	SONDAJE CD-2	EID KHALIL KHARRAT BOUDEGUER	VALLE DE AZAPA	7.0	NR-1-1-13	06/04/83	ARICA	EID KHALIL KHARRAT BOUDEGUER	SE ENVOA AL JUEZ, ORD. 48 DE 08/02/96
44	7.954.714	367.890	S-155	SONDAJE CD-3	EID KHALIL KHARRAT BOUDEGUER	VALLE DE AZAPA	5.0	NR-1-1-13	06/04/83	ARICA	EID KHALIL KHARRAT BOUDEGUER	SE ENVOA AL JUEZ, ORD. 48 DE 08/02/96
45			S-351	LOTEO ALGODONAL FRENTE KM 3.5, CAMINO ARICA-AZAP	CESAR CESPEDES ULLOA	VALLE DE AZAPA	2.5	NR-1-1-13	21/06/83	ARICA	CESAR CESPEDES ULLOA	SE SOLICITO PRUEBA DE BOMBEO ORD. 67 DE 26/02/95
46	7.952.878	375.027			HIPOLITO NUÑEZ VILDOSO	VALLE DE AZAPA	5.0	ND-1-1-14	23/06/83	ARICA	HIPOLITO NUÑEZ VILDOSO	SE SOLICITO PRUEBA DE BOMBEO ORD. 72 DE 26/02/95
47	7.955.185	364.075	S-270	POZO O'HIGGINS, CIUDAD	ESSAY S.A.	VALLE DE AZAPA	25.0	ND-1-1-14	07/07/83	ARICA	ESSAY S.A.	EN TRAMITE
48	7.955.401	363.666	S-269	POZO ANGELMO, CIUDAD	ESSAY S.A.	VALLE DE AZAPA	25.0	ND-1-1-14	07/07/83	ARICA	ESSAY S.A.	EN TRAMITE
49	7.954.615	364.565	S-273	POZO TAMBO QUEMADO, CIUDAD	ESSAY S.A.	VALLE DE AZAPA	29.0	ND-1-1-14	07/07/83	ARICA	ESSAY S.A.	EN TRAMITE
50	7.970.050	360.179			JUAN MORALES BARRAZA, ZOFRI S.A.	VALLE DE AZAPA	20.0	ND-1-1-14	26/08/83	ARICA	JUAN MORALES BARRAZA, ZOFRI S.A.	EN TRAMITE
51	7.950.200	379.139	N-135	POZO SANTA LUCIA 1	LUCIA M. RAMOS BRAVO	VALLE DE AZAPA	6.5	ND-1-1-14	19/10/83	ARICA	LUCIA M. RAMOS BRAVO	ENVIADO A LA CORTJE DE APELACIONES ARICA, ORD. 198, 12/12/94
52	7.949.784	378.972	N-301	POZO SANTA LUCIA 2	LUCIA M. RAMOS BRAVO	VALLE DE AZAPA	3.5	ND-1-1-14	19/10/83	ARICA	LUCIA M. RAMOS BRAVO	EN TRAMITE
60	7.954.863	366.301			ALDO R. LOMBARDI, FIORA DEL FABRO	VALLE DE AZAPA	0.75	ND-1-1-15	23/03/84	ARICA	ALDO R. LOMBARDI, FIORA DEL FABRO	EN TRAMITE
61	7.952.364	373.220			ALTO RAMIREZ, KM 3 VALLE DE AZAPA	VALLE DE AZAPA	27.0	ND-1-1-15	23/03/84	ARICA	ALDO LOMBARDI LOMBARDI	EN TRAMITE
62	7.958.608	362.563	N-128	POZO 128	RICARDO MUJIC DECONA	VALLE DE AZAPA	1.5	NR-1-1-16	09/06/84	ARICA	RICARDO MUJIC DECONA	SE ENVOA A CORTJE DE APELACIONES ARICA, ORD. 302 DE 24/10/95
63	7.958.655	362.576	N-129	POZO 129	RICARDO MUJIC DECONA	VALLE DE AZAPA	1.5	NR-1-1-16	09/06/84	ARICA	RICARDO MUJIC DECONA	SE ENVOA A CORTJE DE APELACIONES ARICA, ORD. 302 DE 24/10/95
64	7.958.692	362.591	N-130	POZO 130	RICARDO MUJIC DECONA	VALLE DE AZAPA	1.5	NR-1-1-16	09/06/84	ARICA	RICARDO MUJIC DECONA	SE ENVOA A CORTJE DE APELACIONES ARICA, ORD. 302 DE 24/10/95
72	7.951.971	375.024	N-113		ALBERTO FOCACCI VIVES	VALLE DE AZAPA	30.0	ND-1-1-17	04/03/85	PARRUCOTA	ALBERTO FOCACCI VIVES	EN TRAMITE (DERECHO CONSUNTIVO DE EJERCICIO PERMANENTE Y CON "MLC")
73	7.952.360	372.800			GLADYS N. LAY SAN RAMON	VALLE DE AZAPA	28.0	NR-1-1-17	07/04/85	ARICA	GLADYS N. LAY SAN RAMON	EN TRAMITE
75	7.954.720	367.020	N-246	PARCELA 17, LOTEO ALGODONAL	ALDO LOMBARDI LOMBARDI	VALLE DE AZAPA	1.5	NR-1-1-17	25/07/85	ARICA	ALDO LOMBARDI LOMBARDI	SOLICITA FONDOS, ORD. 83 DE 28/02/96, SE ENVOA A CORTJE DE APELACIONES DE ARICA, ORD. 85 DE 28/02/96
76			S-306	POZO 1, PREDIO "SAVONA" A 100 M AL S DEL RIO SAN JOSE Y A 200 M AL O DE DESLINDE E	SUCESION ARMANDO LOMBARDI G.	VALLE DE AZAPA	20.0	NR-1-1-17	28/07/85	ARICA	SUCESION ARMANDO LOMBARDI G.	SE SOLICITO FONDOS ORD. 82 DE 28/02/96, SE ENVOA A CORTJE DE APELACIONES ARICA, ORD. 86 DE 28/02/96
77			S-306	POZO 2, PREDIO "EL OLIVO" A 10 M AL O DE DESLINDE E	SUCESION ARMANDO LOMBARDI G.	VALLE DE AZAPA	42.0	NR-1-1-17	28/07/85	ARICA	SUCESION ARMANDO LOMBARDI G.	SE SOLICITO FONDOS ORD. 82 DE 28/02/96, SE ENVOA A CORTJE DE APELACIONES ARICA, ORD. 86 DE 28/02/96
78			S-306	POZO 3, PREDIO "EL OLIVO" A 80 M AL N DE CAMINO PUBLICO KM 17 Y A 30 M AL O DE DESLINDE E VALLE DE AZAPA	SUCESION ARMANDO LOMBARDI G.	VALLE DE AZAPA	10.0	NR-1-1-17	28/07/85	ARICA	SUCESION ARMANDO LOMBARDI G.	SE SOLICITO FONDOS ORD. 82 DE 28/02/96, SE ENVOA A CORTJE DE APELACIONES ARICA, ORD. 86 DE 28/02/96
79					OSCAR ASTRAIN MATURANA	VALLE DE AZAPA	10.0	NR-1-1-17	28/07/85	ARICA	OSCAR ASTRAIN MATURANA	SE SOLICITO FONDOS POR ORD. 81, 28/02/96
80					OSCAR ASTRAIN MATURANA	VALLE DE AZAPA	15.0	NR-1-1-17	28/07/85	ARICA	OSCAR ASTRAIN MATURANA	SE ENVOA A CORTJE DE APELACIONES ARICA, ORD. 87, 28/02/96
81			N-125	POZO EN PARCELA N°1, COLONIA JUAN NOE A 700 M AL S DE CAMINO PUBLICO AZAPA Y A 500 M AL E DE DESLINDE O VALLE AZAPA	NELLY SOTO ESPINOZA	VALLE DE AZAPA	20.0	NR-1-1-17	28/07/85	ARICA	NELLY SOTO ESPINOZA	
82			N-137	POZO PARCELA "OSCURCA Y LEONOR", LATITUD 18°29', LONGITUD 70°29'54"	JUAN E. OHACO MONTER	VALLE DE AZAPA	10.0	NR-1-1-16	28/07/85	ARICA	JUAN E. OHACO MONTER	EN TRAMITE

CUADRO 3.3.5-4  
DERECHOS EN TRAMITE (AGUAS SUBTERRANEAS)

Nº	COORDENADAS UTM		FUENTE ASOCIADA CATASTRO	UBICACION	PROPIETARIO	SECTOR	CAUDAL SOLICITADO (l/s)	EXPEDIENTE		COMUNA	SOLICITANTE	OBSERVACIONES
	NORTE	ESTE						Nº	FECHA INGRESO			
119				POZO 3, PREDIO JACINTA AL O DE DESLINDE E	JUAN L. SANTOS YUCRA		5,0	ND-1-1-20	28/07/95	ARICA	JUAN L. SANTOS YUCRA	EN TRAMITE
120			N-221	POZO 1, AL N DE DESLINDE S	CECILIA CESPEDES RODRIGUEZ		15,0	ND-1-1-20	28/07/95	ARICA	CECILIA CESPEDES RODRIGUEZ	EN TRAMITE
121			S-359	POZO 2, AL N DE DESLINDE S	CECILIA CESPEDES RODRIGUEZ		20,0	ND-1-1-20	28/07/95	ARICA	CECILIA CESPEDES RODRIGUEZ	EN TRAMITE
122				PREDIO CERRO MORENO A 300 M, AL N DE RIO SAN JOSE Y A 10 M AL O DE DESLINDE E	HUMBERTO S ROJAS MARASSO		40,0	NR-1-1-20	28/07/95	ARICA	HUMBERTO S ROJAS MARASSO	EN TRAMITE
123			(S-364)	PREDIO PARCELA 39 A 200 M AL S DE RIO SAN JOSE Y A 10 M AL O DE DESLINDE E CON PARCELA 26, KM 7, AZAPA	AUGUSTO CANIPA GUTIERREZ		20,0	NR-1-1-20	28/07/95	ARICA	AUGUSTO CANIPA GUTIERREZ	EN TRAMITE
124			S-332	POZO 1 PREDIO 20, ALTO RAMIREZ A 18,5 M AL S DE DESLINDE N Y A 102 M AL O DE CAMINO ARICA-CERRO SOMBRERO	IGNACIO MIRANDA RAMIREZ			NR-1-1-20	28/07/95	ARICA	IGNACIO MIRANDA RAMIREZ	
125			S-333	POZO 2 PREDIO JACINTA A 25 M AL S DEL RIO SAN JOSE Y A 24 M AL O DESLINDE E	IGNACIO MIRANDA RAMIREZ			NR-1-1-20	28/07/95	ARICA	IGNACIO MIRANDA RAMIREZ	
126			(S-164)	POZO VALLE AZAPA, HOTEL AZAPA, CALLE GUILLERMO SANCHEZ 660	RICHARD R. PRICE ROJAS		10,2	NR-1-1-21	14/06/95	ARICA	RICHARD R. PRICE ROJAS	SE ENVIÓ A CORTE DE APELACIONES ARICA, ORD. 84, 28/02/96
127	7.953.093	373.605			ADA J. VEAS PENAILLO		4,0	NR-1-1-21	21/06/95	ARICA	ADA J. VEAS PENAILLO	EN TRAMITE
128				PREDIO EL VERDUGO, LAS MAITAS, UBICADO A 120 M AL N DE CAMINO PUBLICO LAS MAITAS Y A 90 M AL O DEL CALLEJON PUBLICO	CONSTANTINO F. FUMIEY CORDOVA		15,0	NR-1-1-21	14/05/95	ARICA	CONSTANTINO F. FUMIEY CORDOVA	EN TRAMITE
129			N-126	PREDIO CERRO MORENO LOTE A, UBICADO A 50 M AL N DE CAMINO PUBLICO AZAPA Y A 90 M AL O DE PIE DEL CERRO	EDA M. CARBONE ROCCO		12,0	NR-1-1-21	14/05/95	ARICA	EDA M. CARBONE ROCCO	EN TRAMITE
130			S-115	PREDIO "CERRO MORENO B" A 70 M AL S DE CAMINO PUBLICO AZAPA Y A 80 M AL E DE CANAL LAUCA	AMADEO DINO CARBONE HENRY		40,0	NR-1-1-21	14/05/95	ARICA	AMADEO DINO CARBONE HENRY	EN TRAMITE
131			S-115	PREDIO "CERRO MORENO D" A 50 M AL S DE CAMINO PUBLICO AZAPA Y A 8 M AL O DE DESLINDE E	AMADEO DINO CARBONE HENRY		40,0	NR-1-1-21	14/05/95	ARICA	AMADEO DINO CARBONE HENRY	EN TRAMITE
132			N-321	PREDIO "STA. ROSA" A 207,75 M AL S DE CANAL "LOS ALBARRACINES" Y A 111 M AL E DE DESLINDE O	HAROLD H. CORNULS EKHOF G.		12,0	ND-1-1-21	14/05/95	ARICA	HAROLD H. CORNULS EKHOF G.	EN TRAMITE
133				POZO 1, A 150 M AL N DE RIO SAN JOSE Y A 3 M AL O DE DESLINDE E CON CAMINO VECINAL	AQUILES R. ORDONEZ VALENZUELA		16,0	NR-1-1-21	14/05/95	ARICA	AQUILES R. ORDONEZ VALENZUELA	EN TRAMITE
134				A 238 M AL N DE RIO SAN JOSE Y A 3 M AL O DE DESLINDE E CON CAMINO VECINAL	AQUILES R. ORDONEZ VALENZUELA		16,0	NR-1-1-21	14/05/95	ARICA	AQUILES R. ORDONEZ VALENZUELA	EN TRAMITE
135			N-329	PREDIO "BUEN RETIRO" A 5 M AL O DE DESLINDE E Y A 225 M AL S DE RIO SAN JOSE	MARIA CALLE SOLIZ		20,0	NR-1-1-22	14/05/95	ARICA	MARIA CALLE SOLIZ	EN TRAMITE
136			N-74	PREDIO "LA TARA", KM 17 A 260 M AL N DE RIO SAN JOSE Y A 6 M AL O DE DESLINDE E	ANTONIA ESTORACA ALBARRACIN		30,0	NR-1-1-22	14/05/95	ARICA	ANTONIA ESTORACA ALBARRACIN	EN TRAMITE
137				PREDIO "LA HUERTITA" A 3 M AL O DE DESLINDE E Y A 90 M AL N DE CARRETERA AZAPA	MILOVAV GARDILCIC BOCK		30,0	NR-1-1-22	14/05/95	ARICA	MILOVAV GARDILCIC BOCK	EN TRAMITE
138				PREDIO "CAMPO LINDO" LOTE 3 SITIO B1 A 30 M AL S DE RIO SAN JOSE Y A 8 M AL O DE DESLINDE E DE LA PROPIEDAD	RAUL J. BUNEDER BUNEDER		7,0	NR-1-1-22	14/05/95	ARICA	RAUL J. BUNEDER BUNEDER	EN TRAMITE
139				PREDIO "SAN JUAN DE OCURICA" A 250 M AL S DE CARRETERA AZAPA Y A 15 M AL O DEL DESLINDE E	ANTONIO F. GARDILCIC BOERO		20,0	NR-1-1-22	14/05/95	ARICA	ANTONIO F. GARDILCIC BOERO	EN TRAMITE
140				PREDIO "ALTO ALBARRACIN" A 25 M AL S DE CARRETERA AZAPA Y A 10 M AL O DE DESLINDE E	ROXANA A. GARDILCIC BOERO		20,0	NR-1-1-22	14/05/95	ARICA	ROXANA A. GARDILCIC BOERO	EN TRAMITE
141			(S-322)	PREDIO "HDA. SAN JUAN DE OCURICA" A 3 M AL N DEL CAMINO VECINAL Y A 180 M AL O DE DESLINDE E	CARLOS E. BUNEDER BUNEDER		15,0	NR-1-1-22	14/05/95	ARICA	CARLOS E. BUNEDER BUNEDER	EN TRAMITE
142	7.954.705	367.986	(S-154 & S-155)	SONDAJE DC-3	EID KHALL KHARRAT		10,0	NR-1-1-22	10/06/95	ARICA	EID KHALL KHARRAT	EN TRAMITE
143	7.954.295	368.705	S-357	POZO 54	FILIBERTO J. FERNANDEZ GONZALEZ	VALLE DE AZAPA	20,0	NR-1-1-22	20/10/95	ARICA	FILIBERTO J. FERNANDEZ GONZALEZ	EN TRAMITE
144	7.954.380	368.905	S-358	HACIENDA LAUREL	OLGA L. MAYTA PACHECO	VALLE DE AZAPA	20,0	NR-1-1-22	20/10/95	ARICA	OLGA L. MAYTA PACHECO	EN TRAMITE
145	7.954.780	366.820	N-157	POZO 157	MARIO G. PEREZ CARRENO	VALLE DE AZAPA	1,0	NR-1-1-23	20/10/95	ARICA	MARIO G. PEREZ CARRENO	EN TRAMITE
146	7.960.307	363.312	N-229	LOTE 13 MAZ J., PROYECTO CHINCHORRO BAJO	AGUACOR S.A.		35,0	ND-1-1-24	11/05/95	ARICA	AGUACOR S.A.	EN TRAMITE
147	7.960.262	363.312	N-229	POZO CENTRAL	AGUACOR S.A.			ND-1-1-24	11/05/95	ARICA	AGUACOR S.A.	EN TRAMITE
148	7.960.226	363.316	N-229	POZO SUR	AGUACOR S.A.			ND-1-1-24	11/05/95	ARICA	AGUACOR S.A.	EN TRAMITE
149	7.973.597	360.354		POZO 2	ZOFRI S.A., LUIS V. UNANUE VERDUGO		16,0	ND-1-1-24	28/12/95	ARICA	ZOFRI S.A., LUIS V. UNANUE VERDUGO	EN TRAMITE
150	7.954.973	366.653		RIO SAN JOSE	ORLANDO PINO BORGUEZ	VALLE DE AZAPA	0,12	NR-1-1-25	22/01/96	ARICA	ORLANDO PINO BORGUEZ	EN TRAMITE. SOLICITA PRUEBA DE BOMBEO, 28/02/96

CUADRO 3.3.5-5  
DERECHOS EN TRAMITE (AGUAS SUPERFICIALES)

N°	COORDENADAS UTM		UBICACION	PROPIETARIO	SECTOR	CAUDAL SOLICITADO (l/s)	EXPEDIENTE		COMUNA	SOLICITANTE	OBSERVACIONES
	NORTE	ESTE					N°	FECHA INGRESO			
1			PREDIO "CAVIÑANE", QDA. OXA RIO TICNAMAR	CARLOS INFANTE MONTEALEGRE	PUTRE	8,0	T-3-9-4-003	22/04/86	PARINACOTA	CARLOS INFANTE MONTEALEGRE	SE ENVO A CORTE DE APELACIONES ARICA ORD. 741 DE 1987
2			VERTIENTES DE MURMUTANE	ASOC.GREMIAL AGRICULTORES MORMUTANE	PUTRE	45,0	NR-1-2-14	11/10/88	PARINACOTA	ASOC.GREMIAL AGRICULTORES MORMUTANE	SE ENVO AL JUEZ POR ORD. 12-A. 11/01/90
3			VERTIENTES DE PARINACOTA	J. VECINAL PARINACOTA CHUCUYO	PUTRE	450,0	NR-1-2-24	22/05/89	PARINACOTA	J.VECNAL PARINACOTA CHUCUYO	ENVIADO A LA CORTE DE APELACIONES ARICA ORD. 77. 18/04/95
4			PREDIO CUILCO, RIO OXA	CARLOS INFANTE MONTECINOS	PUTRE	300,0	NR-1-2-29	26/07/89	PARINACOTA	CARLOS INFANTE MONTECINOS	SE ENVO A CORTE DE APELACIONES ARICA ORD. 11. 11/01/90
5			ENTRE KMS 36 Y 46, CANAL LAUCA	SOC. COLECTIVA PAMPA ALGODONAL		54,03	NR-1-1-30	17/08/89	ARICA	SOC. COLECTIVA PAMPA ALGODONAL	ARCHIVO INDEFINIDO, RES.46. 30/01/90, INDEFINIDO
6			ENTRE KMS 19 Y 36, CANAL LAUCA	SOC. COLECTIVA PAMPA TRES CRUCES		54,03	NR-1-1-31	17/08/89	ARICA	SOC. COLECTIVA PAMPA TRES CRUCES	ARCHIVO INDEFINIDO, RES. 39. 30/01/90
7			ENTRE KMS 36 Y 46, CANAL LAUCA	SOC. COLECTIVA PAMPA ALGODONAL		54,03	NR-1-1-32	22/09/89	ARICA	SOC. COLECTIVA PAMPA ALGODONAL	SE ENVA A CORTE DE APELACIONES ARICA. ORD. 08. 08/01/90
8			ENTRE KMS 19 Y 36, CANAL LAUCA	SOC. COLECTIVA PAMPA TRES CRUCES		54,03	NR-1-1-33	22/09/89	ARICA	SOC. COLECTIVA PAMPA TRES CRUCES	SE ENVA A CORTE DE APELACIONES ARICA. ORD. 09. 08/01/90
9	7.953.500	370.620	VERTIENTE LA MITA CHICA	RAUL LOMBARDI F.		100,0	NR-1-1-38	12/11/89	ARICA	RAUL LOMBARDI F.	SE ENVA A CORTE DE APELACIONES ARICA. ORD. 90. 27/04/90
10	7.953.640	370.290	RIO SAN JOSE	ALDO LOMBARDI L.		300,0	ND-1-1-42	01/10/90	ARICA	ALDO LOMBARDI L.	ENVIADO EN CONSULTA AL DEPTO. RECURSOS HIDRICOS POR ORD. 135. 30/06/95
11			CANAL DE LA VERTIENTE MEDIA LUNA, RIO SAN JOSE	MARIA E. YANULAQUE F.		200,0	ND-1-1-44	15/02/90	ARICA	MARIA E. YANULAQUE F.	ENVIADO EN CONSULTA AL DEPTO. RECURSOS HIDRICOS POR ORD. 135. 30/06/95
12			KM 4 AGUAS ARRIBA DE BOCATOMA CANAL AZAPA	DIRECCION GENERAL DE OO.PP.		666,0	ND-1-1-45	22/02/90	ARICA	DIRECCION GENERAL DE OO.PP.	ENVIADO EN CONSULTA AL DEPTO. RECURSOS HIDRICOS POR ORD. 135. 30/06/95
13	7.986.800	446.120	VERTIENTE PORVENIR 1 Y 2	DULIO MILANESI DANEGRI	PUTRE	18,0	ND-1-1-49	21/03/90	PARINACOTA	DULIO MILANESI DANEGRI	EN TRAMITE
14	7.953.580	371.080	TAJAMAR O BOCATOMA CANAL LAS MAITAS, KM 7	ALDO LOMBARDI L., MIRASLOV GARDILCIC B. Y YOUSSEF BON ANTUR	VALLE DE AZAPA	400,0	NR-1-1-52	30/03/90	ARICA	ALDO LOMBARDI L., MIRASLOV GARDILCIC B. Y YOUSSEF BON ANTUR	SE ENVO A LA CORTE DE APELACIONES ARICA. ORD.92. 05/05/95
15			600 M.S.N.M., KM 32,7 DE LA RUTA A-27 Y A 13,755 KM DE LA BOCATOMA AZAPA	LUIS BRAND CONTRERAS	VALLE DE AZAPA	350,0	ND-1-1-89	13/04/92	ARICA	LUIS BRAND CONTRERAS	EN TRAMITE
16				CARLOS FERNANDEZ SEPULVEDA	PUTRE	50,0	ND-1-1-96	05/06/92	ARICA	CARLOS FERNANDEZ SEPULVEDA	EN TRAMITE
17	7.948.100 7.945.100	418.900 402.400	QUEBRADA DE LMLCAR	FERNANDO DOUGANC R.	PUTRE	1350	ND-1-1-103	18/05/92	ARICA	FERNANDO DOUGANC R.	EN TRAMITE
18	7.968.800	441.750	CENTRAL CHAPIQUÑA	FERNANDO DOUGANC	PUTRE	1350	ND-1-2-108	25/05/92	PARINACOTA	FERNANDO DOUGANC	EN TRAMITE
19			AGUAS ABAJO DE LA DESCARGA CENTRAL CHAPIQUÑA QUEBRADA COSAPILLA	SERGIO BALMONTIN COVADA	PUTRE	2700	ND-1-2-111	15/07/92	PARINACOTA	SERGIO BALMONTIN COVADA	EN TRAMITE
20	7.991.500	448.800	VERTIENTE TAIPICAHUE	ESSAT S.A.	PUTRE	15,0	ND-1-2-121	15/12/92	PARINACOTA	ESSAT S.A.	EN TRAMITE
21			VERTIENTE TAIPICAHUE	COMUNIDAD DE AGUAS CUBRIMANI	PUTRE	131 ACC.	NC-1-2-174	06/12/95	PARINACOTA	COMUNIDAD DE AGUAS CUBRIMANI	TRASKADI NIVEL CENTRAL. ORD.152. 17/07/95
22	7.945.000 RESTITUCION 7.945.000	414.400 409.750		FEDERICO ERRAZURIZ AGUIRRE	PUTRE	600,0	ND-1-1-210	08/11/95	ARICA	FEDERICO ERRAZURIZ AGUIRRE	EN TRAMITE
23	LAT. SUR: 17°53'39" LONG. O : 69°20'24.8" RESTITUCION LAT. : 17°53'38" LONG.: 69°20'27"		VERTIENTE PUJO JAVERA	HILARIO CONDORI TANCARA	PUTRE	35,0	ND-1-2-232	13/07/95	PARINACOTA	HILARIO CONDORI TANCARA	EN TRAMITE
24	LAT. S : 17°44'53.3" LONG. O: 69°24'37" RESTITUCION LAT. : 17°44'56" LONG.: 69°24'38.5"		RIO COSAPILLA, SECTOR CRUZ VILQUE	JUAN CRUZ ROQUE	PUTRE	25,0	ND-1-2-233	13/07/95	PARINACOTA	JUAN CRUZ ROQUE	EN TRAMITE
25	LAT. S : 17°51'02" LONG. O: 69°36'06" RESTITUCION LAT. S : 17°51'06" LONG. O: 69°36'08.7"		RIO ANCOLACANE	JORGE M. QUELCA FLORES	PUTRE	35,0	ND-1-2-235	13/07/95	PARINACOTA	JORGE M. QUELCA FLORES	EN TRAMITE
26	LAT. S : 17°56" LONG. O: 69°24'40" RESTITUCION LAT. S : 17°56'3.7" LONG. O: 69°24'44.6"		VERTIENTE DE COTAPALCA	MARIANO HUAYLLA HUANCA	PUTRE	35,0	ND-1-2-236	13/07/95	PARINACOTA	MARIANO HUAYLLA HUANCA	EN TRAMITE

CUADRO 3.3.5-6  
AUTORIZACIONES DE EXPLORACION AGUAS SUBTERRANEAS

N°	COORDENADAS UTM		UBICACION	PROPIETARIO	SECTOR	HECTAREAS CONCEDIDO (ha)	EXPEDIENTE		COMUNA	SOLICITANTE	OBSERVACIONES
	NORTE	ESTE					N°	FECHA INGRESO			
1			LATITUD S : 18°30' 18°31' LONGITUD O: 70°15' 70°11'	SENDOS I REGION	VALLE AZAPA	9,8	MA-1-1-	10/01/84	ARICA	SENDOS I REGION	RESOLUCION 158, 31/03/87
2	7.949.614	373.700		LUIS E. SEPULVEDA P.		9275	NE-1-1-36	27/11/89	ARICA	LUIS E. SEPULVEDA P.	RESOLUCION 9, 14/05/90
	7.949.450	373.375									
	7.949.218	373.513									
	7.949.372	373.808									
3	7.951.250	376.700		MANUEL CABRERA SAAVEDRA		279,0	NE-1-1-48	12/03/90	ARICA	MANUEL CABRERA SAAVEDRA	RESOLUCION 4, 12/03/91. DEVUELTO EXPEDIENTE POR CONTRALORIA
	7.951.200	376.700									
	7.951.200	376.100									
	7.951.250	376.100									
4	7.949.614	373.700		LUIS E. SEPULVEDA P.	ALTO RAMIREZ	9353	NE-1-1-67	12/01/91	ARICA	LUIS E. SEPULVEDA P.	RESOLUCION 26, 26/09/91
	7.949.450	373.375									
	7.949.218	373.513									
	7.949.372	373.808									
5	7.956.045N	363.827		ESSAT S.A.		100 M2	NE-1-1-91	16/04/92	ARICA	ESSAT S.A.	RESOLUCION 394, 04/09/92
	7.956.040NN	363.822									
	7.956.040NN	363.832									
	7.956.050NN	363.832									
	7.956.050SN	363.832									
6	7.955.545N	364.295		ESSAT S.A.		100 M2	NE-1-1-92	16/04/92	ARICA	ESSAT S.A.	RESOLUCION 391, 04/09/93
	7.955.540NN	364.290									
	7.955.540NN	364.300									
	7.955.550SN	364.300									
	7.955.550SN	364.290									
7	7.956.831N	363.044		ESSAT S.A.		100 M2	NE-1-1-93	16/04/92	ARICA	ESSAT S.A.	RESOLUCION 392, 04/09/92
	7.956.828NN	362.039									
	7.956.828NN	362.049									
	7.956.838SN	362.049									
	7.956.838SN	362.039									
8	7.955.185N	364.075		ESSAT S.A.		100 M2	NE-1-1-94	16/04/92	ARICA	ESSAT S.A.	RESOLUCION 393, 04/09/92
	7.955.180NN	364.070									
	7.955.180NN	364.080									
	7.955.195SN	364.080									
	7.955.195SN	364.070									
9	7.955.401N	363.888		ESSAT S.A.		100 M2	NE-1-1-97	06/05/92	ARICA	ESSAT S.A.	RESOLUCION 388, 04/09/92
	7.955.398N	363.881									
	7.955.398NN	363.891									
	7.955.408SN	363.891									
	7.955.408SN	363.881									
10	7.956.085N	362.498		ESSAT S.A.		100 M2	NE-1-1-98	06/05/92	ARICA	ESSAT S.A.	RESOLUCION 389, 04/09/92
	7.956.080NN	362.493									
	7.956.080SN	362.503									
	7.956.090SN	362.503									
	7.956.090SN	362.493									
11	7.954.815N	364.565		ESSAT S.A.		100 M2	NE-1-1-99	06/05/92	ARICA	ESSAT S.A.	RESOLUCION 387, 04/09/92
	7.954.810NN	364.560									
	7.954.810NN	364.570									
	7.954.820SN	364.560									
12	7.956.334N	362.617		ESSAT S.A.		100 M2	NE-1-1-100	06/05/92	ARICA	ESSAT S.A.	RESOLUCION 390, 04/09/92















## 3.4 NIVELES DEL AGUA SUBTERRÁNEA

### 3.4.1 Valle de Azapa y Arica

Dentro de la zona, correspondiente al sector costero de Arica y Valle de Azapa hasta su angostamiento en Cabuza, se cuenta con gran cantidad de información de niveles del agua subterránea a través del tiempo. En el Cuadro 3.4.1-1 se señala la extensión de la información disponible. El total de pozos con datos del nivel estático y/o dinámico es de 69. La mayoría corresponde a pozos con información obtenida para el período 1993-1995 (63 pozos) y un total de 15 pozos que poseen además una estadística más antigua, algunos con registros desde 1960 y 1962. El pozo con mayor extensión y cantidad de registros (niveles mensuales) es el N°101 ubicado en el sector de Las Riveras. La información completa disponible se entrega en el Anexo 3.4-1.

El comportamiento general de los niveles del agua subterránea en el valle de Azapa y Arica puede apreciarse en el Plano 3.4.1-1 que incluye las curvas isofreáticas correspondientes a los años 1988, 1993, 1994 y 1995. En los gráficos de las Figuras 3.4.1-2 a 3.4.1-16 se incluyen limnigramas de niveles seleccionados para diversos sectores del área de estudio.

En Cabuza los niveles se encuentran alrededor de 30-35 m de profundidad, tendiendo a hacerse más superficiales hacia aguas abajo, lo que se mantiene hasta el sector de Las Riveras, donde los niveles están a unos 10 m de profundidad, con ocurrencia de afloramientos históricos de vertientes (angostamiento del valle y depositación de finos de la Quebrada del Diablo).

Desde allí hacia aguas abajo los niveles vuelven a profundizarse, llegando a 30-35 m en San Miguel, lugar en que existe una importante concentración de sondajes en explotación, produciéndose una nueva disminución de profundidad, hasta llegar a unos 15 m en el área ubicada frente a la Quebrada de Llosyas (estrechamiento local de la sección del valle y un aumento del contenido de finos presentes en el relleno) con presencia de otra área de afloramientos históricos de vertientes.

Desde Pago de Gómez hacia aguas abajo los niveles estáticos nuevamente tienden a profundizarse, hasta unos 30 m, que aumentan a 35-40 m en áreas muy localizadas asociadas a importantes extracciones de aguas subterráneas, como ocurre en el emplazamiento de la planta Azapa, en Saucache y en la ciudad de Arica.

**CUADRO 3.4.1-1**  
**INFORMACIÓN HISTÓRICA DE NIVELES DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN**  
**ARICA Y VALLE DE AZAPA(1)**

POZO Nº	PERÍODO CON INFORMACIÓN HISTÓRICA		
	(BNA)	AC,1989	
100		73;75-76	(2)
101		62-81;83-88	93-95 (3)
102		62-73;76-88	(2)
103		62-69;76-88	(2)
104		77-88	(2)
105		62-70;72-76;81-82	
106		75-77;83-84	
107		75-77;79-80;83-88	94-95 (3)
112		71;73-75;85-88	93-95 (3)
113		85-86	93-94 (3)
116		60-69;75-79	94 (3)
124		75-82;85-87	94-95 (3)
125		77;80;83	93-95 (3)
128		73-77;80-81;83-87	93-95 (3)
130		83-87	93-95 (3)
139			93-95 (3)
140			93-95 (3)
141			93-95 (3)
142			93-95 (3)
143			93-95 (3)
147			93-95 (3)
157			93-95 (3)
158			93-95 (3)
160			93-95 (3)
161			93-95 (3)
164			94 (3)
165			93-95 (3)
166			93-95 (3)
167			93-95 (3)
186			93-95 (3)
187			93-95 (3)
195			94-95 (3)
199			94-95 (3)
202			94 (3)

POZO Nº	PERÍODO CON INFORMACIÓN HISTÓRICA		
	(BNA)	AC,1989	
214			94-95 (3)
221			93-95 (3)
222			93-95 (3)
223			93-95 (3)
230			93-95 (3)
235			93-95 (3)
244			93-95 (3)
265			93-95 (3)
266			93-95 (3)
267			93-95 (3)
268			93-95 (3)
269			93-95 (3)
270			93-95 (3)
271			93-95 (3)
272			93-95 (3)
273			94-95 (3)
275			93-95 (3)
276			93-95 (3)
277			93-94 (3)
278			93-95 (3)
279			93-95 (3)
280			93-95 (3)
283			93-95 (3)
284			93-95 (3)
285			93-95 (3)
286			93-95 (3)
287			93-95 (3)
288			93-95 (3)
289			93-95 (3)
291			94-95 (3)
293			94-95 (3)
295			94-95 (3)
296			94 (3)
297			94-95 (3)
298			95 (3)

## NOTAS:

- (1) se refiere a niveles estáticos y/o dinámicos, y se considera al menos un mes para cada año  
(2) información utilizada en anterior modelo para la DGA (AC,1989).  
(3) información de pozos en estudio AC,1989 o AC,1995, a ser utilizada en el nuevo modelo



Comparando la situación de la superficie freática entre los años 1988 y 1995, que se incluye en el Plano 3.4.1-1, puede observarse que en el sector alto del valle en Cabuza, no se han registrado grandes cambios en el tiempo. En cambio hacia aguas abajo, en la zona de Las Riveras, se detecta un descenso de alrededor de 20 m entre 1988 y 1995. En San Miguel el descenso es del orden de 15 m para el mismo período y en Pago de Gómez el descenso general de niveles estáticos es de aproximadamente 10 a 20 m. En Saucache se detectan descensos promedios de entre 10 y 20 m en igual lapso de tiempo.

De los limnigramas de 15 pozos seleccionados en toda la zona que se entregan en los gráficos de las Figuras 3.4.1-2 a la 3.4.1-16, es posible establecer los siguientes hechos:

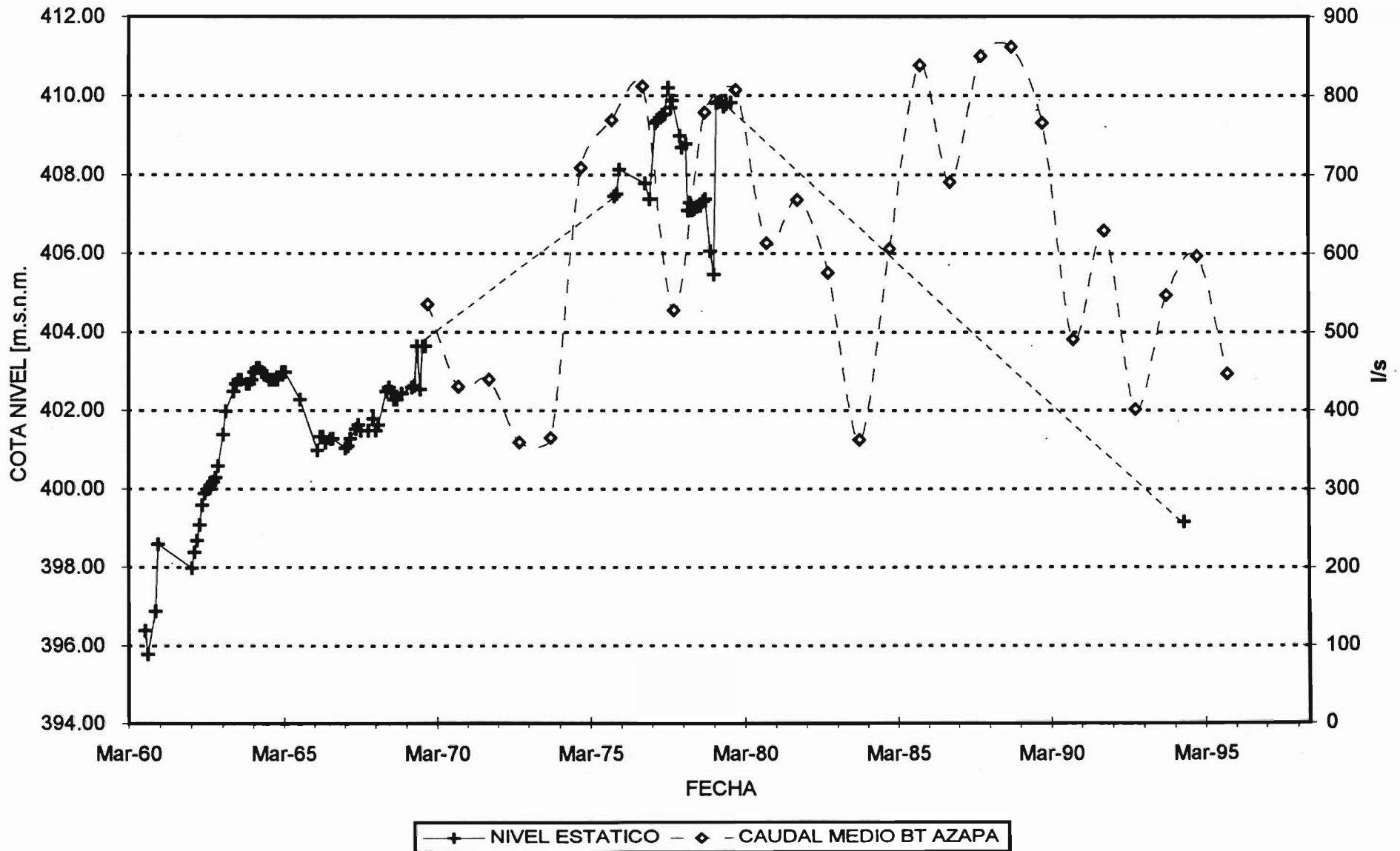
- Empleando la serie de caudales medios mensuales captados por la bocatoma del canal Azapa como un indicador general del trasvase de recursos externos hacia el valle de Azapa, se observa que existe una cierta correlación con la variación global de la superficie freática (pozo 101 Las Riveras y pozo 107 Las Ánimas). Ello se debe a que dicho trasvase constituye una importante fuente de recarga al acuífero de Azapa.

- A partir de la puesta en servicio del canal Lauca en la década de los sesenta, los niveles freáticos tienden a elevarse, indicando que el sistema recibe un importante aporte extra o recarga neta. Luego se mantiene un cierto equilibrio hasta que en la década de los noventa se hace patente un sostenido descenso de los niveles que sería atribuido a la sobreexplotación que actualmente afecta al sistema acuífero.

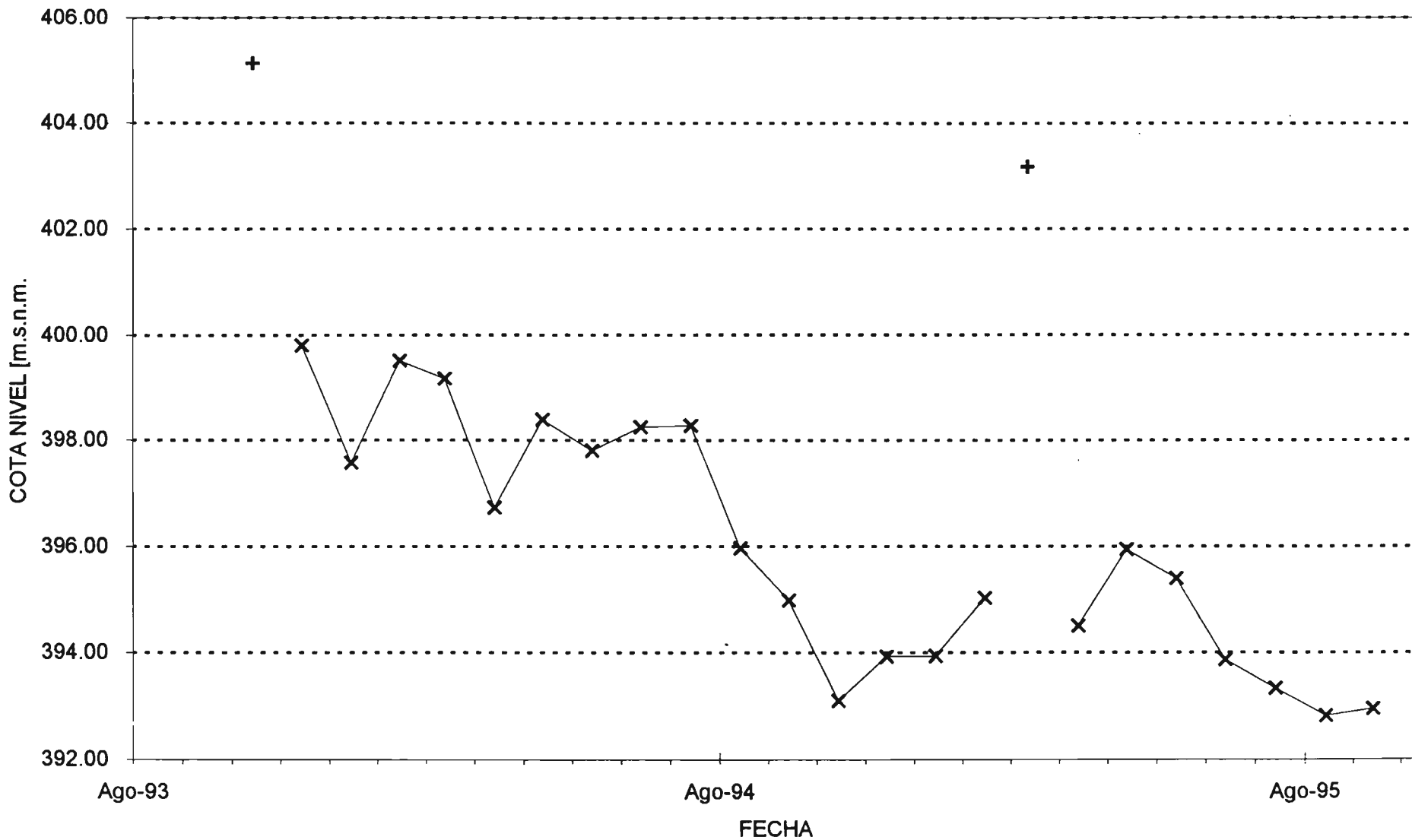
- Tanto la cantidad de información como sus cambios significativos son importantes para efectuar una buena calibración y validación del modelo. En consecuencia, el período más conveniente para calibrar y validar el modelo, es aquél comprendido dentro del lapso de tiempo que va desde finales de la década de los ochenta hasta el año 1996.

Finalmente, la información de curvas equipotenciales ha sido incorporada digitalmente en un formato gráfico compatible con el modelo de simulación, para así facilitar el proceso de modelación.

FIGURA 3.4.1-2  
POZO Nº 116 COMCA-CABUZA



POZO N° 283 ESSAT ROMERO-CABUZA



--+-- NIVEL ESTATICO —x— NIVEL DINAMICO

FIGURA 3.4.1-4  
POZO N° 284 ESSAT CID-CABUZA

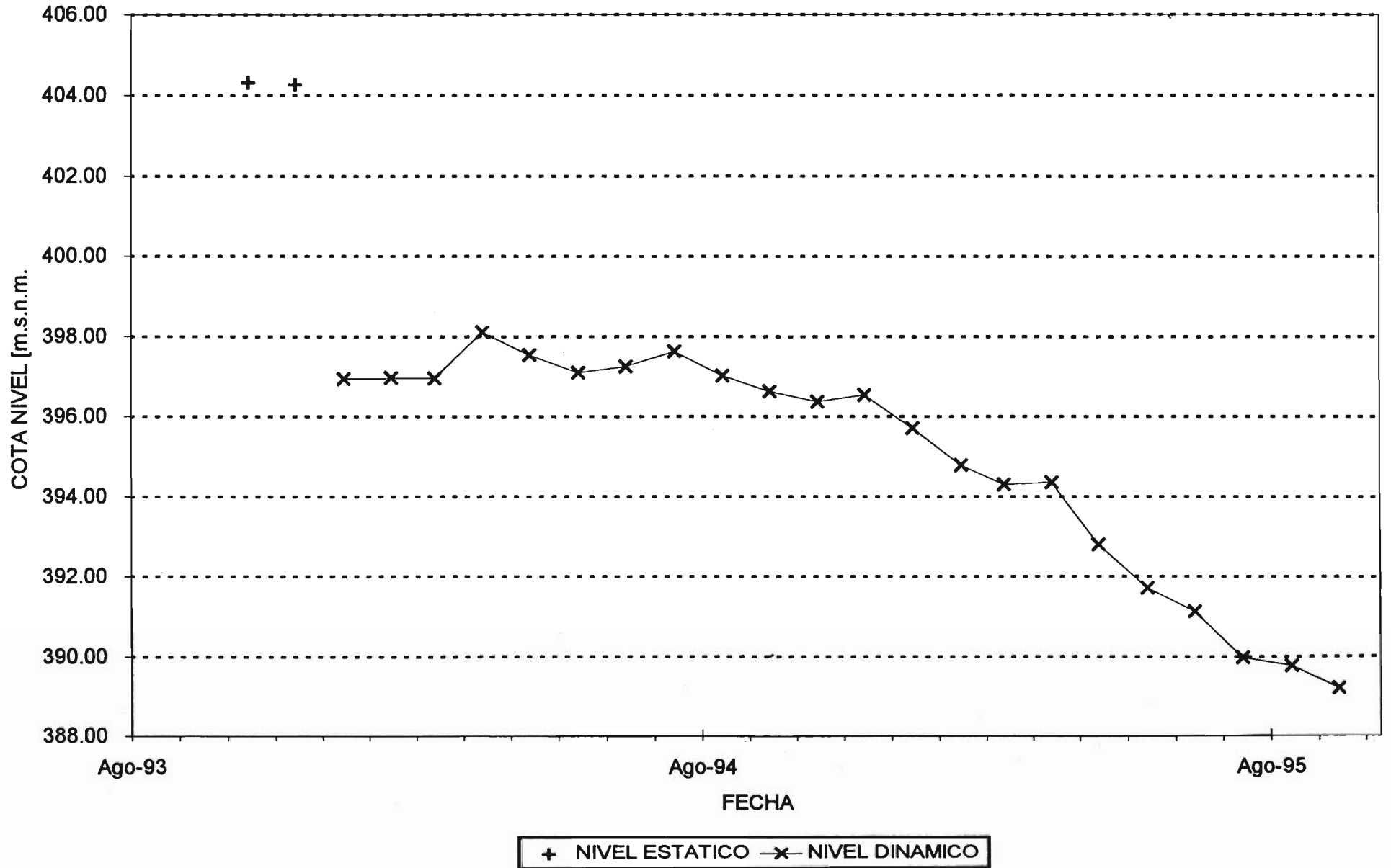


FIGURA 3.4.1-5  
POZO N° 101 COMCA-LAS RIVERAS

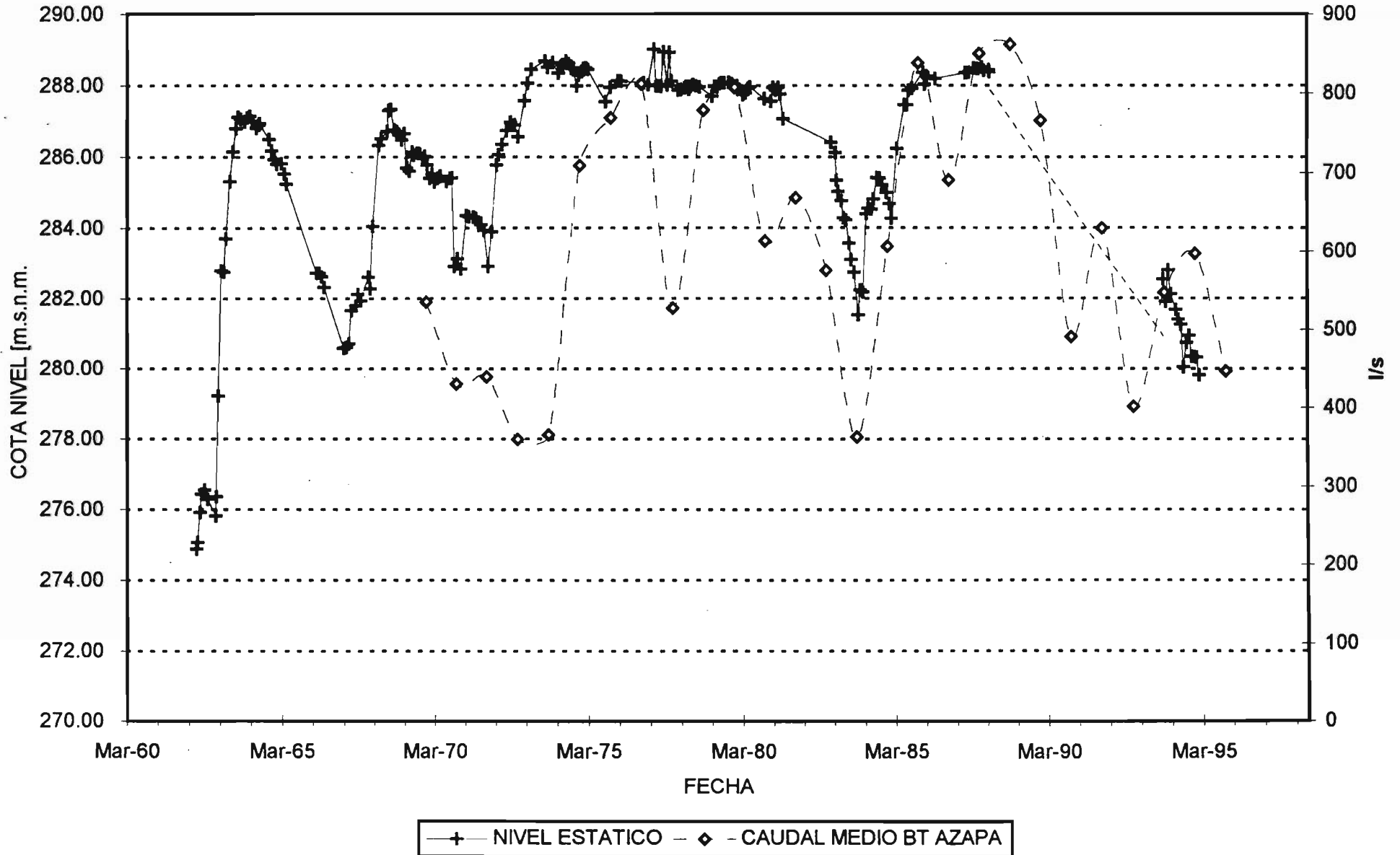


FIGURA 3.4.1-6  
POZO N° 112 ESSAT DR-LAS RIVERAS

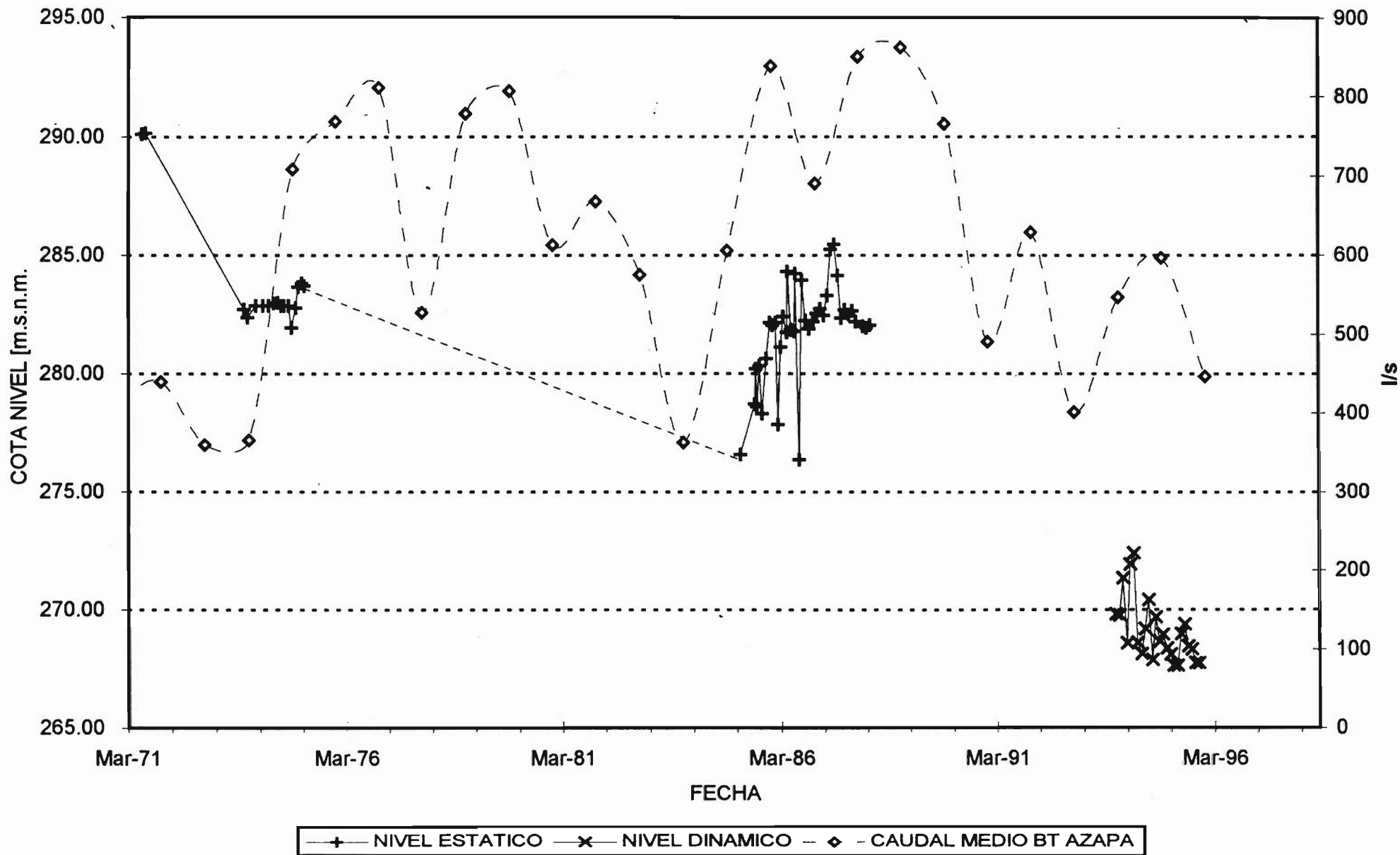


FIGURA 3.4.1-7  
POZO N° 235 APR SAN MIGUEL

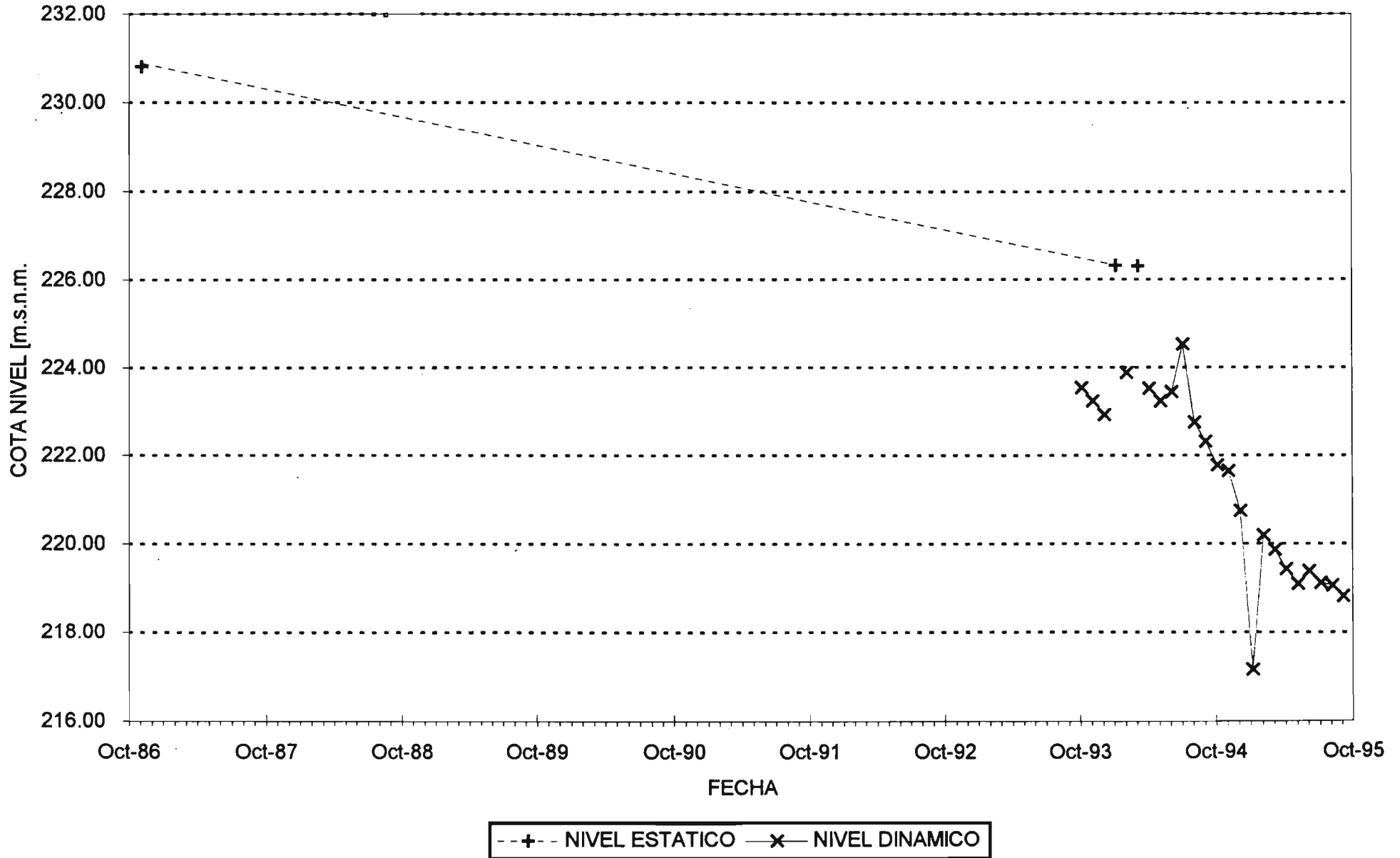


FIGURA 3.4.1-8  
POZO N° 124 GARDILIC-LAS MAITAS

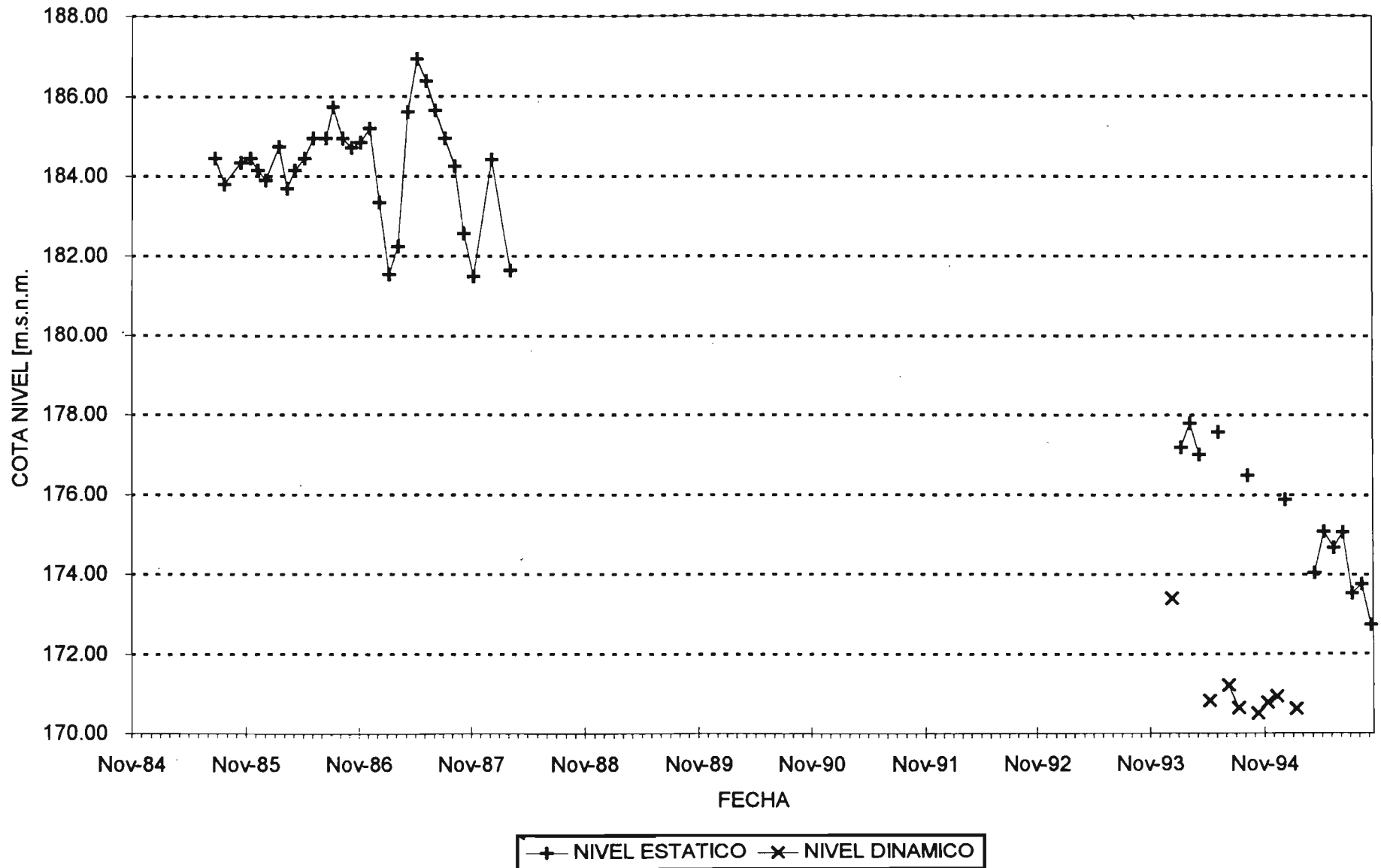




FIGURA 3.4.1-9  
POZO Nº 125 YUSEFF ANTUN-ALTO RAMIREZ

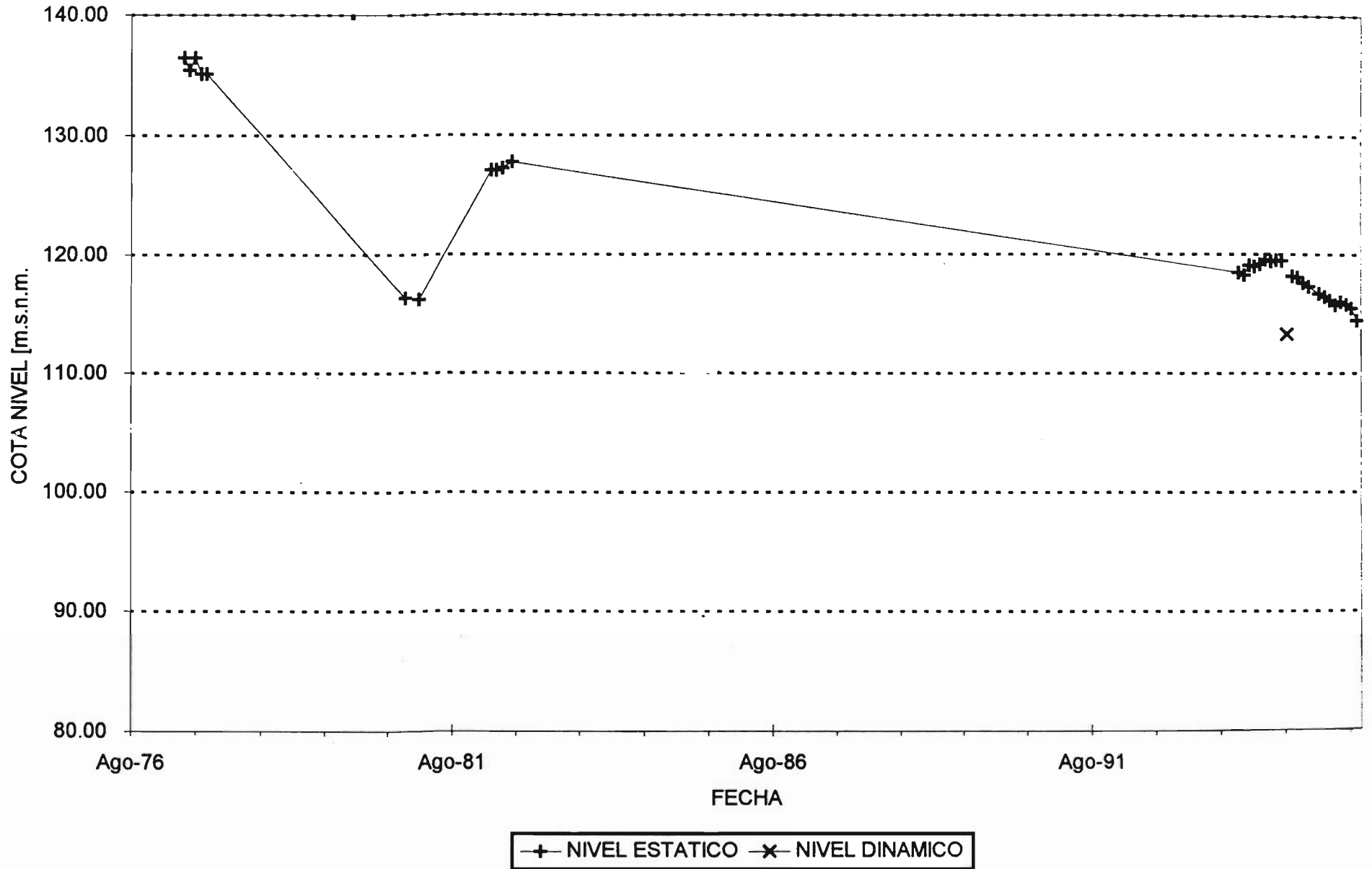


FIGURA 3.4.1-10  
POZO N° 107 GARDILIC-LAS ANIMAS

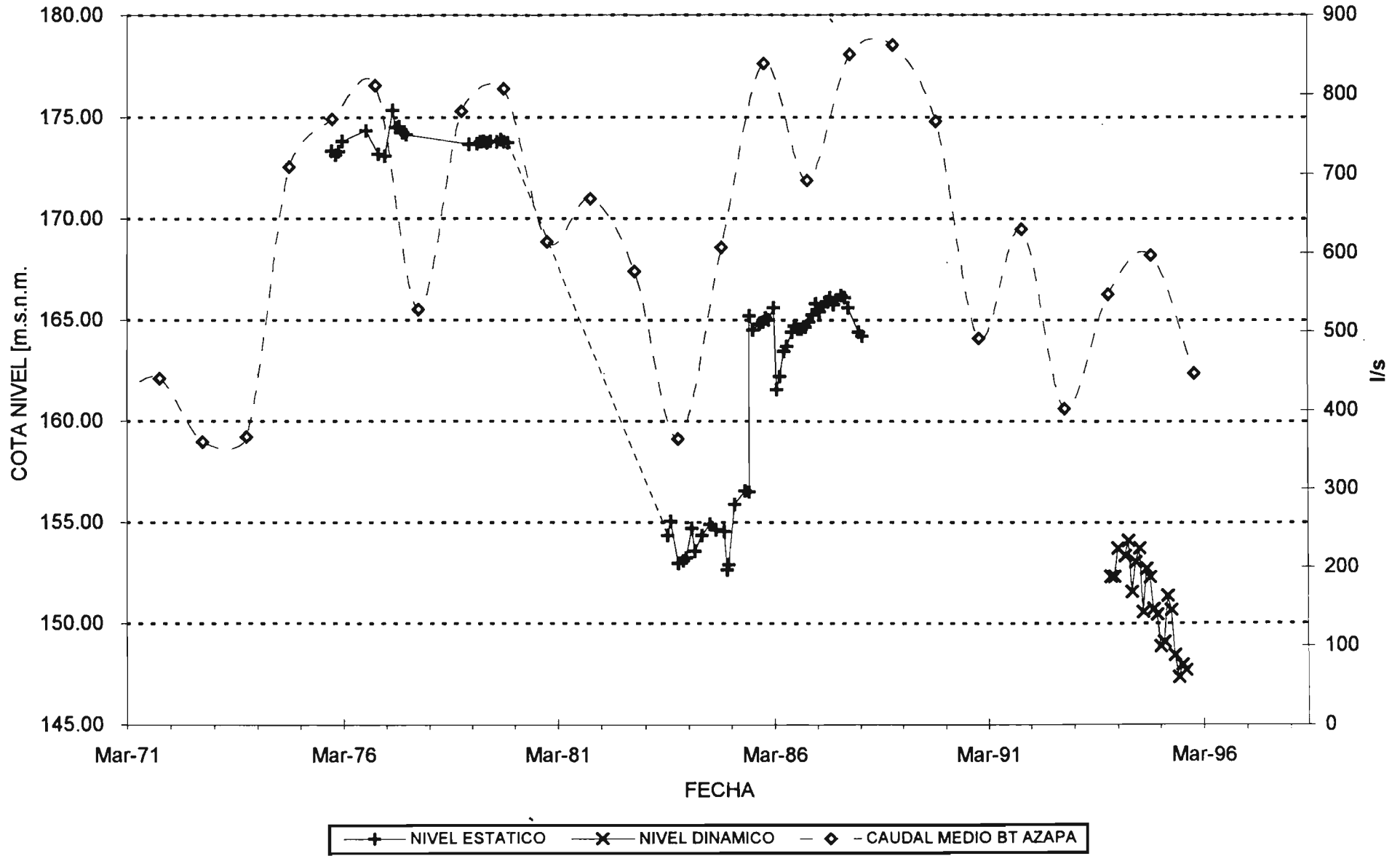




FIGURA 3.4.1-12  
POZO N° 157 ESSAT AZAPA-SAUCACHE

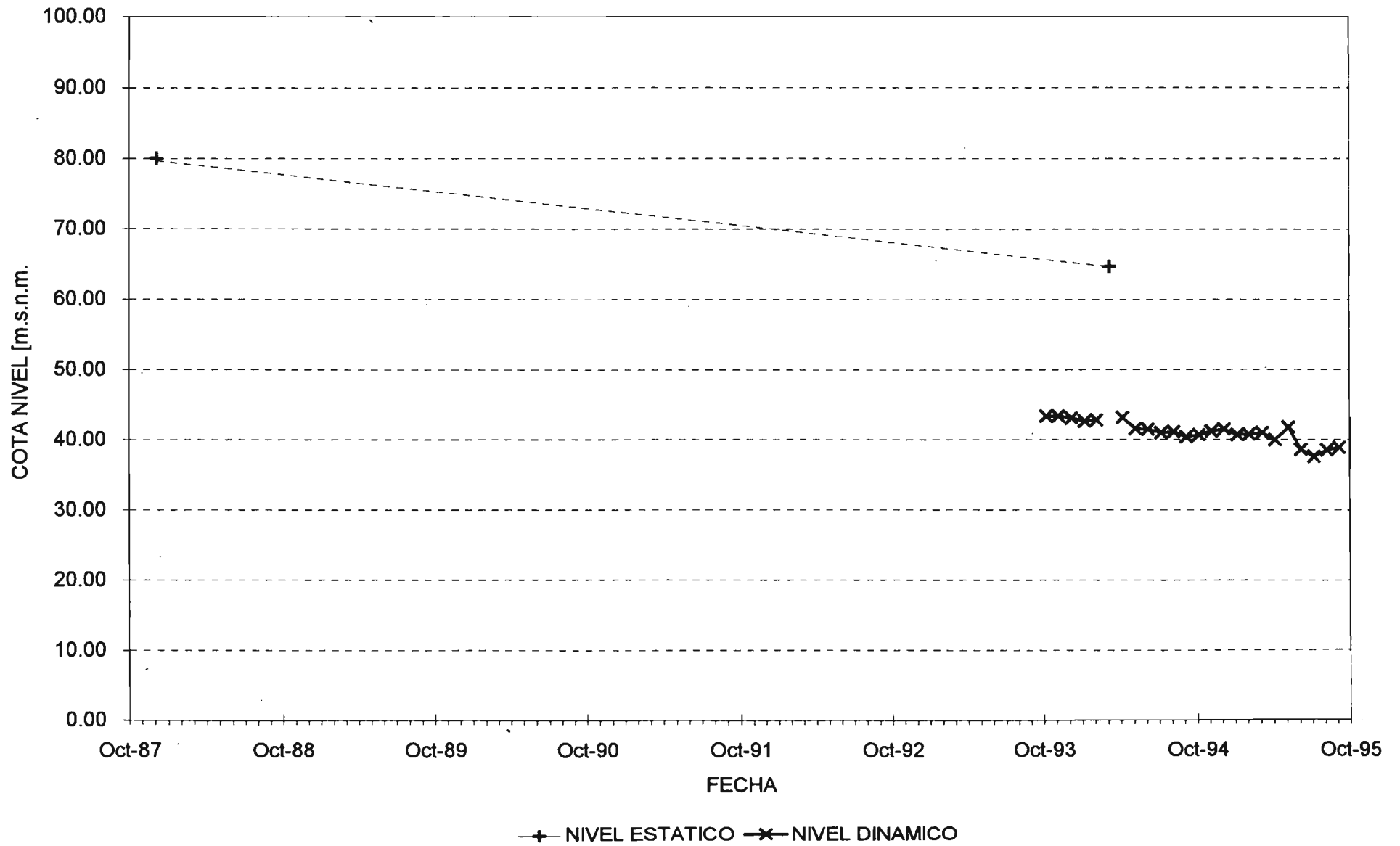


FIGURA 3.4.1-13  
POZO Nº 142 ESSAT TUCAPEL-ARICA

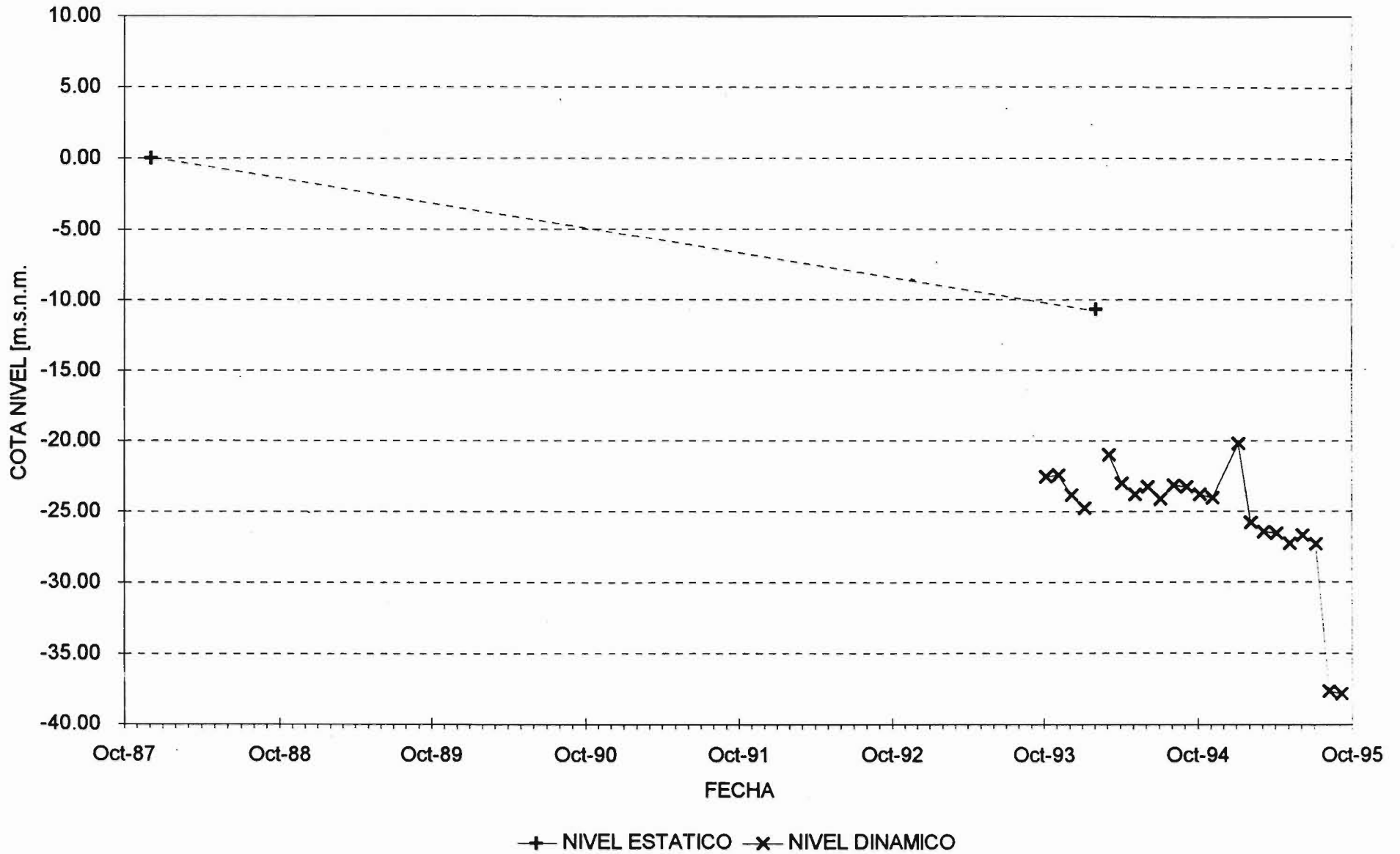


FIGURA 3.4.1-14  
POZO N° 143 ESSAT LIGA EMPL.-ARICA

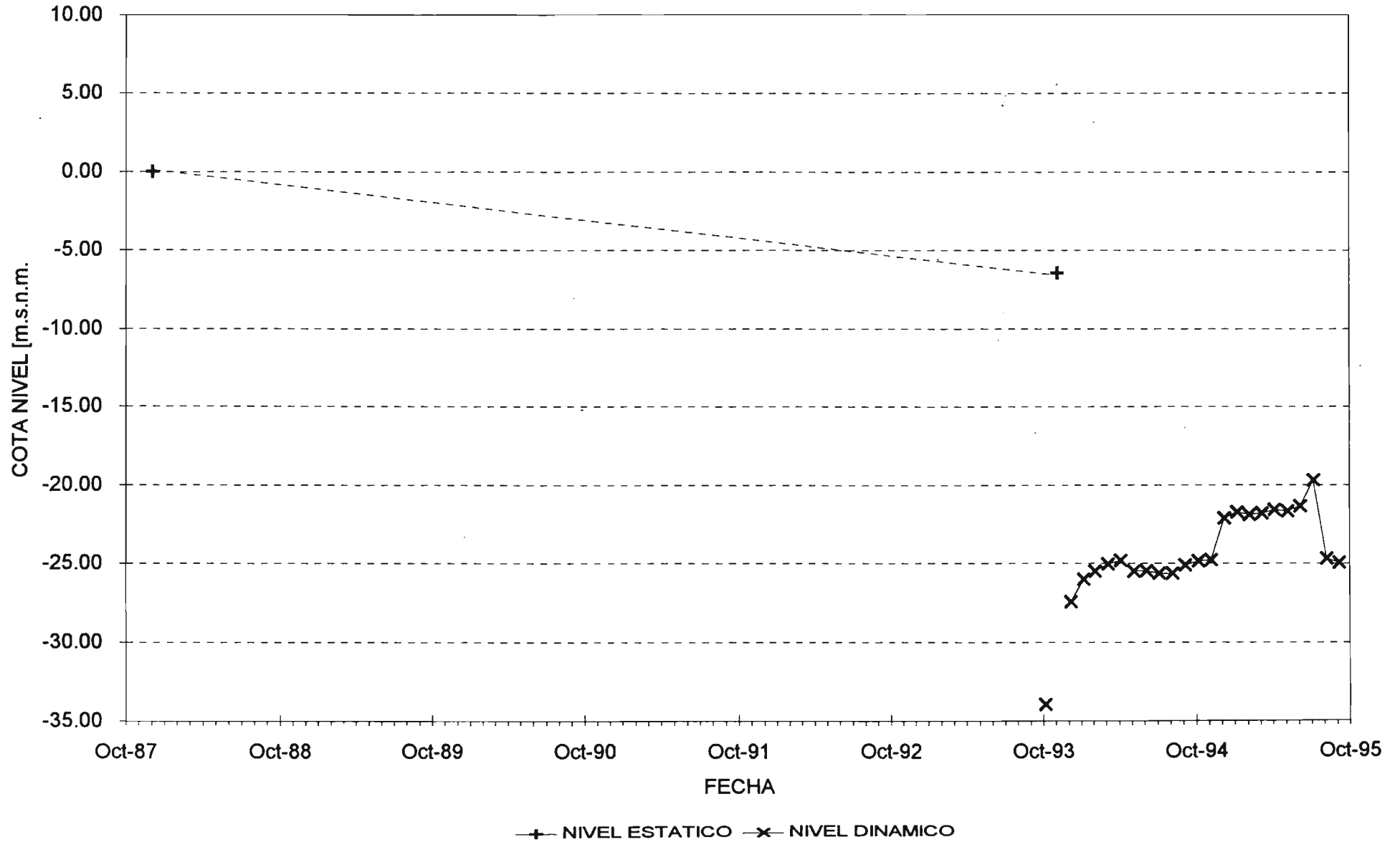
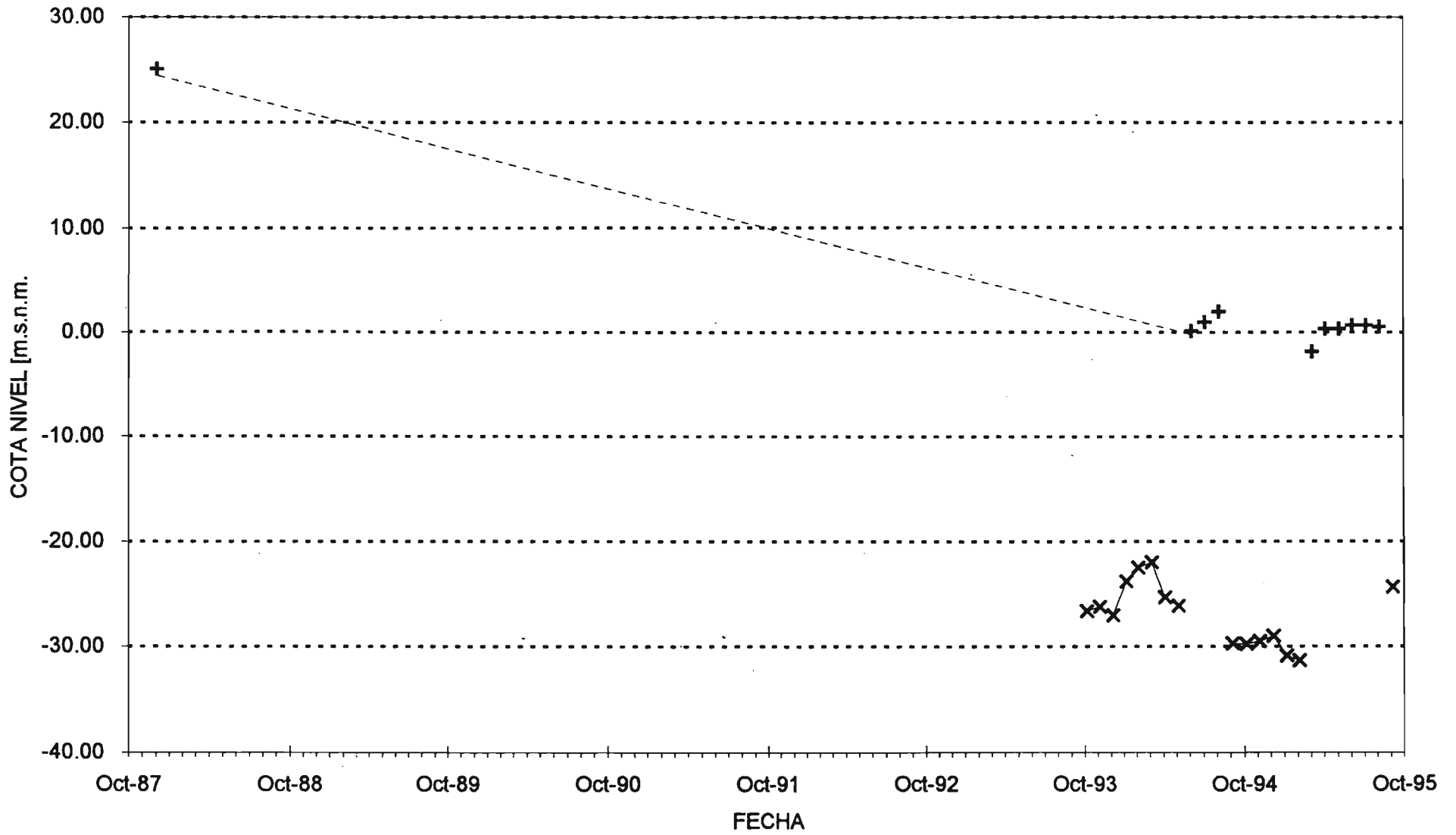
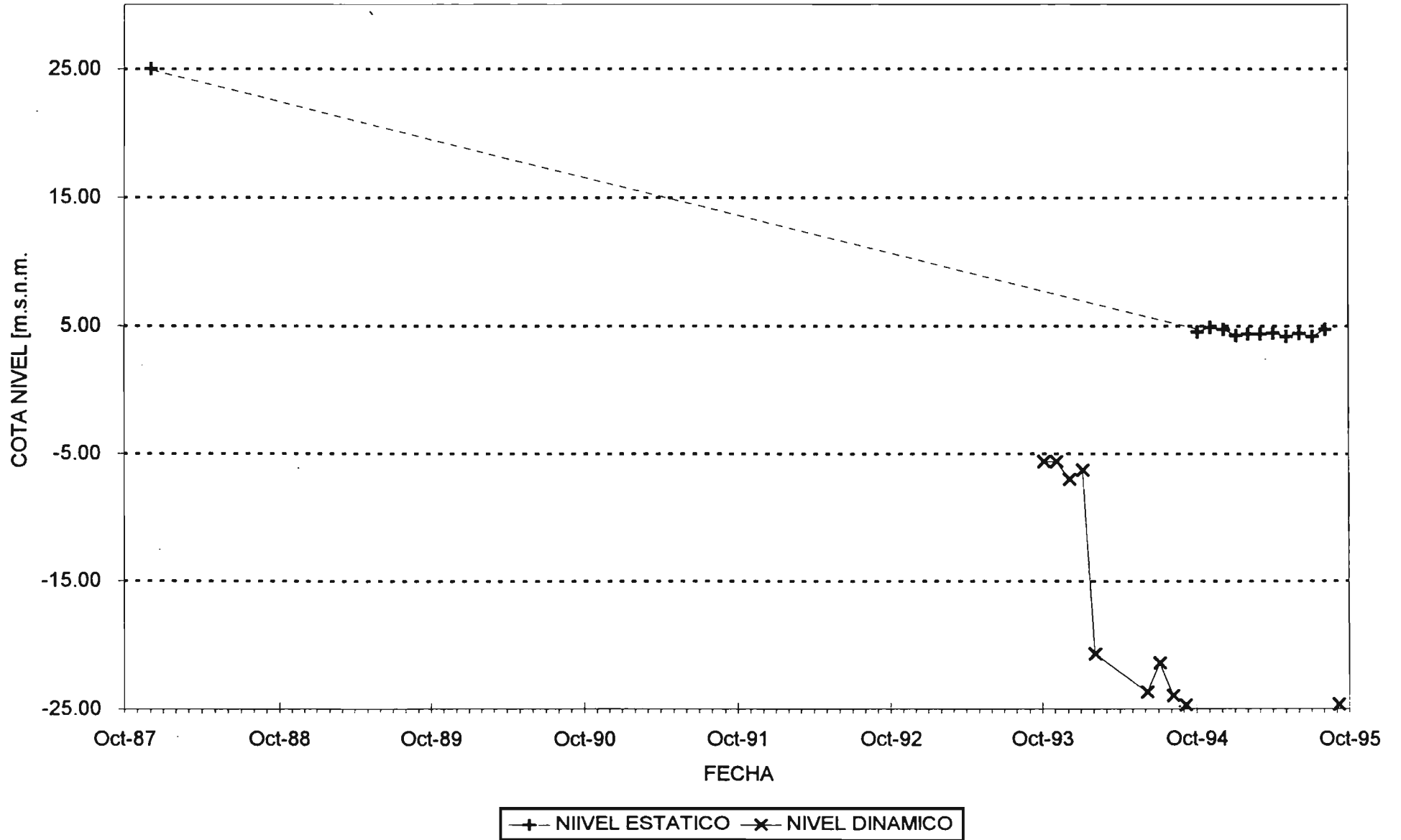


FIGURA 3.4.1-15  
POZO N° 286 ESSAT LOA



+ NIVEL ESTATICO -x- NIVEL DINAMICO

FIGURA 3.4.1-16  
POZO N° 268 ESSAT TUCAPEL





### 3.4.2 Río Lauca

Puesto que la explotación de agua subterránea en el área de estudio actual e histórica ha sido y es muy reducida, la información de niveles estáticos y dinámicos de los pozos existentes es también muy escasa. En el Anexo 3.4-2 se incluyen los niveles estáticos recopilados y medidos como parte del presente estudio.

Respecto a la poca información de niveles de agua subterránea de que se dispone, es posible afirmar que éstos han sufrido una mínima variación desde que los pozos fueron construidos. En efecto, de los catorce pozos existentes, en cinco de ellos no se ha producido variación y han permanecido surgentes desde que fueron construidos (pozos 5, 6, 8, 9 y PECH-4); variaciones menores a 2,4 m se han producido en el resto de los pozos. Lo anterior es producto de la casi nula explotación del acuífero de la zona del río Lauca.

Se ha creído conveniente trazar curvas de igual cota del nivel piezométrico o equipotenciales correspondientes a Mayo de 1996, y no comparar con sus similares en fechas anteriores por la razón ya señalada. Las cotas de terreno de los pozos se determinaron a partir de la nivelación topográfica, excepto los pozos 1, 2, 3 y 4 cuya cota se obtuvo de los estudios geofísicos efectuados con anterioridad.

En el Plano 3.4.2-1 se muestra el trazado de las curvas equipotenciales cada 5 m, abarcando toda la zona de estudio. Dichas curvas fueron obtenidas por simple interpolación entre los datos puntales correspondientes a cada pozo. En algunos sectores las curvas fueron extrapoladas tomando en cuenta fundamentalmente la geomorfología existente en la zona de estudio, intentado de ese modo representar un comportamiento físico real en zonas donde se presentan cerros importantes, o no existen quebradas o cursos de agua que permitan asegurar la presencia de flujo subterráneo.

La orientación general de las curvas equipotenciales es Este-Oeste, perpendiculares al flujo superficial del río Lauca, y el flujo subterráneo, por consiguiente, se orienta preferentemente en dirección Norte-Sur, entre el sector de Baños Morales y donde se ubican los pozos 5 y 9. Desde dicho sector hasta Misitune las curvas toman una orientación Noreste-Suroeste, que coincide con el cambio de dirección del río Lauca, cuyo flujo cambia hacia el Sureste en el sector de Misitune (confluencia de río Vizcachani).

Respecto a los gradientes hidráulicos, entre Baños de Morales y la confluencia de la quebrada Ancochalloane con el río Lauca, éste toma un valor de  $5,3 \times 10^{-3}$ ; entre el sector anterior y los pozos 5 y 9 aumenta a  $6,3 \times 10^{-3}$ , y entre los pozos 5 y 9 y el sector de Misitune disminuye a  $3,3 \times 10^{-3}$ . Los niveles en el sector de Baños de Morales y donde se ubican los pozos 5 y 9 son surgentes, mientras que en la confluencia de la quebrada Ancochalloane al río Lauca fluctúan entre 3,6 m y 1,4 m, pero por sobre el nivel de agua superficial del río Lauca. En Misitune los niveles son surgentes (pozo PECH-4).

En el sector del río Vizcachani, entre los pozos 1, 2 y 3 y la quebrada de Tejene, la orientación de las curvas es Noreste-Suroeste, perpendiculares al río Vizcachani, y el flujo subterráneo se orienta por lo tanto en dirección y sentido Noroeste-Sureste. Entre la quebrada de Tejene y Misitune las curvas toman una orientación perpendicular al río Vizcachani.

Entre el sector canal Lauca en las Rejas y la quebrada Tejene, los gradientes hidráulicos son del orden de  $6,3 \times 10^{-3}$ ; entre Tejene y Misitune disminuyen a  $5 \times 10^{-3}$ . Respecto a los niveles, en el sector de los pozos 1, 2 y 3 se ubican a nivel de terreno; poco aguas arriba de la confluencia de la quebrada Tejene al río Vizcachani (pozo 4), los niveles son cercanos a 1 m bajo el nivel de terreno y en Misitune son surgentes.

En términos generales, se confirma la naturaleza confinada de los acuíferos en toda el área de estudio, y un escurrimiento subterráneo paralelo a los principales cursos superficiales que son río Lauca y río Vizcachani.

También en este caso se incorporó la información de curvas equipotenciales en un formato gráfico que puede ser utilizado para la modelación hidrogeológica.

### 3.5 CONSTANTES ELÁSTICAS

La distribución espacial del coeficiente de transmisibilidad o de permeabilidad es de gran importancia para cualquier estudio cuantitativo de un acuífero y en especial para su modelación numérica. También lo es el coeficiente de almacenamiento para napas confinadas o el rendimiento específico para napas libres. A continuación se presenta el estudio de dichos parámetros en forma separada, tanto para la zona baja (Arica y Azapa) como para la zona altiplánica (Lauca).

#### 3.5.1 Valle de Azapa y Arica

Para la zona del Valle de Azapa y Arica se cuenta con una abundante información sobre el coeficiente de transmisibilidad, la que fue utilizada en el desarrollo del anterior modelo del acuífero del Valle de Azapa (AC-DGA, 1989). También se dispone de información posterior incluida en el más reciente estudio (JICA-DGA, 1995). En el primer caso se dispone de un plano de toda la zona de estudio del Valle de Azapa con la distribución espacial de la transmisibilidad. En el segundo estudio se interpretaron pruebas de bombeo posteriores (1992), estableciéndose valores representativos por sectores. La congruencia entre los valores espaciales del parámetro de ambos estudios es adecuada dada la gran heterogeneidad registrada en el valle. Para el presente estudio se adoptará principalmente la distribución establecida para el desarrollo del anterior modelo y considerando los valores locales determinados en el segundo estudio. Sin perjuicio de lo anterior, la distribución adoptada constituye el punto de partida para el proceso de calibración del modelo.

En el Plano 3.5.1-1 se muestra la distribución espacial del rango de variación del coeficiente de transmisibilidad para el Valle de Azapa y Arica.

En el sector de Cabuza se tienen altos valores de transmisibilidad (hasta de 3.000 m<sup>2</sup>/día). Entre Cabuza y Las Riveras predominan valores en el rango de 1.500 m<sup>2</sup>/día a 2.000 m<sup>2</sup>/día. En el sector de San Miguel se aprecia una mayor amplitud de valores debido la heterogeneidad producida por la confluencia del río San José con la quebrada del Diablo, y en general se observa una disminución de la transmisibilidad a valores de entre 150 m<sup>2</sup>/día y 300 m<sup>2</sup>/día. Entre San Miguel y Las Ánimas predominan valores en el rango de 1.500 m<sup>2</sup>/día a 2.000 m<sup>2</sup>/día. En el sector de Las Ánimas y Pago de Gómez también se observa una dispersión de valores debido a la singularidad hidrogeológica producida por la quebrada de Llosyas. Hacia el sector de Saucache se observa una disminución del coeficiente de transmisibilidad a una rango de entre 150 m<sup>2</sup>/día y 700 m<sup>2</sup>/día. En el sector costero y hacia el norte de Arica los valores son muy bajos (menores de 150 m<sup>2</sup>/día) y un poco mayores hacia el sur (ciudad de Arica), entre 700 m<sup>2</sup>/día a 1500 m<sup>2</sup>/día al suroriente de la ciudad y entre 300 m<sup>2</sup>/día a 700 m<sup>2</sup>/día hacia el sureste.

Los resultados del estudio de JICA-DGA de 1995 tienden a confirmar la sectorización por rangos de transmisibilidad antes descrita. En el sector de Saucache se adopta una valor promedio de 1.200 m<sup>2</sup>/día. En la zona de Pago de Gómez un valor promedio de 1900 m<sup>2</sup>/día y en el sector de San Miguel un promedio de 37 m<sup>2</sup>/día. En este último caso sólo se consideran dos sondajes, y en consecuencia esto estaría correspondiendo a una situación puntual.

Para completar la información de constantes elásticas para el sector costero Norte de Arica, hasta la desembocadura del valle del Lluta, se han utilizado pruebas de bombeo efectuadas recientemente para el presente estudio (Abril 1996) en una noria y un pozo del sector. En la zona antes individualizada existen pocos pozos profundos en los cuales no existen datos de pruebas de bombeo y/o estratigrafía. En el Anexo 3.5-1 se incluyen los datos y la interpretación de las pruebas de bombeo efectuadas en las dos captaciones señaladas del sector. Es necesario indicar que en la interpretación de estas pruebas de bombeo se determinó el parámetro permeabilidad. Para estimar transmisibilidades a partir de las permeabilidades calculadas, se supuso un espesor similar a la diferencia entre el nivel estático en la noria o pozo y su correspondiente profundidad, criterio conservador en la estimación del parámetro.

Respecto del coeficiente de almacenamiento, no se dispone de información de pruebas de bombeo con pozos de observación, por lo que no es posible determinarlo directamente. Sin embargo, muchos autores han considerado un valor de 10% (los acuíferos son mayoritariamente no confinados). En el estudio para desarrollar el anterior modelo del valle de Azapa, se establecieron los siguientes rangos: 13% en Pago de Gómez, 4% en San Miguel, 5% en Las Animas, con un promedio general de 7%.

La información espacial de los rangos de valores del coeficiente de transmisibilidad ha sido digitalizada e incorporada en un formato gráfico que es compatible con el modelo de simulación Visual Modflow, para así facilitar su ingreso y manejo computacional.

### 3.5.2 Valle del río Lauca

En este caso se efectuó una caracterización de las propiedades elásticas de los acuíferos en el área de estudio, a partir de la interpretación de pruebas de bombeo disponibles. Con dichos antecedentes se determinó el valor de la transmisibilidad en cada pozo. En el Cuadro 3.5.2-1 se presentan los valores de transmisibilidad calculados, así como el valor del parámetro adoptado y su rango de validez correspondiente.

A continuación se señalan los criterios tomados en cuenta en la determinación de la transmisibilidad adoptada y su rango correspondiente.

- No se tomaron en cuenta los valores determinados a partir de las pruebas de gasto variable, ya que estos no son representativos de la capacidad real del acuífero para conducir agua subterránea, puesto que los tiempos de bombeo de los distintos caudales que forman parte de la prueba son pequeños, y el nivel dinámico correspondiente no es estabilizado.

- Los valores calculados a partir de las pruebas de recuperación, se tomaron en cuenta sólo si existía un número considerable de puntos medidos.

- En el caso de los pozos PECH, sólo se contó con una prueba de gasto constante correspondiente al pozo PECH-2, adoptándose dicho valor como transmisibilidad representativa. Para los demás pozos de la Minera Vilacollo, se multiplicaron los correspondientes valores obtenidos de las pruebas de gasto variable por el coeficiente

$$C = \frac{T_{\text{gasto constante PECH-2}}}{T_{\text{gasto variable PECH-2}}}, \text{ estimándose así las transmisibilidades representativas}$$

de cada pozo PECH.

CUADRO 3.5.2-1  
TRANSMISIBILIDADES ÁREA DEL RÍO LAUCA

POZO	PRUEBA DE GASTO VARIABLE		PRUEBA DE GASTO CONSTANTE		PRUEBA DE RECUPERACIÓN		TRANSMISIBILIDAD ADOPTADA	RANGO ADOPTADO
	CUANDO SE CONSTRUYÓ	1996	CUANDO SE CONSTRUYÓ	1996	CUANDO SE CONSTRUYÓ	1996		
1	29	--	20 1	--	10	--	15	10-20
2	33	--	9 4 17	--	11	--	10	10-20
3	--	--	--	--	--	--	--	
4	134	47	183	142	851 116	95	140	90-180
5	83	74	21 105	92 114	148	146	120	100-150
6	109	118	226	277	143	108	250	200-300
7	290	121	174 59 57	63	155 92	80	70	60-90
8	280	202	335	413	314	48	370	350-400
9	98	109	122	129	112		120	110-130
10	25	--	12 32	--	54	--	50	
PECH-1	21	--	--	--	--	--	10	
PECH-2	45	--	22	--	--	--	20	20-70
PECH-3	89	--	--	--	--	--	45	20-70
PECH-4	136	--	--	--	--	--	66	20-70

NOTA: En los casos en que en una columna aparece más de un valor, es porque se contó con más de una prueba.

De acuerdo con las transmisibilidades adoptadas, se han determinado sectores o áreas con rangos de isotransmisibilidad obtenidas por simple interpolación de los valores antes señalados.

En términos generales, se puede señalar que el acuífero confinado del área de estudio presenta valores de transmisibilidad más bien baja, en un rango entre 10 y 400 m<sup>2</sup>/día. En el sector de Baños de Morales, específicamente donde se localizan los pozos 6 y 8, es donde el valor de la transmisibilidad es el más alto, entre 200 y 300 m<sup>2</sup>/día en el pozo 6 y entre 350 y 400 m<sup>2</sup>/día en el pozo 8. Este sector corresponde al límite Norte del área de estudio.

Continuando hacia el Sur, las transmisibilidades comienzan a decrecer, hasta llegar al sector de la confluencia de la quebrada Ancochalloane con el río Lauca (pozos 7 y 10) a un valor aproximado de  $60 \text{ m}^2/\text{día}$ ; en el pozo 7 entre  $60$  y  $90 \text{ m}^2/\text{día}$  y  $50 \text{ m}^2/\text{día}$  en el pozo 10.

Siguiendo el curso del río Lauca hacia aguas abajo los valores del parámetro comienzan a aumentar llegando, en el sector de los pozos 5 y 9, a  $120 \text{ m}^2/\text{día}$ ; en el pozo 5 entre  $100$  y  $150 \text{ m}^2/\text{día}$  y en el pozo 9 entre  $110$  y  $130 \text{ m}^2/\text{día}$ .

En el sector del Misitune, donde confluye el río Vizcachani al río Lauca, la transmisibilidad vuelve a decrecer a un valor de  $45 \text{ m}^2/\text{día}$ , con un rango entre  $20$  y  $70 \text{ m}^2/\text{día}$ .

Respecto al acuífero asociado a la cuenca del río Vizcachani, el rango de transmisibilidad varía entre  $10$  y  $140 \text{ m}^2/\text{día}$ . En el sector de los pozos 1, 2 y 3 se tiene un valor aproximado de  $15 \text{ m}^2/\text{día}$ , con un rango entre  $10$  y  $20 \text{ m}^2/\text{día}$ . Hacia el sector de la quebrada Tejene, se tiene un aumento del valor a  $140 \text{ m}^2/\text{día}$ , con un rango entre  $90$  y  $180 \text{ m}^2/\text{día}$ . Desde dicho sector a Misitune se produce un descenso hasta llegar a  $45 \text{ m}^2/\text{día}$ , aproximadamente (rango entre  $20$  y  $70 \text{ m}^2/\text{día}$ ).

Por otro lado, respecto al coeficiente de almacenamiento, no se dispone de antecedentes como para lograr definir valores locales o regionales de dicho parámetro, por cuanto las pruebas de bombeo de gasto constante efectuados se midieron las depresiones en el mismo pozo de bombeo, con excepción del pozo 2, donde se calculó un coeficiente de almacenamiento de  $0,000064$ . No obstante lo anterior, de acuerdo a la bibliografía existente, por la naturaleza del acuífero que se analiza (confinado), cabría esperar valores típicos de entre  $0,0001$  y  $0,003$ , aproximadamente.

La información espacial de los rangos de valores del coeficiente de transmisibilidad también ha sido digitalizada e incorporada en un formato gráfico que es compatible con el modelo de simulación Visual Modflow, para así facilitar su ingreso y manejo computacional

## 3.6 RECARGA Y DESCARGA

### 3.6.1 Valle de Azapa y Arica

#### a) Funcionamiento del Sistema

Las curvas isofreáticas o equipotenciales trazadas, perpendiculares a las líneas de flujo, son en general transversales al valle, con algunas distorsiones menores al llegar a la ciudad de Arica y sector costero, en que por efecto de la intensa explotación de la napa se curvan, especialmente entre Saucache y la costa a lo largo del eje del río, donde se encuentra

la gran mayoría de los sondeos del sector. Desde Saucache hacia el mar, las líneas de flujo muestran una gran depresión de niveles (dinámicos), debido que en dicho sector se localiza la mayor explotación del agua subterránea desde pozos. También influye la baja permeabilidad de los acuíferos costeros.

Pese a que el valle en conjunto constituye un solo sistema, es posible identificar algunas singularidades y características diferentes para diversos sectores del valle, las cuales se señalan a continuación.

Desde Cabuza hacia el mar es posible identificar un primer subsistema comprendido entre ese punto y Albarracines. Dicho sector presenta características hidrogeológicas homogéneas estando limitado aguas abajo por el angostamiento del valle (zona de vertientes) que condiciona la situación de niveles del sector alto respecto de la parte baja de la cuenca. Respecto a las transmisibilidades, ellas disminuyen gradualmente desde Cabuza hacia abajo, excepto en la llegada a Albarracines en que las permeabilidades caen bruscamente y la napa alcanza niveles más altos.

Una singularidad hidrogeológica importante, que se extiende a lo largo de todo el valle, influyendo significativamente en las transmisibilidades medias de cada sección transversal, es la constituida por el relleno ubicado sobre el lecho del río San José. La gran permeabilidad de los estratos acuíferos allí ubicados, especialmente los superficiales, permiten la recarga directa de las ocasionales crecidas.

El segundo subsistema identificado en el sector estudiado, comprende toda el área aguas abajo de Albarracines. Dicho sector, bastante más extenso que el primero, concentra el mayor número de pozos y norias de la cuenca, y existe además bastante más información que en la zona alta, tanto en lo relativo a niveles como respecto a los valores de transmisibilidades. Es así como se ha podido diferenciar zonas con diferentes rangos de transmisibilidad, las que además de la tendencia a la disminución hacia el mar presentan importantes variaciones laterales, con estratos de mayor permeabilidad ubicados en general en el costado sur del valle en torno al río San José.

#### b) Recarga Subterránea

La forma angosta y alargada del valle del río San José y la ausencia de recargas laterales impone un sentido de escurrimiento longitudinal en prácticamente todo el valle, excepto en las cercanías de la costa.

Respecto al flujo que ingresa en forma subterránea al sistema, se estimó preliminarmente para la sección de Cabuza un caudal medio de 400 l/s pudiendo variar en el rango de 300 a 500 l/s (considerando una transmisibilidad de entre 2.000 y 3.000 m<sup>2</sup>/d, un gradiente medio de 1,4% y un ancho promedio del valle de 1.000m). Dicha cifra es precisada en el modelo de hidrogeológico donde corresponde a un resultado de la simulación.

c) Recarga desde los Cauces y Zonas de Riego

Esta recarga está dada por la percolación desde el canal Azapa y sus derivados y desde los sectores de riego. En el Anexo 3.6-1 se entregan detalles sobre las bases de cálculo y resultados.

Para la determinación de las pérdidas de agua de la red de canales del sistema de riego de Azapa, se ha considerado el estudio anterior para la modelación (AC-DGA, 1989), actualizando lo pertinente mediante una campaña de terreno. En dicha campaña de terreno se contó con la asesoría de la Comunidad de Aguas Canal Azapa, COMCA. Para el cálculo de las pérdidas en los canales del sistema de riego del Valle de Azapa, se consideraron en forma separada los revestidos y los de tierra (Ver Anexo 3.6-1). Para los efectos prácticos de cálculo de pérdidas para el modelo de simulación hidrológica, las fórmulas se expresan en términos de porcentaje del caudal en bocatoma ( $Q_b$ ).

Sobre la base de recorridos efectuados al sistema de riego del canal Azapa, del estado de conservación y de funcionamiento de cada tramo del canal matriz y de las bases y criterios de cálculo indicados en el Anexo 3.6-1, se obtuvieron los porcentajes de pérdida con respecto al caudal captado en bocatoma que se entregan en el anexo mencionado.

A modo de ejemplo, si el caudal en bocatoma Azapa es de 500 l/s, la pérdida actual para todo el canal matriz sería de aproximadamente 48 l/s y para todos los canales derivados del orden de 40 l/s, totalizando unos 90 l/s desde los canales de riego como percolación al acuífero

La percolación a la napa que produce cada sector de riego del Valle de Azapa, se determinó para el período 1989 - 1996, expresados como porcentaje del agua recibida en en cada sector, es decir, la percolación se determina fundamentalmente a partir de los caudales que ingresan a las zonas de riego y de la forma en que éste se realiza. La ubicación de los sectores de riego se señala en el capítulo sobre la descripción de la infraestructura de riego (punto 5.1.1 y Figura 5.1.1-1).

Otros antecedentes utilizados fueron obtenidos de la visitas a terreno realizadas, con la asesoría de los técnicos de la asociación de regantes COMCA, que permitieron obtener los datos específicos requeridos.

En el Anexo 3.6-2 se entregan los promedios ponderados según el número de acciones de cada sector, del aporte del riego a la napa y de la evolución del riego tecnificado en el valle. El detalle de los cálculos y los valores para cada sector de riego se entregan también en el mencionado anexo.

La percolación hacia el acuífero ha ido disminuyendo cada vez más rápido entre el año 1989 y el año 1996. En 1989 era de un 26%, como promedio ponderado según el número



de acciones, respecto del caudal en bocatoma y en 1996 dicha cifra se calculó en alrededor de 18%. Por ejemplo, para un caudal de 500 l/s en bocatoma, la percolación total desde las zonas de riego sería actualmente de alrededor de 90 l/s.

Por último, cabe mencionar que el modelo no considera desfase de tiempo, entre el evento recarga y el efecto en el acuífero por razones constructivas del modelo numérico de simulación. Si se justificara incorporar un desfase temporal, los datos debieran ser ingresados de forma adecuada para considerar el desfase. En cuanto a la presente modelación y considerando que los períodos de definición de variables externas al sistema (“stress period”) son de 6 meses, no se consideró necesario efectuar tal procedimiento.

d) Recarga por Pérdidas en la Red de Agua Potable

Para el desarrollo del anterior modelo de simulación (AC-DGA, 1989), se efectuó el cálculo de las pérdidas de la red de agua potable de Arica que percolan hacia el acuífero. Lo anterior se realizó a partir de la información de producción real y consumos facturados de la población y considerando que sólo un 15% de la diferencia o pérdida total (fugas superficiales, pérdidas domiciliarias, robos, grifos, etc.) se produce en las redes de distribución. Dicha fracción sería la que efectivamente contribuye a la recarga del acuífero. Si la pérdida total es de un 40%, la percolación sería del orden de un 6% de la producción total que representan 36 l/s en la actualidad. La recarga por este concepto es de pequeña magnitud en relación a las otras recargas. Con las cifras de la demanda de producción de agua potable que se entregan en el punto 5.2, se puede calcular la pérdida para otros años.

e) Recarga por las Crecidas

Por último, mención especial hay que efectuar respecto de las crecidas del río San José. Para cuantificar el efecto de las crecidas ocurridas en el río San José como recarga a las napas, en el anterior estudio (AC-DGA, 1989), se relacionó los caudales de afloros aislados efectuados simultáneamente en la estación San José antes bocatoma Azapa y en San José en puente Saucache. El análisis de los datos para esta regresión resultó muy buena, con un coeficiente de correlación de 0,92. De acuerdo a dicha relación los caudales en ambos puntos están dados por:

$$QSJPS = 500,0 + 0,52 * QSJAB \quad (l/s)$$

donde QSJPS es el caudal en el río San José en puente Saucache y QSJAB el caudal en el río San José antes bocatoma.

Esta relación permite obtener el caudal que llegaría al puente Saucache, de modo que ella involucra la extracción del canal y las pérdidas del río en todo el desarrollo. En dicha relación, el caudal que llega al puente Saucache es cero si el caudal en el río antes de la bocatoma es menor o igual a 961 l/s, siendo válida la relación para caudales mayores o iguales al indicado. Para valores menores, el caudal en el río San José en Saucache se considera igual a cero, es decir, todo el caudal no captado en la bocatoma del canal Azapa y que sigue por el cauce natural del río hacia aguas abajo percolaría en el tramo señalado.

Si al caudal del río antes de bocatoma Azapa se le descuenta el caudal en Saucache y la extracción del canal Azapa, se obtiene una diferencia que representa las pérdidas del río en el tramo señalado.

Como criterio de distribución de las recargas desde el río entre la bocatoma y la desembocadura en el mar, se escogió la longitud del río para cada tramo. De este modo, los porcentajes para distribuir la percolación total del río son los siguientes: 58% tramo Bocatoma-Cabuza, 17% tramo Cabuza-Albarracines y 25% tramo Albarracines-Saucache.

Los resultados de la simulación del flujo superficial, se incorporaron directamente como recarga uniformemente distribuida en cada sector antes mencionado y en la proporción establecida.

#### f) Descarga por Explotación y Vertientes

La descarga del sistema subterráneo se producía históricamente en forma natural como vertientes. Artificialmente se descarga agua subterránea, en diferentes sectores del valle, por la explotación desde pozos, siendo ésta la más importante en magnitud. Prácticamente nula sería la descarga al mar.

La descarga natural estuvo de manera histórica dada por los caudales de afloramiento de 15 vertientes entre Cabuza y el mar y por la descarga al mar del acuífero. Respecto a las vertientes, ellas se concentran en dos áreas específicas: 11 en Las Riveras Albarracines y las 4 restantes en Las Animas. Dichos afloramientos eran producto de la disminución del ancho del valle y de la disminución local de la transmisibilidad. La magnitud de dichos caudales de afloramiento varió considerablemente en el pasado, pudiendo en algunos casos hacerse nulos. Un control realizado por la DGA entre 1964 y 1985 indica que dichos caudales variaban entre 70 y 440 l/s en Albarracines, siendo menos importantes en Las Animas, con totales que fluctuaban entre 0 y 150 l/s. Actualmente todas las vertientes se encuentran secas o con caudales mínimos no aprovechables. El agotamiento de las vertientes se ha debido al descenso generalizado de niveles que afecta al valle los últimos años.

En relación a la descarga neta al mar, ella sería muy pequeña o casi despreciable, por tratarse de un punto terminal del sistema que está siendo sobreexplotado y

puesto que existe una desconexión entre el mar y el acuífero según los antecedentes de formaciones acuíferas, tampoco existiría un ingreso de agua de mar en forma apreciable hacia las napas profundas. Lo anterior quedó corroborado con la interpretación de los contenidos de isótopos ambientales para las aguas del acuífero costero, las que se diferencian notablemente con las del mar (ver Anexo 3.6-3). Incluso los contenidos del agua subterránea son muy similares al de las aguas de la cuenca intermedia del río San José (sector precordillerano), coincidiendo con el hecho de que el agua del sector costero provendría únicamente del aporte subterráneo desde el valle de Azapa, gracias a la conexión entre las formaciones cuaternarias del valle (depósitos fluviales aterrazados) con los estratos permeables de la unidad sedimentaria costera. Los aspectos funcionales y dinámicos se estudiarán en mayor detalle durante el desarrollo del modelo hidrogeológico y su calibración.

La descarga artificial, por su parte, mucho más importante que la descarga natural, se produce a través de los pozos de explotación. La tendencia histórica sería a un aumento de las extracciones totales, desde 1950 en adelante, con un caudal total de alrededor de 820 l/s en 1988 (AC-DGA, 1989) y de alrededor de 1.000 l/s según reciente censo de terreno.

El detalle de la distribución espacial y temporal de la explotación por bombeo para la zona de estudio, reconstruida a partir de las encuestas de terreno, se entrega en el punto 3.3 (Uso de las Aguas Subterráneas).

### 3.6.2 Río Lauca

Con el objeto de facilitar la conceptualización del modelo hidrogeológico de la zona del río Lauca, se ha efectuado una sectorización hidrogeológica definiendo sectores con características relativamente similares. En la interpretación del funcionamiento hidrogeológico de esta zona, se consideró toda la información antes analizada. Además, se utilizó como apoyo la interpretación de los contenidos de isótopos ambientales (deuterio y oxígeno-18) de aguas superficiales y subterráneas muestreadas en el sector altiplánico y prealtiplánico (ver Anexo 3.6-3).

Cabe señalar en forma general que el acuífero principal que puede ser explotado y que se modelará, corresponde a una unidad hidrogeológica permeable alojada dentro de las formaciones ignimbríticas con características confinadas y surgentes en algunos sectores. En consecuencia, se tiene una total desconexión con el flujo superficial del río Lauca en el tramo de estudio. El origen del agua que recarga el acuífero confinado así como la que alimenta el curso superficial es el mismo. Sin embargo, estas últimas aguas sufren de un proceso evaporativo identificado claramente en los resultados de los análisis isotópicos (ver Figura A.3.6.3-1 del anexo ya citado).

i) Sector Baños de Morales

En este sector se incluyen los pozos 6 y 8, y corresponde al límite Norte del área de estudio. Se caracteriza por presentar las más altas transmisibilidades, agua subterránea claramente surgente, espesores del acuífero de 130 m, aproximadamente, ubicándose el techo del mismo a 80 m del nivel del terreno. Los gradientes del agua subterránea son cercanos a  $5 \times 10^{-3}$ , mientras que los caudales específicos de los pozos 6 y 8, correspondientes a las pruebas de bombeo de gasto constante efectuadas recientemente, son de 1,4 y 2,4 l/s/m, respectivamente; la roca fundamental se localiza a 300 m de profundidad, la cual fue determinada a través de gravimetría.

ii) Sector confluencia quebrada Ancochalloane con río Lauca

Esta zona incluye los pozos 7, 10, 9 y 5, y se caracteriza por presentar transmisibilidades del orden de  $100 \text{ m}^2/\text{día}$ , espesores del acuífero entre 130 m y 275 m, localizándose el techo del mismo a 50 m de profundidad bajo el nivel del terreno. En las pruebas de bombeo de gasto constante efectuadas en el primer semestre de 1996, se determinaron caudales específicos entre 0,6 y 1,2 l/s/m; en el pozo 10 se determinaron 0,2 l/s/m, que correspondió al caudal específico cuando éste se construyó, ya que en el año en curso no se efectuó la correspondiente prueba. Respecto a los gradientes hidráulicos, éstos son del orden de  $5 \times 10^{-3}$ ; la roca basal alcanza profundidades entre 320 m y 380 m, aproximadamente.

iii) Sector Misitune

Abarca la zona donde se localizan los pozos PECH de la minera Vilacollo, y es donde el río Vizcachani confluye al río Lauca. Este sector presentó particularidades que lo hacen ser muy diferentes a las demás zonas que incluyen el área de estudio. En efecto, el espesor del acuífero en esta zona es de sólo 35 m, ubicándose el techo del mismo a 35 m de profundidad; es interesante señalar que los pozos PECH cortaron roca ignimbrita a 70 m de profundidad. Las transmisibilidades son bajas y fluctúan entre 10 y  $70 \text{ m}^2/\text{día}$ ; los gradientes son del orden de  $3 \times 10^{-3}$  y el agua subterránea se manifiesta surgente en el pozo PECH 4. Respecto a los caudales específicos que entregaron los pozos, se cuenta con información de las pruebas de bombeo de gasto constante cuando éstos fueron construidos, donde se determinaron valores entre 0,2 l/s/m (PECH-1) y 1,2 l/s/m (PECH-4); la roca basal se determinó a través de gravimetría a 320 m de profundidad.

iv) Sector Vizcachani Alto

Se caracteriza por presentar condiciones hidrogeológicas muy pobres, con transmisibilidades del orden de  $15 \text{ m}^2/\text{día}$ , gradientes cercanos a  $6 \times 10^{-3}$ , y caudales específicos entre 0,1 y 0,2 l/s/m, sin tomar en cuenta el pozo 3 donde no se llevó a cabo una prueba de gasto constante; lo anterior se refiere a las pruebas cuando los pozos fueron construidos.

## v) Sector Vizcachani Lauca

En esta zona se localiza el pozo 4, que en estricto rigor está perforado en la quebrada de Tejene, ésta última afluente al río Vizcachani. Las transmisibilidades fluctúan entre 100 y 140 m<sup>2</sup>/día, mientras que los gradientes son de  $5 \times 10^{-3}$ . El espesor del acuífero es del orden de 200 m, encontrándose el techo del mismo a 60 m de profundidad, aproximadamente. Respecto al caudal específico del pozo 4, obtenido de la prueba de bombeo de gasto cónstante realizada recientemente, es de 0,4 l/s/m.

A modo de resumen, se presenta en el Cuadro 3.6.2-1 una cuantificación de las principales características hidrogeológicas ya señaladas.

CUADRO 3.6.2-1  
CUANTIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA POR SECTORES EN EL RÍO LAUCA

Sector	Transmisibilidad (m <sup>2</sup> /día)	Gradiente (°/1)	Espesor Acuífero (m)	Techo Acuífero (m)	Caudal Específico (l/s/m)	Profundidad Roca Basal (m)
Baños de Morales	200-400	$5 \times 10^{-3}$	130	80	1,4 - 2,4	300
Incochalloane-Pozos 9 y 5	50-150	$6 \times 10^{-3}$	130 - 275	50	0,6 - 1,2	320 - 380
Misitune	10-70	$3 \times 10^{-3}$	35	35	0,2 - 1,2	320
Sector Pozos 1, 2 y 3	10-20	$6 \times 10^{-3}$	----	----	0,1 - 0,2	----
Q. Pujullani-Pampa Quellacota	100-140	$5 \times 10^{-3}$	200	60	0,4	----

Las recargas y descargas al acuífero confinado están dadas principalmente por los flujos subterráneos que ingresan y salen de la zona de estudio. Ellas serán determinadas a partir de la información hidrogeológica y la geometría del acuífero y estimadas con la ayuda del modelo hidrogeológico en forma preliminar a la modelación definitiva. La explotación desde los sondeos corresponde a la indicada en el catastro de captaciones de la zona.

## ESTUDIO DE CALIDAD DE AGUAS

El objetivo de este estudio fue el de analizar y caracterizar la información disponible para luego elaborar un modelo de calidad del agua subterránea del sistema capaz de describir su comportamiento espacial y temporal.

Para analizar espacialmente la calidad de las aguas del sistema considerado se tomó como base la campaña de muestreo realizada entre los meses de marzo y mayo de 1996 y la información contenida en el estudio "Monitoreo Cuenca Valle de Azapa - Arica", hecho por Ayala, Cabrera y Asociados Ltda., en 1995. La campaña de muestreo incluyó la determinación, en distintos puntos a lo largo del sistema, de diversos parámetros de calidad de agua: pH, temperatura, Boro, Carbonatos, Bicarbonatos, Cloruros, Sulfatos, Nitratos, Dureza, Calcio, Magnesio, Arsénico, Hierro, Sodio y Potasio. En cuanto al segundo estudio, éste contiene información de la calidad del agua de los pozos ubicados en el sector del Valle de Azapa y Arica.

En los Cuadros A.4-1 a A.4-4 del Anexo 4-1 se presentan los resultados generales obtenidos en la campaña de muestreo. La ubicación de los puntos de muestreo en la zona altiplánica y Valle de Azapa se presentan en los Planos 4-1 y 4-2.

Los puntos de muestreo considerados están ordenados desde aguas arriba hacia aguas abajo según su distancia aproximada siguiendo el curso de las aguas, a partir del afluente al lago Chungará (punto L12). El eje principal que se analizó fue el formado por el lago y canal Chungará, laguna Cotacotani, río Lauca, canal Lauca y río San José. Separadamente se analizó el tramo del río Lauca aguas abajo de la bocatoma del canal Lauca. En el Cuadro 4-1 se presentan los kilometrajes de los diferentes puntos característicos azalizados.

El estudio de la tendencia temporal de la salinidad en el acuífero del Valle de Azapa se realizó en base al Estudio de Monitoreo de la Cuenca de Azapa, desarrollado por Ayala, Cabrera y Asociados para ESSAT, y que abarca los años 1993 a 1996. También se utilizó algunos análisis esporádicos realizados por ESSAT entre 1967 y 1992, que forman parte de los antecedentes del estudio mencionado. En los Cuadros A.4-5 al A.4-11 del Anexo 4-1 se presenta la información de estos muestreos.

CUADRO 4-1  
DISTANCIAS DE LOS PUNTOS CARACTERÍSTICOS DEL SISTEMA

Punto	km
Lago Chungará	0,0
Laguna Cotacotani	18,2
Bocatoma canal Lauca	30,9
Baños Morales	35,2
Estero Ancochalloani	41,8
Estero Vizcachani	48,3
Canal Lauca en Las Rejas	58,8
Desc. Central Chapiquiña	72,9
Quebrada Laco	78,9
Río Tignamar	83,8
Bocatoma del Canal Azapa	120,9
Valle de Azapa	135,0
Arica	160,0

#### 4.1 ALCANCES DEL ESTUDIO DE CALIDAD DE AGUAS

El estudio de calidad de aguas comprendió la realización de una campaña de muestreo de las aguas superficiales y subterráneas en las cuencas del río Lauca y del río San José y en el Valle de Azapa. Esta campaña de muestreo se realizó entre el 27 de marzo y el 17 de mayo de 1996. El muestreo incluyó 71 puntos de la zona en estudio, 29 de los cuales corresponden a muestras de agua superficial y el resto a muestras de agua subterránea. En el caso de los muestreos de aguas superficiales la finalidad fue más bien la de remuestrear a fin de revisar los resultados de algunos de los puntos con mediciones tomadas en estudios anteriores, sobretodo para el caso del sector alto de la cuenca del río Lauca.

Además se utilizó la información disponible de calidad del agua relacionada con la salinidad en el sector del Valle de Azapa, y la evolución temporal de los parámetros más indicativos. En ese contexto, se procesó la información de contenido de cloruros y conductividad eléctrica incluida en el Estudio de Monitoreo de la Cuenca de Azapa, realizado por Ayala, Cabrera y Asociados para ESSAT, que abarca los años 1993 a 1996 y en los análisis esporádicos realizados por ESSAT entre 1967 y 1992.

## 4.2 CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS SUPERFICIALES

En las Figuras A.4-1 a la A.4-34 del Anexo 4-1 se muestra el comportamiento general de cada uno de los parámetros de calidad de agua determinados para los distintos puntos de muestreo de los cursos de agua superficial, a medida que las aguas se van acercando al mar. A continuación se detalla la situación de cada uno de los parámetros.

### pH

Prácticamente todas las muestras presentan valores alcalinos de pH. Se observa una tendencia decreciente de estos valores desde el sector del lago Chungará, laguna Cotacotani y río Lauca, con valores del orden de 9, hasta llegar al Valle de Azapa (Km 135), donde se alcanzan valores de pH inferiores a 8,5<sup>1</sup>.

En el río Lauca, aguas abajo de la bocatoma del canal Lauca (Km 30,9), los valores del pH oscilan entre 7,5 y 8,5, aparentemente sin una tendencia definida.

En el lago Chungará se aprecia un aumento del pH en aproximadamente dos unidades, entre la entrada (punto de muestreo L12) y la salida del lago (punto de muestreo L13).

### Temperatura

En general, en todo el sistema se presentan valores de temperatura altos, en torno a los 21 °C.

También se observa que las temperaturas decrecen a medida que las aguas se acercan al mar. En el sector del río Lauca las temperaturas son del orden de 22 °C y van disminuyendo paulatinamente hasta temperaturas del orden de 20 °C en el Valle de Azapa (Km 135).

### Boro

En la mayoría de los puntos de muestreo la concentración de boro supera el valor límite establecido por la norma chilena de riego, de 0,75 mg/l. La mayoría de las muestras, salvo casos puntuales, presentan niveles de boro inferiores a 2 mg/l.

---

<sup>1</sup> Límite superior establecido por la Norma Chilena Nch 409, sobre requisitos para el agua potable.



Entre la entrada y la salida del lago Chungará se produce un aumento en la concentración de boro de 0,55 mg/l a 1,24 mg/l. Aguas abajo, en los sectores del río y canal Lauca (Km 30 al Km 121), las concentraciones de boro se mantienen en torno a 1 mg/l o inferiores a este valor.

Siguiendo el río Lauca, aguas abajo de la bocatoma del canal Lauca (Km 30,9), las concentraciones de boro se reducen rápidamente, alcanzando niveles entre 0 y 0,2 mg/l.

En la cuenca del río San José se produce un aumento en los niveles de boro, posiblemente asociado a los aportes que recibe el río. En este sector se tienen concentraciones superiores a 1 mg/l e incluso un valor puntual de 7,4 mg/l (quebrada Gallinazos en el Km 135).

### **Carbonatos y bicarbonatos**

La concentración de carbonatos en los cursos de agua superficiales disminuye hacia aguas abajo desde valores del orden de 50 mg/l, en los primeros kilómetros del río Lauca, hasta la ausencia total de carbonatos en el Valle de Azapa (Km 135). Esto se puede explicar por la baja solubilidad del carbonato, que permite que precipite antes de llegar al mar. Para el mismo tramo el bicarbonato se presenta en general en mayores concentraciones que el carbonato, manteniendo un nivel uniforme en torno a 200 mg/l.

En el lago Chungará se produce un aumento muy marcado del nivel de carbonatos y bicarbonatos. Las concentraciones de carbonato y bicarbonato a la entrada de lago son de 0 y 78 mg/l, en tanto en el efluente del lago estas concentraciones aumentan a 262 y 290 mg/l, respectivamente.

En tanto en el río Lauca, aguas abajo de la bocatoma del canal Lauca (Km 30,9), se reducen los niveles de carbonatos y bicarbonatos llegando a concentraciones de 0 y 50 mg/l, respectivamente, aguas abajo del estero Vizcachani (Km 48).

### **Cloruros**

A lo largo de los cursos de agua se observa una leve tendencia al aumento de las concentraciones de cloruros desde niveles de 40 mg/l en el río y canal Lauca hasta valores de 60 mg/l en la bocatoma del canal San José. Llegando a la costa los niveles de cloruros tienen un fuerte aumento asociado al fenómeno de intrusión salina, alcanzándose posiblemente en la vertiente Conchalique valores cercanos a los 300 mg/l.

También se observa un importante aumento de la concentración de cloruro, de 4,4 a 95,9 mg/l, luego del paso del agua por el lago Chungará.

Finalmente, en el río Lauca, aguas abajo de la bocatoma del canal Lauca (Km 30,9), la concentración de cloruros disminuye hasta alcanzar niveles del orden de 15 mg/l en el sector del estero Vizcachani (Km 48). Esta disminución está asociada a las bajas concentraciones de cloruros (entre 9 y 22 mg/l) de los aportes de este tramo (esteros Ancochalloani y Vizcachani y quebrada Laco).

### **Sulfatos**

Salvo a la salida del lago Chungará, en que la concentración supera los 550 mg/l, el nivel de sulfato se mantiene uniforme en torno a 125 mg/l, en todo el sector del canal Lauca y río San José, hasta llegar al Valle de Azapa (Km 135), donde las concentraciones se elevan hasta 525 mg/l.

En el río Lauca, después de la bocatoma del canal Lauca, la concentración de sulfatos disminuye a valores del orden de 50 mg/l, dado que los afluentes a este tramo del río presentan bajas concentraciones de sulfato (entre 12 y 55 mg/l).

### **Nitratos**

En general, en los cursos superficiales se presentan bajas concentraciones de nitrato (inferiores a 0,3 mg/l), salvo casos puntuales como el río Chungará, afluente al lago Chungará, el río Lauca antes del estero Ancochalloani (Km 41,3) y el río Seco, luego de la descarga de la central hidroeléctrica Chapiquiña (Km 73). En estos últimos puntos las concentraciones de nitrato son de 0,5, 1,4 y 0,9 mg/l, respectivamente. En todo caso estos valores están muy por debajo del límite máximo establecido por la Norma Chilena NCh 409 sobre requisitos para el agua potable, que permite concentraciones de nitratos de hasta 10 mg/l.

### **Dureza total, calcio y magnesio**

Tanto en el sector del río y canal Lauca como en el sector del río San José se presentan valores uniformes de la dureza, calcio y magnesio, del orden de 280 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ , 90 mg/l y 15 mg/l, respectivamente. Estos niveles aumentan significativamente en el sector del Valle de Azapa (Km 135) donde se presentan valores de dureza superiores a 700 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  y concentraciones de calcio y magnesio del orden de 250 y 40 mg/l, respectivamente.

En los tramos mencionados anteriormente el sistema presenta aguas muy duras, con niveles de dureza típicos del orden de 280 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ .

Aguas abajo de la bocatoma del canal Lauca (Km 30,9), el río Lauca presenta niveles más bajos de dureza, calcio y magnesio, los que se explican por los aportes de aguas con durezas inferiores a los 125 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ . Los niveles de calcio y magnesio se reducen, en este tramo, a niveles del orden de 20 y 10 mg/l, respectivamente.

Un importante aumento de los niveles de dureza total, calcio y magnesio se observa luego del paso del agua por el lago Chungará. La dureza total aumenta de 130 a 950 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ , la concentración de calcio, de 26,5 a 268,5 mg/l y la concentración de magnesio lo hace de 15,6 a 68,1 mg/l.

### **Arsénico**

Entre la entrada y la salida del lago Chungará se produce un aumento en concentración de arsénico de 0.011 a 0.021 mg/l. Aguas abajo, la concentración de arsénico aumenta superando los 0,05 mg/l en algunos puntos del canal Lauca (Km 57), del río Lauca (Km 33,7) y del río San José (Km 108). Finalmente, en el Valle de Azapa (Km 135) el nivel de arsénico vuelve a ubicarse bajo los 0,03 mg/l.

La máxima concentración de arsénico encontrada en los cursos superficiales del sistema, de 0,059 mg/l, supera levemente los 0,05 mg/l<sup>1</sup>.

### **Hierro**

Para el tramo que comprende al canal Lauca y río San José (Km 30 al Km 121), las concentraciones de hierro observadas se mantienen en general bajo 0,3 mg/l<sup>1</sup>, o en torno a este valor. En un caso puntual, en San José en Livicar, luego de la descarga del río Tignamar, la concentración de hierro llega a 1,05 mg/l.

En el río Lauca, después de la bocatoma del canal Lauca (Km 30,9), las concentraciones de hierro se mantienen bajo los 0,2 mg/l aumentando a 0,3 mg/l, aguas abajo del aporte del estero Ancochalloani, y llegando a concentraciones del orden de 1,2 mg/l en el sector del estero Vizcachani (Km 48). Estos esteros presentan concentraciones de hierro de 0,35 y 3,66 mg/l, respectivamente.

Finalmente, en los puntos de muestreo de los cursos superficiales del Valle de Azapa no se detectó presencia de hierro.

---

<sup>1</sup> Límite superior establecido por la Norma Chilena Nch 409, sobre requisitos para el agua potable.

## **Sodio**

Entre la entrada y la salida del lago Chungará se produce un aumento de la concentración de sodio de 18 a 235 mg/l. A esto se suma el aporte a la laguna Cotacotani del estero El Encuentro, con 150 mg/l de sodio.

Luego de la incorporación de otros aportes a la laguna Cotacotani, aguas abajo, en el sector de la bocatoma del canal Lauca (Km 30,9) se presentan concentraciones de sodio del orden de 70 mg/l. A lo largo de este canal y del río San José hay una leve tendencia creciente de la concentración de sodio llegando a valores del orden de 80 mg/l en el sector de la bocatoma del canal San José. Aguas abajo, en el Valle de Azapa (Km 135), se registran mayores concentraciones de sodio, llegando a 176 mg/l en la quebrada Gallinazo.

Por otra parte en el río Lauca, aguas abajo de la bocatoma del canal, disminuyen los niveles de sodio a concentraciones del orden de 30 mg/l.

La relación entre las concentraciones de sodio y de cloruros disminuye hacia aguas abajo, lo que indica la presencia de otros cationes ligados a los cloruros.

## **Potasio**

Luego del paso por el lago Chungará se aprecia un aumento en la concentración de potasio desde 3,2 a 46 mg/l. Aguas abajo, en el canal Lauca y el río San José, el potasio mantiene una tendencia ligeramente decreciente desde valores del orden de 11 mg/l en el sector de la bocatoma del canal Lauca (Km 30,9), hasta valores del orden de 7 mg/l en el Valle de Azapa (Km 135).

En tanto en el río Lauca, aguas abajo de la bocatoma del canal, la concentración de potasio disminuye hasta valores del orden de 4 mg/l, en el sector del estero Vizcachani (Km 48).

## **Conductividad eléctrica**

Se observa un importante aumento de la conductividad eléctrica, de 275 a 2.053  $\mu\text{mho/cm}$ , luego del paso del agua por el lago Chungará.

En el sector de la bocatoma del canal Lauca, las aguas superficiales presentan niveles de conductividad eléctrica del orden de 800  $\mu\text{mho/cm}$ .

Finalmente, en el río Lauca, aguas abajo de la bocatoma del canal Lauca (Km 30,9), los niveles de conductividad eléctrica disminuyen hasta alcanzar niveles del orden de 250  $\mu\text{mho/cm}$ .

## 4.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

### 4.3.1 Tendencia espacial

En los puntos siguientes se describe la calidad de las aguas subterráneas del sistema para cada parámetro. En los Cuadros A.4-3 y A.4-4 del Anexo 4-1 y en las Figuras A.4-35 a la A.4-62 se presenta el perfil de los distintos parámetros en función de la posición de los pozos a lo largo del valle, siguiendo el mismo eje de coordenadas utilizado en el caso de los cursos superficiales.

### **pH**

En dos pozos de la Dirección de Riego, N°1 y N°3, se presentan valores ácidos del pH, de 4,18 y 3,49, respectivamente. En uno de estos casos, en el pozo D. R. N°1, Km 58, el bajo valor del pH está asociado a un alto nivel de hierro en el pozo (26 mg/l).

En el resto de los pozos se observa valores uniformes de pH, entre 7 y 8 unidades.

### **Temperatura**

Aguas arriba de la Central Chapiquiña, en los sectores del río Lauca, canal Lauca y río San José aguas arriba de la bocatoma del canal San José, las temperaturas medidas se presentan entre 20 y 23 °C. En tanto en el sector del Valle de Azapa y Arica las temperaturas de los pozos se distribuyen en un rango mayor, entre 12 y 25 °C.

### **Boro**

En los pozos ubicados en torno al canal Lauca, y aguas arriba de éste, las concentraciones de boro medidas no superan los 0,4 mg/l.

La concentración de boro aumenta en los pozos ubicados en torno al río Lauca aguas abajo de la bocatoma del canal Lauca, llegando a valores del orden de 0,5 mg/l (puntos de muestreo L32 y L36) y, en un caso puntual (pozo L35) a 3,27 mg/l.

En el Valle de Azapa y el sector de la ciudad de Arica, la concentración de boro toma diversos valores entre 0,3 y 2 mg/l. En la mayor parte de estos pozos se supera el valor de 0,75 mg/l, límite máximo para las aguas de riego según la normativa chilena.

### **Carbonatos y Bicarbonatos**

No se detectó presencia de carbonatos en ninguno de los puntos de muestreo de la aguas subterráneas del sistema.

En los pozos ubicados en torno al río Lauca la concentración de bicarbonatos no supera los 40 mg/l hasta el Km 45. Los pozos ubicados aguas abajo presentan mayor concentración de bicarbonatos de 42, 50 y hasta 105 mg/l (puntos de muestreo L32, L35, y L36).

Por otro lado, en el sector del Valle de Azapa y en la ciudad de Arica, la concentración de bicarbonatos aumenta junto con la proximidad del mar (Km 170), desde concentraciones del orden de 180 mg/l (Km 144) hasta valores del orden de 250 mg/l (Km 169,4)

### **Cloruros**

En torno al río Lauca y al canal Lauca, las aguas subterráneas presentan bajos niveles de cloruros, entre 7 y 25 mg/l.

Los pozos del sector de Arica y el Valle de Azapa presentan altas concentraciones de cloruro, que en la mayoría de los casos sobrepasa los 250 mg/l<sup>1</sup>. Estas altas concentraciones se pueden explicar por la posible intrusión salina que afecta a los pozos costeros.

### **Sulfatos**

En los pozos ubicados a los costados del río Lauca, aguas abajo de la bocatoma del canal Lauca, la concentración de sulfatos tiene una tendencia creciente desde valores del orden de 10 mg/l en el Km 35, hasta valores del orden de 30 mg/l en el Km 48.

---

<sup>1</sup> Límite superior establecido por la Norma Chilena Nch 409, sobre requisitos para el agua potable.

Por el contrario, en torno al canal Lauca los pozos presentan altas concentraciones de sulfatos (del orden de 300 mg/l).

Finalmente en el Valle de Azapa y en Arica, la concentración de sulfatos en las aguas subterráneas supera en la mayoría de los casos los 250 mg/l<sup>1</sup>.

### **Nitratos**

En el sector del río Lauca y del canal Lauca las aguas subterráneas presentan bajas concentraciones de nitratos, entre 0 y 0,5 mg/l.

En tanto en el sector del Valle de Azapa y Arica, en la mayoría de los pozos ubicados hasta el Km 165, se observan niveles bajos o nulos de nitratos, de hasta 0,2 mg/l. Aguas abajo, acercándose al mar, aumentan los niveles de nitratos a valores entre 2 y 11 mg/l.

### **Dureza total, calcio y magnesio**

Los pozos del sector del río Lauca, aguas abajo de la bocatoma del canal Lauca, presentan aguas blandas o débilmente duras que no superan los 65 mg/l de CaCO<sub>3</sub>. En cuanto a la concentración de calcio y magnesio, en este sector no superan los 16 y 8 mg/l, respectivamente.

En torno al canal Lauca, se observan mayores niveles de dureza total, del orden de 240 mg/l de CaCO<sub>3</sub> y concentraciones de calcio y magnesio del orden de 80 y 10 mg/l, respectivamente.

En el sector de Arica y el Valle de Azapa las aguas subterráneas presentan altos niveles de dureza, entre 500 y 1.400 mg/l de CaCO<sub>3</sub>, concentraciones de calcio entre 200 y 400 mg/l, y concentraciones de magnesio entre 20 y 60 mg/l.

### **Arsénico**

En el sector del río Lauca, aguas abajo de la bocatoma del canal Lauca, se observa una tendencia creciente en la concentración de arsénico, desde valores nulos (Km 35) hasta valores del orden de 0,06 mg/l.

En uno de los pozos ubicados a los costados del canal Lauca, en el punto de muestreo L25, se midió un muy alto contenido de arsénico, de 0,98 mg/l. En los otros pozos del sector el contenido de arsénico es nulo.

En los pozos ubicados en el Valle de Azapa y en ciudad de Arica el contenido de arsénico medido es bajo, inferior al límite de detección en la mayoría de los casos, y no supera los 0,02 mg/l.

## **Hierro**

En torno al río Lauca, aguas abajo de la bocatoma del canal, las concentraciones de hierro se concentran en torno a 0,3 mg/l<sup>1</sup>. Salvo 3 casos correspondientes a los puntos de muestreo L33, L28 y L36, con concentraciones de 38,6, 4,3 y 7,4 mg/l, respectivamente.

En el sector del canal Lauca, en el punto de muestreo L25, la concentración de hierro es de 26,4 mg/l. En los otros dos casos no supera 1,33 mg/l.

Finalmente, la mayor parte de los pozos del sector del Valle de Azapa y Arica presenta concentraciones de hierro inferiores a 0,3 mg/l. En el resto de los pozos del sector, aproximadamente el 25 % de los casos, la concentración de hierro es del orden de 1 mg/l y, en un caso puntual, de 8,65 mg/l.

## **Sodio**

En los sectores del río y canal Lauca las concentraciones de sodio no superan los 40 mg/l en la mayoría de los casos.

En tanto los pozos del sector de Arica y el Valle de Azapa presentan altos niveles de sodio, entre 70 y 200 mg/l.

## **Potasio**

En el sector del río Lauca y del canal Lauca las concentraciones de potasio varían, sin una tendencia observable, entre 0,5 y 16 mg/l.

En el Valle de Azapa y el sector de Arica, los niveles de potasio se concentran entre 6 y 10 mg/l.

---

<sup>1</sup> Límite superior establecido por la Norma Chilena Nch 409, sobre requisitos para el agua potable.



## **Conductividad eléctrica**

En el sector de la bocatoma del canal Lauca, las aguas subterráneas presentan niveles de conductividad eléctrica del orden de  $600 \mu\text{mho/cm}$ .

Siguiendo el río Lauca, aguas abajo de la bocatoma del canal, los pozos presentan menores niveles de conductividad eléctrica, inferiores a  $400 \mu\text{mho/cm}$ .

En el sector del Valle de Azapa se observan altos niveles de conductividad eléctrica posiblemente asociados al intensivo uso en riego de los recursos superficiales y subterráneos del sector. Los valores de la conductividad varían entre  $1.200$  y  $4.500 \mu\text{mho/cm}$ .

### **4.3.2 Tendencia temporal**

En las Figuras A.4-63 a la A.4-68 del Anexo 4-1 se muestra la tendencia temporal de la conductividad eléctrica y la concentración de cloruros medida en algunos pozos pertenecientes a ESSAT.

En todas las figuras se aprecia una tendencia creciente de los cloruros y la conductividad a lo largo del tiempo.

## **Cloruros**

Previo al año 1970 se observan concentraciones de cloruros del orden de  $150 \text{ mg/l}$  en los pozos del sector de San Miguel, Pago de Gómez y Arica, e inferiores a  $100 \text{ mg/l}$  en el sector de Cabuza. Hacia el final del período considerado, 1996, las concentraciones de cloruros son del orden de  $250 \text{ mg/l}$  en casi todos los sectores muestreados, salvo el sector de Cabuza, donde se presenta el mayor aumento en la concentración de cloruros, llegando a valores del orden de  $400 \text{ mg/l}$  en 1996. En uno de los pozos del sector de Arica, sondaje S-141, se midió un aumento de cloruros desde niveles del orden de  $150 \text{ mg/l}$  en 1966 hasta valores del orden de  $550 \text{ mg/l}$  en 1996.

## **Conductividad eléctrica**

En los sectores de Cabuza y San Miguel se observan aumentos en la conductividad eléctrica de las aguas desde valores del orden de  $1.000 \mu\text{mho/cm}$  en 1970, hasta valores del orden de  $1.500 \mu\text{mho/cm}$  en 1996. Estos sectores son los que muestran un mayor incremento de la conductividad eléctrica en el período de tiempo considerado.

En el sondaje S-158, del sector Pago de Gómez, se observan valores uniformes de la conductividad en torno a los 1.500  $\mu\text{mho/cm}$ .

En el sector de Arica los pozos analizados muestran tendencias levemente crecientes de la conductividad eléctrica, a razón de alrededor de 10  $\mu\text{mho/cm}$  por año, llegando a conductividades entre 1.500 y 1.800  $\mu\text{mho/cm}$ .

#### 4.4 DESCRIPCIÓN DEL COMPORTAMIENTO Y EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA EN AMBOS MEDIOS

Las aguas del sistema se caracterizan en general por altos niveles de dureza, principalmente cálcica y valores alcalinos del pH. La dureza aumenta significativamente en el sector costero.

Las altas temperaturas detectadas, del orden de 21 °C, reducen la capacidad del agua para disolver oxígeno y por ende limitan el desarrollo de la vida acuática de los ríos y lagos y disminuyen su capacidad de autopurificación.

El contenido de boro en las aguas, tanto superficiales como subterráneas, limita su uso en riego ya que este elemento posee características fitotóxicas.

La concentración de carbonatos, detectada sólo en aguas superficiales, tiene una tendencia decreciente hacia aguas abajo hasta llegar a valores nulos en el Valle de Azapa. Priman los bicarbonatos que se encuentran tanto en aguas superficiales como subterráneas.

El nivel de cloruros aumenta hacia el mar observándose un fenómeno global de salinización de las aguas subterráneas.

Un perfil similar al de los cloruros es el de los sulfatos, con bajas concentraciones aguas arriba del Valle de Azapa y muy altos niveles en el sector costero.

En todo el sistema las concentraciones de nitratos son muy bajas, salvo algunos pozos del sector de Arica y del Valle de Azapa que presentan concentraciones por sobre los 0,3 mg/l<sup>1</sup>, sin superar los 12 mg/l.

Las concentraciones de arsénico se mantienen en torno o bajo los 0,05 mg/l<sup>1</sup>, salvo un caso puntual.

---

<sup>1</sup> Límite superior establecido por la Norma Chilena Nch 409, sobre requisitos para el agua potable.

En general, los niveles de hierro se concentran en torno a los 0,3 mg/l<sup>1</sup>, salvo algunos pozos del sector del canal y río Lauca que presentan muy altos contenidos de hierro y algunos puntos de muestreo del Valle de Azapa y Arica.

El sodio presenta, al igual que los cloruros, una tendencia creciente hacia aguas abajo y concentraciones altas en la costa. Sin embargo, el estudio de la razón variable entre las concentraciones de cloruros y sodio revela la presencia de otros cationes asociados al cloruro.

El sistema presenta en general bajas concentraciones de potasio, del orden de 10 mg/l, tanto en aguas superficiales como subterráneas.

Un caso especial es el del lago Chungará, que entre su afluente y su efluente presenta un importante aumento en la concentración de varios parámetros. Aumentan, entre 2 y 21 veces, la concentración de boro, carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, dureza total, calcio, magnesio, arsénico, sodio y potasio.

Otro caso particular es el tramo del río Lauca, aguas abajo de la bocatoma del canal Lauca, que presenta algunas tendencias distintas hacia aguas abajo que el resto del sistema, asociadas a la calidad de los aportes que recibe, lo que permite que disminuyan los niveles de boro, cloruros, sulfatos, sodio y potasio, y aumenten las concentraciones de hierro.

#### 4.5 EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE LOS PARÁMETROS ANALIZADOS EN USOS DEL AGUA

##### **pH**

Los valores extremos de pH, o las variaciones de este valor, afectan los microorganismos presentes en el agua y, en general, toda la vida acuática. Valores excesivamente altos o bajos de pH pueden afectar a prácticamente todos los usos del agua. La Norma de Riego (NCh 1.333) establece valores admisibles de pH entre 5,5 y 9.

A lo largo de la zona en estudio predominan valores de pH entre 7 y 9 lo que no restringe mayormente los usos que se puedan hacer de estas aguas, en cuanto a pH se refiere.

En el caso analizado sólo se observan altos valores de pH, sobre 9, en el sector del río Lauca, pero disminuyen hacia aguas abajo. Puede ser necesario regular el valor del pH hasta alcanzar valores más neutros, dependiendo del uso que se requiera dar al agua.

Sólo dos pozos presentan valores ácidos de pH, del orden de 4. También en este caso será necesario regular el valor del pH hasta valores que sean compatibles con los usos que den a esa agua.

### **Temperatura**

La temperatura afecta a todos los usos del agua, especialmente los relacionados con los seres vivos, ya que la velocidad de las reacciones enzimáticas es altamente dependiente de este parámetro. Además, a mayor temperatura disminuye la capacidad del agua de disolver oxígeno y los cursos de agua tienen una menor capacidad de autopurificación. El equilibrio químico de los diversos iones que contienen el agua también es afectado por los cambios de temperatura.

La presencia de contaminación por temperatura modifica el equilibrio de la comunidad de microorganismos del agua, predominando las especies más resistentes a las nuevas condiciones de temperatura.

En la zona estudiada se detectaron altas temperaturas en el agua superficial y subterránea, del orden de 21 °C. Esto reduce la capacidad del agua para disolver oxígeno y, por ende, limita el desarrollo de la vida acuática de los ríos y lagos y disminuye su capacidad de autopurificación. Por esta razón estas aguas forman un sistema muy sensible a las descargas de aguas con contenidos orgánicos ya sean de origen industrial o doméstico.

### **Boro**

La presencia de boro en el agua afecta los usos agrícolas de ésta ya que este elemento tiene características fitotóxicas para algunos cultivos. Entre los cultivos muy sensibles al boro se encuentran las manzanas, las uvas, las cerezas, los damascos y los cítricos.

La mayor parte de las aguas superficiales y subterráneas del sistema analizado presentan concentraciones de boro entre 0,7 y 2 mg/l. De acuerdo a la norma de riego chilena, NCh 1333/2, estas aguas se califican como con restricción leve a moderada para su uso en riego. La calificación definitiva estará dada por el tipo de cultivo que se produzca.

### **Carbonatos y bicarbonatos**

Estas sales determinan en gran medida la alcalinidad del agua. Si se presentan en bajas concentraciones disminuye la capacidad amortiguadora del agua existiendo el riesgo de que se produzcan fuertes variaciones del pH. En altas concentraciones pueden producir depositaciones salinas en los suelos agrícolas por efecto de la evaporación.

Sólo en aguas superficiales se detecta presencia de carbonatos. En general priman los bicarbonatos en aguas superficiales y subterráneas. La mayor parte de las aguas superficiales del sistema y las aguas subterráneas del sector del Valle de Azapa se pueden calificar como con restricción leve a moderada para su uso en riego, de acuerdo a la norma chilena de riego NCh 1333/2. El resto presenta niveles muy aceptables de bicarbonatos.

### **Cloruros**

Dado que el cloruro de sodio es la sal más abundante que se puede encontrar en el agua y el suelo, la presencia de cloruros es un buen indicador de salinidad, en general, y está normalmente asociado a la presencia de sodio. Por lo anterior restringe el uso agrícola, ya que es el principal agente que provoca la salinización de los suelos. Algunos cultivos, como los cítricos, son especialmente sensibles a la presencia de cloruros en el agua de riego. La presencia de cloruros en el agua también puede ser la causa de problemas de sabor.

En el sistema estudiado las aguas superficiales presentan concentraciones aceptables de cloruros, bajo 100 mg/l, lo que no restringe sus usos en riego o agua potable. Sin embargo en el acuífero del Valle de Azapa las aguas presentan muy altos niveles de cloruros, encontrándose magnitudes entre 134 y 1.479 mg/l con un promedio del orden de 400 mg/l, contenido que afecta seriamente los usos agrícola y de agua potable que se puedan obtener de estas aguas.

### **Sulfatos**

La antigua norma de riego limitaba la presencia de sulfatos en aguas de riego a 250 mg/l. Actualmente sólo se considera dañino para el riego por su aporte a la salinidad general, la que puede ser medida a través de otros parámetros, como la conductividad.

Combinado con el magnesio produce efectos laxantes a usuarios sensibles o no acostumbrados. En grandes concentraciones puede provocar daños en el hormigón y, para ciertos valores de pH, puede producir corrosión en metales.

La concentración de sulfatos muestra una tendencia muy similar a los cloruros. La zona más afectada por la presencia de sulfatos es el agua subterránea del Valle de Azapa (entre 200 y 700 mg/l) lo que limita su uso en riego y agua potable.

### **Nitratos**

Son potencialmente tóxicos, especialmente para los infantes, cuando por reducción bacteriana se transforman en nitritos, los que reaccionan con la hemoglobina reduciendo su capacidad de transportar oxígeno e impidiendo la oxigenación de las células. En determinados cultivos sensibles, como perales y vides, puede producir reducción de la

productividad cuando se presenta en cantidades muy superiores o muy inferiores a los requerimientos de la planta.

Sólo se detecta una presencia importante de nitratos en los pozos y norias del Valle de Azapa, aunque los niveles están por debajo del límite máximo exigido por la norma de agua potable chilena, NCh 409, sobre requisitos para el agua potable (12 mg/l).

### **Dureza, calcio y magnesio**

Como formas generales de salinidad, pueden producir incrustaciones en tuberías de conducción de agua y acumulación salina en el suelo. Sin embargo, estos iones ayudan a contrarrestar el efecto nocivo que produce el sodio en la estructura del suelo. La dureza, además, restringe varios usos industriales, especialmente por efecto de las incrustaciones que se producen cuando se incrementa la temperatura del agua.

En el sistema predominan las aguas duras lo que se acentúa en el sector costero limitando los usos industriales.

### **Arsénico**

Es un elemento tóxico acumulativo en los organismos vivos, causante de una serie de síntomas conocidos en conjunto como arsenicismo. También está asociado a diversas formas de cáncer. Hay plantas sensibles al arsénico y los niveles de toxicidad varían ampliamente, dependiendo de la especie.

Salvo casos muy puntuales se encuentran niveles aceptables de arsénico en el agua, compatible con los usos en riego y agua potable.

### **Hierro**

Es esencial para el hombre en bajas concentraciones. En exceso produce problemas de olor, sabor y color en el agua. Puede contribuir a la acidez del suelo, reducir la disponibilidad del fósforo y del molibdeno para las plantas y, cuando se aplica riego por aspersión, puede causar depósitos en las hojas.

Hay algunos casos puntuales de alto contenido de hierro en aguas superficiales (San José en Livilcar, Lauca antes y después de estero Vizcachani) y subterráneas (Pozos DR 1, 2, 5 y 10, S291, S298, S285 y PECH N°3) que limitan sus usos en riego y agua potable.

## Sodio

La presencia de sodio en aguas de riego aumenta la salinidad del suelo y, principalmente, daña su estructura, reduciendo su permeabilidad y causando la cementación. En el agua potable produce problemas de sabor y afecta a la presión vascular.

La presencia de sodio está indicando que su origen radica en el cloruro de sodio, bastante asociada a la presencia de cloruro. Las mayores concentraciones de sodio se encuentran en el sector de Valle de Azapa (hasta 240 mg/l en las aguas subterráneas). Esto restringe principalmente el uso de agua para riego.

### 4.6 CRITERIOS PARA LA MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA

Como consecuencia de la compleja geoquímica y la baja actividad humana de la zona, en el sistema de la cuenca del río San José hay una clara predominancia de los contaminantes de origen mineral en relación a los contaminantes de tipo orgánico. Por esta razón, en la modelación predominan los fenómenos de dilución y equilibrio químico, en relación a las características formulaciones cinéticas del decaimiento bacteriano y la degradación bioquímica de la materia orgánica. La complejas relaciones de equilibrio químico que gobiernan algunas reacciones, como por ejemplo las que determinan el nivel de pH, requieren de niveles de información generalmente no disponible, por lo que muchas veces resulta necesario reemplazarlas por correlaciones equivalentes, inferidas estadísticamente.

Por estas razones resulta fundamental poder establecer los balances de masa del sistema, para lo cual se requiere la mayor información posible en relación a los flujos de agua y los flujos máxicos de los contaminantes. Un importante rol juega la evaporación y evapotranspiración que produce un incremento de las concentraciones de compuestos minerales, en especial debido a la existencia del lago Chungará y la laguna Cotacotani.

Como la calidad y nivel de la información disponible no permitió hacer balances de masa detallados, éstos se hicieron por zona agregada, en algunos casos representando varios aportes diferentes por uno equivalente.

Algunos de los fenómenos de mayor interés en relación a la modelación de la calidad del agua en el sistema son los aportes de contaminantes concentrados o distribuidos a lo largo del sistema, el incremento de salinidad por evaporación en los lagos y lagunas y por evapotranspiración en las zonas de riego, los cambios de calidad del agua inducidos por la producción fotosintética en lagos y lagunas, la intrusión salina y la posible interacción entre aguas superficiales y subterráneas.

## 5 DEMANDAS DE RECURSOS HÍDRICOS

### 5.1 RIEGO

El estudio de las demandas de los recursos hídricos que se producen en el sector riego, se ha efectuado en base a los siguientes antecedentes:

- Modelo de Simulación de las Aguas Subterráneas del Valle de Azapa. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda., DGA, MOP, 1989.
- The Study of Water Resources in Northern Chile. JICA, DGA, MOP, 1995.
- Antecedentes recabados en campañas de terreno y contacto con organizaciones tales como Universidad Tarapacá, COMCA e INDAP.

En el Anexo 5.1-1 se incluye en detalle el estudio de las demandas de riego, correspondientes al valle de Azapa y el sector precordillerano. A continuación se incluyen los análisis y resultados más relevantes.

#### 5.1.1 Valle de Azapa

##### a) Infraestructura de Riego

Las obras de construcción del canal Azapa se iniciaron en 1957, junto con la construcción de las obras de desviación del río Lauca, y se concluyeron en 1962. Posteriormente se continuó con las obras de los canales derivados, principalmente con el revestimiento de la mayoría de ellos.

El canal matriz tiene su bocatoma en el río San José, aproximadamente 6 Km aguas abajo de la localidad de Ausípar, y se desarrolla por la ladera Norte del valle hasta el Km 33, para luego atravesarlo y continuar por la ladera Sur hasta el Km 42,85, en el cual finaliza su recorrido al separarse en los derivados Pago de Gómez Norte y Sur.

La bocatoma del canal está compuesta por una barrera vertedero de 30 m de largo, la cual obstruye totalmente el cauce del río, con una compuerta de admisión hacia el canal y una compuerta lateral de descarga.

El canal se encuentra revestido en su totalidad mediante hormigón in situ, losetas prefabricadas y albañilería. Hasta el Km 13,71, la sección es predominantemente rectangular, con 1 m de base y de altura; desde el Km 13,71 en adelante, la sección es en su



mayor parte trapecial con taludes 1:2 y de 0,8 m de base y de altura. En el Km 32,9 la sección disminuye su altura a 0,6 m, manteniendo la base y los taludes.

El estado de conservación del canal matriz es regular, requiriendo reparación del radier en casi toda su extensión, así como también la reparación y reemplazo de los muros en un alto porcentaje del canal.

El canal matriz tiene alrededor de 35 compuertas de entrega, no obstante los canales derivados propiamente tal son sólo 19, ya que existen una serie de entregas directas o bien entregas a pequeños canales que riegan dos o tres propiedades y que por sus características e importancia no deben ser considerados como canales derivados.

En general, los canales derivados se encuentran en buen estado de conservación, producto de sus recientes revestimientos, bajas velocidades del agua y su uso es menos intenso debido a la existencia de turnos.

El caudal del canal matriz es controlado por la DGA Regional, a través de una estación fluviométrica provista de limnógrafo y se ubica en el Km 0,68.

En los Planos 5.1.1-1 a) y b) se señala el canal matriz con sus derivados y los sectores de riego que han sido considerados en el presente estudio.

#### b) Evolución de la Demanda

Se determinaron las demandas de agua de riego de cada uno de los sectores del sistema Azapa. En el Anexo 5.1-1 se detallan los antecedentes de demandas de agua de cuatro grupos de cultivos representativos del valle, a saber: olivos, tomates, hortalizas y alfalfa. En dicho anexo se determinan las necesidades globales del valle, para cada tipo de cultivo.

Para determinar la variación de las superficies regadas entre 1989 y 1996, se ha considerado la misma variación porcentual anual que se utilizó para la variación anual de los porcentajes de riego tecnificado y tradicional entre 1989 y 1996.

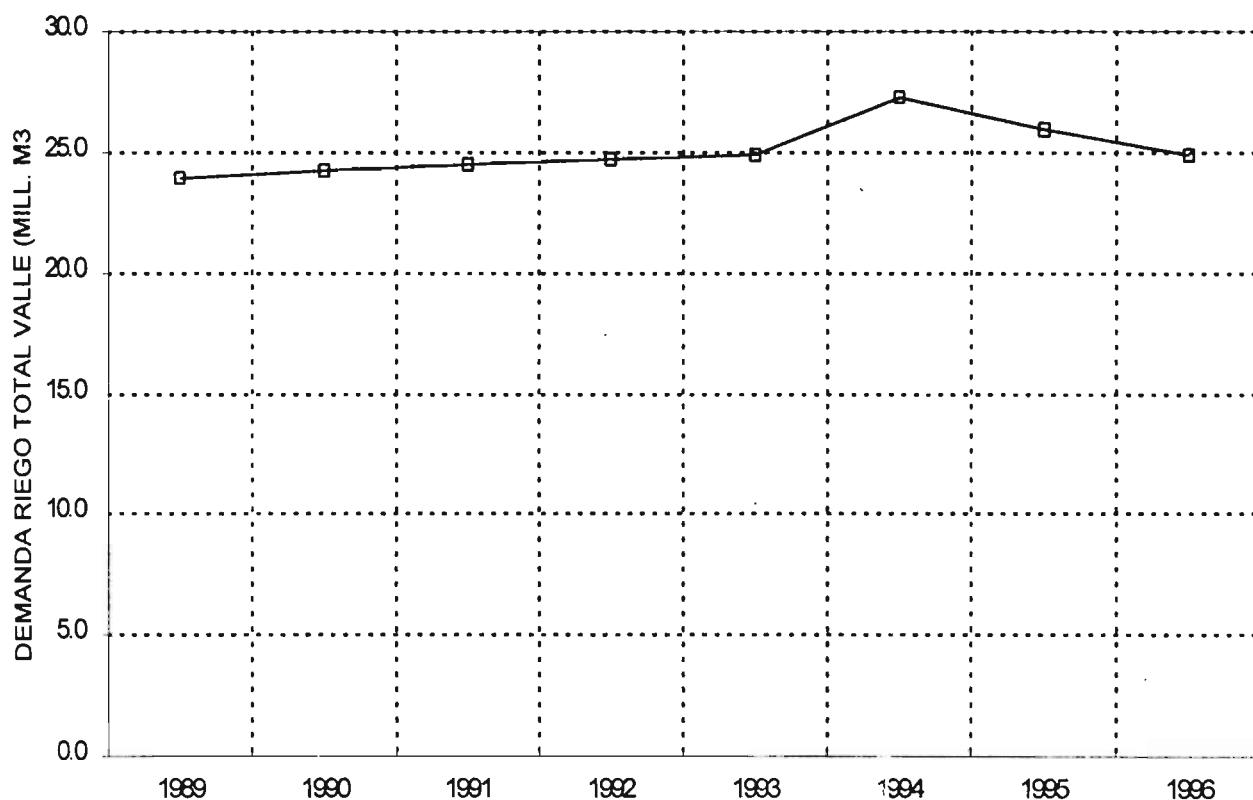
En el Cuadro 5.1.1-1 se presentan las demandas de riego totales, para el período comprendido entre 1989 y 1996, mientras que en la Figura 5.1.1-2 se han graficado dichos valores; las demandas correspondientes a cada sector se pueden consultar en el Anexo 5.1-1.

A partir de lo anterior, se calcularon las demandas mensuales, para cada uno de los años del período 1989 - 1996, utilizando la distribución mensual media de las demandas del valle de Azapa. Los resultados se pueden consultar en el Anexo 5.1-1.

CUADRO 5.1.1-1  
EVOLUCIÓN DE LAS DEMANDAS DE AGUA DE RIEGO TOTALES

AÑO	DEMANDA TOTAL DE AGUA DE RIEGO DEL VALLE DE AZAPA (millones de m <sup>3</sup> )
1989	23,96
1990	24,26
1991	24,51
1992	24,73
1993	24,90
1994	27,28
1995	25,96
1996	24,90

FIGURA 5.1.1-2  
SISTEMA DE RIEGO VALLE DE AZAPA  
EVOLUCIÓN DE LAS DEMANDAS DE RIEGO



De los resultados obtenidos, se puede señalar que a partir de 1993 se produce un fuerte aumento en las demandas de agua para riego, como producto del aumento de la actividad agrícola en la zona. Dicha demanda disminuye en los años siguientes, no obstante la superficie continúa aumentando. La explicación de este hecho se debe a que se produce un efecto combinado de una mayor tecnificación del riego en el valle y a los mejoramientos de la infraestructura de los canales, lo cual se traduce en una mejor eficiencia de conducción del agua.

El sector agrícola corresponde en este caso, a una gran cantidad de particulares, cuyas decisiones de inversión en tecnología de riego y en plantaciones de cultivos son individuales, y responden a diversas motivaciones que no son posibles de planificar y cuantificar a futuro.

Por otro lado, de acuerdo a las visitas a terreno efectuadas, se pudo apreciar que la tendencia de los agricultores es utilizar la misma cantidad de agua que disponen conforme a los derechos de aprovechamiento, pero regando una mayor superficie, con métodos de riego más tecnificados. Adicionalmente, se tiene conocimiento de estudios de ingeniería que están en ejecución o por ejecutar, tendientes a mejorar en forma global la infraestructura de los canales del sistema, lo cual se traducirá en una disminución de las actuales pérdidas de agua con el consiguiente mejor aprovechamiento del recurso.

De acuerdo a lo anterior, se visualiza que a futuro se mantendrá la tendencia de los últimos años, con un aumento de las zonas regadas, el consumo del total de agua disponible en bocatoma y un mayor porcentaje de riego tecnificado. Es decir, las demandas de agua para riego se debieran mantener relativamente constantes respecto a lo consignado en los últimos años.

### 5.1.2 Precordillera

Las localidades principales conocidas como precordilleranas son: Putre, Socoroma, Zapahuira, Murmuntani, Chapiquiña, Pachama, Belén, Lupica, Saxamar y Tignamar. Con excepción de las tres primeras, todas ellas se ubican en quebradas afluentes del río Tignamar, curso de agua importante ya que los recursos que recibe de dichos afluentes, se conducen hacia el valle del río San José o quebrada de Azapa.

No existe información que permita conocer los recursos hídricos de cabecera de estas quebradas y estimar sus excedentes por comparación con sus demandas. Con el fin de aportar mayores antecedentes para una futura determinación de dichos excedentes se efectuaron entrevistas con los lugareños, recopilando la información requerida para una elaboración preliminar de lo que ocurre con el manejo del agua de riego. En el Anexo 5.1-1 se incluye un

estudio del riego precordillerano y su aporte al río Tignamar. A continuación se presentan los principales resultados.

En la actualidad, todos los poblados disponen de estanque de regulación nocturna, de manera que los sistemas consisten por lo general en una barrera rústica de captación, de piedras y barro, y un canal de conducción hacia el estanque, más el sistema de canales de distribución.

Los canales construidos en estas localidades son de sección pequeña, del orden de entre 30 cm y 40 cm de altura. Por lo general, sus taludes son de albañilería de piedra y su radier de hormigón. Desde dichos canales, la distribución del agua se realiza a través de acequias matrices, que se construyen a lo largo de las laderas bordeando la zona más alta para cubrir la mayor superficie de riego. Desde las matrices nacen las acequias secundarias, que derivan de la matriz en forma de espina de pescado, conduciendo las aguas hasta la cabecera de las áreas de riego de los comuneros, las que normalmente no están en los límites del área que cubre el canal matriz.

Las instituciones públicas y otras entidades del ramo, han tenido importante participación en el revestimiento de las acequias matrices, logrando disminuir las pérdidas por conducción, aumentar la frecuencia de riego, aumentar la dotación del recurso en las zonas a regar, optimizar el uso del agua, aumentar la productividad y agilizar el sistema de turnos que se emplea en todas las organizaciones de regantes de la precordillera.

Respecto al uso del suelo, en el Cuadro 5.1.2-1 se incluye dicha información correspondiente a todas las zonas precordilleranas más importantes. se entiende por uso actual la superficie que normalmente es regada, con una tasa variable según la disponibilidad de agua en el año. Por su parte, la superficie potencial es toda aquélla que alguna vez ha sido regada, es decir, que cuenta o que alguna vez contó con infraestructura de canales.

Respecto a las principales plantaciones de cultivos, se tiene alfalfa, orégano, papa, ajo, maíz y habas entre otras; además, se tienen plantaciones de frutales y forestales. En el Anexo 5.1.-1, se incluyen las superficies estimadas por rubros en las distintas localidades, además de una completa descripción de la infraestructura en cada localidad y su evolución en el tiempo.

CUADRO 5.1.2-1  
USO ACTUAL DEL SUELO

LOCALIDAD	USO ACTUAL (Hás)	SUPERFICIE POTENCIAL (Hás)
PUTRE	662	900
SOCOROMA	288	400
ZAPAHUIRA	35	80
MURMUNTANI	62	120
CHAPIQUIÑA	185	250
BELÉN	145	280
LUPICA	91	150
SAXAMAR	86	120
TICNAMAR	157	300
TOTALES	1.711	2.600

Finalmente, con relación a las eficiencias de riego y su evolución en el tiempo, se asignaron como eficiencias globales, captación, conducción, distribución y aplicación, actuales de cada poblado, las siguientes:

Murmuntani	:	70 %
Chapiquiña	:	70 %
Pachama	:	60 %
Belén	:	75 %
Lupica	:	60 %
Saxamar	:	40 %
Tignamar	:	50 %

Respecto a la evolución en el tiempo de las eficiencias, ésta se puede determinar a través de la construcción de canales y de estanques que se ha llevado a cabo. Los resultados pueden ser consultados en el Anexo 5.1-1.

## 5.2 AGUA POTABLE

En el desarrollo del estudio de la demanda de agua potable, se ha tomado como base los antecedentes estadísticos para el programa de macromedición de ESSAT S.A., correspondiente a las producciones mensuales de agua potable, desde 1984 en adelante.

## 5.2.1 Infraestructura de Uso

La infraestructura que se utiliza para abastecer de agua potable la ciudad de Arica, corresponde a 41 sondajes que captan agua subterránea del acuífero del Valle de Azapa. En el capítulo correspondiente al catastro de pozos se puede consultar las principales características físicas de dichas captaciones, mientras que en el Cuadro 5.2.1-1 siguiente se señala cada uno de los pozos que utiliza ESSAT S.A. para el abastecimiento de agua potable, indicando el número que le corresponde en el catastro, el nombre por el cual se conoce el pozo y si éste es arrendado o de propiedad de ESSAT S.A.

**CUADRO 5.2.1-1  
POZOS UTILIZADOS PARA USO POTABLE**

Nombre del Pozo	Número según Catastro	Situación
Cabuza 1	S283	Arriendo
Cabuza 2	S284	Arriendo
Carbone	S287	Arriendo
San Miguel 1471	S266	ESSAT Valle Azapa
San Miguel 1472	S265	ESSAT Valle Azapa
Las Maitas	S280	ESSAT Valle Azapa
Agricultores 1	S206	Arriendo
La Rivera	S112	Arriendo
Pago de Gómez 1	S221	ESSAT Valle Azapa
Pago de Gómez 2	S223	ESSAT Valle Azapa
Pago de Gómez 3	S222	ESSAT Valle Azapa
Ortuño	S274	Arriendo
Planta Azapa 47	S187	ESSAT Valle Azapa
Planta Azapa 48	S160	ESSAT Valle Azapa
Planta Azapa 184	S186	ESSAT Valle Azapa
Planta Azapa 434	S161	ESSAT Valle Azapa
Planta Azapa 491	S157	ESSAT Valle Azapa
Planta Azapa 491 Ant.	S230	ESSAT Valle Azapa
Planta Azapa 492	S158	ESSAT Valle Azapa
Saucache 650	S166	ESSAT Ciudad
Daniel Copaja	S139	ESSAT Ciudad
Mejido Fabres	S285	ESSAT Ciudad
Pilon 18 Septiembre	S167	ESSAT Ciudad
Angelmó	S269	ESSAT Ciudad
Los Pinos	S165	ESSAT Ciudad
O'Higgins	S270	ESSAT Ciudad
Liga Empleados	S143	ESSAT Ciudad
Retén Estadio	S141	ESSAT Ciudad
Tucapel	S142	ESSAT Ciudad
San José	S147	ESSAT Ciudad
Devotto 1	S288	Arriendo
Devotto 2	S289	Arriendo
Centella	S278	Arriendo
Fernández	S357	Arriendo
Nueva Esperanza	S272	ESSAT Ciudad
Planta Estadio	S140	ESSAT Ciudad
Tambo Quemado	S273	ESSAT Ciudad
Las Torres	S271	ESSAT Ciudad
Joaquín Aracena	S268	ESSAT Ciudad
Loa	S286	ESSAT Ciudad
Rodoviario	S267	ESSAT Ciudad

Nota: En el Plano 3.3.1-1 se puede ver la ubicación de cada uno de los pozos antes consignados.

### 5.2.2 Evolución de la Demanda

Con el objeto de determinar la evolución que ha experimentado la demanda en términos de producción de agua potable en el tiempo, se ha considerado válida la información entregada por el departamento de producción de ESSAT S.A. Arica. Dicha información consiste en registros mensuales de producción, correspondientes a los antecedentes estadísticos que utiliza ESSAT S.A. para el programa de macromedición.

En el Cuadro 5.2.2-1 se presenta la información recopilada, en términos de producción total anual y caudal medio anual.

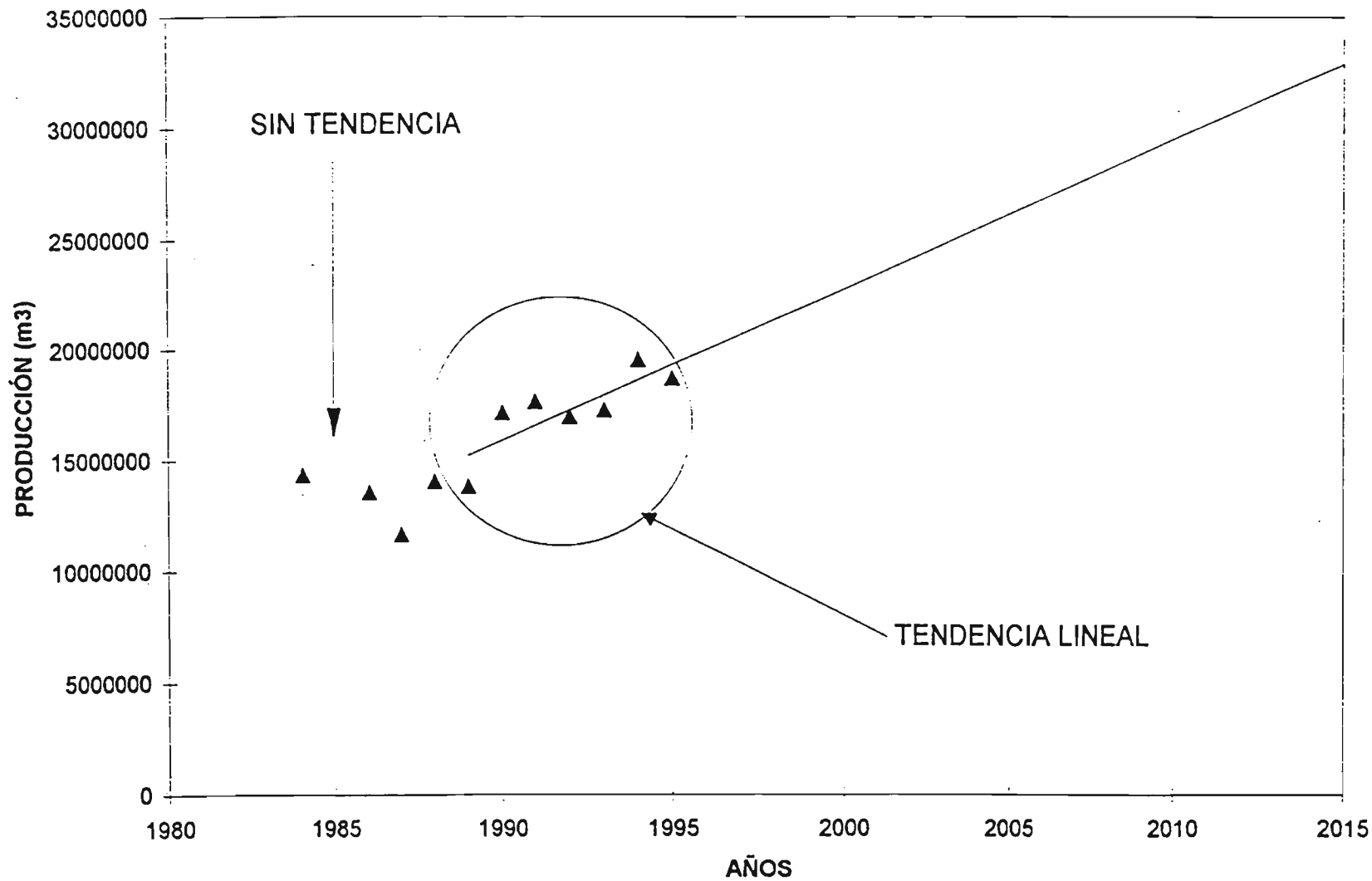
En la Figura 5.2.2-1 se han graficado los valores del cuadro mencionado, donde se presenta la producción histórica registrada por ESSAT S.A. y la proyección hasta un horizonte de 20 años (2015).

CUADRO 5.2.2-1  
PRODUCCIÓN ANUAL DE AGUA POTABLE HISTÓRICA EN ARICA

Año	Producción (m <sup>3</sup> )	Caudal (l/s)
1984	14.282.281	453
1985	-----	
1986	13.527.594	429
1987	11.625.381	369
1988	14.003.030	444
1989	13.770.368	437
1990	17.105.062	542
1991	17.601.969	558
1992	16.929.460	537
1993	17.234.409	546
1994	19.483.747	618
1995	18.656.829	592

Nota: No se contó con información del año 1985 y Diciembre de 1984.

FIGURA 5.2.2-1  
DEMANDA DE AGUA POTABLE DE ARICA  
PRODUCCIÓN HISTÓRICA Y PROYECCIÓN





Del gráfico de la Figura 5.2.2-1 se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- Entre los años 1984 y 1989, la producción de agua potable de Arica no tiene una tendencia clara, lo que podría significar que durante dicho período la producción se mantuvo relativamente constante.
- A partir de la década del 90 se aprecia un crecimiento sostenido de la producción de agua potable, lo cual coincide con una tendencia general del desarrollo económico y productivo ocurrido en otras ciudades del país.
- Suponiendo una relación lineal de crecimiento entre 1989 y 1995, se ha proyectado la producción de agua potable hasta el año 2015 (horizonte de 20 años). En el Cuadro 5.2.2-2 se incluyen las producciones de agua potable de Arica proyectadas, en términos de volumen anual y caudal medio anual, según la siguiente relación lineal:

$$\text{Producción Anual (m}^3\text{)} = 680328,32137961 \times \text{Año} - 1,337959 \times 10^9$$

CUADRO 5.2.2-2  
PROYECCIÓN PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE

Año	Producción (m <sup>3</sup> )	Caudal (l/s)
1996	19.975.862	633
1997	20.656.191	655
1998	21.336.519	677
1999	22.016.847	698
2000	22.697.176	720
2001	23.377.504	741
2002	24.057.832	763
2003	24.738.161	784
2004	25.418.489	806
2005	26.098.817	828
2006	26.779.146	849
2007	27.459.474	871
2008	28.139.802	892
2009	28.820.131	914
2010	29.500.459	935
2011	30.180.787	957
2012	30.861.116	979
2013	31.541.444	1000
2014	32.221.772	1022
2015	32.902.101	1043

Por otro lado, de acuerdo al “Análisis Programa de Desarrollo de la Empresa de Servicios Sanitarios de Tarapacá S.A.”, realizado por Bustamante y Shudeck Ingenieros Consultores Ltda. en 1992, la proyección de la Demanda Bruta (producción) es la siguiente:

1992	619,87 l/s
1993	622,90 l/s
1995	628,76 l/s
2000	622,18 l/s
2005	718,42 l/s
2010	819,95 l/s
2015	927,30 l/s
2017	972,49 l/s

De acuerdo con lo anterior, la proyección de producción antes presentada es claramente lineal. Los valores proyectados en el presente estudio son aproximadamente un 12% mayores que los consignados en los planes de desarrollo, con lo cual se está por el lado de la seguridad.

### 5.3 INDUSTRIA

En la actualidad la mayoría de las industrias instaladas en la cuenca del río San José, obtienen sus recursos de agua a través de captaciones subterráneas existentes a lo largo del valle de Azapa.

El estudio de las demandas de agua industrial se ha efectuado en base al informe “Análisis, Uso Actual y Futuro de los Recursos Hídricos de Chile” realizado para la Dirección General de Agua por IPLA Ltda., en Enero de 1996.

#### 5.3.1 Infraestructura de Uso

Las demandas de agua para uso industrial se obtienen de captaciones subterráneas, las cuales se han consignado en el catastro de pozos llevado a cabo en el presente estudio. En dicho catastro (ver capítulo 3.3.1) se incluye una columna donde se indica el tipo de uso actual de cada captación; el uso industrial aparece con el símbolo I. Adicionalmente, en el plano 3.3.1-1 se puede consultar la ubicación de cada uno de los pozos que son utilizados para dicho uso.

5.3.2 Evolución de la demanda

En el Cuadro 5.3.2-1 se incluye información de la demanda industrial del año 1993 distribuidas por rubros productivos principales.

CUADRO 5.3.2-1  
DEMANDAS INDUSTRIALES  
CUENCA RÍO SAN JOSÉ (1993)

RUBRO	DEMANDA	NETA	DEMANDA	BRUTA
	(m <sup>3</sup> /mes)	(l/s)	(m <sup>3</sup> /mes)	(l/s)
Pesqueras	226.000	87	323.180	125
Industrias Químicas	30.000	12	81.000	31
Procesamiento de aves de corral	20.000	8	25.000	10
Embotelladoras y Cervecerías	10.000	4	14.000	5
Frigoríficos, Mataderos y Procesamiento de Carnes	6.000	2	7.500	3
Otras	6.000	2	7.200	3
TOTAL	298.000	115	457.880	177

Las industrias pesqueras utilizan los recursos subterráneos del Valle de Azapa a través de la red de agua potable de la Empresa de Servicios Sanitarios de Tarapacá S.A. (ESSAT) para fines de consumo humano, refrigeración y otros consumos menores; para los procesos industriales propiamente tal, utilizan agua salobre obtenida de captaciones propias ubicadas al Sur de la ciudad de Arica.

De acuerdo al crecimiento promedio del producto interno bruto de la I Región, el sector industrial crecerá a un ritmo de 2,4% anual, en el período 1993-2015. En el Cuadro 5.3.2-2 se incluye la tasa de crecimiento industrial para distintos períodos.

Finalmente, a partir de la información del cuadro anterior y considerando una demanda neta industrial de 298.000 m<sup>3</sup>/mes para el año 1993, se ha confeccionado el Cuadro 5.3.2-3 en el que se consignan los factores relativos a 1993 de la tasa de crecimiento industrial en Arica, y la consecuente demanda anual de agua industrial para diferentes años, hasta el 2015.

CUADRO 5.3.2-2  
TASA DE CRECIMIENTO PROMEDIO SECTOR INDUSTRIAL  
PRIMERA REGIÓN

PERÍODO	TASA DE CRECIMIENTO (%/año)
1985-1993	2,2
1993-2001	2,5
2001-2009	2,3
2009-2015	2,3
1993-2015	2,4

CUADRO 5.3.2-3  
DEMANDAS INDUSTRIALES FUTURAS  
CUENCA DEL RÍO SAN JOSÉ

AÑO	FACTOR	DEMANDA	NETA	DEMANDA	BRUTA
		(m <sup>3</sup> /año)	(l/s)	(m <sup>3</sup> /año)	(l/s)
1993	1,000	3.576.000	115	5.494.560	177
1995	1,051	3.758.380	121	5.774.780	186
2000	1,189	4.251.860	137	6.533.030	210
2005	1,332	4.763.230	153	7.318.750	235
2010	1,493	5.338.970	172	8.203.380	264
2015	1,673	5.982.650	192	9.192.400	296

#### 5.4 MINERÍA

En la cuenca del río San José no existen actualmente instalaciones mineras que presenten una demanda de recursos hídricos.

En la cuenca del río Lauca existe la mina Choquelimpie de propiedad de Minera Vilacollo, la que se abastece de agua a través del pozo PECH-4 ubicado en el sector de Misitune. No fue posible conseguir información de producción histórica ni actual del pozo.

- 6            MODELOS DE SIMULACIÓN OPERACIONAL
- 6.1        MODELO MATEMATICO DE LA OPERACION DEL SISTEMA LAUCA - AZAPA
- 6.1.1      Introducción.

El presente informe es una documentación del modelo **AzpSys**, que simula la operación del sistema Lauca Azapa incluyendo la regulación de la laguna Cotacotani ubicada en la cuenca del río Lauca.

El modelo es una herramienta desarrollada para el análisis y planificación del aprovechamiento de los recursos hídricos de dicho sistema y para poder determinar finalmente, las recargas del acuífero del valle de Azapa que se originan en el uso del agua para regadío en cada uno de los escenarios que se desee analizar.

Estas recargas son un antecedente básico para el modelo hidrogeológico con el cual se estudiará el mejor aprovechamiento del acuífero del valle de Azapa, las consecuencias de ciertos niveles de extracción de aguas subterráneas y las recomendaciones y restricciones para su adecuada explotación.

Para una determinada demanda de riego del área abastecida por el canal de Azapa, el modelo **AzpSys** permite conocer la operación resultante de la laguna Cotacotani, caracterizada por sus afluentes, evaporaciones, entregas efectuadas, vertimientos y estados finales, además los caudales captados por el canal Lauca, el caudal sobrante del río Lauca en la bocatoma del canal Lauca, los caudales con que contaría el canal de Azapa junto con el porcentaje de satisfacción de su demanda y el caudal sobrante del río San José en la bocatoma del canal de Azapa.

Conocido el caudal del canal de Azapa, el modelo calcula la percolación proveniente de las pérdidas en la conducción del canal matriz y de sus derivados, como también la que se produce en las áreas regadas, información básica de entrada del modelo hidrogeológico del acuífero del valle de Azapa.

#### 6.1.2      Características del modelo AzpSys.

El modelo de simulación se escribió en el lenguaje de programación Turbo Pascal versión 7.0 y puede ser procesado en cualquier equipo PC IBM compatible que incluya coprocesador matemático.

El programa está estructurado modularmente mediante subrutinas o procedimientos y funciones, además emplea el concepto de UNITS, que son conjuntos de

subrutinas o bien bibliotecas de rutinas ya compiladas que pueden ser invocadas o llamadas por otros programas. Esto permite desarrollar programas más pequeños y más fáciles de depurar y eventualmente de modificar.

El programa consta de un programa principal denominado **AzpSys** y de los procedimientos **ReadDtaFile** y **OperSysAzp**, además utiliza las UNITS denominadas **AzpVarU**, **AzpMatU** y **AzpRwU**.

El programa principal **AzpSys** controla la ejecución de los procedimientos indicados, lee las matrices de caudales afluentes, efectúa cálculos básicos, controla el ciclo de meses y años y, al término de la operación, graba las matrices de resultados del embalse Cotacotani, las matrices de caudales de los canales Lauca y Azapa, las matrices de caudales excedentes en los ríos Lauca y San José y la matriz de porcentajes de satisfacción de la demanda del canal de Azapa en archivos legibles de formato ASCII.

El procedimiento **ReadDtaFile** se encarga de leer los datos necesarios para el proceso, **OperSysAzp** efectúa la operación del sistema propiamente tal, invocando las funciones o procedimientos incluidas en **AzpMatU**, tales como **Oper**, que calcula la satisfacción de una demanda con un caudal dado y **RegMesEmb**, que efectúa el cálculo de la regulación del embalse.

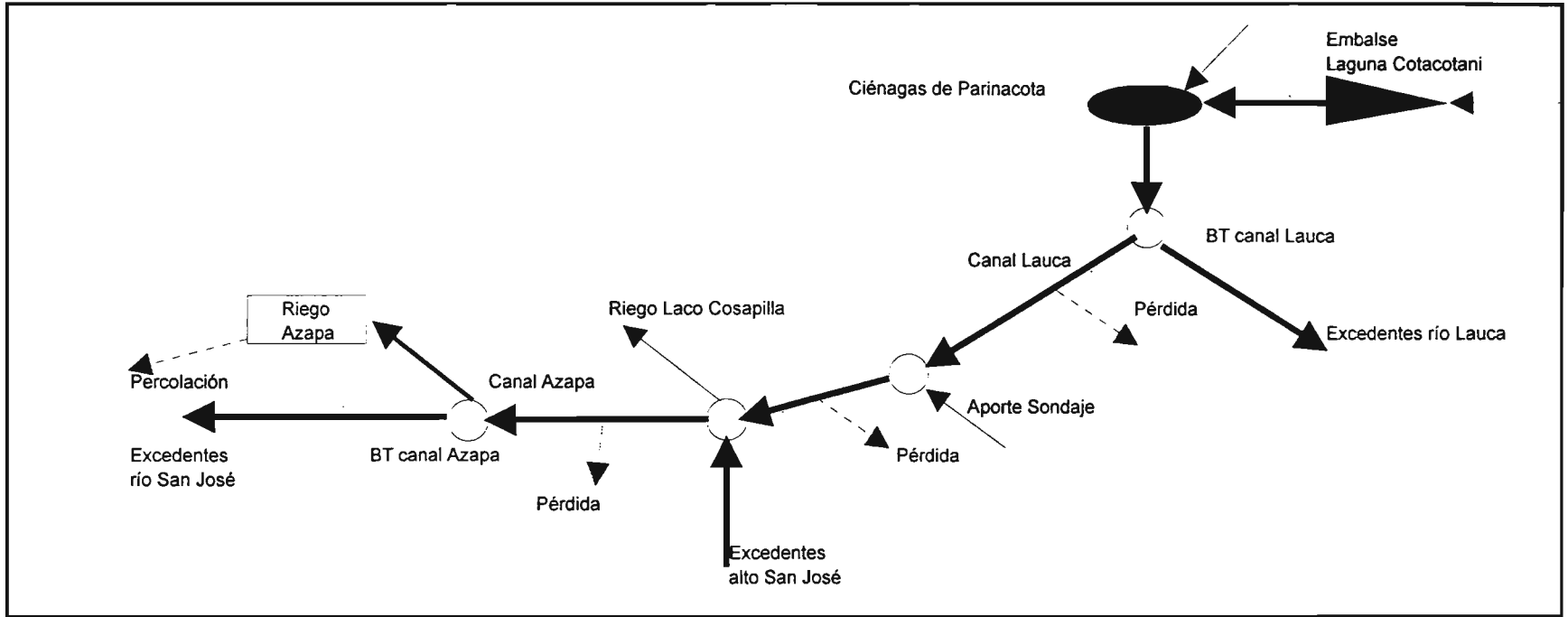
En **AzpVarU** se han incluido todas las declaraciones de constantes y variables empleadas.

En **AzpMatU** se incluyen todas las funciones y procedimientos que son de carácter general y válidas también para otros programas, por ejemplo, funciones matemáticas como **max**, **min**, **Pwr**, como también la función **Sup(v)** que permite calcular la superficie inundada asociada a un cierto volumen del embalse.

**AzpRwU** es una UNIT que permite leer y grabar matrices las matrices de caudales afluentes, de caudales entregados, estados finales del embalse, etc. Son los procedimientos **ReadMatrix** y **WriteMatrix**.

En el Anexo 6.1-1 se incluye un listado detallado del programa y de las UNITS usadas.

En la Figura 6.1-1 adjunta se presenta un esquema del sistema Lauca Azapa.



### 6.1.3 Simulación de la operación del sistema.

A partir del dato de entrada de demandas del canal de Azapa, el modelo calcula, desde aguas abajo hacia aguas arriba, las entregas que debe efectuar la laguna Cotacotani tomando en cuenta las pérdidas de conducción en el río San José, el caudal que aportan los excedentes de las cuencas prealpiánicas, las demandas de riego del sector Laco Cosapilla, las pérdidas en el canal Lauca, el eventual aporte de los sondajes del acuífero del río Lauca y los aportes de las ciénagas de Parinacota.

Con el fin de analizar posibles restricciones de entregas, el modelo incluye un vector de coeficientes mensuales por los cuales se multiplican las demandas calculadas para Cotacotani. Este vector se define en el archivo de datos y obviamente sus componentes pueden ser unitarias, si no se desea aplicar restricciones.

Una vez calculada la entrega que debe efectuar la laguna Cotacotani se efectúa su operación determinando sus entregas, vertimientos y estado final.

En seguida se procede a efectuar la operación del sistema desde aguas arriba hacia aguas abajo.

A continuación se describe, en términos generales, la secuencia de cálculos empleados en la operación del sistema.

#### **a) Secuencia de cálculos**

Para los efectos de calcular las demandas de la laguna Cotacotani se inicializa el déficit del canal de Azapa en sus demandas en bocatoma las que se van incrementando o reduciendo según si se trata de una pérdida o de un aporte de recursos. Por su parte, las demandas en bocatoma corresponden a las que fueron calculadas a nivel mensual y presentadas en el Cuadro N°3 del Subanexo N°1 del Anexo 5.1-1.

{ Se agrega la pérdida del río San José entre Ausípar y bocatoma canal Azapa }  
 $DefAzp := DemAzp / EfcRioSnj;$

{ Se descuenta el aporte de la cuenca prealpiánica }  
 $DefAzp := \max(0.0, DefAzp - QexcAltoSnj);$

{ Se define la demanda de los regantes de quebradas Laco - Cosapilla a través del porcentaje de derechos que les corresponde y se agrega al cálculo }  
 $DemLcoCos := DerLcoCos * DemAzp[meskln];$   
 $DefAzp := DefAzp + DemLcoCos;$



```

{ Se agrega pérdida tramo final canal Lauca }
  DefAzp:= DefAzp/EfcTr2CnlLca;

{ Se descuenta el aporte del sondaje Lauca }
  DefAzp:= max(0.0,DefAzp-QSndLca);

{ Se agrega pérdida tramo inicial canal Lauca }
  DefAzp:= DefAzp/EfcTr1CnlLca;

{ El déficit se limita a la capacidad del canal Lauca }
  DefAzp:=min(DefAzp,QmxCnlLca);

{ Se descuenta el aporte de las ciénagas de Parinacota }
  DemEmb:= max(0.0,DefAzp-QaflCp);

{ La demanda se afecta por el vector de coeficientes mensuales de operación }
  DemEmb:=VecDemEmb*DemEmb;

{ Se opera la laguna Cotacotani para la demanda DemEmb invocando el
procedimiento RegMesEmb }
  RegMesEmb;

{ Ahora se inicia la operación de todo el sistema Lauca Azapa }

{ Se inicializan los excedentes del río Lauca en la bocatoma del canal Lauca como
la suma de las entregas y vertidos de Cotacotani más los aportes naturales de las
Ciénagas de Parinacota }
  ExcRioLca:=Mefl+Mvrt+QaflCp;

{ Se determina el caudal del canal Lauca en bocatoma y el excedente del río Lauca,
invocando la rutina OperQ }
  OperQ(ExcRioLca,DefAzp,QCnlLca,DefAzp);

{ Se determina el caudal del canal Lauca en el punto de aporte del Sondaje, Km 20,
aplicando la eficiencia de conducción del tramo 1 y se agrega el aporte del sondaje}
  QCnlLca:=QCnlLca*EfcTr1CnlLca+QSndLca;

{ Se determina el caudal final del canal Lauca aplicando la eficiencia de conducción
del tramo 2 final }
  QCnlLca:=QCnlLca*EfcTr2CnlLca;

```

```

{ Se inicializa el caudal del río San José en el aporte del canal Lauca }
  QRioSnj:=QCnlLca;

{ Se satisface la demanda del sector Laco Cosapilla invocando la rutina OperQ }
  OperQ(QRioSnj, DemLcoCos, QLcoCos, DefLcoCos);

{ Se agregan los aportes de la cuenca prealtiplánica del río San José y se
descuentan las pérdidas en el tramo hasta bocatoma Azapa }
  QRioSnj:=EfcRioSnj*(QRioSnj+QexcAltoSnj);

{ La demanda del canal de Azapa se limita a la capacidad del canal }
  DefAzp:=min(DemAzp, QmxCnlAzp);

{ Se satisface la demanda del canal de Azapa invocando la rutina OperQ }
  OperQ(QRioSnj, DefAzp, DspAzp, DefAzp);

{ Se define el eventual déficit de Azapa }
  DefAzp:=DemAzp-DspAzp;

{ Se define el caudal del canal de Azapa }
  MCnlAzp:=DspAzp;

{ Se define el excedente del río San José frente a la bocatoma del canal Azapa }
  MExcSnj:=QRioSnj;

{ Se calcula el % de satisfacción de la demanda del canal Azapa }
  PdsAzp:=DspAzp/DemAzp;

```

#### 6.1.4 Antecedentes hidrológicos.

Las estadísticas de caudales medios mensuales requeridas por el modelo **AzpSys** corresponden a los afluentes a la laguna Cotacotani, a los aportes de las Ciénagas de Parinacota y a los excedentes de las cuencas prealtiplánicas del río San José. Esta información, que fue elaborada en el estudio hidrológico, se incluye en el Anexo 6.1-2.

### 6.1.5 Uso del modelo AzpSys.

#### a) Datos.

El único dato que el programa solicita ingresar por pantalla es el nombre del archivo en formato ASCII que contiene los datos requeridos para un determinado proceso. El nombre de este archivo debe ser de dos caracteres solamente, por ejemplo, **A0**, ya que el modelo usa estos dos caracteres para identificar los archivos de resultados. La extensión del archivo de datos debe ser **.DAT**.

En la página siguiente se presenta un archivo de datos típico. La estructura del archivo de datos es tal, que cada dato a ingresar se autodocumenta en la línea inmediatamente anterior. Así, las líneas impares contienen identificación y las pares, datos propiamente tal.

En la primera línea de datos se debe ingresar el nombre del proyecto.

En la segunda línea se debe especificar el número de años hidrológicos a procesar (Nyear), el año de partida (Styear), el mes de partida (Stmes), 10 para octubre, el volumen inicial, el volumen máximo y el volumen muerto de Cotacotani, en millones de m<sup>3</sup>

En la tercera línea de datos se deben ingresar, en m<sup>3</sup>/s, las capacidades de los canales Azapa y Lauca, las pérdidas del río San José, los derechos del sector Laco Cosapilla y las pérdidas del canal Lauca de los dos tramos considerados, cifras en %

En la cuarta línea de datos se ingresan, en mm, las lluvias mensuales promedio de Cotacotani de enero a diciembre.

En la quinta línea de datos se ingresan, en mm, las evaporaciones mensuales promedio de Cotacotani de enero a diciembre.

En la sexta línea de datos se ingresan, en %, los coeficientes de las demandas de Cotacotani.

En la séptima línea de datos se ingresan, en m<sup>3</sup>/s, las demandas mensuales del canal de Azapa de enero a diciembre.

En la octava línea de datos se ingresan, en m<sup>3</sup>/s, los aportes mensuales del sondaje del río Lauca de enero a diciembre.

En las líneas siguientes se ingresan, para cada sector del modelo hidrogeológico, los % de pérdidas en el canal matriz, en el derivado y en el riego, las acciones y el área del sector.

## A0.DAT

### EJEMPLO DE ARCHIVO DE DATOS

```

Ingreso nombre del proyecto
Sistema Lauca Azapa
Ingreso NYear,Styear Stmes Vin, Vmax, Vmrto (Mm3)
      27 1967 10 1.988785 21.177326 1.988785
Ingreso QmcCnlAzp,QmxCnlLca(m3/s),PerRioSnj,DerLcoCos, PerTr1CnlLca,PerTr2CnlLca en %/1
      1.0 1.7 0.20 0.0505886 0.107 0.0482
Ingreso LluEmb en mm ENERO A DICIEMBRE
      113.3 62.7 41.1 3.1 0.1 0.2 0.0 0.1 0.2 0.4 2.3 28.6
Ingreso EvEmb en mm ENERO A DICIEMBRE
      64.0 70.7 75.4 143.1 100.5 86.6 88.9 97.8 109.4 132.0 131.2 105.6
Ingreso VecDemEmb de ENERO A DICIEMBRE
      1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0
Ingreso demandas mensuales canal Azapa en m3/s de ENE a DIC
      0.663 0.637 0.463 0.385 0.452 0.458 0.534 0.640 0.739 0.788 0.968 0.787
Ingreso aporte mensual Sondaje río Lauca en m3/s de ENE a DIC
      0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
Ingreso: % pérdidas sectores en Matriz, Derivado, Riego; Acciones Area (Km2)
S00 Bt a Km 13.710 5.5310 0.8436 11.6 633.0 10.0
S13 Cerro Blanco 0.0540 0.9620 12.0 281.0 3.310550
S14 Cabuza 0.4980 0.0830 8.5 81.0 1.500150
S12 Sta. Irene Chuval 0.4230 0.3300 8.5 181.0 2.660850
S11 Cerro Moreno 0.0 0.2310 15.8 273.0 3.861170
S10 Las Riveras 0.0 0.0065 40.0 137.0 1.011050
S09 San Miguel 0.0 0.0440 40.0 16.0 0.919800
S16 Juan Noé 0.0 0.0 0.0 0.0 3.121655
S08 Las Maitas 3.1140 0.0 0.0 2.0 3.938350
S07 Alto Ramírez N. 0.0 0.0350 22.5 56.0 0.292000
S06 Alto Ramírez S. 0.0 4.0400 5.0 133.0 2.558650
S05 Cerro Sombrero 0.0 0.0150 29.5 108.0 1.259250
S04 Pago de Gómez N. 0.0 1.0400 26.0 261.0 3.719350
S03 Pago de Gómez S. 0.0 0.7600 26.0 315.0 5.288850

```

#### 6.1.6 Proceso del modelo AzpSys.

Es recomendable procesar el modelo **AzpSys** bajo un ambiente de trabajo como el de XTREE, por las facilidades que este ambiente presenta para el manejo de archivos, es decir, verlos en pantalla, editarlos, copiarlos, moverlos, borrarlos, renombrarlos, etc., como también para el manejo de directorios y subdirectorios.

Para procesar el modelo **AzpSys** debe prepararse un directorio que contenga los siguientes archivos en formato ASCII:

- el archivo de datos, ejemplo, **A0.dat**
- los archivos **Qaflec.qmm**, **Qaflep.qmm** y **Qexasnj.qmm** que corresponden a las estadísticas de caudales afluentes a Cotacotani, los aportes de las Ciénagas de Parinacota y los excedentes de las cuencas prealaplánicas del río San José, respectivamente.

El modelo **AzpSys** genera varios archivos de resultado, en formato ASCII, de modo que es útil mantenerlos en subdirectorios separados para cada proceso que se desee guardar.

Para facilitar lo anterior, es conveniente que el archivo ejecutable **AZPSYS.EXE** resida en un directorio cuyo nombre, por ejemplo, **UTL**, esté incluido en el comando **PATH** del archivo **AUTOEXEC.BAT**.

#### 6.1.7 Resultados del modelo AzpSys.

A continuación se detallan los diferentes archivos de resultados que produce el modelo **AzpSys**. Los nombres de los archivos presuponen que el archivo de datos es **A0.DAT**.

##### a) Archivos asociados a Cotacotani.

Los archivos de resultados asociados a la operación de la laguna Cotacotani se identifican con los dos primeros caracteres del caso procesado, seguido de los caracteres **EMB** y luego la extensión que designa el tipo de resultados del archivo, en la forma siguiente:

- A0EMB.AFL : caudal medio mensual afluyente, en m<sup>3</sup>/s
- A0EMB.DEM : caudal medio mensual demandado, en m<sup>3</sup>/s
- A0EMB.EVP : caudal medio mensual evaporado, en m<sup>3</sup>/s
- A0EMB.LLU : caudal medio mensual de lluvia, en m<sup>3</sup>/s
- A0EMB.AFL : caudal medio mensual por obra de entrega, en m<sup>3</sup>/s
- A0EMB.VRT : caudal medio mensual vertido, en m<sup>3</sup>/s
- A0EMB.VUF : volumen útil al final de cada mes, en millones de m<sup>3</sup>

##### b) Archivos asociados a canales y ríos.

Los archivos de resultados restantes son:

- A0RIOLCA.EXC : Excedentes río Lauca en bocatoma canal Lauca
- A0RIOSNJ.EXC : Excedentes río San José en bocatoma canal Azapa
- A0CNLLCA.QMM : Caudal medio mensual canal Lauca en bocatoma
- A0CNLAZP.QMM : Caudal medio mensual canal Azapa en bocatoma
- A0PDSAZP.PDS : Porcentaje de satisfacción demanda canal Azapa
- A0PERMDR.PER : Pérdidas en el sistema del canal Azapa, en mm/año (canal matriz, derivados y sectores de riego)

## 6.2 MODELOS DE PRONÓSTICO

### 6.2.1 Introducción

Con el fin de facilitar el manejo optimizado de los recursos hídricos de los ríos Lauca y San José, se intentó el desarrollo de modelos para pronosticar los recursos de las principales fuentes de agua del sistema, entre ellas fundamentalmente las aportadas por la laguna Cotacotani y las Ciénagas de Parinacota.

Los modelos desarrollados se basan en métodos estadísticos convencionales de pronóstico de escorrentía en base a correlaciones estadísticas entre volúmenes estacionales y caudales medios mensuales, con variables tales como precipitación, caudales antecedentes y otras variables explicativas disponibles. Los pronósticos se realizaron para estimar los recursos a partir del comienzo de la temporada de riego, estimando el volumen de escorrentía total y los caudales medios mensuales de dicha temporada, con la posibilidad de ir actualizándose mensualmente a medida que se recopila mayor información en base a los datos observados hasta esa fecha, en forma sucesiva, hasta el mes anterior a la fecha más tardía para sembrar, específicamente hasta el mes de octubre.

Los pronósticos se intentaron, con distinto grado de éxito, para la laguna Cotacotani, las Ciénagas de Parinacota y el Río San José, cotejándose los resultados obtenidos con los métodos de pronóstico disponibles de un estudio anterior desarrollado por Conic - BF para la Dirección de Riego.

Como alternativa metodológica se intentó la utilización para fines de pronóstico, de modelos de simulación hidrológica para cuencas pluviales y/o nivopluviales a escala mensual.

Por último, de acuerdo a la metodología propuesta, se investigó la existencia de correlación o relaciones causa-efecto entre fenómenos climatológicos a macroescala tales como la denominada Oscilación del Sur y la Corriente del Niño, con el régimen pluviométrico del sector altiplánico, que permitiera su utilización para el desarrollo de pronósticos con mayor antelación que los que permiten los métodos estadísticos convencionales.

### 6.2.2 Antecedentes para la modelación

Las estadísticas básicas pluviométricas y fluviométricas utilizadas para el desarrollo de los métodos de pronóstico, corresponden a las recopiladas y analizadas en el Capítulo 2 del presente estudio. En relación con el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), se ha consultado el estudio "Impacto de los Fenómenos El Niño y La Niña en Regímenes Fluviométricos Andinos", 1994, P. Aceituno-R. Garreaud. XVI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Vol. 3, y se han considerado los antecedentes a nivel mensual

de la NOAA/CAC (National Oceanic and Atmospheric Administration/Climatic Analysis Center de los E.U.A.), vía Internet.

Adicionalmente a la información señalada, para el desarrollo de este punto se recopilaron los datos meteorológicos a nivel mensual existentes en las estaciones Chungará-Ajata y Caquena, operadas por la DGA, además de información termométrica en la estación Cotacotani, recopilada en la Dirección de Riego de antecedentes bibliográficos de estudios anteriores desarrollados por Endesa en la zona. Esta información se presenta en el Cuadro 6.2.2-1.

Toda esta información se analizó y revisó a fin de verificar su homogeneidad y consistencia. Al respecto cabe señalar que en el procesamiento de la información fluviométrica, que como debe recordarse, es una información sintetizada en base a balances hidrológicos sobre las lagunas de Cotacotani y las Ciénagas de Parinacota, se detectaron algunos datos altamente anómalos y contradictorios entre ambas estadísticas, que podían ser explicados por errores de medición en el río Desaguadero, cuya estadística participa con distinto signo en las ecuaciones de balance para la síntesis de la información en ambas cuencas.

Con estos propósitos se efectuó un análisis de correlaciones gráficas a nivel de caudales medios mensuales entre las estadísticas de Parinacota y Cotacotani, que se presentan en Anexo 6.2-1, las que apoyadas por autocorrelaciones en cada una de las estaciones, permitieron determinar los valores que presentaban estas anomalías y que podían remediarse en base a una corrección de la estadística del río Desaguadero de Cotacotani.

En base a este procedimiento se introdujeron, para los propósitos de los métodos de pronóstico de caudales, las correcciones a las estadísticas del río Desaguadero, con la correspondiente corrección a las estadísticas de la Laguna Cotacotani y Ciénaga de Parinacota que se incluyen en el Cuadro 6.2.2-2.

Independientemente de lo anterior, y a fin de no distorsionar fuertemente las tendencias de las relaciones entre ambas estaciones, del análisis de correlaciones gráficas, se decidió corregir además, las estadísticas individuales de las estaciones Cotacotani o Parinacota que se incluyen en el Cuadro 6.2.2-3.

**ESTADISTICA METEREOLÓGICA**  
**CUADRO 6.2.2-1**

	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93											
<b>ESTACION CHUNGARA AJATA AÑOS</b>																																						
<b>TEMPERATURAS EXTREMAS DIARIAS</b>																					B	B	C	C	C	C	C											
<b>HUMEDAD RELATIVA</b>																					C	B	A	C	C	A	8	8										
<b>RECORRIDO DEL VIENTO</b>																										9												
<b>TIEMPO PRESENTE</b>																					C	A	A	C	C	B	C	C										
<b>ESTACION CAQUENA</b>																																						
<b>TEMPERATURAS EXTREMAS DIARIAS</b>																						C	A	B	A	B	C	C	C	A	9	4	C	C				
<b>ESTACION COTACOTANI ENDESA</b>																																						
<b>TEMPERATURAS EXTREMAS DIARIAS</b>			B	C	B	C	A																															

Notacion: A: 10 Meses de Estadística  
 B: 11 Meses de Estadística  
 C: 12 Meses de Estadística



**CUADRO 6.2.2-2**  
**CORRECCIONES A LAS ESTADÍSTICAS DEL RÍO DESAGUADERO, COTACOTANI**  
**Y PARINACOTA**

Fecha	Río Desaguadero	Cotacotani	Parinacota
Febrero 67/68	-1000 l/s	-1000 l/s	+1000 l/s
Enero 68/69	-200 l/s	-200 l/s	+200 l/s
Julio 72/73	-400 l/s	-400 l/s	+400 l/s
Agosto 72/73	-100 l/s	-100 l/s	+100 l/s
Noviemb. 72/73	-150 l/s	-150 l/s	+150 l/s
Diciemb.72/73	-100 l/s	-100 l/s	+100 l/s
Sept. 73/74	+300 l/s	+300 l/s	-300 l/s
Octubre 74/75	-175 l/s	-175 l/s	+175 l/s
Abril 86/87	-220 l/s	-220 l/s	+220 l/s
Mayo 86/87	-100 l/s	-100 l/s	+100 l/s
Junio 86/87	-100 l/s	-100 l/s	+100 l/s
Diciemb. 87/88	-180 l/s	-180 l/s	+180 l/s
Diciemb. 88/89	-200 l/s	-200 l/s	+200 l/s
Sept.90/91	-100 l/s	-100 l/s	+100 l/s

**CUADRO 6.2.2-3**  
**CORRECCIONES A LAS ESTADÍSTICAS DE COTACOTANI Y PARINACOTA**

MÉS	Estación	Caudal (l/s)
Mayo 72/73	Parinacota	370
Junio 72/73	Parinacota	270
Enero 76/77	Cotacotani	900
Abril 76/77	Cotacotani	720
Junio 76/77	Cotacotani	750
Julio 76/77	Cotacotani	890
Abril 84/85	Parinacota	650
Octubre 84/85	Parinacota	220
Noviembre 84/85	Parinacota	450
Julio 88/89	Parinacota	300
Agosto 88/89	Parinacota	250
Septiembre 88/89	Parinacota	160

### 6.2.3 Pronósticos estadísticos.

#### a) Introducción

En este acápite se describen los análisis y correlaciones ensayadas para establecer modelos de pronóstico de escorrentía, presentándose los resultados de las relaciones estadísticas más favorables logradas para evaluar los recursos hídricos en las fuentes, al comienzo de la temporada de riego.

La evaluación de los recursos hídricos, especialmente en la zona del valle de Azapa y Arica en que el agua es un recurso escaso, es de vital importancia para la gestión y programación de su uso.

En las tierras del altiplano, las precipitaciones se concentran durante la temporada de verano y están asociadas a los desplazamientos del núcleo de nubosidad convectiva sobre el continente, fenómeno que se conoce como "Invierno Boliviano".

El régimen de precipitaciones, tiene una componente aleatoria importante, y el régimen de caudales producto de estas precipitaciones y los correspondientes deshielos y/o afloramientos superficiales de aguas subterráneas que son producto de acumulación de nieve durante el verano, debieran estar significativamente relacionados con éstas. Los caudales cuyo origen es de este tipo, es posible en principio, evaluarlos a comienzos de la temporada de riego en base a índices que representen las condiciones observadas del mencionado Invierno Boliviano.

Este capítulo incluye las metodologías de pronóstico de los recursos hídricos de las series de caudales en los siguientes puntos:

- Afluentes a la Laguna Cotacotani.
- Aportes netos de las Ciénagas de Parinacota.
- Caudales propios de la cuenca del río San José.

En las series anteriores, será importante analizar el tipo de régimen hidrológico (pluvial, nival o una combinación de ambos), para determinar cuál o cuáles índices serán adecuados para realizar los pronósticos deseados, de tal modo que se relacionen con las condiciones posteriores a las precipitaciones de verano lo mejor posible.

Por otro lado y en atención al análisis de antecedentes disponibles, especialmente al informe elaborado en 1995 para la Dirección de Riego por CONIC-BF Ingenieros Civiles: "Análisis Operacional del Sistema Lauca Azapa", se ha adoptado una

metodología similar de pronóstico a la propuesta en dicho informe, intentando mejorar las relaciones estadísticas, si fuese posible, y en caso contrario, manteniendo las relaciones propuestas por los autores antes mencionados.

Es necesario recordar que las series de caudales, tanto para las Ciénagas de Parinacota como para la laguna Cotacotani, fueron modificadas de acuerdo a un análisis de la estadística, que mostró ciertas irregularidades en algunos valores. Las series de caudales utilizadas para cada caso se muestran en los Cuadros 6.2.3-1, 6.2.3-10 y 6.2.3-19.

b) Caudales afluentes a la Laguna Cotacotani.

Los caudales afluentes a la laguna Cotacotani considerados, se presentan en el Cuadro 6.2.3-1.

El pronóstico del volumen de escorrentía, comprendido entre los meses de Abril a Noviembre, se intentó a través de diversas alternativas metodológicas, seleccionándose en definitiva los siguientes tres métodos: en primera instancia se considera la alternativa de pronosticar la escorrentía en base a curvas adimensionales de recesión; en segunda instancia se intenta estimar el volumen de escorrentía total en base a las condiciones pluviométricas antecedentes observadas durante el verano, distribuyendo mensualmente este volumen para obtener los caudales medios mensuales esperados en base a coeficientes determinados en función de la serie histórica, y por último, un tercer método utilizado consiste en pronosticar los caudales medios mensuales para cada mes en función de las condiciones fluviométricas anteriores, a través de relaciones estadísticas de autocorrelación.

i) Hidrogramas adimensionales de recesión

El método de las curvas o hidrogramas adimensionales de recesión, consiste en adimensionalizar los caudales mensuales en el período de estiaje, en base a un índice de caudal base, de tal modo que el caudal esperado se obtiene como el factor adimensional para el mes correspondiente multiplicado por el índice base observado. Se probó con distintos índices y se seleccionó finalmente como caudal base el promedio de Enero a Marzo, puesto que es el que logró la menor dispersión de los datos del período siguiente.

El período disponible para encontrar relaciones comprende desde Abril de 1968 a Noviembre de 1993 (ver Cuadro 6.2.3-1).

Para llevar a cabo este análisis se utilizó toda la estadística disponible, es decir, no se eliminó ningún año.

CUADRO 6.2.3-1  
CAUDALES AFLUENTES A LA LAGUNA COTACOTANI (l/s)  
REGIMEN NATURAL.

AÑO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
1967	296	361	365	642	1447	739	643	369	252	301	361	382	513
1968	306	527	485	639	703	621	410	417	461	480	438	447	495
1969	160	655	389	694	558	342	411	378	388	338	311	362	416
1970	714	354	309	492	587	398	306	342	378	408	386	324	417
1971	288	179	494	876	562	700	500	434	526	497	523	382	497
1972	345	277	434	665	830	545	504	733	521	693	574	510	553
1973	457	369	369	1229	1141	920	801	602	584	632	861	536	708
1974	369	436	371	624	1422	1235	783	809	792	723	790	657	751
1975	533	561	514	936	909	1033	676	697	742	788	701	852	745
1976	726	656	545	900	1501	971	720	738	750	890	906	923	852
1977	790	897	447	556	1442	745	787	608	810	788	732	864	789
1978	540	755	564	690	1196	559	769	802	808	716	683	600	724
1979	566	489	552	313	541	781	526	559	686	636	539	502	558
1980	460	403	462	474	782	617	548	431	481	510	459	428	505
1981	285	281	371	598	321	591	446	418	473	466	421	376	421
1982	400	212	206	452	266	608	407	391	422	400	287	208	355
1983	410	130	409	559	595	790	524	273	433	410	445	351	444
1984	301	434	308	319	959	786	589	454	573	507	504	442	515
1985	331	522	681	841	852	913	700	704	720	776	617	550	684
1986	633	717	756	1031	778	745	674	768	860	905	604	664	761
1987	640	706	480	1158	861	877	761	723	810	775	699	624	760
1988	507	577	551	963	730	803	572	604	637	706	664	670	665
1989	501	595	664	699	468	532	453	476	785	476	425	434	542
1990	395	198	670	627	500	368	542	490	455	532	499	362	470
1991	427	297	175	698	191	425	425	616	507	402	422	351	411
1992	333	323	300	491	303	364	468	360	472	374	384	316	374
1993	317	348	368	497	490	395	415	403	332	350	393	431	395
MAX.	790	897	756	1229	1501	1235	801	809	860	905	906	923	852
MED.	446	454	453	691	775	682	569	541	580	573	542	502	567
MIN.	160	130	175	313	191	342	306	273	252	301	287	208	355

Los valores correspondientes a la curva de recesión más representativa y a la envolvente superior e inferior para el período Abril a Noviembre, se presentan en el Cuadro 6.2.3-2. La representación gráfica se presenta en la Figura 6.2.3-1.

CUADRO 6.2.3-2  
CURVAS DE RECESION CAUDALES AFLUENTES A LA LAGUNA COTACOTANI.

CURVA	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.
MAXIMA	1.21	1.41	1.39	1.17	1.00	0.94	1.34	1.00
MEDIA	0.82	0.78	0.85	0.82	0.77	0.70	0.65	0.62
MINIMA	0.62	0.39	0.27	0.32	0.38	0.41	0.24	0.29

- ii) Volumen de escorrentía en función de índices pluviométricos antecedentes.

Para estimar el volumen de deshielo, se intentaron correlaciones con diferentes índices que dieran cuenta de las condiciones del verano (régimen de precipitaciones observadas). De acuerdo a este análisis se seleccionó como parámetro el valor del promedio de las precipitaciones de Febrero y Marzo, registradas en Cotacotani, medido en milímetros, además del Nivel en la laguna Chungará.

Se intentó establecer relaciones con una serie de variables, tales como:

- El caudal afluente para el período de Diciembre a Febrero.
- Índices de precipitación, considerando períodos tales como enero a febrero, febrero a marzo y enero a marzo, para la estación Cotacotani.
- El nivel de la laguna Chungará.

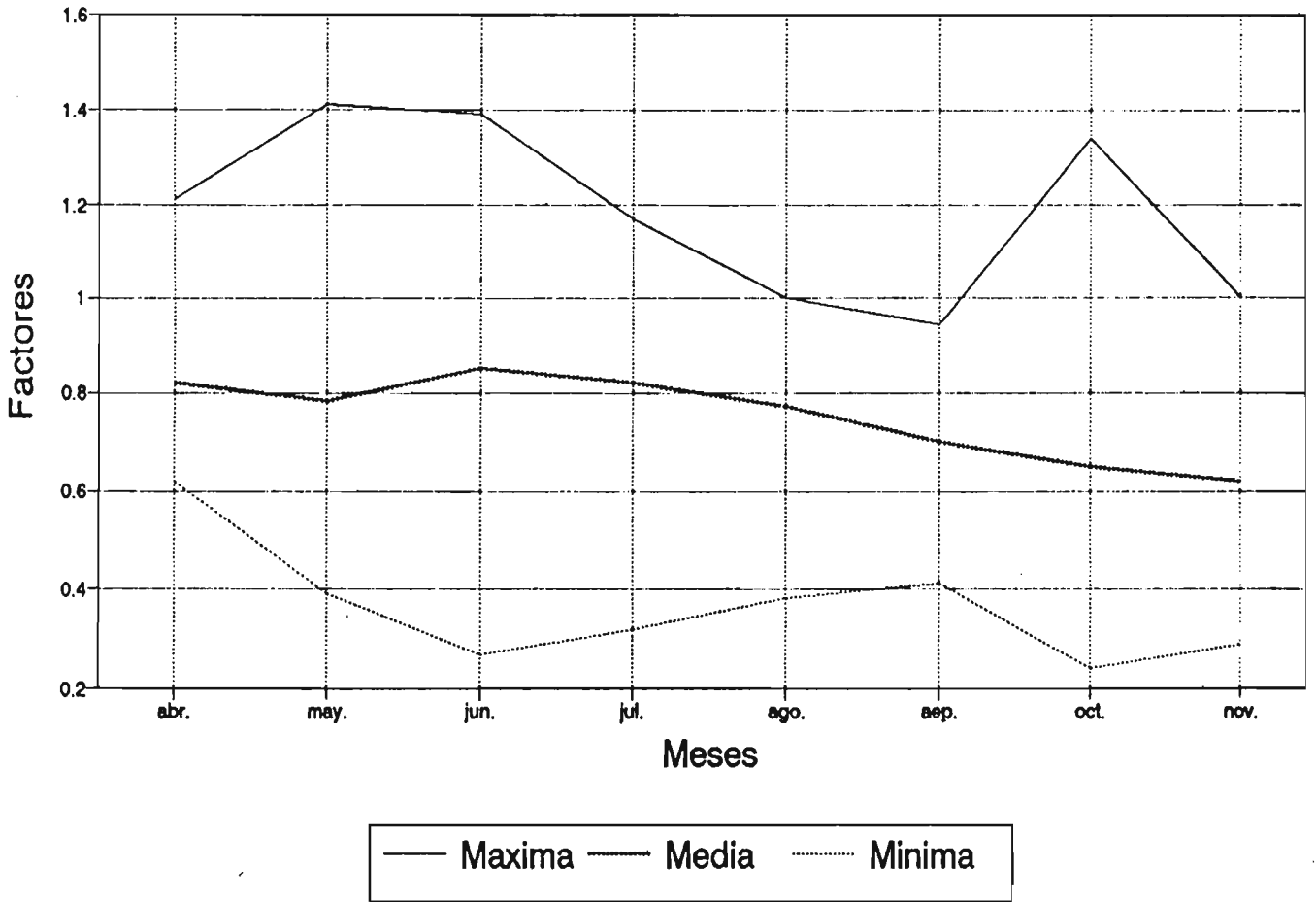
La expresión encontrada finalmente como la de mejor pronóstico, es la siguiente:

$$V_{\text{Abr-Nov}} = 4554.78 - 18.04I_p + 5688.6N_{\text{Chungará}} \quad (1)$$

donde:

$V_{\text{abr-nov}}$  = Volumen de escorrentía entre los meses de Abril a Noviembre (ambos inclusive), en miles de  $m^3$ .

Figura 6.2.3-1  
Curvas de Recesion Laguna Cotacotani



$I_p$  = Promedio de las precipitaciones de Febrero y Marzo, registradas en Cotacotani, medido en (mm).

$N_{chung}$  = Nivel en la Laguna Chungará, medido el día 31 de marzo, expresado en (m) y referido a la cota 4.517 m.

Los parámetros que se utilizan para indicar la bondad del ajuste son el coeficiente de determinación ( $r^2$ ), el error estándar de estimación (Se) y el coeficiente de variación del error estándar de estimación (CVe), que se obtiene como el cociente entre el error estándar de estimación y la media de los datos observados.

En el Cuadro 6.2.3-3, se presentan los valores de los indicadores del ajuste, en tanto que en la Figura 6.2.3-2, se aprecia el ajuste en forma gráfica.

CUADRO 6.2.3-3  
PARAMETROS DE LA BONDAD DEL AJUSTE PARA LA ESCORRENTÍA PERÍODO  
ABR-NOV LAGUNA COTACOTANI.

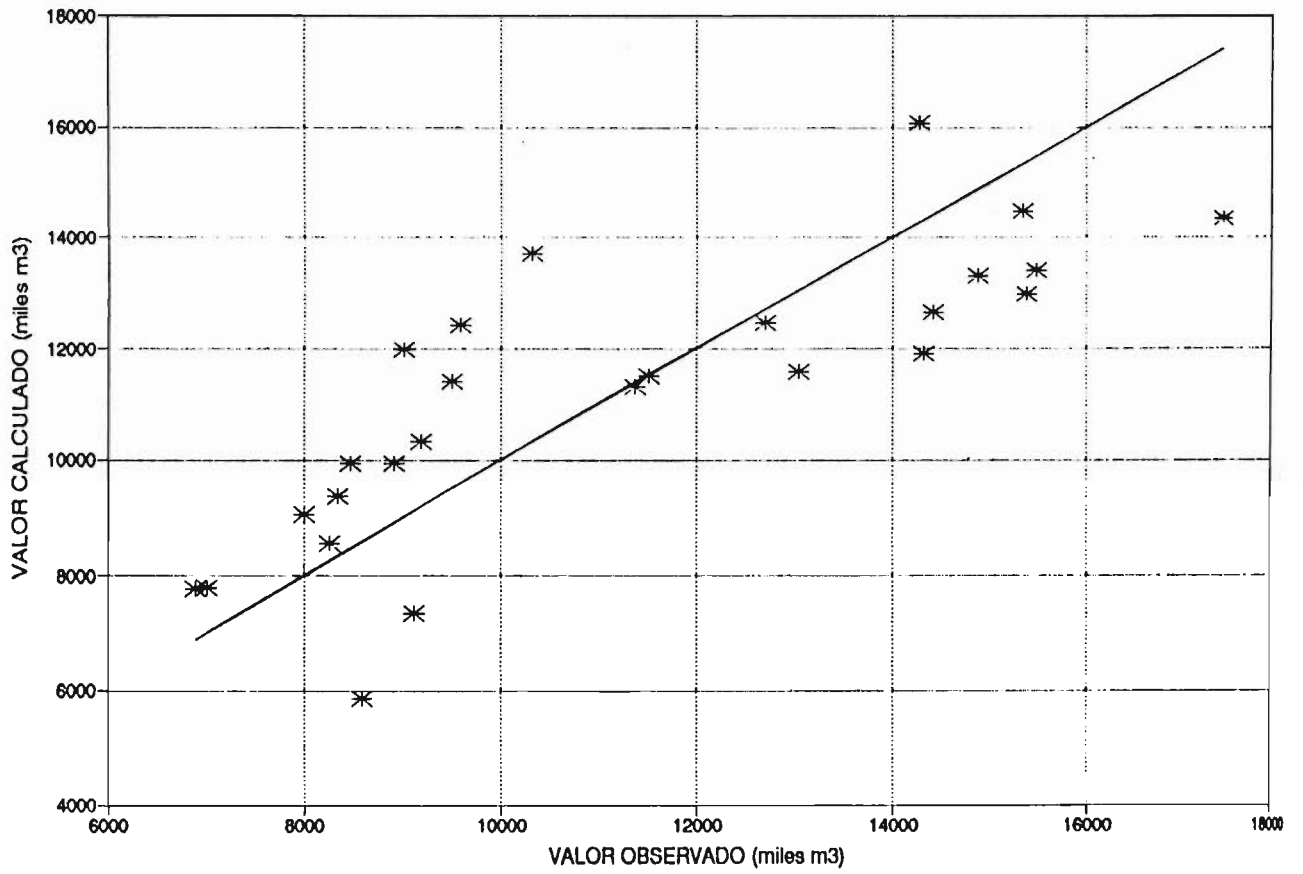
$r^2$	Se (miles de m <sup>3</sup> )	CVe (%)
0.64	1872	16.7

Para calcular el caudal medio mensual en el período Abril-Noviembre, en l/s, se multiplica el volumen estimado mediante la ecuación 1 por los coeficientes que se muestran en el Cuadro 6.2.3-4, que se han estimado en base a la serie histórica.

CUADRO 6.2.3-4  
COEFICIENTES DE DISTRIBUCION MENSUAL CAUDALES AFLUENTES A LA  
LAGUNA COTACOTANI.

ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.
0.136	0.125	0.139	0.133	0.129	0.116	0.106	0.105

Figura 6.2.3-2  
Pronost. Vol. Abr.-Nov. Lag. Cotacotani





- iii) Pronóstico de caudales medios mensuales en función de las condiciones fluviométricas anteriores.

A continuación se plantea un tercer método de pronóstico para los caudales de deshielo en el período Abril a Noviembre, que consiste en estimar dichos caudales en función de la(s) condición(nes) antecedente(s).

Para cada uno de los meses se propone una relación lineal con respecto a los caudales medios mensuales antecedentes, adoptándose después de probar distintas alternativas de autocorrelación, los dos meses anteriores al mes en cuestión. De esta manera para cada mes se tiene la siguiente función, donde  $Q_t$  es el caudal medio mensual del mes  $t$  correspondiente, expresado en (l/s) :

$$Q_t = a + b * Q_{t-1} + c * Q_{t-2} \quad (2)$$

Los valores de los parámetros  $a$ ,  $b$  y  $c$  para los meses de Abril a Noviembre, así como los indicadores  $r^2$ ,  $Se$  y  $CVe$ , se muestran en el Cuadro 6.2.3-5.

Para tener una adecuada visión del ajuste de cada una de las expresiones anteriores, del Cuadro 6.2.3-5, con respecto a los datos observados, en las Figuras 6.2.3-3 a la 6.2.3-10 se presenta gráficamente el ajuste obtenido.

**CUADRO 6.2.3-5**  
**RESUMEN DE COEFICIENTES PARA PRONOSTICOS MENSUALES CAUDALES**  
**AFLUENTES A LAGUNA COTACOTANI.**

MES	a	b	c	$r^2$	Se l/s	CVe (%)
ABR.	0.228	0.215	247.98	0.69	79.1	13.2
MAY.	0.785	0.019	81.49	0.46	119.3	24.7
JUN.	0.697	0.231	76.086	0.64	101.2	25.1
JUL.	0.460	0.571	-1.536	0.82	76.1	23.9
AGO.	0.827	-0.026	81.606	0.71	89.8	21.1
SEP.	0.429	0.561	-56.683	0.80	129	25.6
OCT.	0.767	-0.221	185.311	0.45	144	31.9
NOV.	-0.090	0.959	14.105	0.66	148.7	32.5

Figura 6.2.3-3  
Pronost. Caudal Abril Lag. Cotacotani

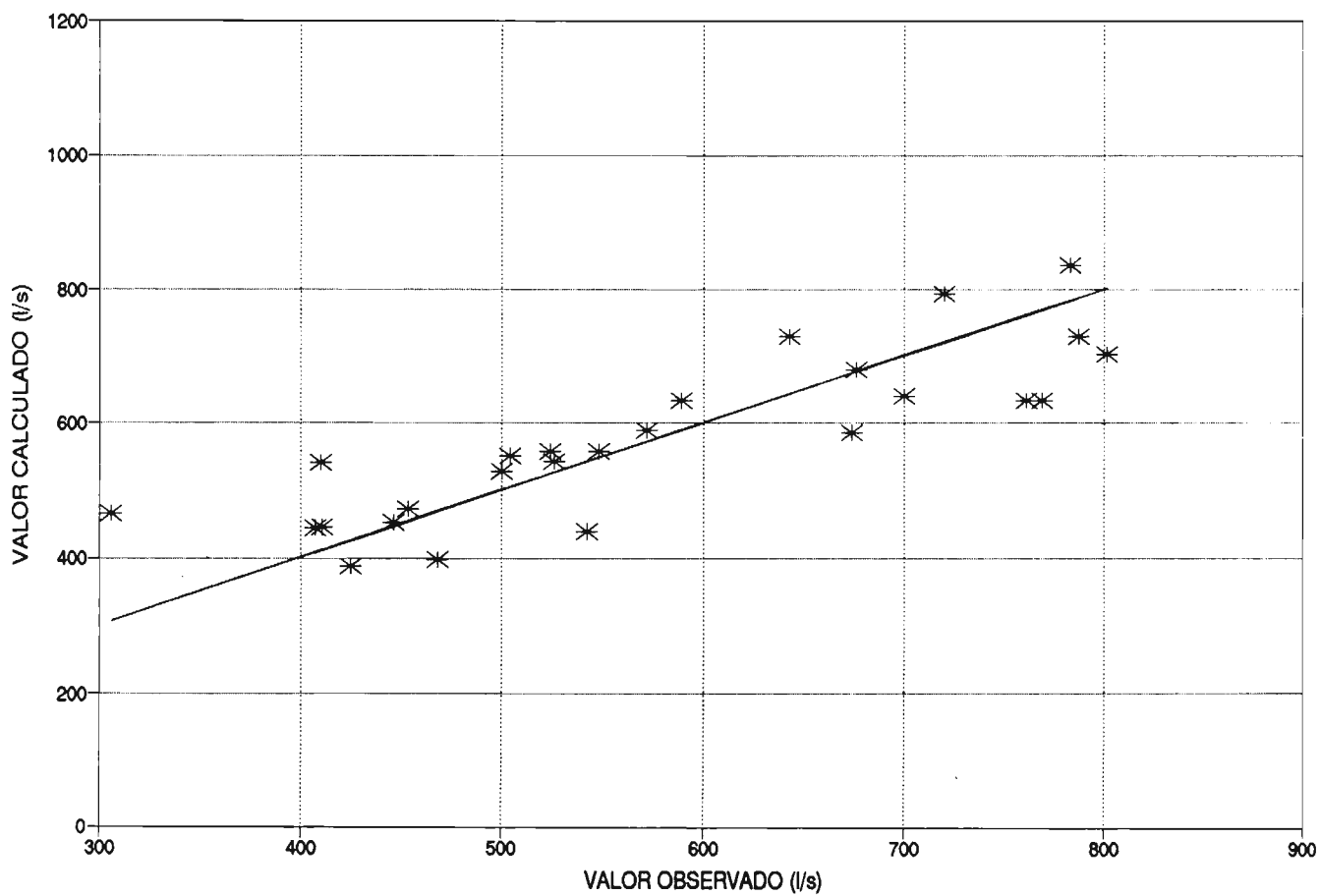


Figura 6.2.3-4  
Pronost. Caudal Mayo Lag. Cotacotani

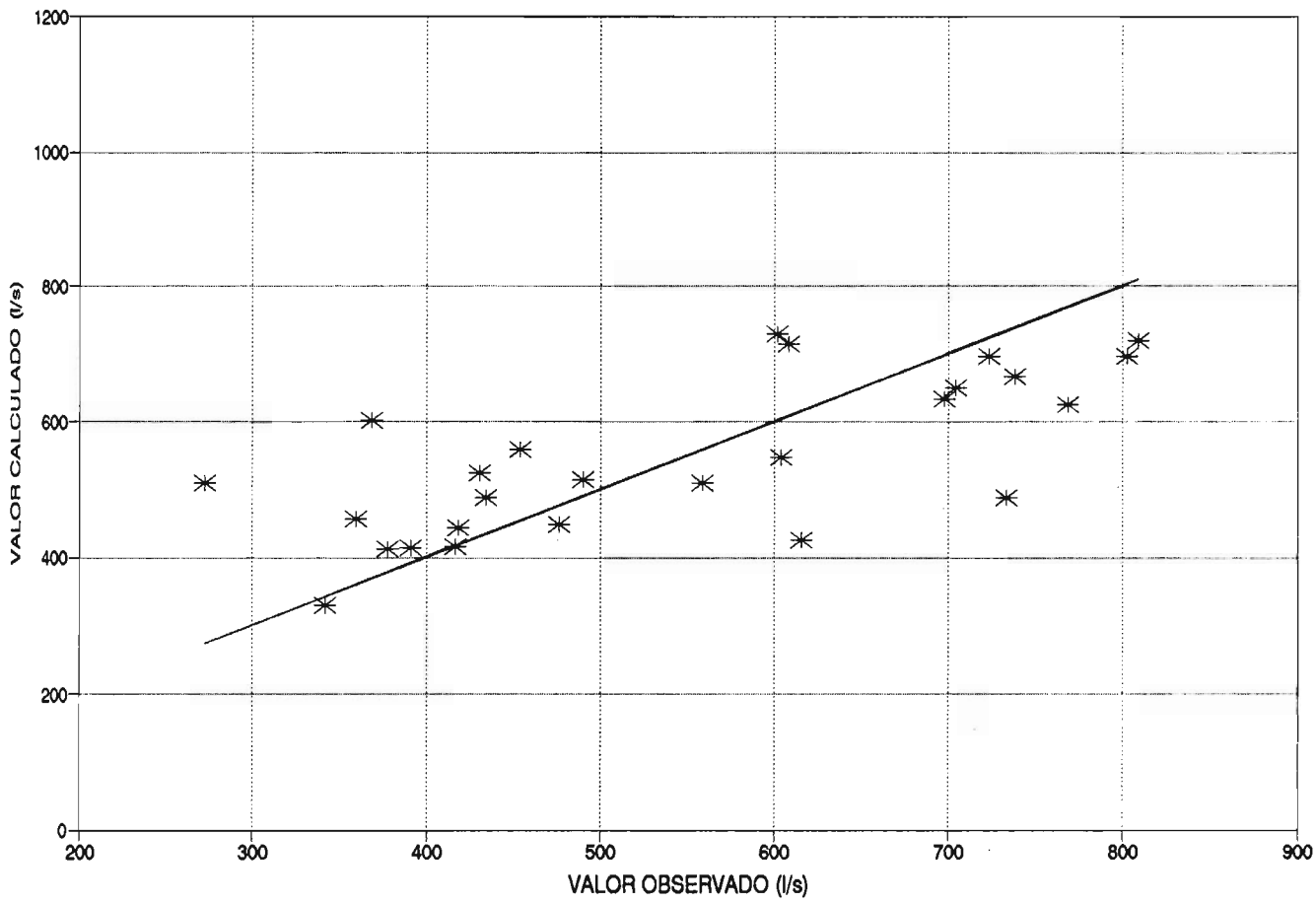


Figura 6.2.3-5  
Pronost. Caudal Junio Lag. Cotacotani

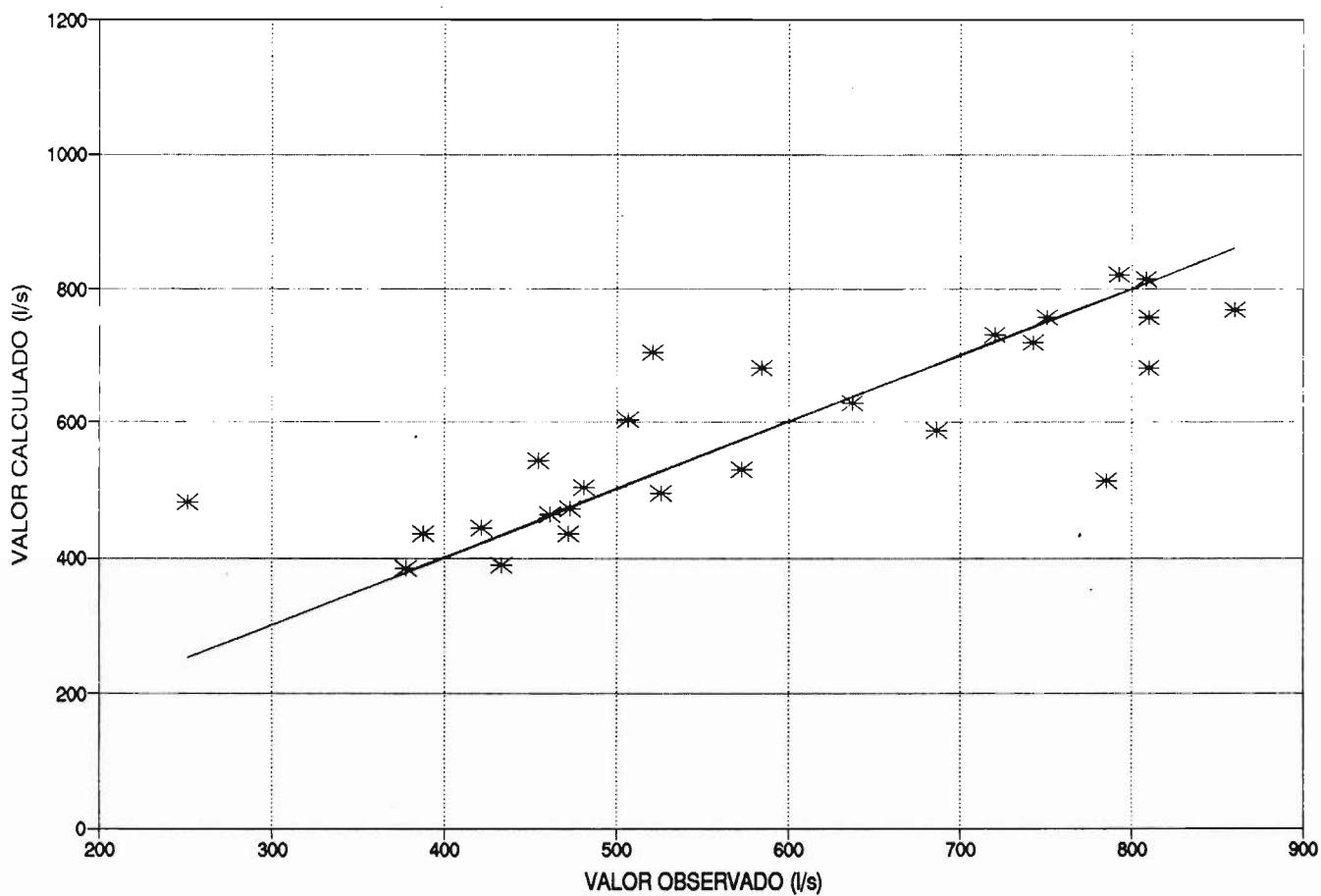


Figura 6.2.3-6  
Pronost. Caudal Julio Lag, Cotacotani

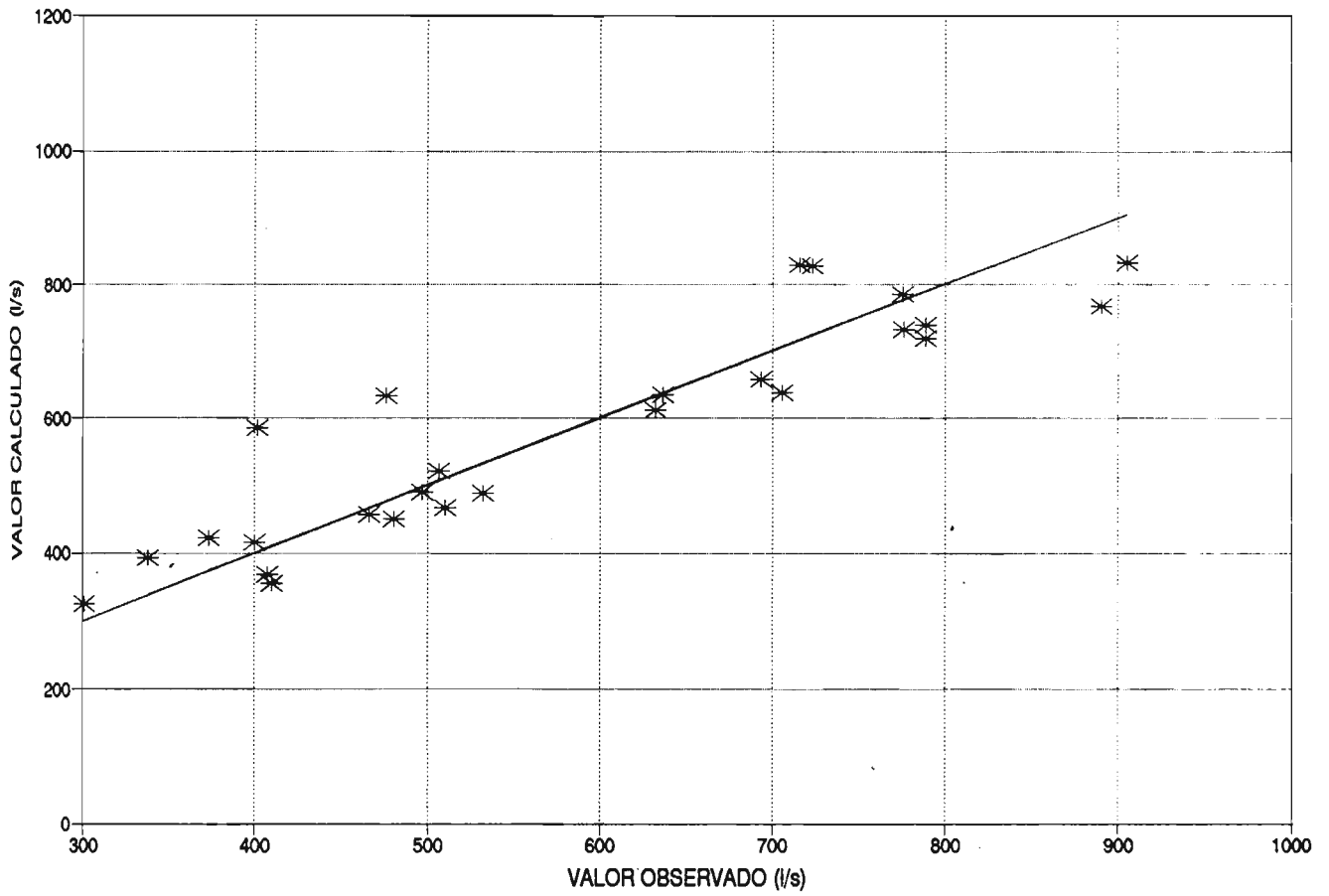


Figura 6.2.3-7  
Pronost. Caudal Agosto Lag. Cotacotani

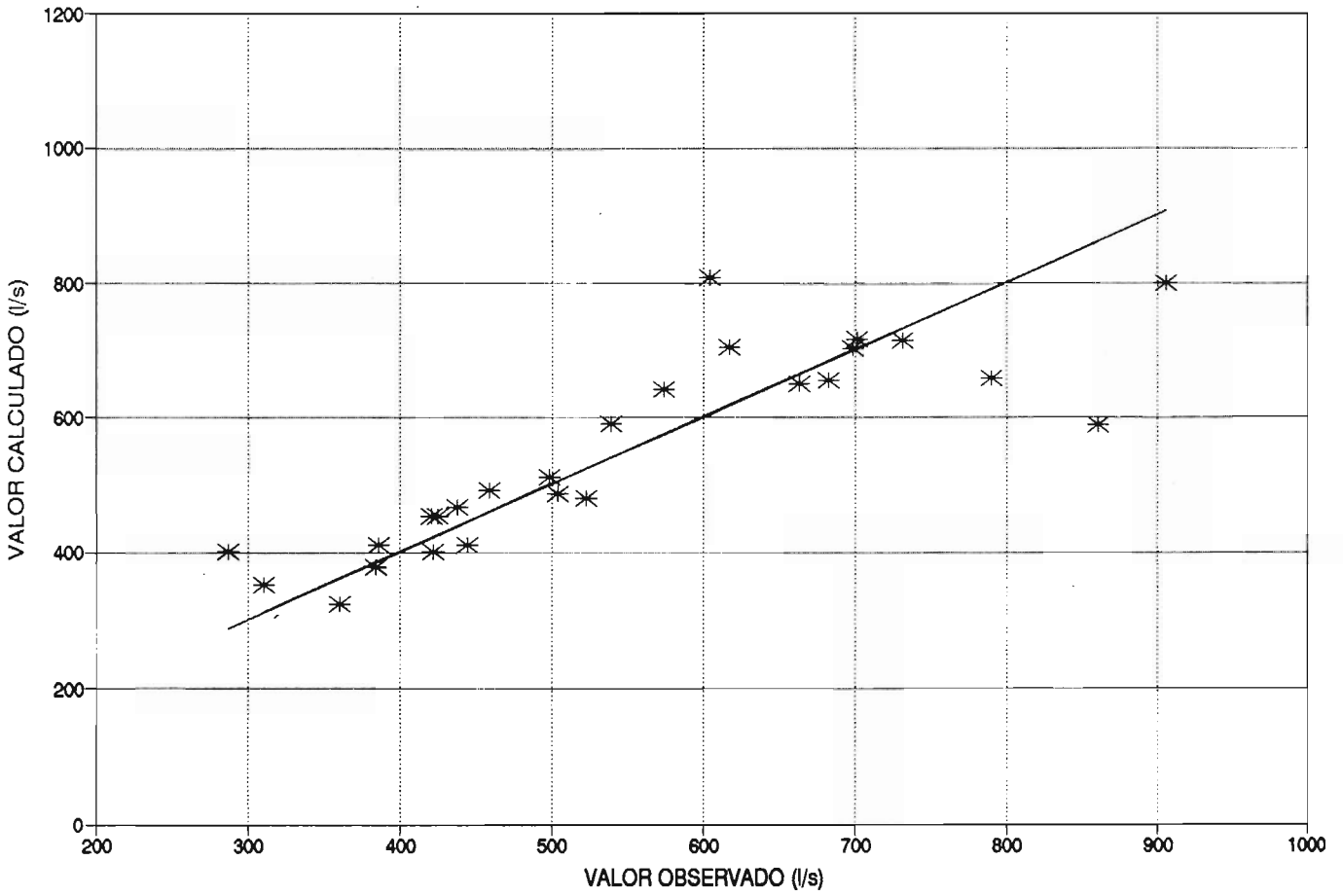


Figura 6.2.3-8  
Pronost. Caudal Sept. Lag. Cotacotani

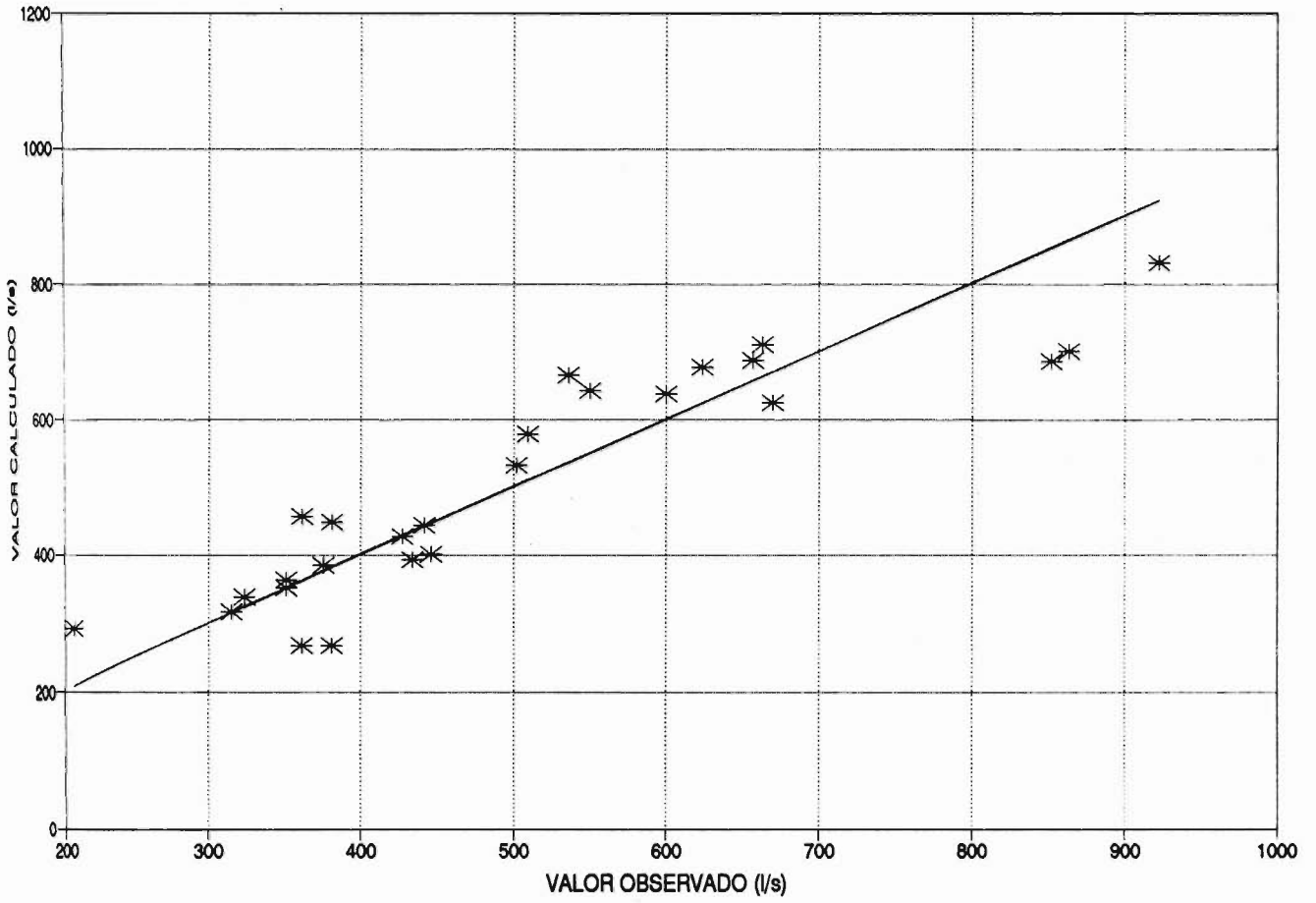


Figura 6.2.3-9  
Pronost. Caudal Oct. Lag. Cotacotani

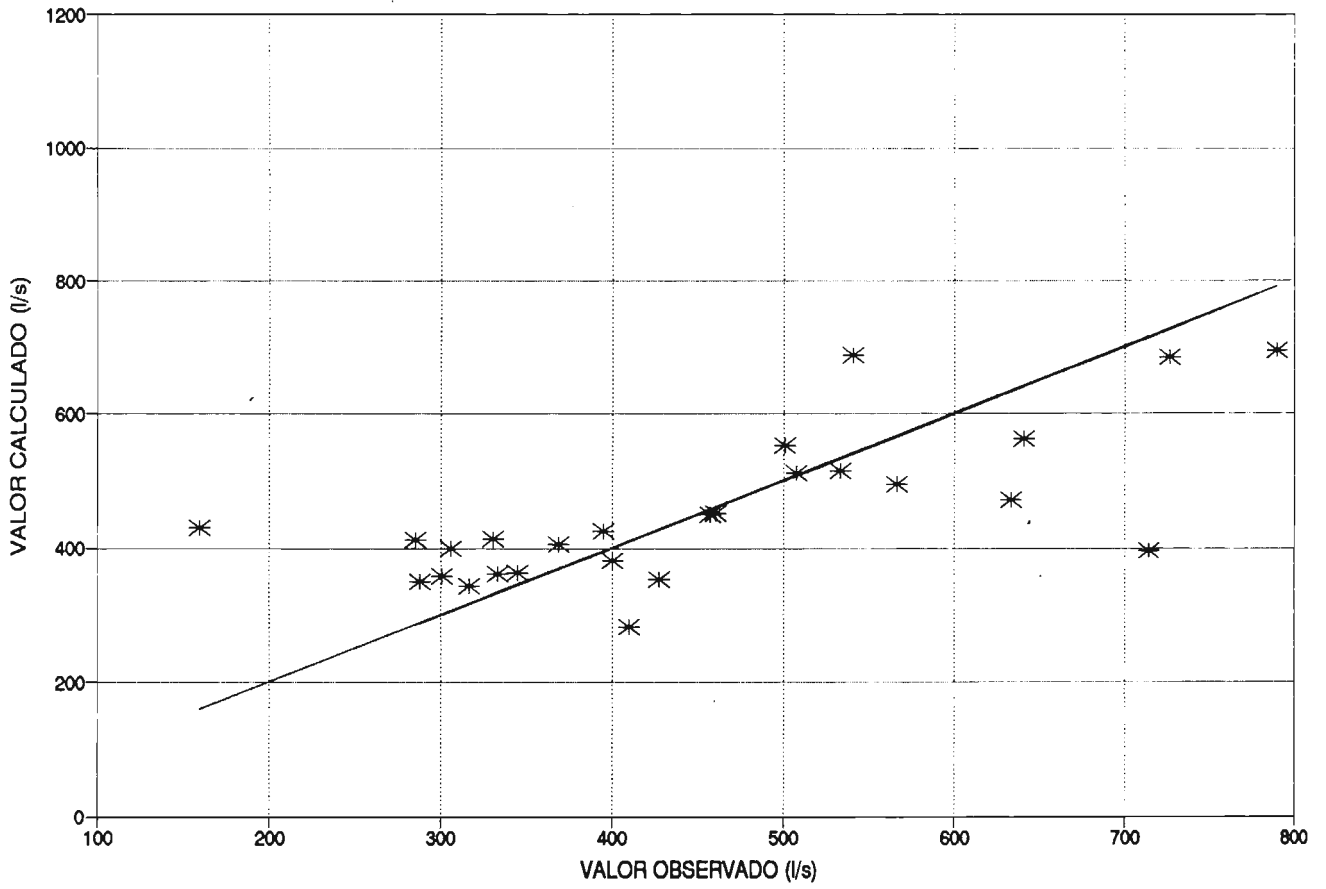
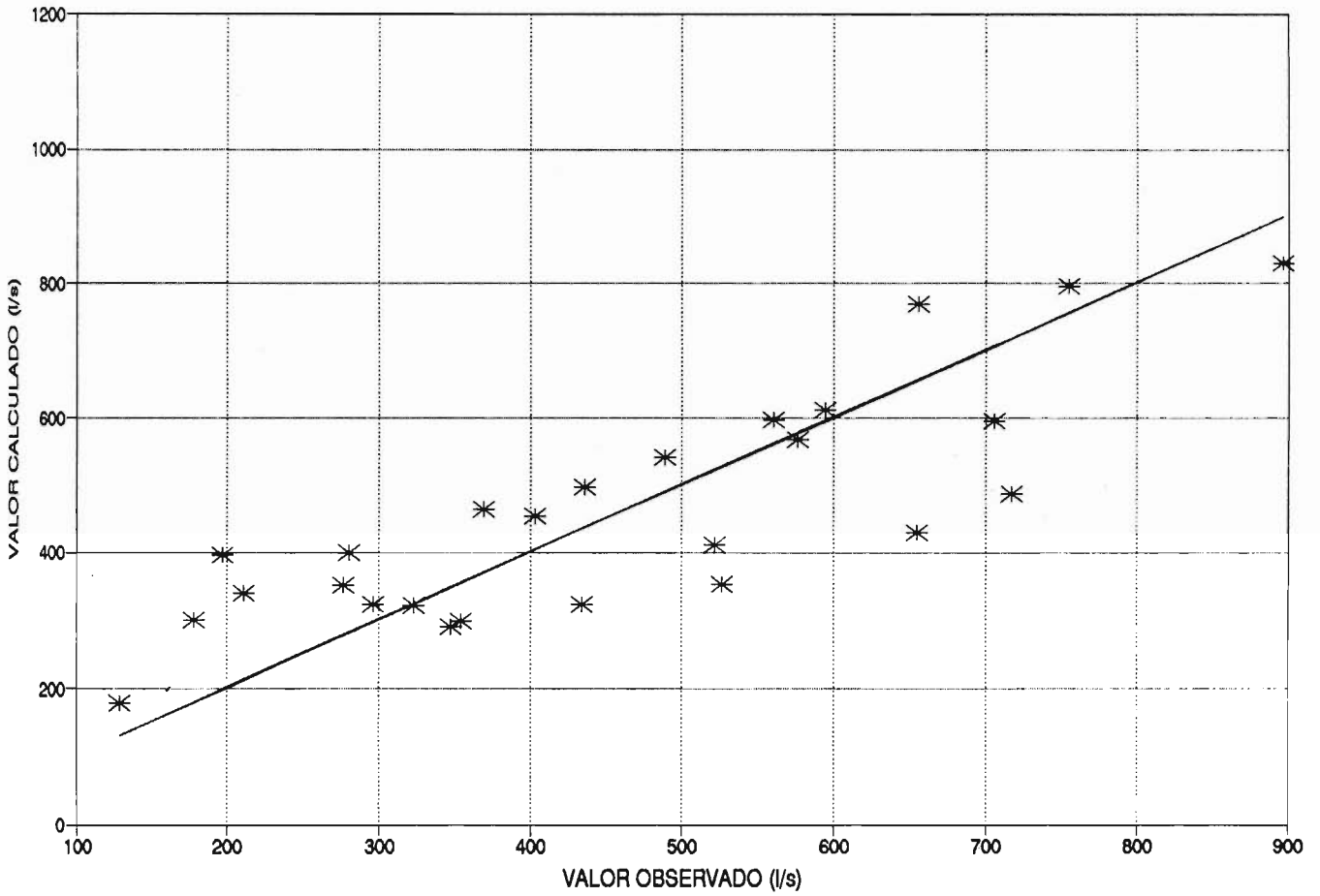




Figura 6.2.3-10  
Pronost. Caudal Nov. Lag. Cotacotani



## iv) Comparación de los diferentes métodos.

Para efectuar la comparación de los distintos métodos utilizados se toma como parámetro de comparación el valor del coeficiente de variación del error estándar de estimación. De esta manera en el Cuadro 6.2.3-6 se presenta el valor de este parámetro según el método y para cada mes del pronóstico en cuestión, es decir desde Abril a Noviembre.

De acuerdo a los resultados presentados en el Cuadro 6.2.3-6, se opta por utilizar un método de pronóstico tomando como base el método de caudales medios mensuales, considerando una corrección para cada mes, como se explica en el siguiente punto.

CUADRO 6.2.3-6

COEFICIENTES DE VARIACION DEL ERROR ESTANDAR DE ESTIMACION (%) SEGUN METODO PARA CAUDALES AFLUENTES A LA LAGUNA COTACOTANI.

MES	Curva de Recesión.	METODO DE PRONOSTICO	
		Volumen Abr-Nov considerando coeficientes de distribución mensual.	Caudales Medios Mensuales.
ABR.	13.2	34.4	13.2
MAY.	25.7	38.4	24.7
JUN.	30.2	41.2	25.1
JUL.	22.0	32.6	23.9
AGO.	16.6	38.6	21.1
SEP.	22.5	41.6	25.6
OCT.	33.4	51.3	31.9
NOV.	27.9	50.2	32.5
Período ABR.-NOV.	21.2	25.0	18.7

## v) Método recomendado para pronóstico de caudales afluentes a la Laguna Cotacotani.

De acuerdo al cuadro anterior se determinó el utilizar el método de caudales medios mensuales como base del método de pronóstico a utilizar para obtener los caudales afluentes a la laguna Cotacotani. El método propuesto es el siguiente:

- Se estima el volumen de abril a noviembre de acuerdo a la expresión que se entrega en el Cuadro 6.2.3-7. Este pronóstico se basa en los caudales desde Enero a Marzo del año en cuestión. El ajuste de estas expresiones se encuentran en el Cuadro 6.2.3-8. El valor de este volumen se toma como base para llevar a cabo la corrección de los caudales de cada mes.

- De acuerdo al Cuadro 6.2.3-5, se hace el cálculo de los caudales para cada mes, a partir desde Abril. La suma de todos estos caudales, desde Abril a Noviembre con sus respectivos factores de conversión, son el volumen pronosticado para el período de deshielo. El factor de corrección para cada uno de los caudales desde Abril a Noviembre, obtenidos a partir del Cuadro 6.2.3-5, es la división del volumen base del párrafo anterior, por el volumen pronosticado en este punto. Cada mes deberá ser multiplicado por este factor, obteniéndose el valor corregido de cada uno de los caudales para el primer período, que en este caso va desde Abril a Noviembre.

- Para el segundo mes, es decir cuando se disponga del dato del caudal medido en abril, y así sucesivamente, se deberán utilizar las expresiones del Cuadro 6.2.3-7 para obtener el volumen base de cada período. El factor de corrección para actualizar el caudal de cada mes, siempre será el cociente entre el valor base del volumen y el valor que resulta de la suma de todos los caudales que se encuentren en el período, considerando su respectiva transformación para llevarlos a  $m^3$ .

En las Figuras 6.2.3-11 a la 6.2.3-17 se presentan los ajustes gráficos correspondientes a las relaciones de pronóstico representadas por las ecuaciones del Cuadro 6.2.3-7.

CUADRO 6.2.3-7  
EXPRESIONES VOLUMENES SEGUN PERÍODO DE ANALISIS CAUDALES  
AFLUENTES LAGUNA COTACOTANI

PERÍODO	EXPRESION DEL VOLUMEN MEDIDO EN MILES DE $M^3$
ABR.- NOV.	$2969.898+4.006*Q_{ene}+3.213*Q_{feb}+4.56*Q_{mar}$
MAY.- NOV.	$471.501-0.199*Q_{feb}+2.410*Q_{mar}+13.373*Q_{abr}$
JUN.- NOV.	$1.718+0.767*Q_{feb}+1.997*Q_{mar}+2.801*Q_{abr}+8.532*Q_{may}$
JUL.- NOV.	$-97.054+1.720*Q_{feb}+1.291*Q_{mar}-0.296*Q_{abr}+4.086*Q_{may}+4.185*Q_{jun}$
AGO.- NOV.	$154.805+1.357*Q_{feb}+0.368*Q_{mar}-0.095*Q_{abr}-0.431*Q_{may}+0.306*Q_{jun}+6.535*Q_{jul}$
SEPT.-NOV.	$204.574+1.266*Q_{feb}+0.178*Q_{mar}-0.677*Q_{abr}-0.606*Q_{may}+0.412*Q_{jun}+5.720*Q_{jul}-0.862*Q_{ago}$
OCT.- NOV.	$189.717-0.162*Q_{feb}+0.223*Q_{mar}+1.852*Q_{abr}+0.804*Q_{may}-1.427*Q_{jun}+1.562*Q_{jul}-2.87*Q_{ago}+4.318*Q_{sep}$

Figura 6.2.3- 11  
Pronost. Vol. Abr.-Nov. Lag. Cotacotani

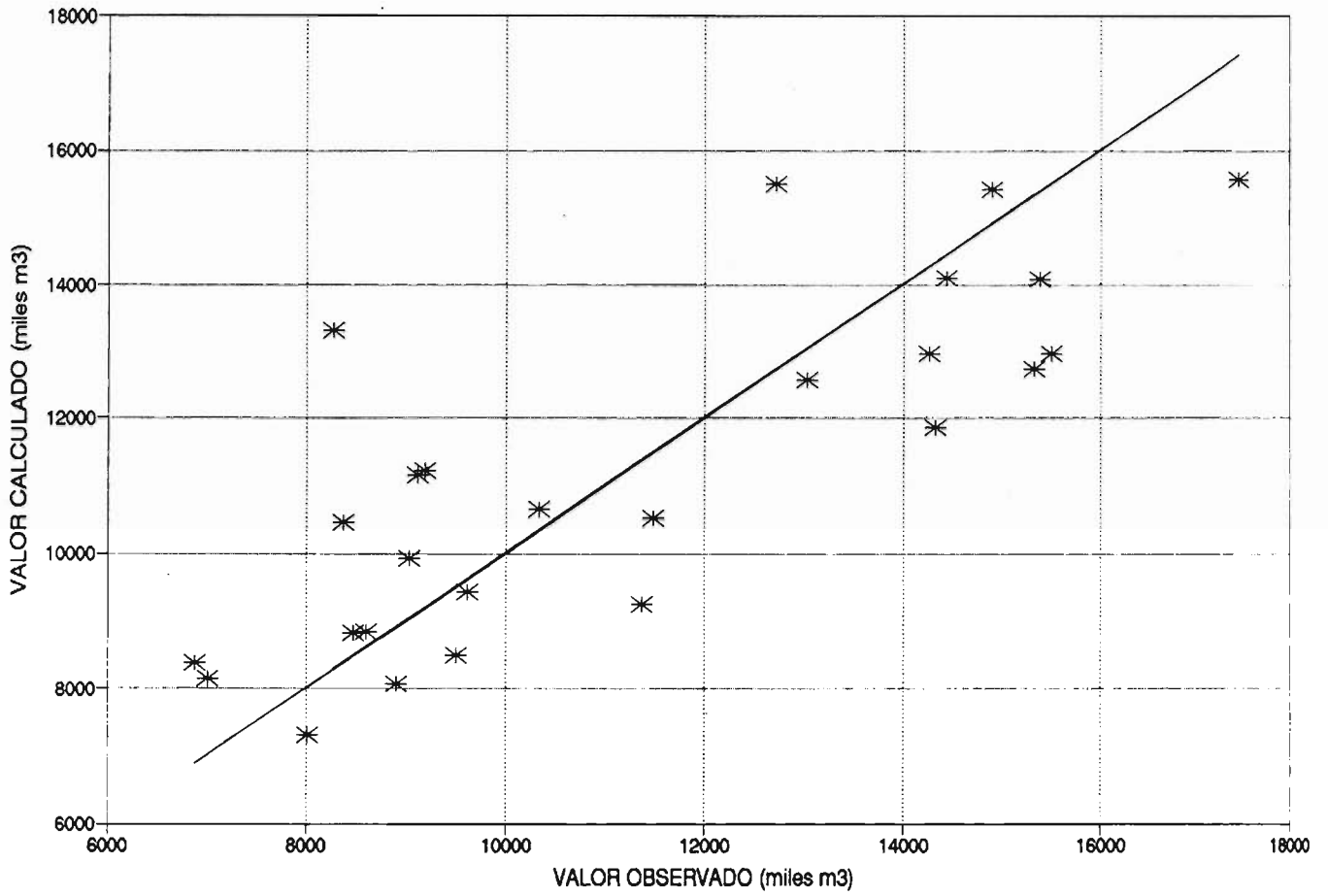


Figura 6.2.3-12  
Pronost. Vol. May.-Nov. Lag. Cotacotani

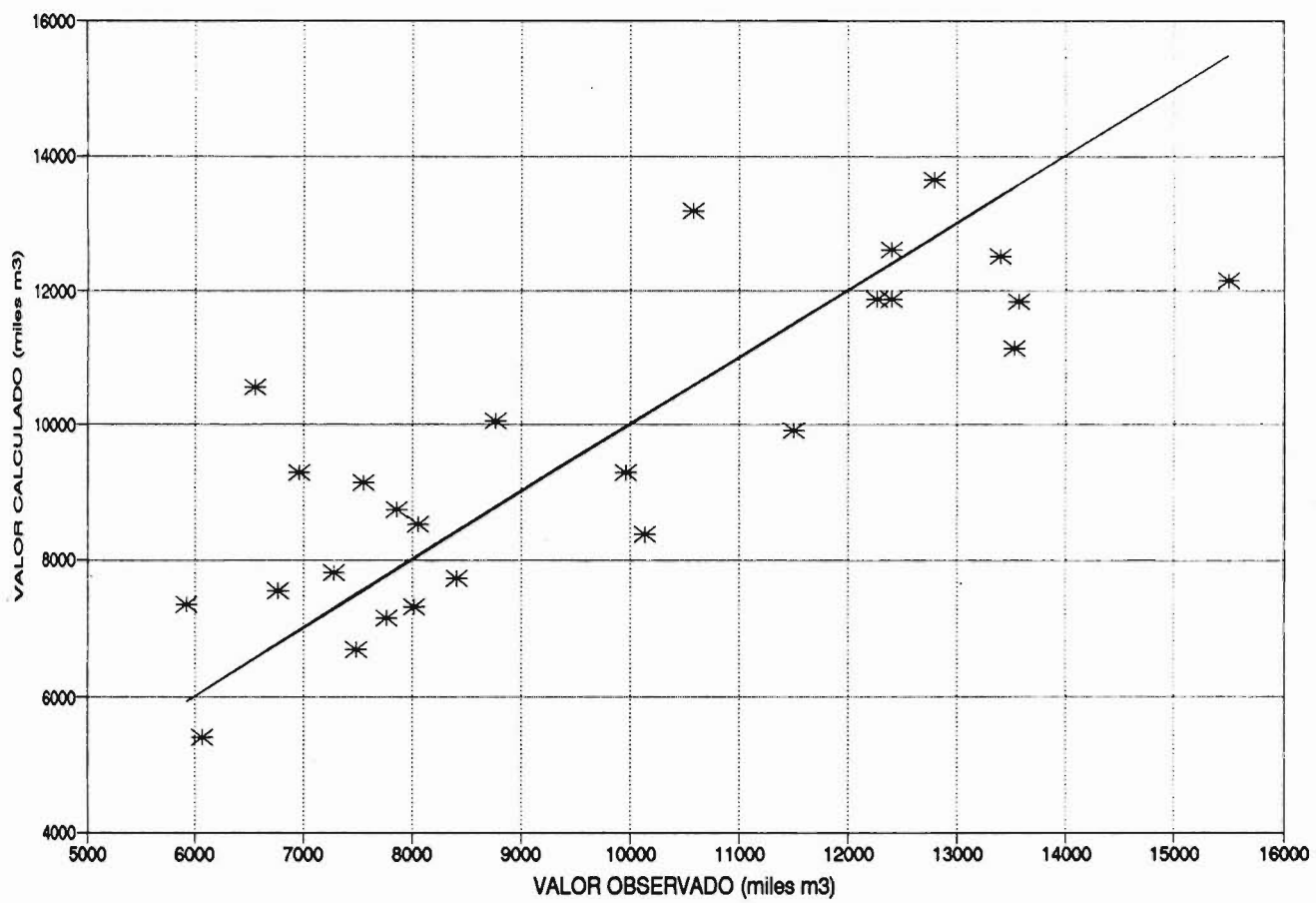


Figura 6.2.3-13  
Pronost. Vol. Jun.-Nov. Lag. Cotacotani

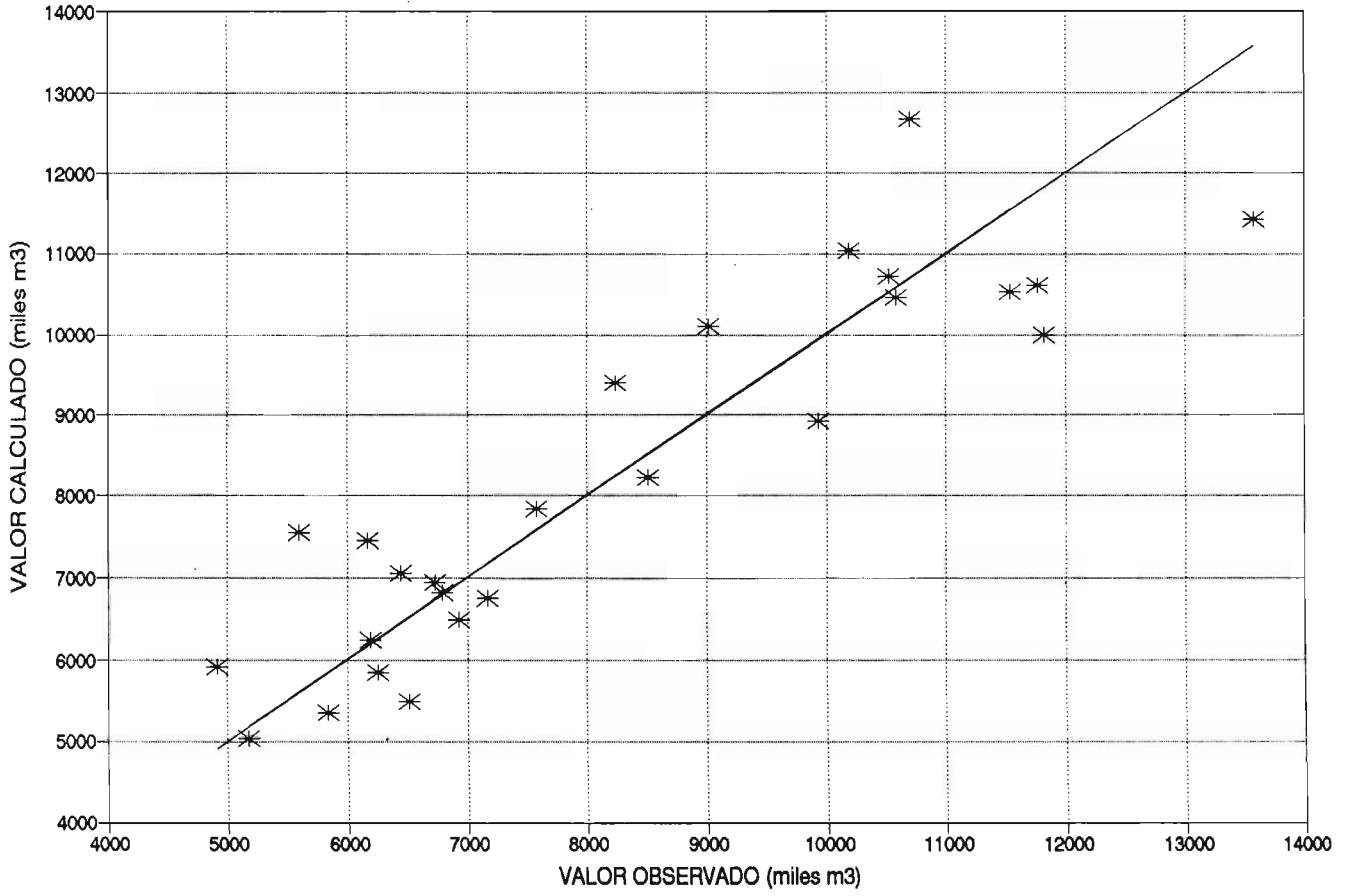


Figura 6.2.3-14  
Pronost. Vol. Jul.-Nov. Lag. Cotacotani

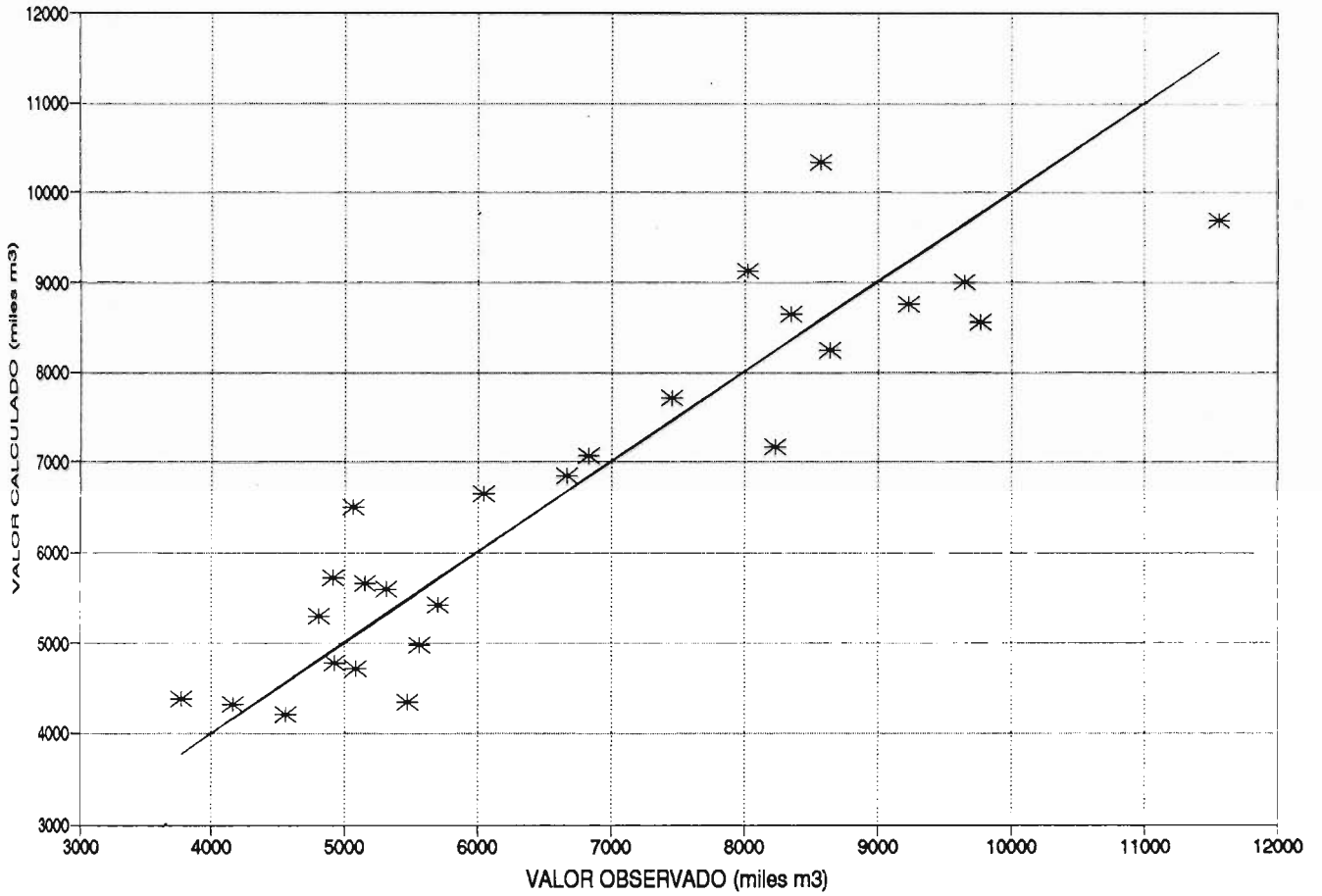


Figura 6.2.3-15  
Pronost. Vol. Ago.-Nov. Lag. Cotacotani

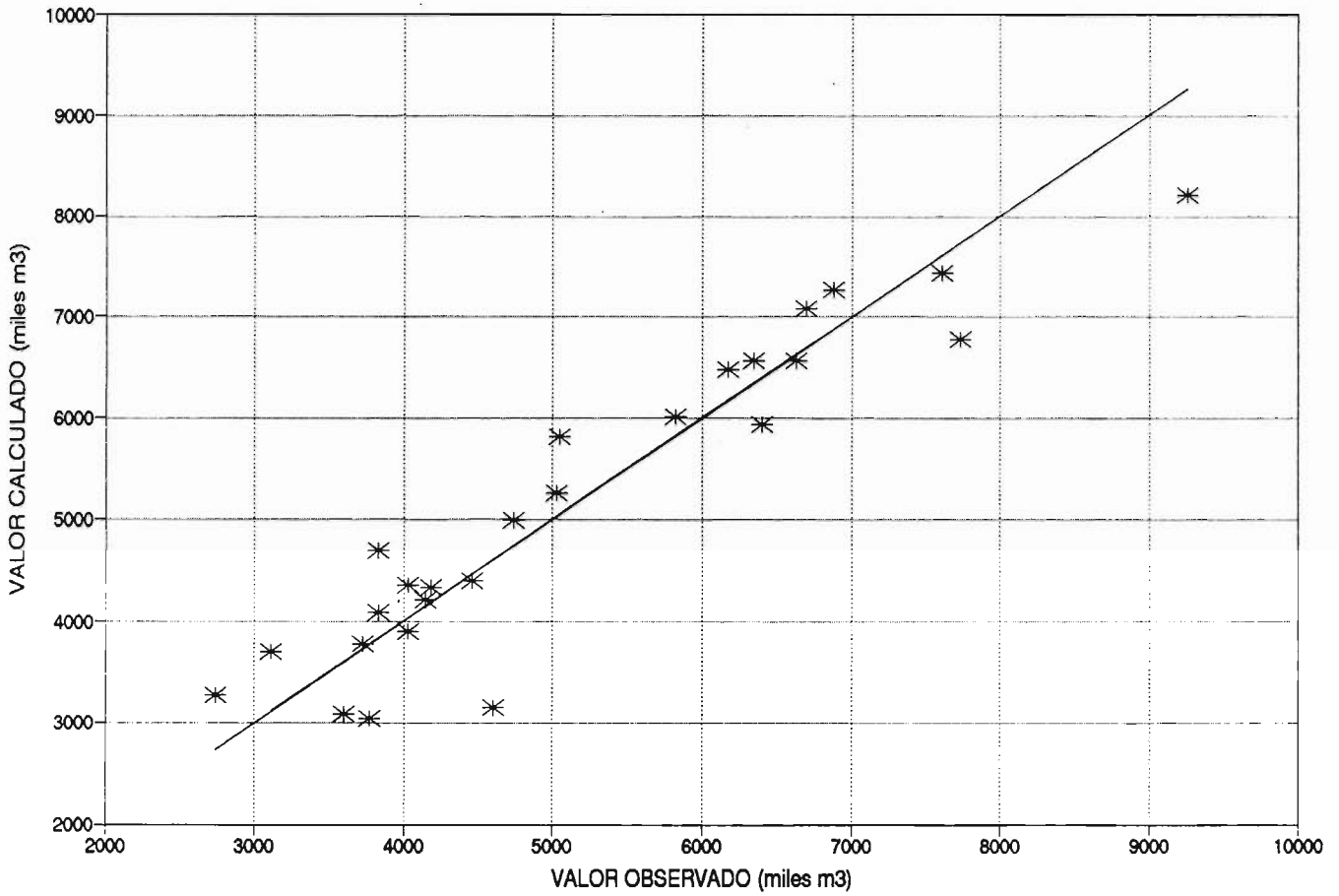




Figura 6.2.3-16  
Pronost. Vol.Sept.-Nov. Lag. Cotacotani

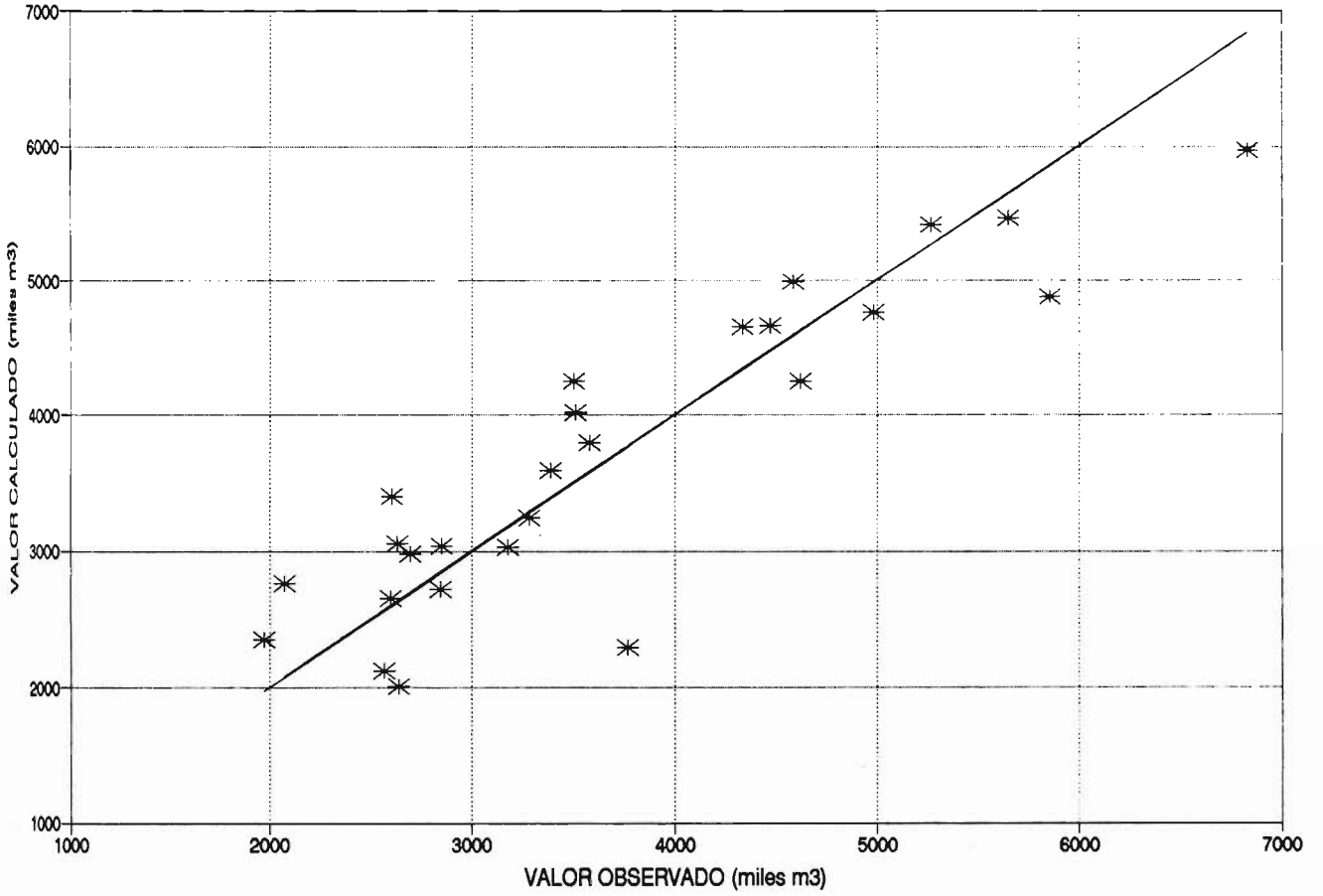
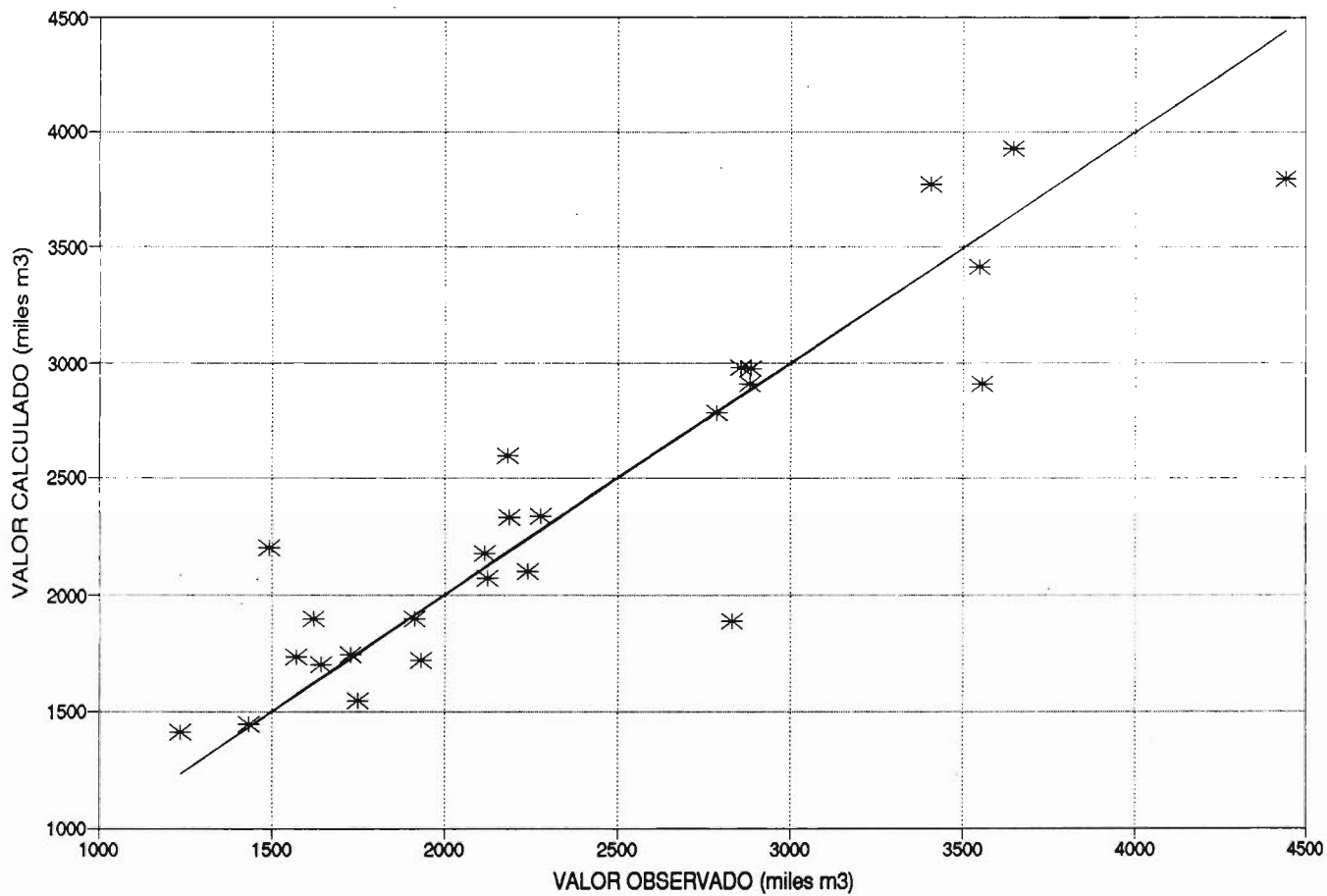


Figura 6.2.3-17  
Pronost. Vol. Oct.-Nov. Lag. Cotacotani



**CUADRO 6.2.3-8**  
**PARAMETROS DE AJUSTE PARA LAS EXPRESIONES**  
**DE VOLUMENES DEL CUADRO 6.2.3-7.**

PERÍODO DE ANALISIS	r <sup>2</sup>	Se (miles m <sup>3</sup> )	Se(l/s)	CVe (%)
ABR.- NOV.	0.60	1837	87.1	16.4
MAY.- NOV.	0.61	1634	88.3	16.9
JUN.- NOV.	0.78	1046	66.1	12.7
JUL.- NOV.	0.79	837	63.3	12.5
AGO.- NOV.	0.84	561	53.2	10.9
SEPT.- NOV.	0.74	549	69.8	14.8
OCT.- NOV.	0.75	343	65.1	14.3

Para finalizar con el estudio del pronóstico de los caudales afluentes a la laguna Cotacotani, es necesario poder cuantificar el grado de ajuste del método de pronóstico. Lo anterior se puede ver en el Cuadro 6.2.3-9. En éste se muestra el valor del coeficiente de variación del error estándar de estimación para cada mes pronosticado según el período que se analice.

**CUADRO 6.2.3-9**  
**COEFICIENTES DE VARIACION DEL ERROR ESTANDAR DE ESTIMACION (%)**  
**PARA EL METODO DE PRONOSTICO DE LOS CAUDALES AFLUENTES A LA**  
**LAGUNA COTACOTANI.**

PERÍODO DE PRONOSTICO	MES							
	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.
ABR.- NOV.	13.3	23.3	24.6	21.8	17.2	23.2	30.9	29.8
MAY.- NOV.		14.8	15.0	8.8	14.3	12.0	22.1	25.5
JUN.- NOV.			15.8	9.7	14.4	10.5	21.9	24.2
JUL.- NOV.				11.5	14.5	9.6	21.5	22.3
AGO.- NOV.					15.3	9.4	21.1	20.9
SEP.- NOV.						11.1	19.2	18.9
OCT.- NOV.							17.8	18.2

c) Caudales de aportes netos de las ciénagas de Parinacota

Las estadísticas de caudales netos considerados para las Ciénagas de Parinacota son las que se pueden observar en el Cuadro 6.2.3-10.

En forma análoga al análisis correspondiente al pronóstico de los caudales afluentes a la laguna Cotacotani, se utilizaron los mismos tres métodos ya explicados. En definitiva se analizan las curvas de recesión, la estimación del volumen de deshielo total más los coeficientes de distribución en base a la serie histórica y por último el pronóstico a partir de los caudales medios mensuales.

A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada método.

i) Hidrogramas adimensionales de recesión

En este caso se utilizó, nuevamente, como caudal base el promedio de Enero a Marzo, debido a que es el que provoca la menor dispersión en los datos.

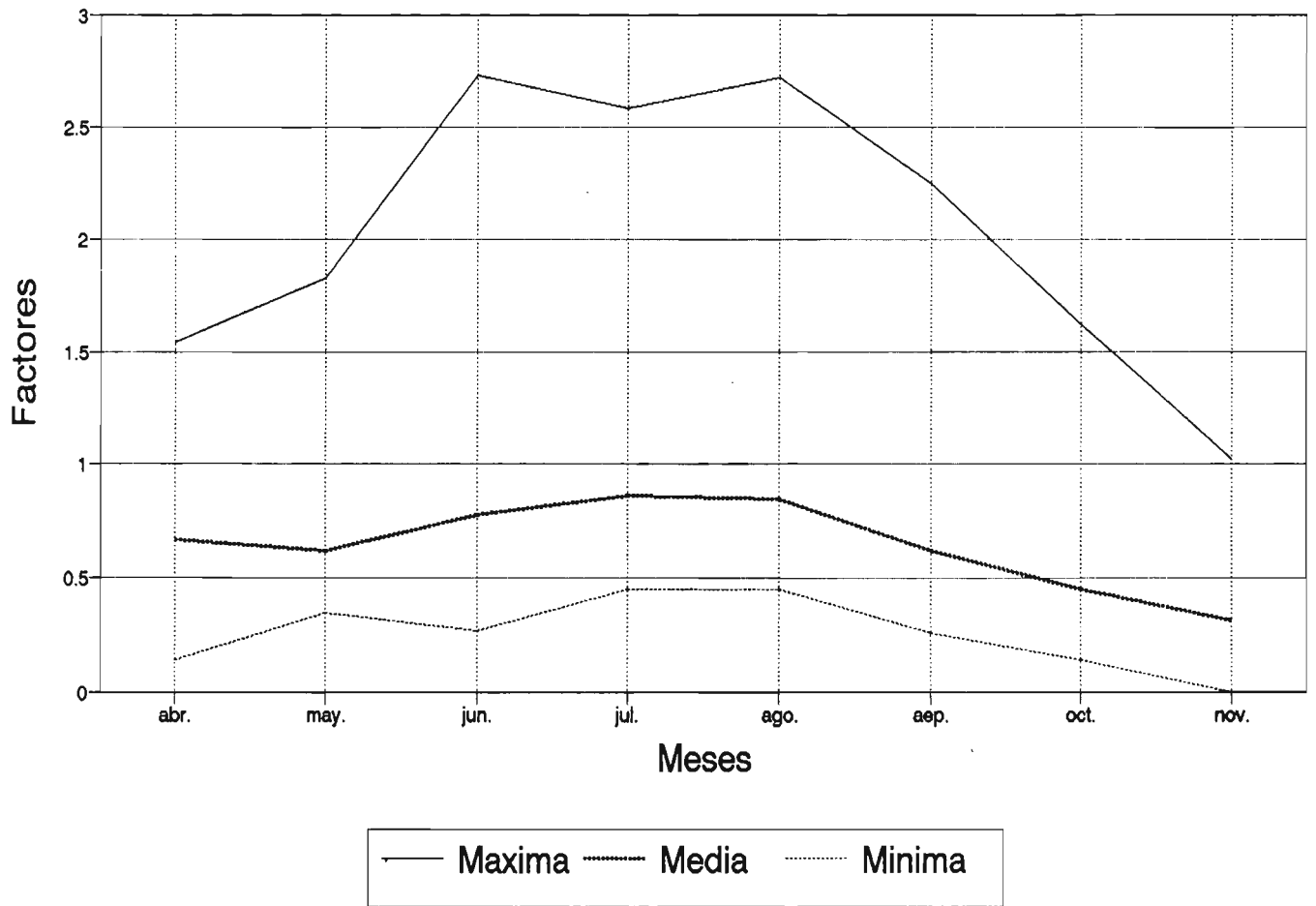
El período disponible para establecer relaciones de pronóstico comprende desde Abril de 1968 a Noviembre de 1993 (ver Cuadro 6.2.3-10), utilizándose toda la estadística.

Los valores correspondientes a la curva de recesión más representativa y a la envolvente superior e inferior para el período Abril a Noviembre, se presentan en el Cuadro 6.2.3-11 a continuación, y se grafican en la Figura 6.2.3-18.

CUADRO 6.2.3-10  
CAUDALES APORTES NETOS CIENAGAS DE PARINACOTA (l/s).

AÑO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
1967	135	56	152	275	1000	817	132	364	269	337	361	227	344
1968	206	212	138	270	551	311	52	212	199	284	286	207	244
1969	84	60	84	144	197	150	159	164	224	237	251	177	161
1970	134	88	58	328	865	502	148	207	154	295	267	191	270
1971	129	196	134	889	628	843	673	453	359	447	367	351	456
1972	297	150	127	534	703	535	274	370	270	400	339	364	364
1973	130	152	97	639	692	541	255	241	271	384	489	280	348
1974	184	112	116	436	748	1094	487	440	408	341	358	242	414
1975	261	46	212	734	781	617	289	246	408	532	469	268	405
1976	170	29	140	402	420	1021	531	454	369	341	326	305	376
1977	144	121	213	406	345	264	229	193	364	411	443	384	293
1978	273	197	226	445	219	605	217	249	350	488	412	299	332
1979	241	61	100	206	871	1054	310	287	363	406	319	297	376
1980	214	128	45	254	963	954	408	340	326	346	333	358	389
1981	135	96	154	472	336	330	231	237	250	406	396	364	284
1982	339	154	138	77	66	195	174	206	281	291	307	254	207
1983	183	66	54	533	928	1030	588	287	361	381	374	221	417
1984	220	450	175	416	494	724	650	404	432	266	273	293	400
1985	221	436	701	1185	1131	1394	839	510	576	562	590	434	715
1986	317	198	300	997	693	495	447	329	423	604	587	283	473
1987	161	80	180	539	463	506	494	341	309	330	266	132	317
1988	68	0	200	234	239	419	433	211	272	300	250	160	232
1989	93	0	0	97	170	184	133	171	410	325	279	141	167
1990	134	115	277	728	728	438	263	253	269	353	361	264	349
1991	165	160	97	456	152	100	132	180	264	302	410	265	224
1992	262	240	275	971	338	774	198	277	318	313	488	256	393
1993	182	69	456	556	1182	392	271	282	323	361	285	235	383
MAX.	339	450	701	1185	1182	1394	839	510	576	604	590	434	715
MED.	188	136	180	490	589	603	334	293	327	372	366	269	346
MIN.	68	0	0	77	66	100	52	164	154	237	250	132	161

Figura 6.2.3-18  
Curvas de Recesion C. de Parinacota



CUADRO 6.2.3-11  
CURVAS DE RECESION CAUDALES DE APORTES NETOS DE LAS CIENAGAS DE  
PARINACOTA.

CURVA	ABR.	MAY	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV
MAXIMA	154	183	273	258	272	225	162	102
MEDIA	67	62	78	86	85	62	45	31
MINIMA	14	35	27	45	45	26	14	0

- ii) Volumen de escorrentía en función de índices pluviométricos y fluviométricos antecedentes

Los parámetros utilizados, en este caso, para cuantificar el volumen de escorrentía desde Abril a Noviembre fueron el caudal medio aportante del mes de Marzo en las Ciénagas de Parinacota, así como la precipitación total en el período desde Octubre a Marzo registradas en Cotacotani.

Se intentó establecer relaciones con otras variables, pero no se obtuvieron buenos resultados. Entre estas variables estaban:

- Las precipitaciones en Chungará.
- Índices de precipitación considerando otros períodos, esto en Cotacotani.
- El nivel de la laguna Chungará.

La expresión de la mejor relación lograda para este caso fue:

$$V_{\text{Abr-Nov}} = 14.854I_p + 0.512Q_{\text{marzo}} \quad (3)$$

Donde:

- $V_{\text{abr-nov}}$  = Volumen de escorrentía entre los meses de Abril a Noviembre (ambos inclusive), en miles de m<sup>3</sup>.
- $I_p$  = Precipitación de Octubre a Marzo, registradas en Cotacotani, medido en (mm).
- $Q_{\text{marzo}}$  = Caudal medio aportante de las Ciénagas de Parinacota durante el mes de Marzo, medido en (l/s).

Para indicar la bondad del ajuste se muestran en el Cuadro 6.2.3-12 los valores del coeficiente de determinación ( $r^2$ ), del error estándar de estimación (Se) y del coeficiente de variación del error estándar de estimación (CVe), que se obtiene como el cociente del error estándar de estimación por la media de los datos observados. Para ver en forma gráfica el ajuste de esta curva con los datos medidos se entrega la Figura 6.2.3-19.

**CUADRO 6.2.3-12**  
**PARAMETROS DE LA BONDAD DEL AJUSTE PARA EL VOLUMEN DE DESHIELO**  
**PERÍODO ABR-NOV EN LAS CIENAGAS DE PARINACOTA**

$r^2$	Se (miles de m <sup>3</sup> )	CVe (%)
0.95	1353	22.3

Para calcular el caudal medio mensual en el período Abril-Noviembre, en l/s, en forma análoga al caso de la laguna Cotacotani, se multiplica el volumen estimado mediante la ecuación 3 por los coeficientes que se muestran en el Cuadro 6.2.3-13, que se han definido en base a la serie histórica.

**CUADRO 6.2.3-13**  
**COEFICIENTES DE DISTRIBUCION MENSUAL APORTES**  
**NETOS DE LAS CIENAGAS DE PARINACOTA**

ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.
0.148	0.125	0.144	0.159	0.162	0.115	0.083	0.058

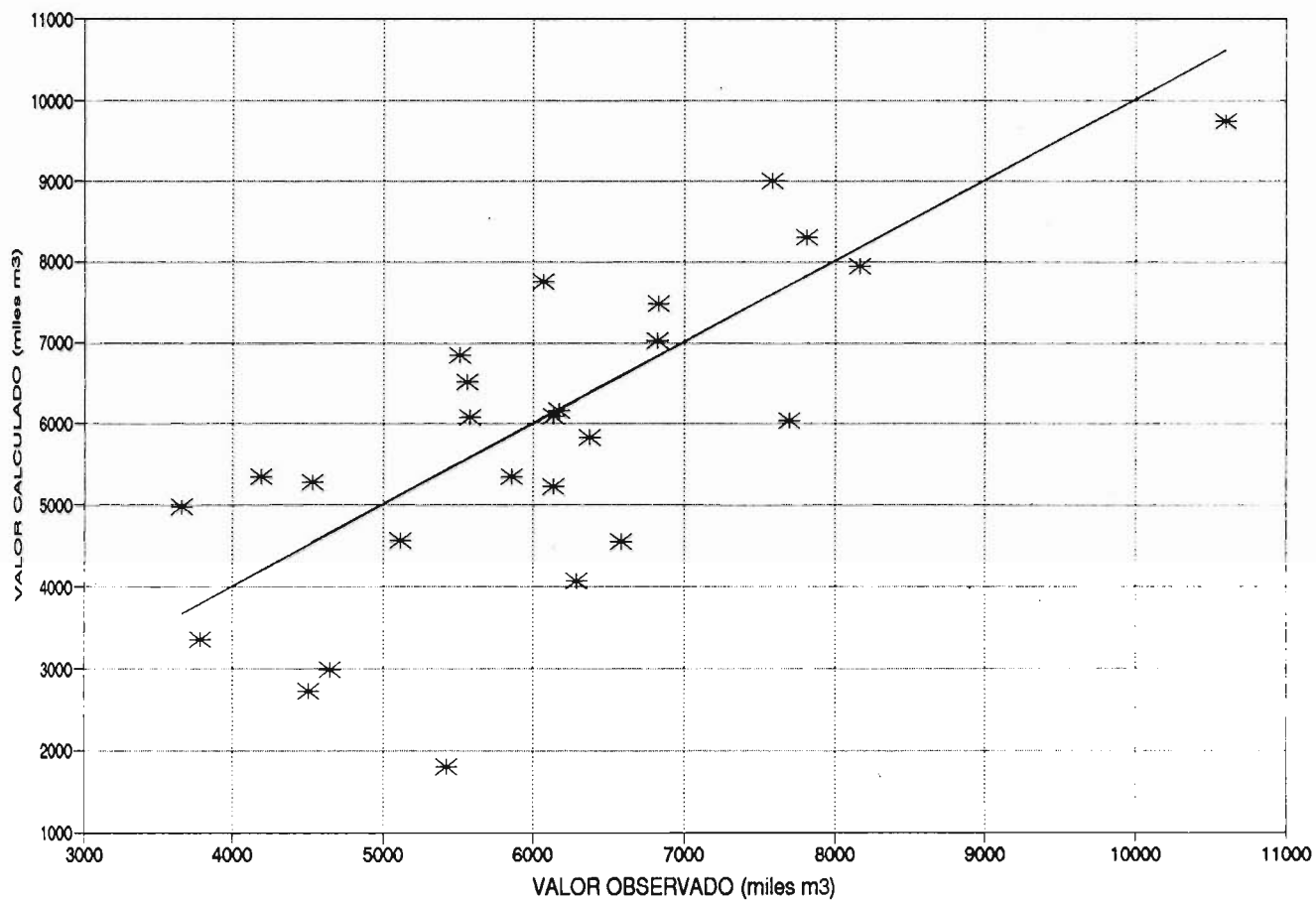
- iii) Pronóstico de caudales medios mensuales en función de autocorrelación con las condiciones fluviométricas anteriores.

El tercer método de pronóstico para los caudales de deshielo en el período Abril a Noviembre, consiste en estimar dichos caudales en función de las condiciones antecedentes.

Al igual que el caso de la laguna Cotacotani se propone una relación de autocorrelación lineal con respecto a los caudales medios mensuales de los dos meses anteriores al mes en cuestión. De esta manera para cada mes se tiene la expresión que se encuentra en la ecuación 2.



Figura 6.2.3-19  
Pronost. Vol. Abr.-Nov. C. Parinacota



Los valores de los parámetros a, b y c para los meses de Abril a Noviembre, así como los indicadores  $r^2$ , Se l/s y CVe se muestran en el Cuadro 6.2.3-14. El ajuste en forma gráfica para cada uno de los meses, desde Abril a Noviembre, se entrega en las Figuras 6.2.3-20 a la 6.2.3-27.

CUADRO 6.2.3-14  
RESUMEN DE COEFICIENTES PARA PRONOSTICOS MENSUALES APORTES  
NETOS DE LAS CIENAGAS DE PARINACOTA

MES	a	b	c	$r^2$	Se l/s	CVe (%)
ABR.	0.512	0.146	105.93	0.48	139.6	41.5
MAY.	0.216	0.146	131.063	0.74	48.5	16.5
JUN.	0.070	0.281	211.662	0.45	62.5	19.1
JUL.	0.640	0.021	169.594	0.30	73.4	19.7
AGO.	0.782	0.064	57.163	0.59	58.9	15.9
SEP.	0.277	0.234	80.281	0.30	62.0	22.9
OCT.	0.516	0.139	-0.363	0.41	52.9	27.8
NOV.	0.677	-0.095	35.789	0.10	100.9	72.5

iv) Comparación de los diferentes métodos.

Para efectuar la comparación de los distintos métodos utilizados se toma como parámetro de comparación el valor del coeficiente de variación del error estándar de estimación. De esta manera en el Cuadro 6.2.3-15 se presenta el valor de este parámetro según el método y para cada mes del pronóstico en cuestión, es decir desde Abril a Noviembre.

De acuerdo con lo presentado en el Cuadro 6.2.3-15, se opta por utilizar un método de pronóstico tomando como base el método de caudales medios mensuales, considerando una corrección para cada mes. Lo anterior tomando en cuenta que es este método el que presenta menor coeficiente de variación en la mayor parte del período de pronóstico. Además cabe destacar que este método, con la actualización llevada a cabo a partir de los volúmenes de escorrentía que se van registrando para cada período de pronóstico, permite mejorar notablemente los resultados del coeficiente de variación del error estándar de estimación.

Figura 6.2.3-20  
Pronost. Caudal Abril C. Parinacota

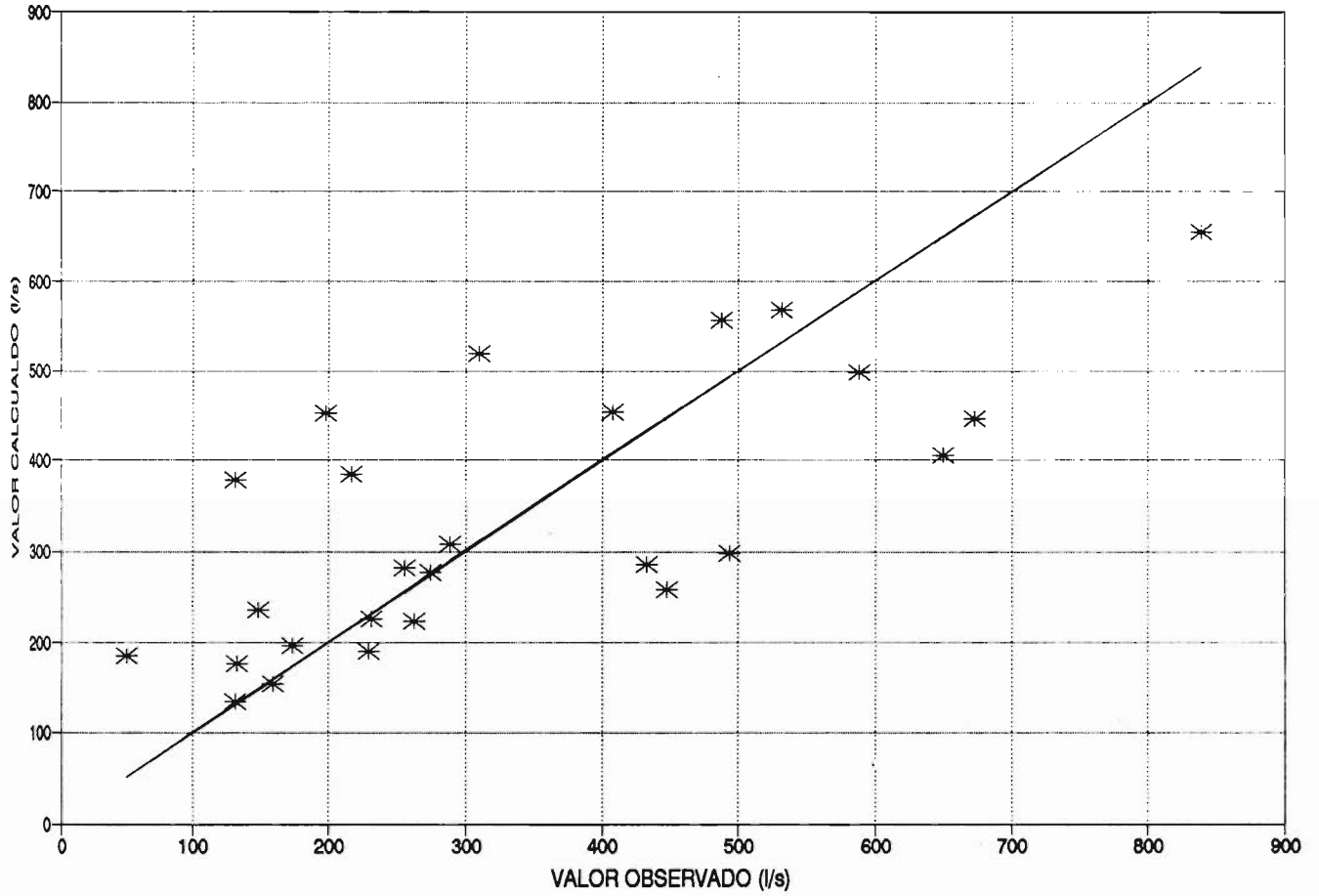


Figura 6.2.3-21  
Pronost. Caudal Mayo C. Parinacota

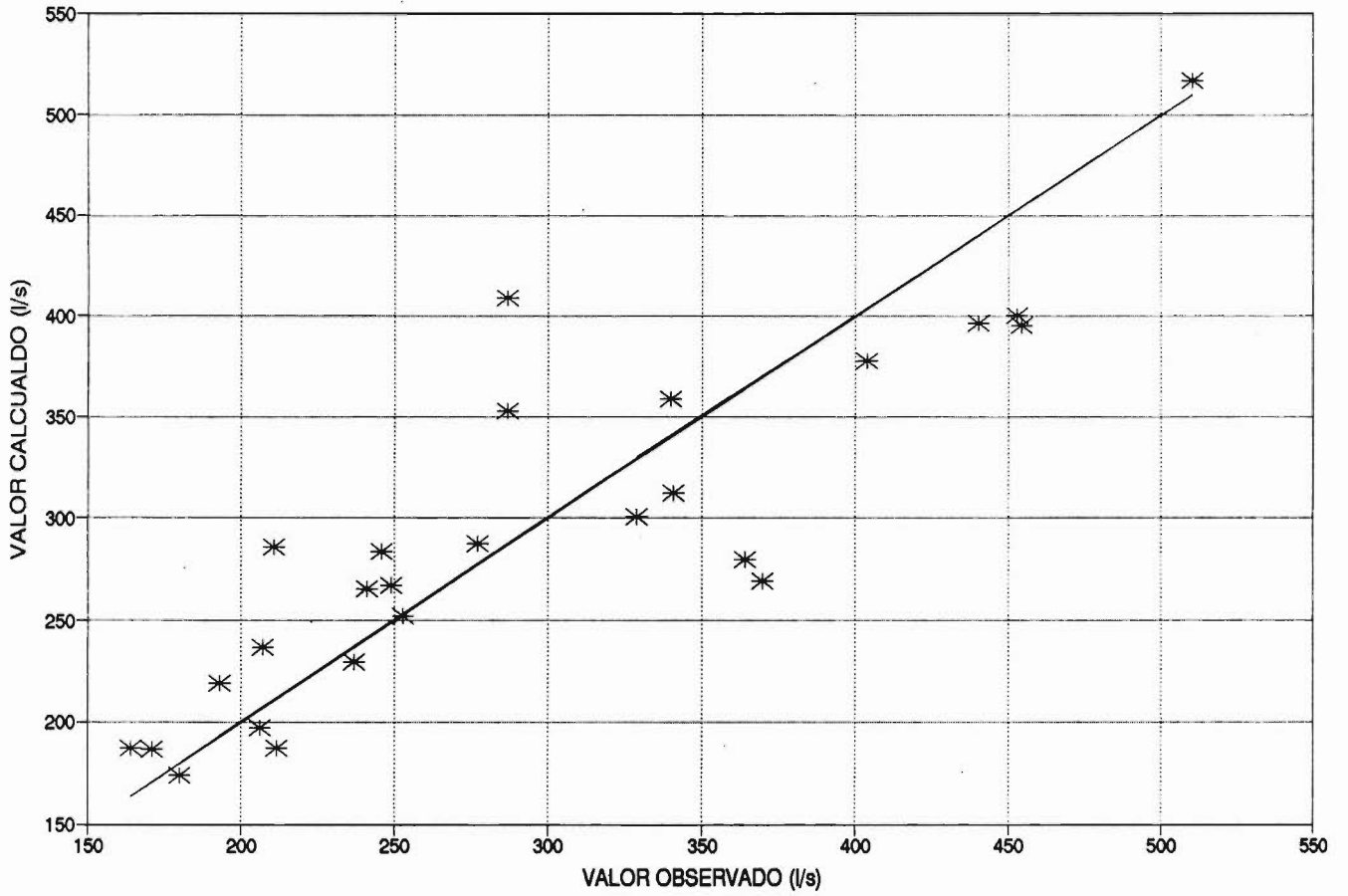


Figura 6.2.3-22  
Pronost. Caudal Junio C. Parinacota

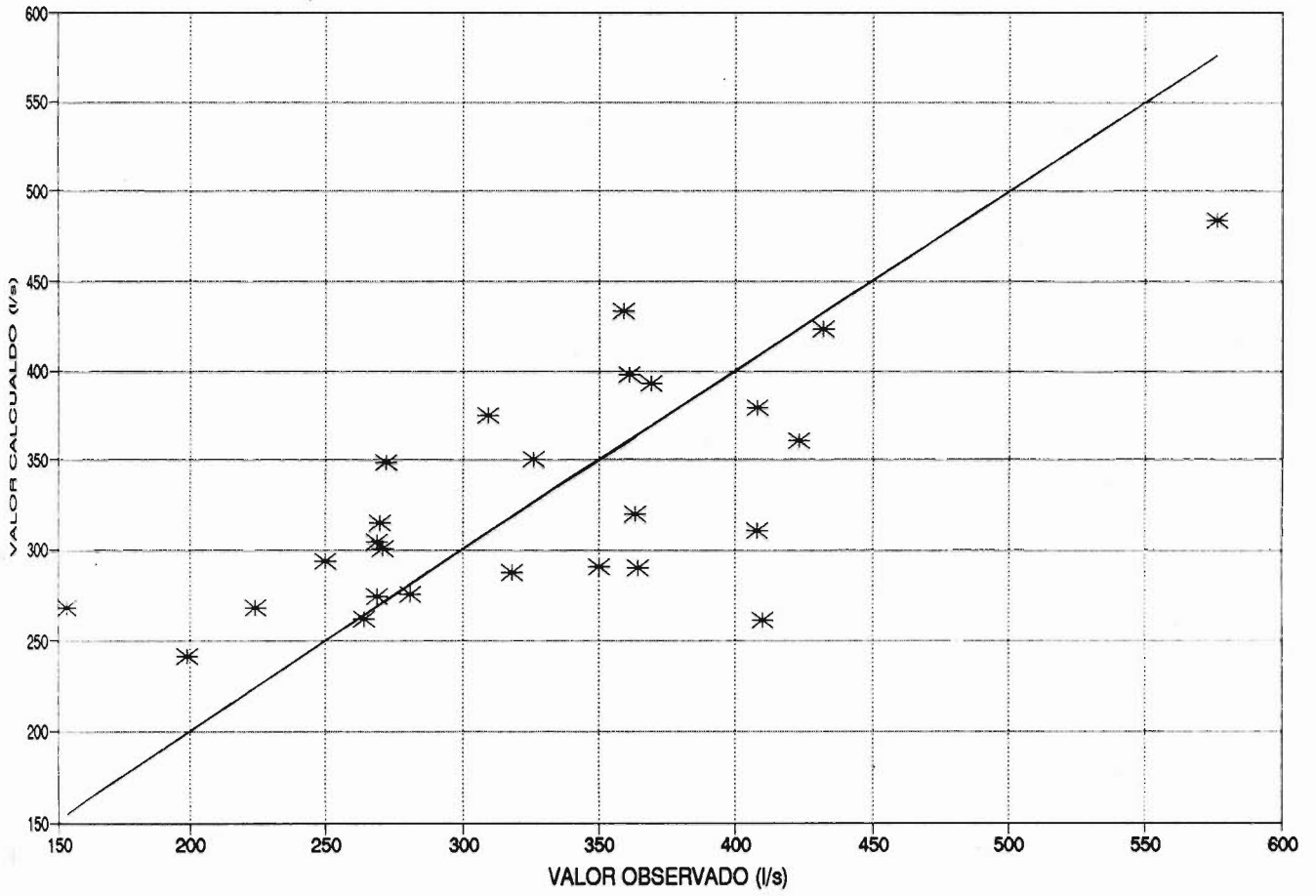


Figura 6.2.3- 23  
Pronost. Caudal Julio C. Parinacota

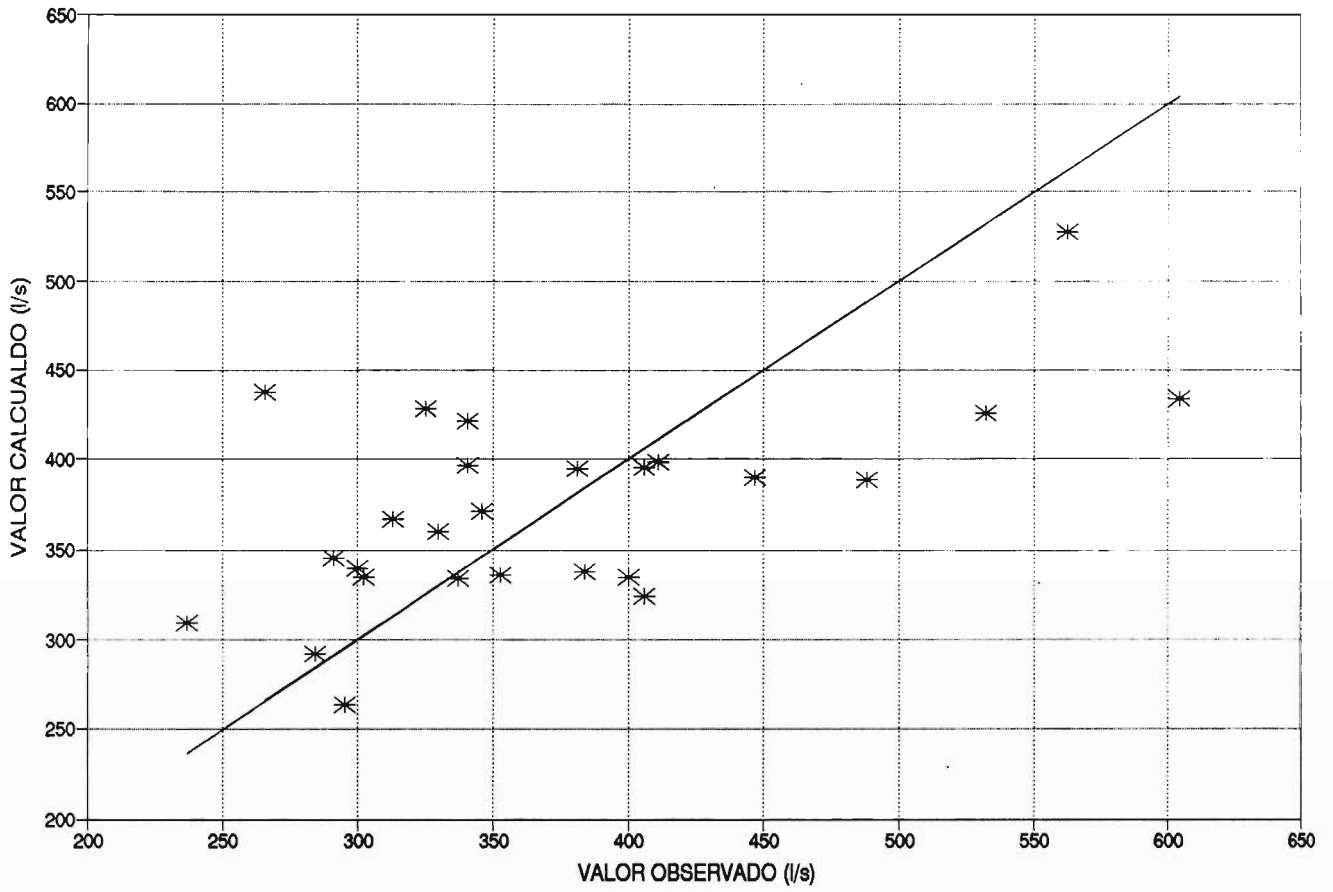


Figura 6.2.3-24  
Pronost. Caudal Agosto C. Parinacota

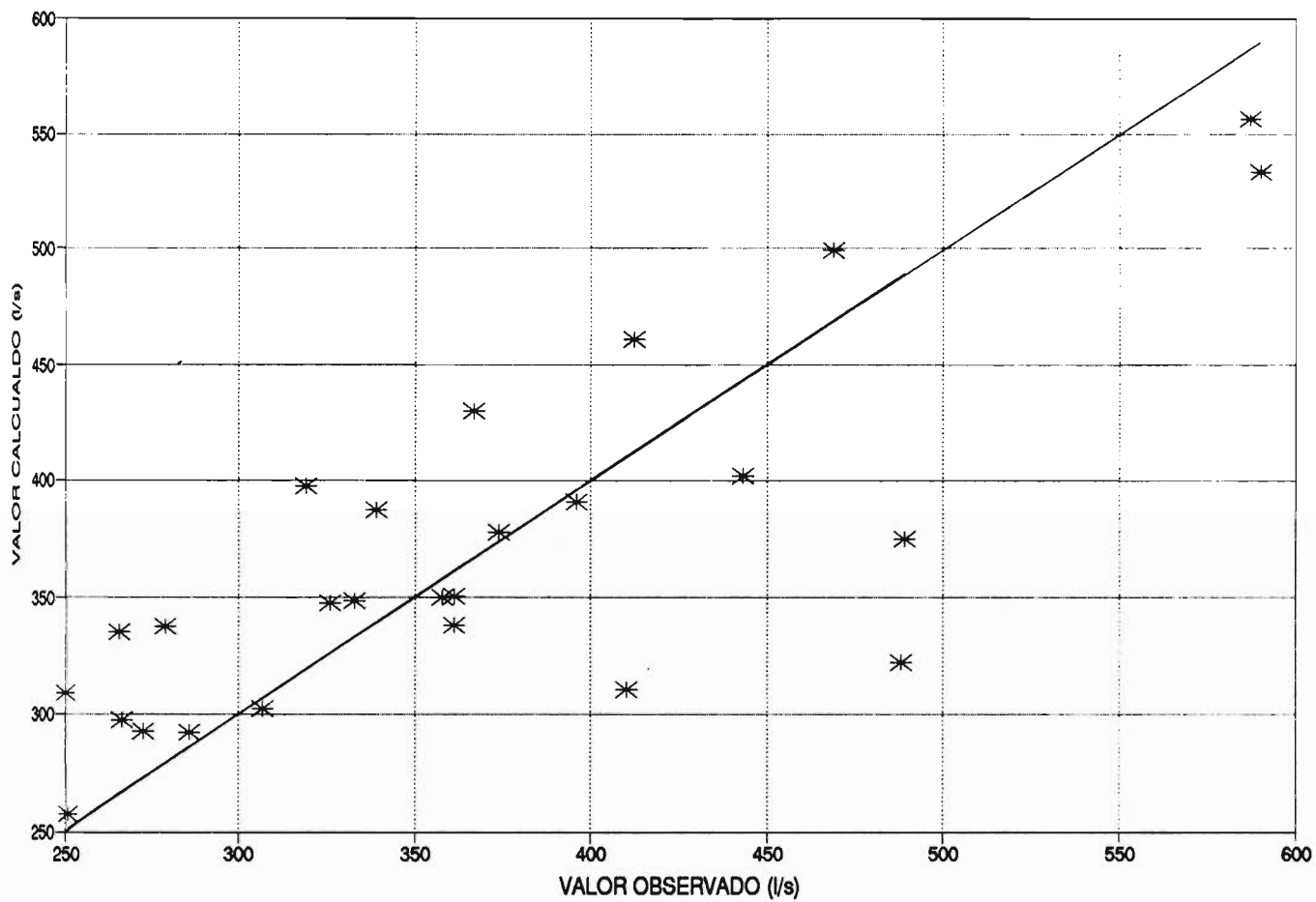


Figura 6.2.3-25  
Pronost. Caudal Sept. C. Parinacota

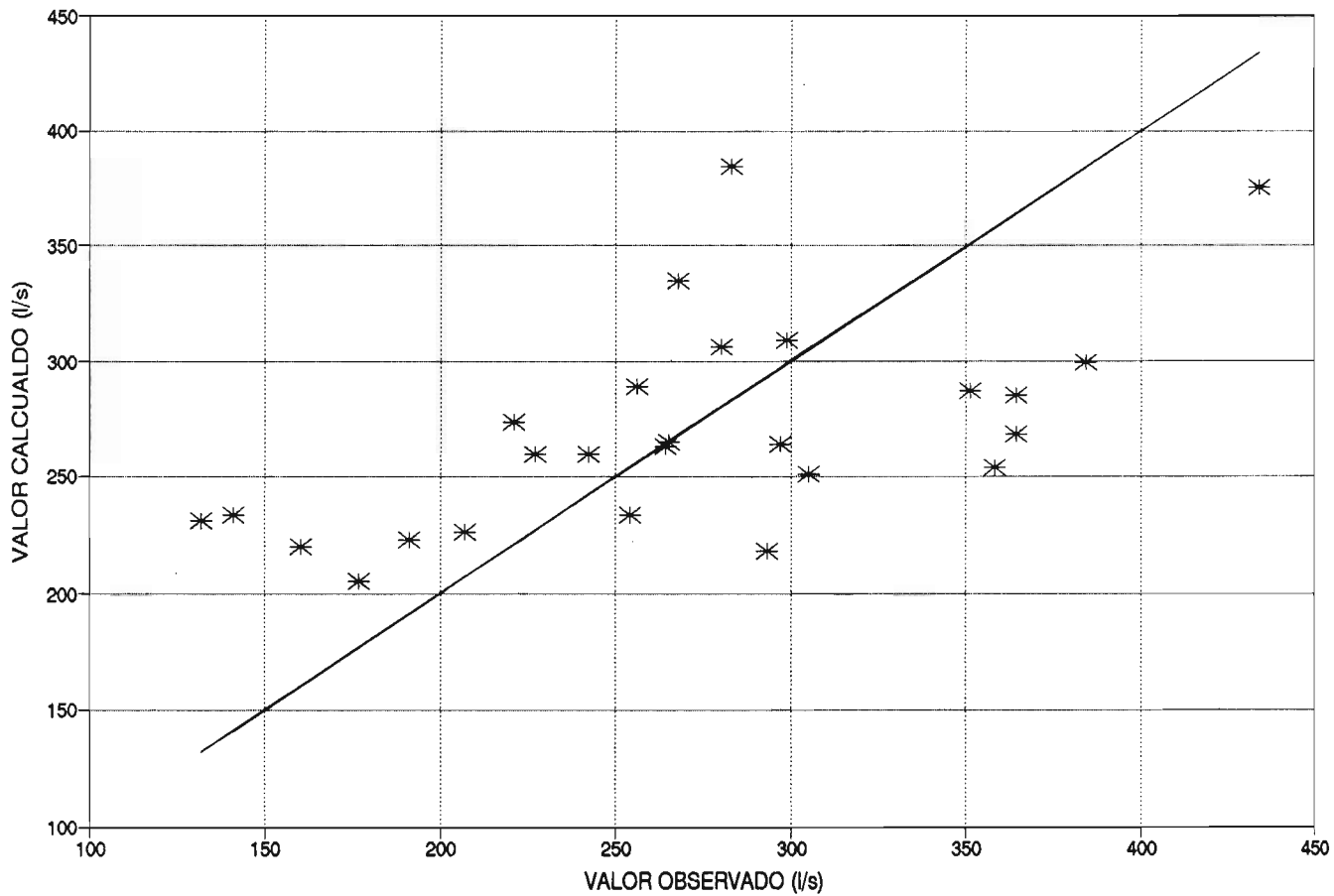




Figura 6.2.3-26  
Pronost. Caudal Oct. C. Parinacota

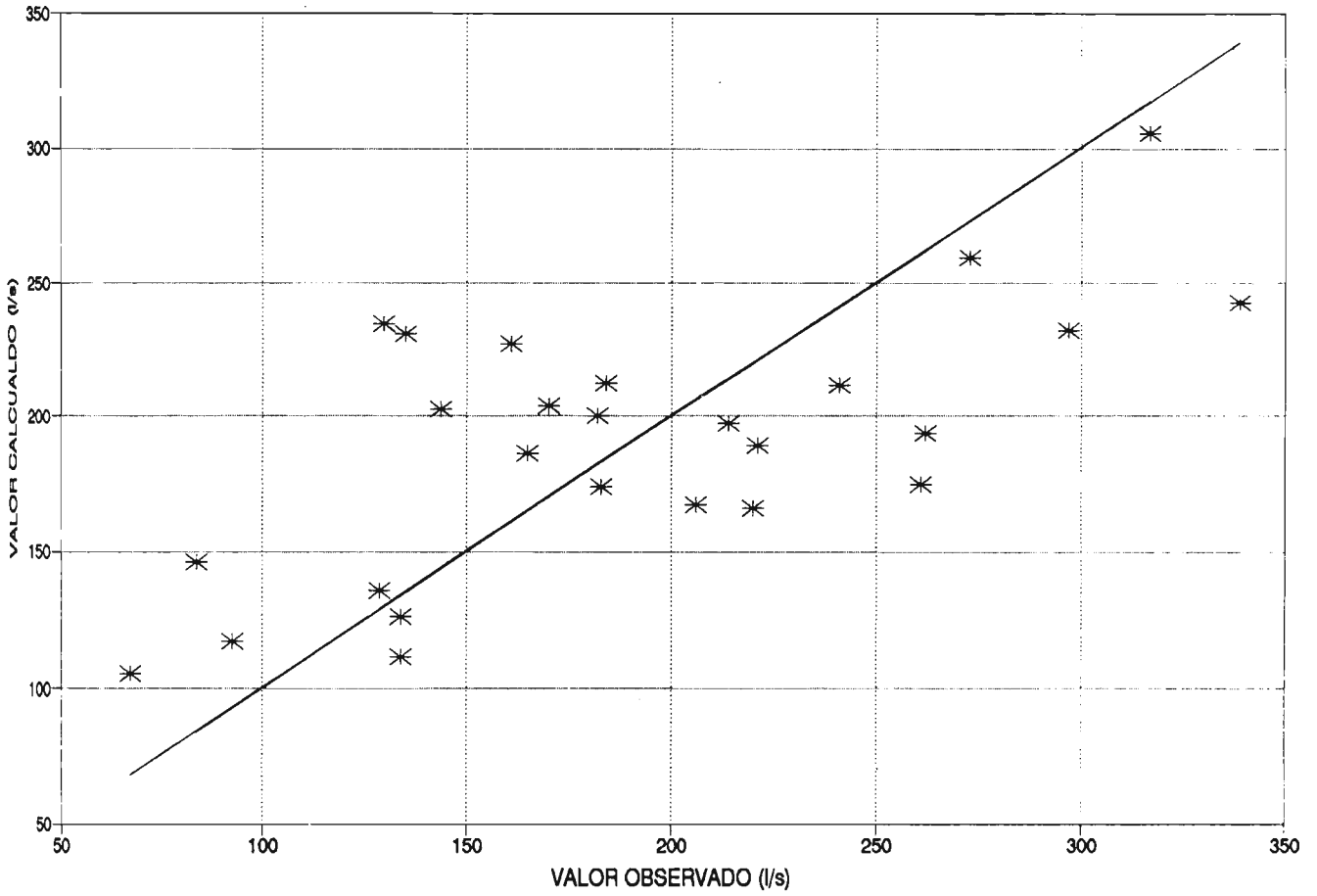
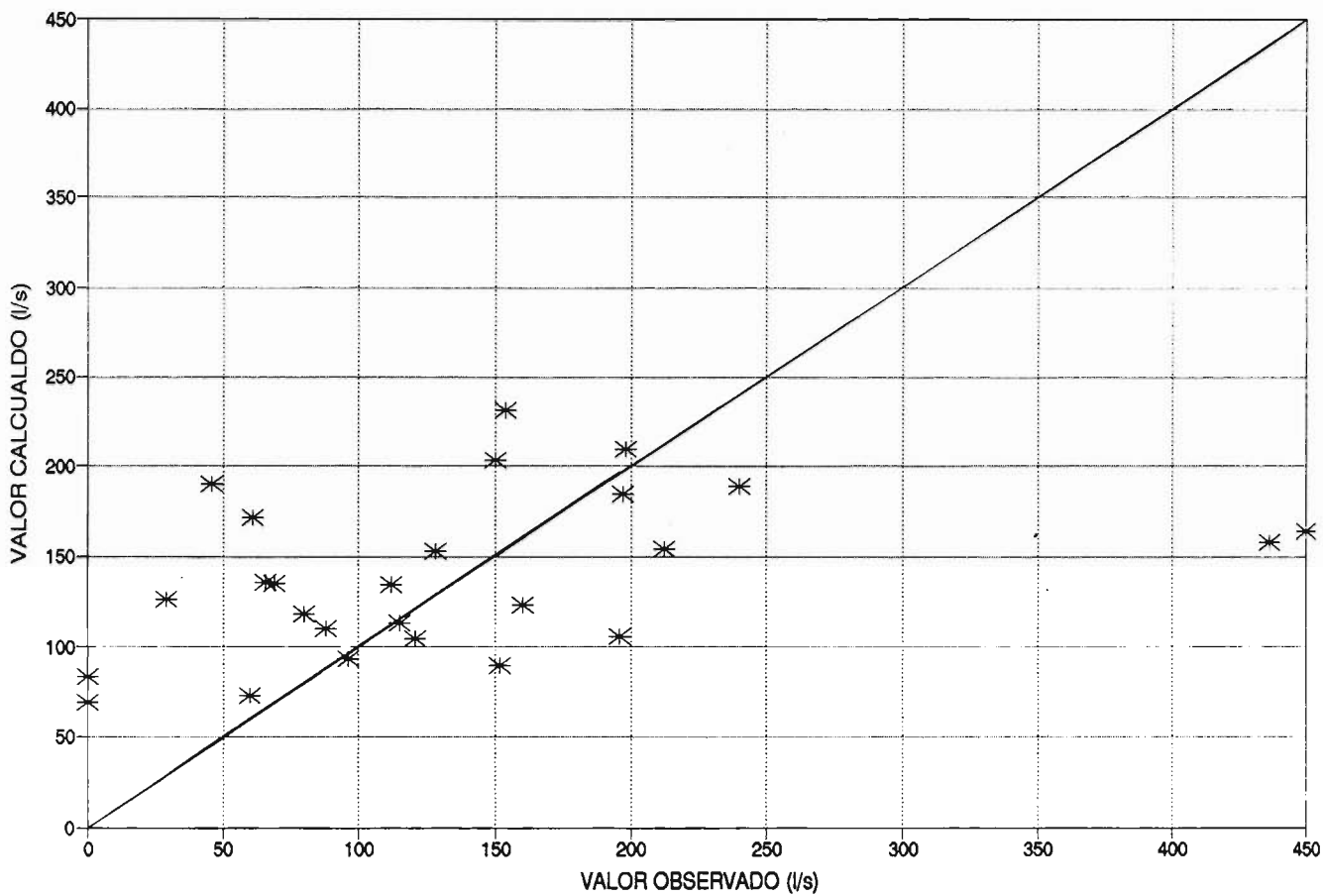


Figura 6.2.3-27  
Pronost. Caudal Nov. C. Parinacota



**CUADRO 6.2.3-15**  
**COEFICIENTES DE VARIACION DEL ERROR ESTANDAR DE ESTIMACION (%)**  
**SEGUN METODO PARA APORTES NETOS DE LAS CIENAGAS DE PARINACOTA.**

		METODO DE PRONOSTICO	
MES	Curva de Recesión.	Volumen Abr-Nov considerando coeficientes de distribución mensual.	Caudales Medios Mensuales.
ABR.	22.9	33.1	41.5
MAY.	19.0	32.3	16.5
JUN.	29.2	44.2	19.1
JUL.	28.4	49.0	19.7
AGO.	32.9	60.0	15.9
SEP.	27.6	39.9	22.9
OCT.	25.1	38.2	27.8
NOV.	25.7	47.2	72.5
Período ABR.-NOV.	44.3	21.6	44.3

- v) Método recomendado para pronóstico de caudales de aportes netos de las Ciénagas de Parinacota.

De acuerdo al Cuadro 6.2.3-15, se determinó utilizar el método de caudales medios mensuales como base del método de pronóstico a utilizar para obtener los aportes netos de las ciénagas de Parinacota. El método propuesto es el mismo que para el caso de Cotacotani, luego análogamente:

- Se estima, el volumen de abril a noviembre de acuerdo a la expresión que se entrega en el Cuadro 6.2.3-16. Este pronóstico se basa en los caudales desde Enero a Marzo del año en cuestión. Los parámetros de calidad de ajuste de estas expresiones se encuentran en el Cuadro 6.2.3-17. El valor de este volumen se toma como base para llevar a cabo la corrección de los caudales de cada mes.

- De acuerdo al Cuadro 6.2.3-14, se hace el cálculo de los caudales para cada mes, a partir desde Abril. La suma de todos estos caudales, desde Abril a Noviembre con sus respectivos factores de conversión, son el volumen pronosticado para el período de deshielo, el que deberá corregirse para resultar consistente con el volumen base calculado en el párrafo anterior. El factor de corrección para cada uno de los caudales desde Abril a Noviembre, obtenidos a partir del Cuadro 6.2.3-14, es la división del volumen base, por el volumen pronosticado en este punto. Cada mes deberá ser multiplicado por este factor, obteniéndose el valor corregido de cada uno de los caudales para el primer período, que en este caso va desde Abril a Noviembre.

- Para el segundo período y los restantes se deberán utilizar las expresiones del Cuadro 6.2.3-16 para obtener el volumen base de cada período. El factor de corrección siempre será el cociente entre el valor base del volumen y el valor pronosticado de este volumen, que resulta ser la suma de todos los caudales que se encuentren en el período considerando su respectiva transformación para llevarlos a m<sup>3</sup>.

**CUADRO 6.2.3-16**  
**EXPRESIONES PARA VOLUMENES SEGUN PERÍODO DE ANALISIS APORTES**  
**NETOS DE LAS CIENAGAS DE PARINACOTA**

PERÍODO DE ANALISIS	EXPRESION DEL VOLUMEN MEDIDO EN MILES DE M <sup>3</sup>
ABR.- NOV.	$4157.499 - 0.224 * Q_{feb} + 3.320 * Q_{mar}$
MAY.- NOV.	$3608.463 + 0.534 * Q_{feb} + 0.666 * Q_{mar} + 2.505 * Q_{abr}$
JUN.- NOV.	$3284.890 + 0.529 * Q_{feb} + 0.306 * Q_{mar} + 1.969 * Q_{abr} - 0.117 * Q_{may}$
JUL.- NOV.	$1394.307 + 1.038 * Q_{feb} - 0.527 * Q_{mar} - 0.092 * Q_{abr} + 0.331 * Q_{may} + 5.638 * Q_{jun}$
AGO.- NOV.	$845.053 + 0.240 * Q_{feb} + 0.046 * Q_{mar} + 0.121 * Q_{abr} + 0.214 * Q_{may} + 1.675 * Q_{jun} + 2.414 * Q_{jul}$
SEP.- NOV.	$628.577 + 0.272 * Q_{feb} - 0.098 * Q_{mar} + 0.769 * Q_{abr} + 0.157 * Q_{may} + 0.581 * Q_{jun} - 1.702 * Q_{jul} + 2.671 * Q_{ago}$
OCT.- NOV.	$397.646 + 0.440 * Q_{feb} - 0.164 * Q_{mar} + 0.860 * Q_{abr} - 1.734 * Q_{may} + 1.304 * Q_{jun} - 2.823 * Q_{jul} + 0.960 * Q_{ago} + 3.014 * Q_{sep}$

Al igual que en el método de pronóstico de la Laguna Cotacotani, en las Figuras 6.2.3-28 al 6.2.3-34 se presentan los ajustes gráficos correspondientes a las relaciones de

pronóstico representadas por las ecuaciones del Cuadro 6.2.3-16 para el pronóstico progresivo del volumen de escorrentía de las ciénagas de Parinacota.

Finalmente en el Cuadro 6.2.3-18 se puede ver el valor del coeficiente de variación del error estándar de estimación para cada mes pronosticado según el período que se analice, para el caso de los aportes netos de las Ciénagas de Parinacota.

CUADRO 6.2.3-17  
PARAMETROS DE AJUSTE PARA LAS EXPRESIONES DE  
VOLUMENES DEL CUADRO 6.2.3-16

PERÍODO DE ANALISIS	$r^2$	Se(miles m <sup>3</sup> )	Se(l/s)	CVe (%)
ABR.- NOV.	0.45	1089	51.6	18.0
MAY. - NOV.	0.41	848	45.9	16.4
JUN. - NOV.	0.20	806	51.0	18.3
JUL. - NOV.	0.27	630	47.7	17.8
AGO. - NOV.	0.16	537	50.9	21.0
SEP. - NOV.	0.02	442	56.2	28.2
OCT. - NOV.	0.14	307	58.2	35.3

CUADRO 6.2.3-18  
COEFICIENTES DE VARIACION DEL ERROR ESTANDAR DE ESTIMACION (%)  
PARA EL METODO DE PRONOSTICO DE LOS APORTES NETOS DE LAS  
CIENAGAS DE PARINACOTA

PERÍODO DE PRONOSTICO	MES							
	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.
ABR.- NOV.	31.1	23.3	21.5	21.8	22.5	26.8	30.3	72.8
MAY.- NOV.		21.4	18.2	16.5	16.4	17.6	25.7	74.4
JUN.- NOV.			18.7	16.5	15.7	18.0	24.7	73.7
JUL.- NOV.				18.1	16.1	16.8	23.5	72.0
AGO.- NOV.					20.7	17.6	21.1	67.1
SEP.- NOV.						22.9	21.5	57.8
OCT.- NOV.							30.5	43.2

Figura 6.2.3-28  
Pronost. Vol. Abr.-Nov. C. Parinacota

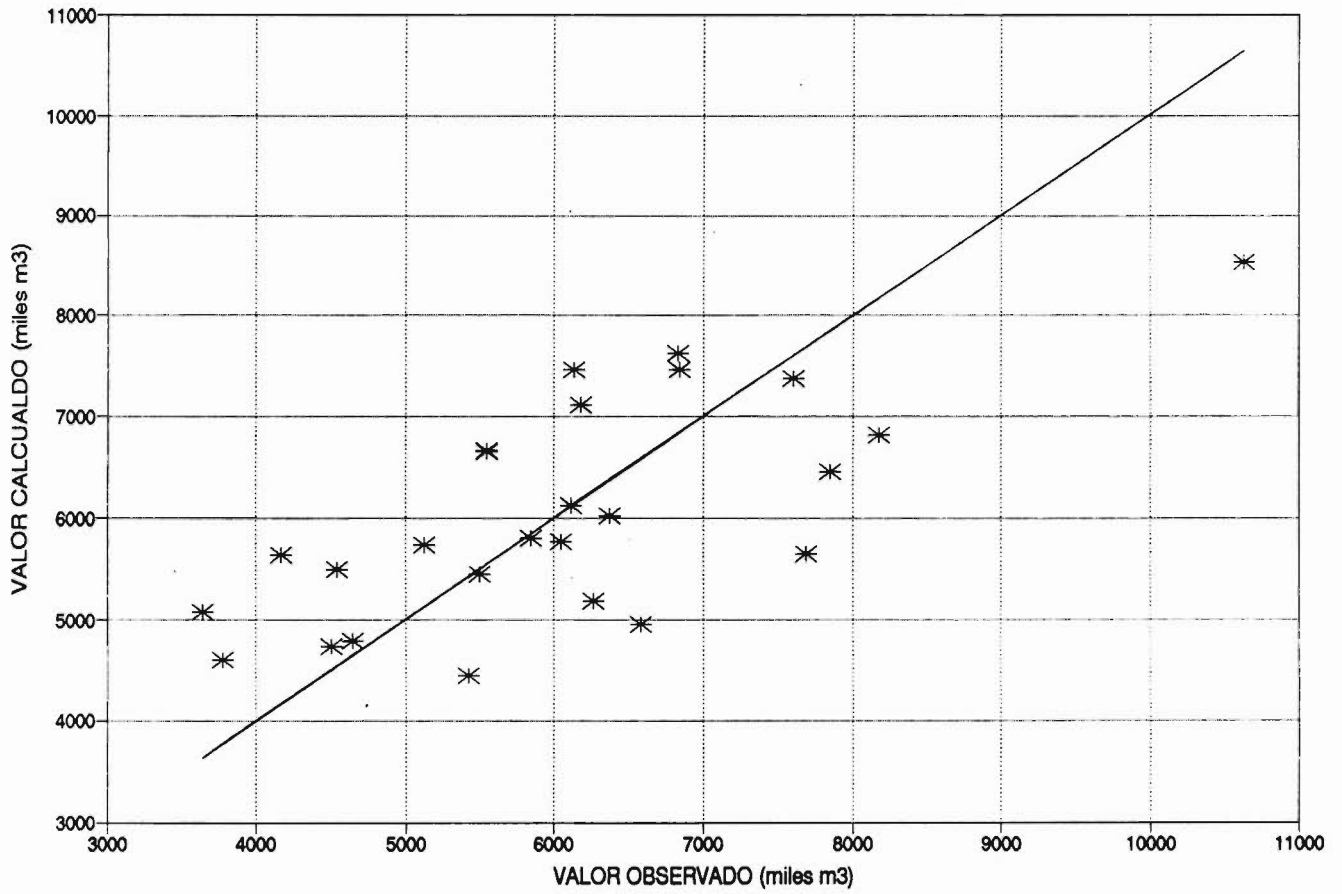


Figura 6.2.3-29  
Pronost. Vol. May.-Nov. C. Parinacota

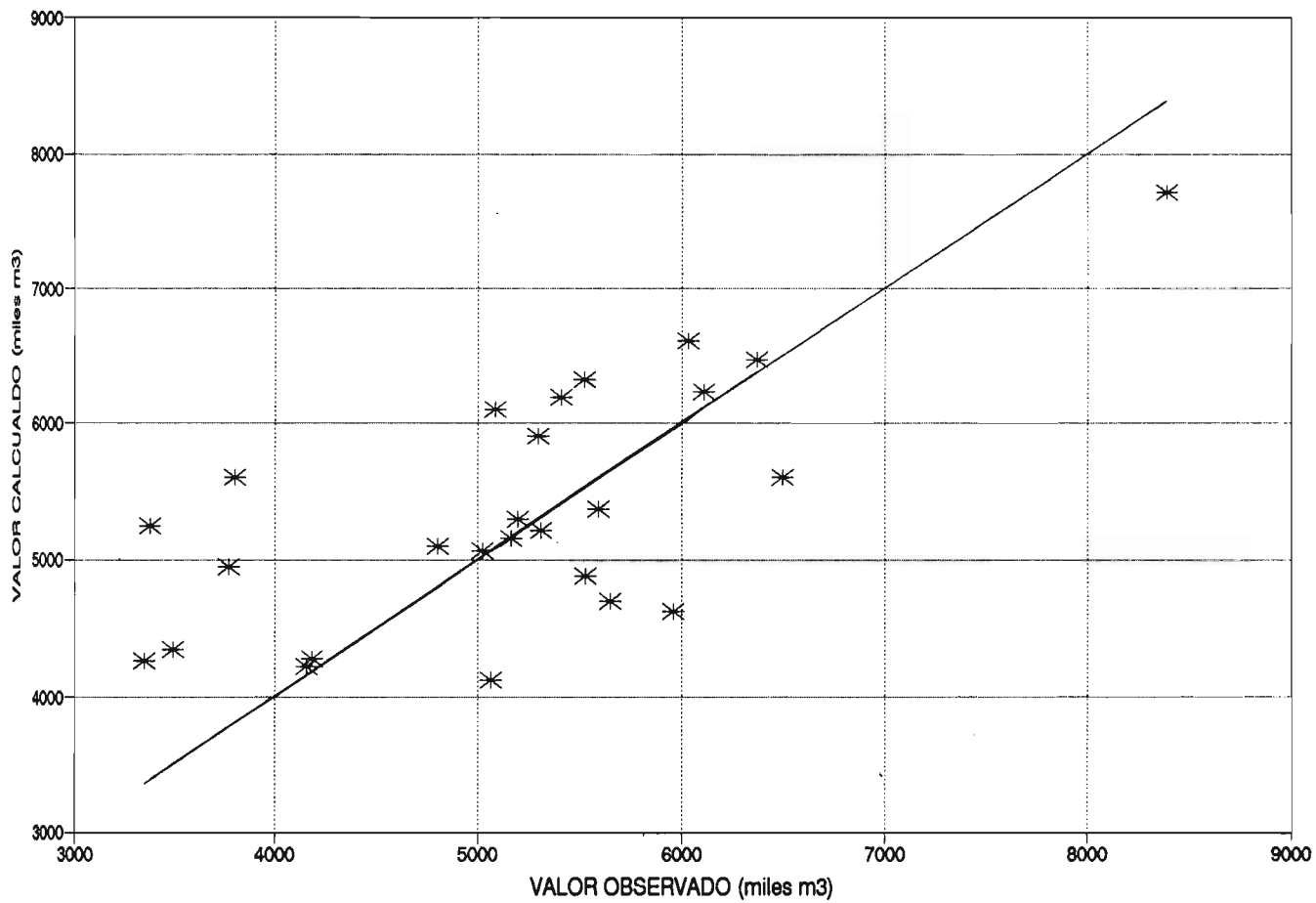


Figura 6.2.3-30  
Pronost. Vol. Jun.-Nov. C. Parinacota

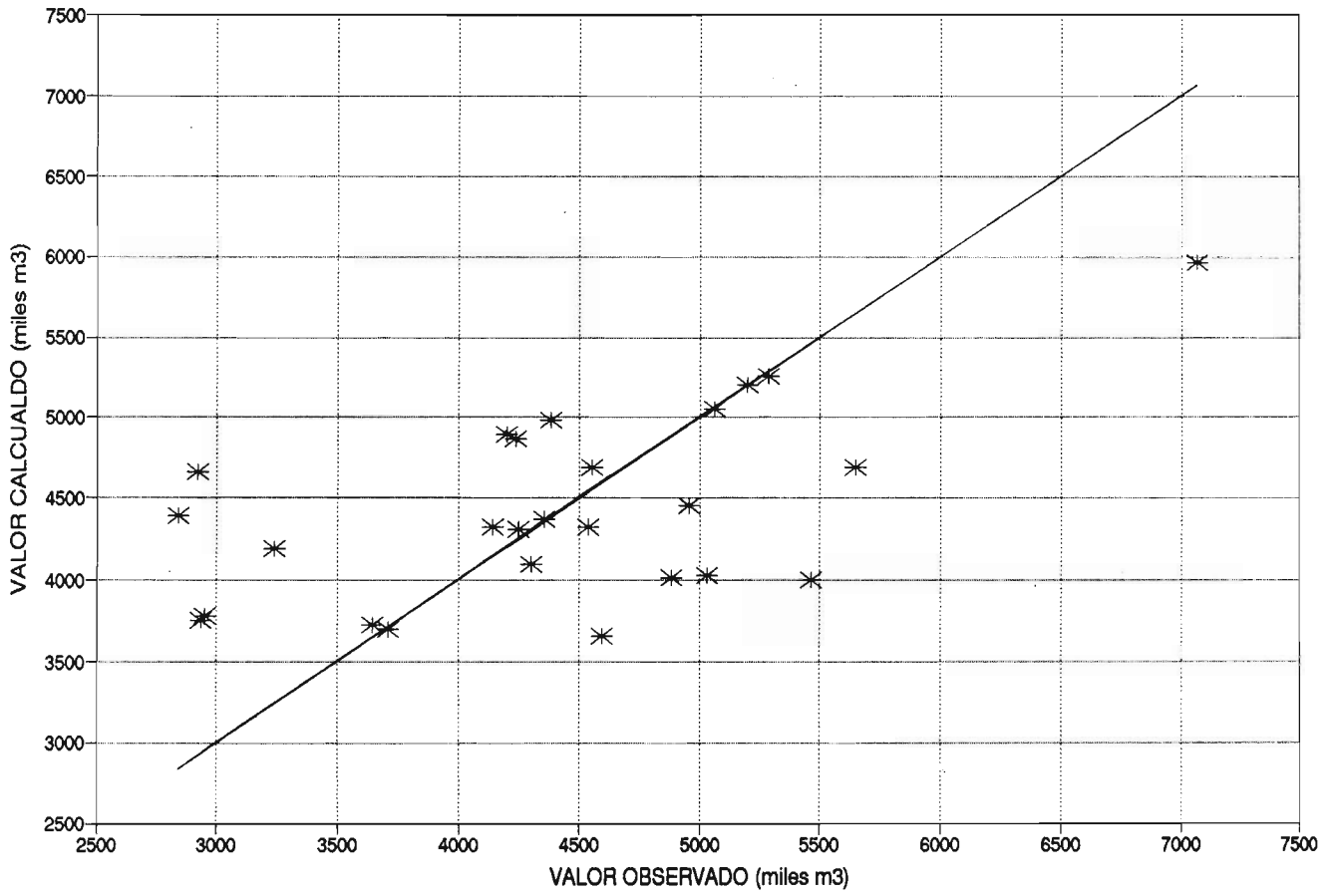




Figura 6.2.3-31  
Pronost. Vol. Jul.-Nov. C. Parinacota

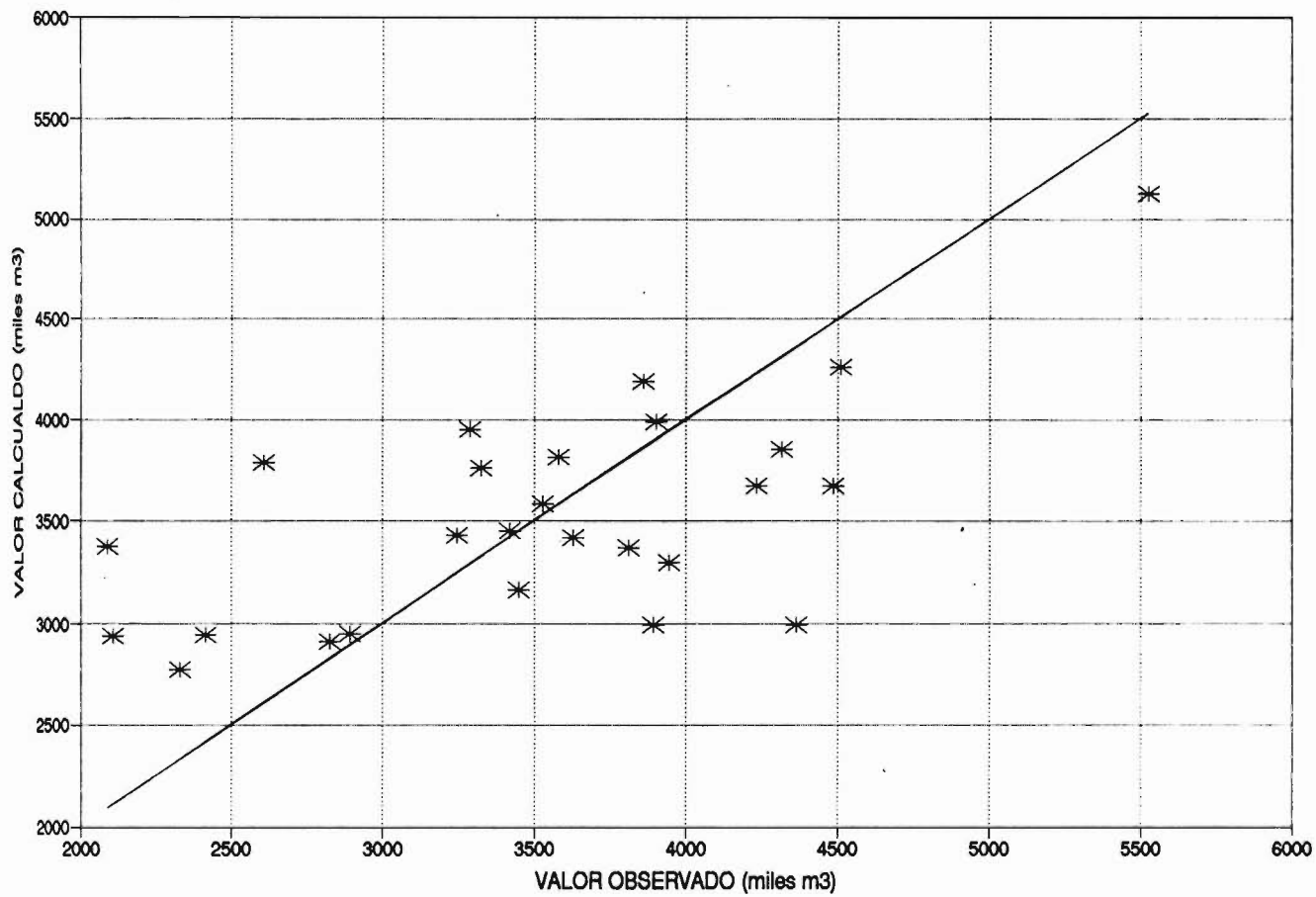


Figura 6.2.3-32  
Pronost. Vol. Ago.-Nov. C. Parinacota

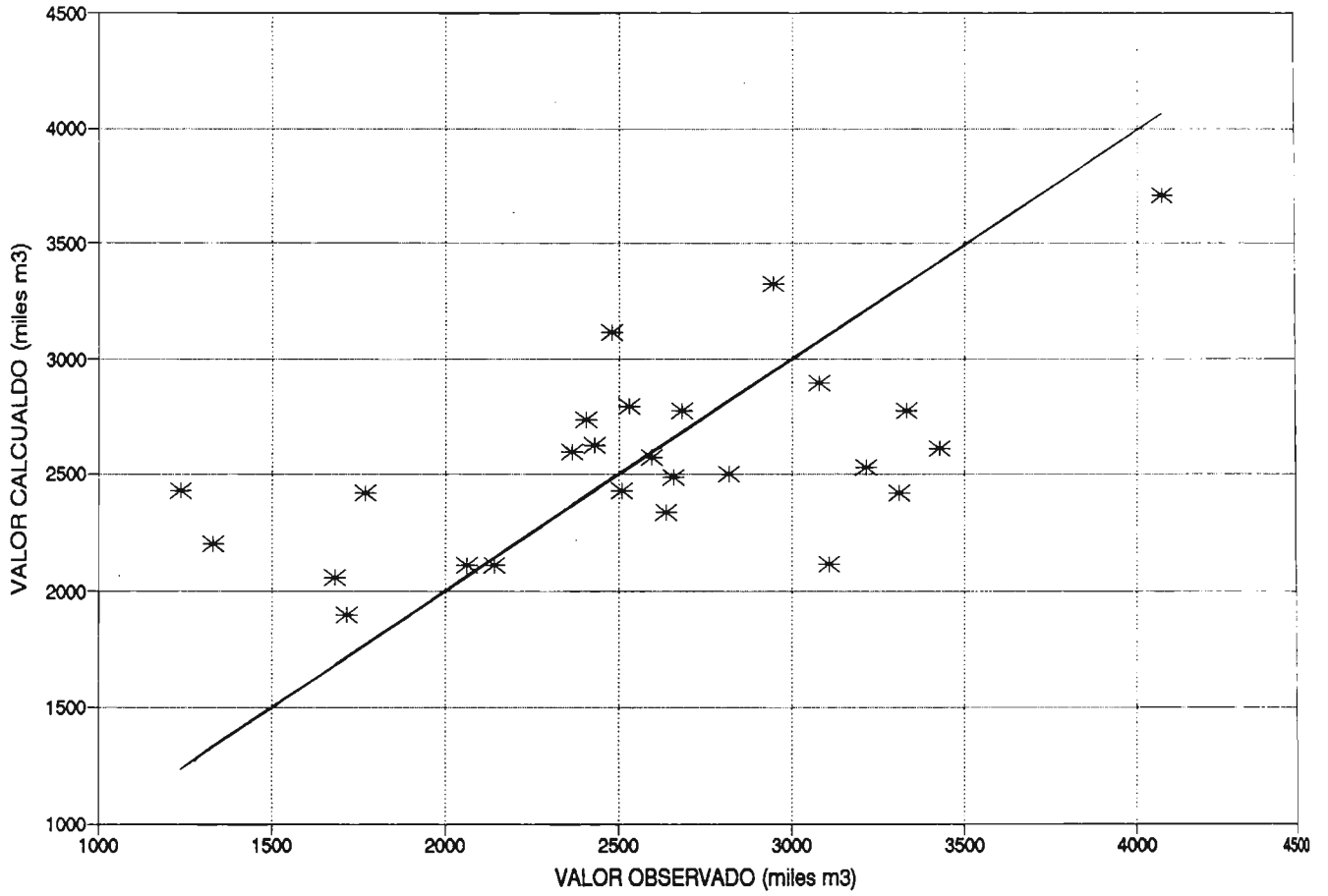


Figura 6.2.3-33  
Pronost. Vol. Sept.-Nov. C. Parinacota

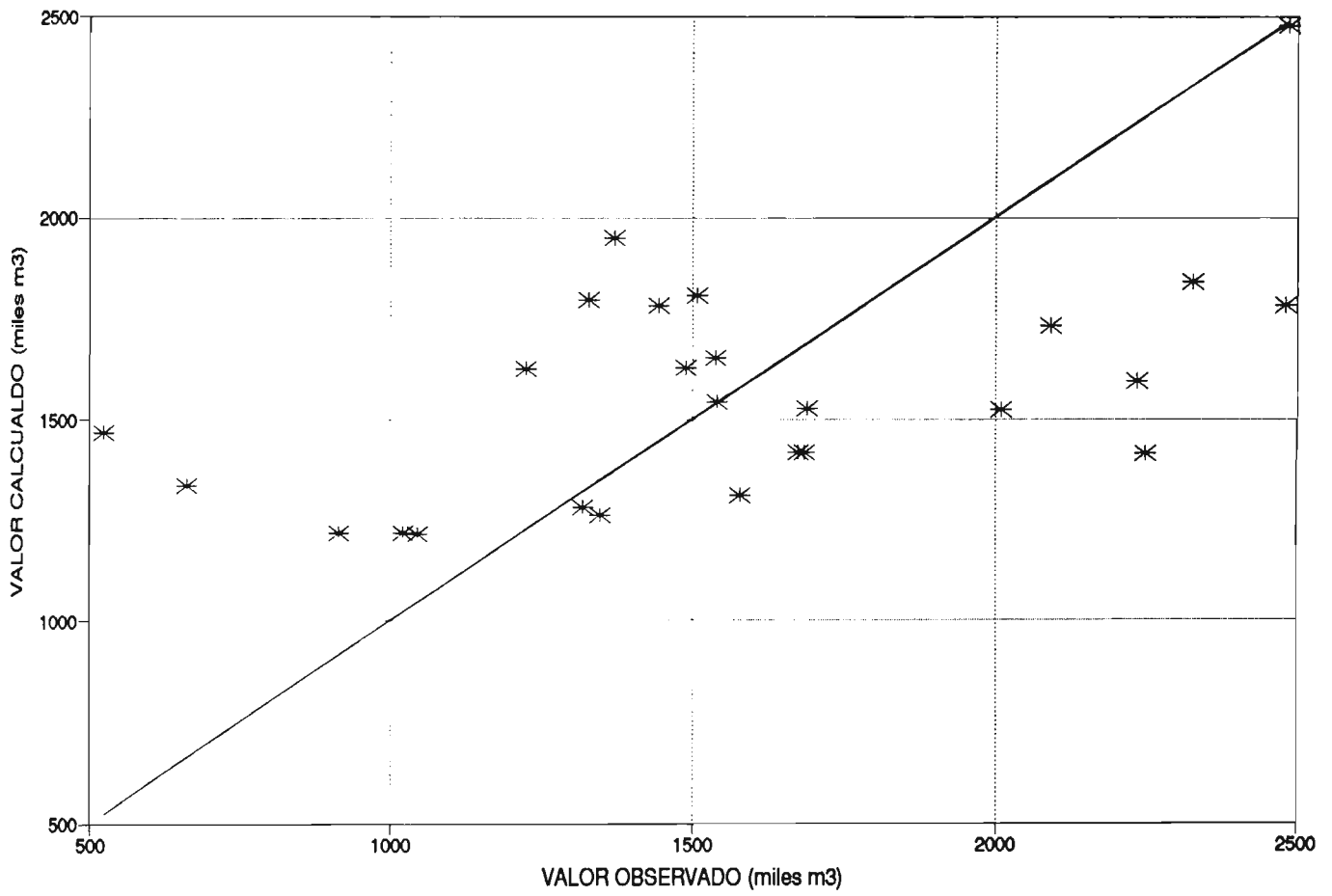
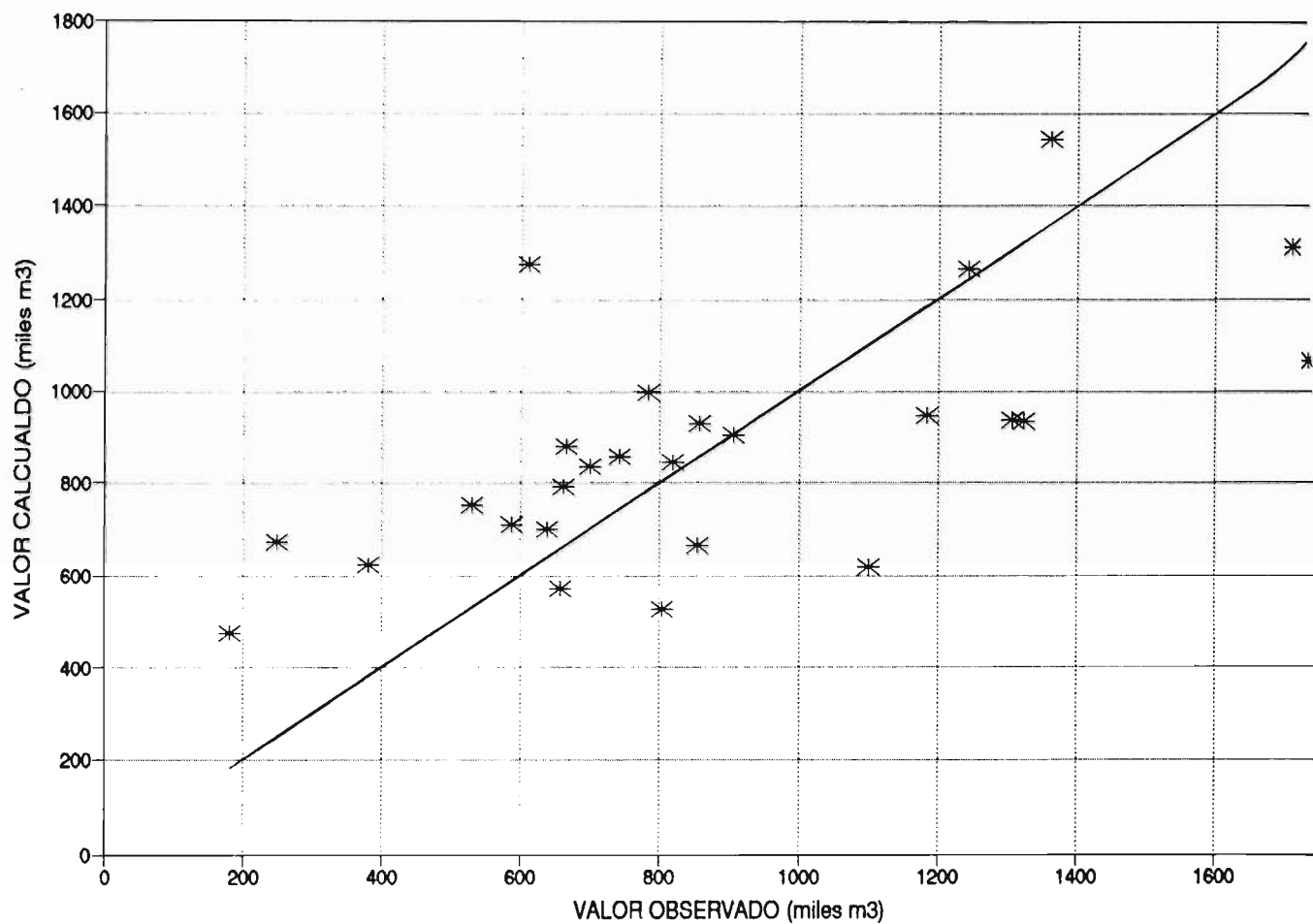


Figura 6.2.3-34  
Pronost. Vol. Oct.-Nov. C. Parinacota



d) Caudales excedentes de la cuenca propia del Río San José

Los caudales excedentes de la cuenca propia del Río San José han sido definidos como el caudal en la Estación San José antes Bocatoma Canal Azapa, menos la diferencia entre los caudales de la Central Chapiquiña y las extracciones para riego. Al igual que en los casos anteriores entonces, se trata de una estadística sintetizada con criterios de balances másicos. En este caso particular, el problema se complica aún más, porque la estación San José antes Bocatoma canal Azapa sólo operó entre los años 1974 y 1983, siendo los demás años estimados en base a relaciones estadísticas de no muy buen ajuste, las cuales a su vez fueron diferentes dependiendo de distinta información disponible en distintos períodos.

Los métodos ensayados para pronosticar los caudales excedentes de la cuenca propia del San Jose fueron producto de una revisión de los valores de la estadística, con la idea de poder en primer lugar, establecer la confiabilidad de los caudales que se asocian a esta cuenca. De este análisis se estableció, primeramente, que los caudales disponibles que se presentan en el Cuadro 6.2.3-19 presentan problemas homogeneidad, agravados posiblemente por la evolución histórica del manejo de aguas de riego de la cuenca.

La Figura 6.2.3-35 presenta, a manera de ejemplo una relación gráfica entre los volúmenes de escorrentía del período de abril a noviembre en función del volumen escurrido entre diciembre y marzo. Los datos muestran una fuerte dispersión, no explicada por causas de tipo meteorológicas, agrupándose más bien en función de los métodos de relleno utilizados que en función de alguna ley de autocorrelación.

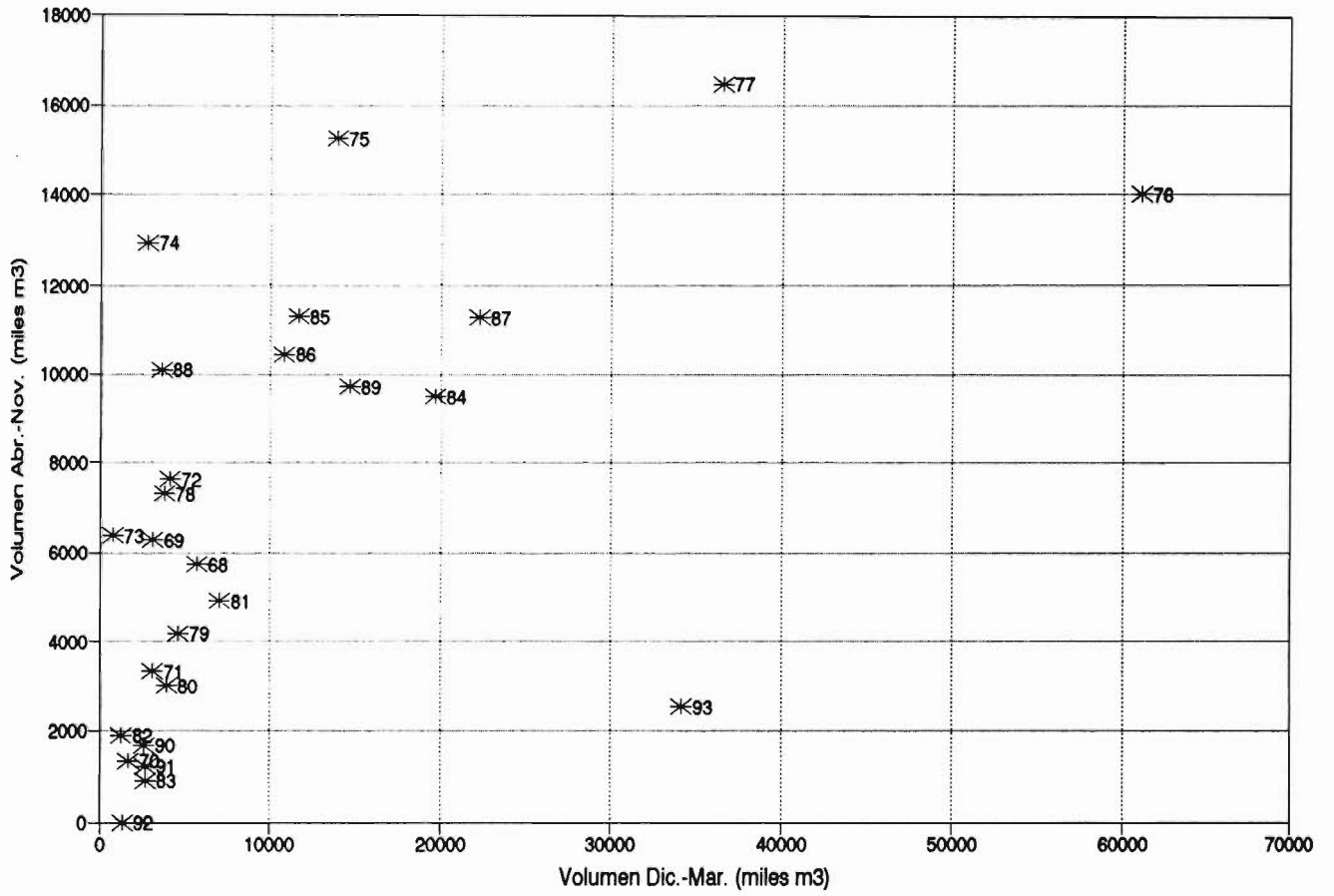
Del análisis anterior, se decidió en definitiva, utilizar la estadística que considera los caudales para los años 1976 a 1982 como la más confiable para los propósitos de establecer alguna relación de pronóstico valedera. Más adelante se intenta sintetizar la estadística de esta cuenca en base a métodos de simulación hidrológica.

Al tener en consideración la serie de caudales anteriores, se intentó utilizar diversos parámetros que pudieran explicar la serie, entre ellos estaban:

- Volumen del período Diciembre a Marzo, de la cuenca en cuestión.
- Índices de precipitación, tanto mensuales como promedios para diferentes estaciones, tales como Belén, Chapiquiña y Tignamar.
- Otros índices de precipitación, considerando períodos diferentes y no promedios.



Figura 6.2.3-35  
Vol. Abr.-Nov. v/s Dic.-Mar. San Jose



Las relaciones en base a caudales observados presentan en este caso la desventaja de que en la actualidad estas variables no se miden en forma directa, lo imposibilita o al menos dificulta enormemente su aplicabilidad a futuro.

En definitiva, la mejor relación que se pudo obtener para determinar con factibilidad práctica el volumen de estiaje desde Abril a Noviembre, considero la suma de las precipitaciones expresada en milímetros, para los meses de Enero, Febrero y Marzo de la estación Belén. Otras relaciones entregaron mejores coeficientes de ajuste, pero tenían el problema de considerar sólo un mes como variable independiente, lo que en la práctica resulta muy riesgoso, ante eventuales errores futuros de medición.

Luego la expresión que relaciona el volumen de Abril a Noviembre, para la cuenca propia del río San Jose está dada por la siguiente ecuación:

$$V_{\text{Abr-Nov}} = 89.55(I_{\text{ene}} + I_{\text{feb}} + I_{\text{mar}}) \quad (4)$$

$V_{\text{abr-nov}}$	=	Volumen de escorrentía entre los meses de Abril a Noviembre (ambos inclusive), en $\text{m}^3$ .
$I_{\text{ene}}$	=	Precipitación de Enero, registradas en Belén, medido en (mm).
$I_{\text{feb}}$	=	Precipitación de Febrero, registradas en Belén, medido en (mm).
$I_{\text{mar}}$	=	Precipitación de Marzo, registradas en Belén, medido en (mm).

El ajuste de esta ecuación se puede ver en el Cuadro 6.2.3-20, en la que se aprecia el valor del coeficiente de determinación ( $r^2$ ), del error estándar de estimación (Se) y del coeficiente variación del error estándar de estimación (Cve). En la Figura 6.2.3-36 se aprecia el ajuste en forma gráfica.

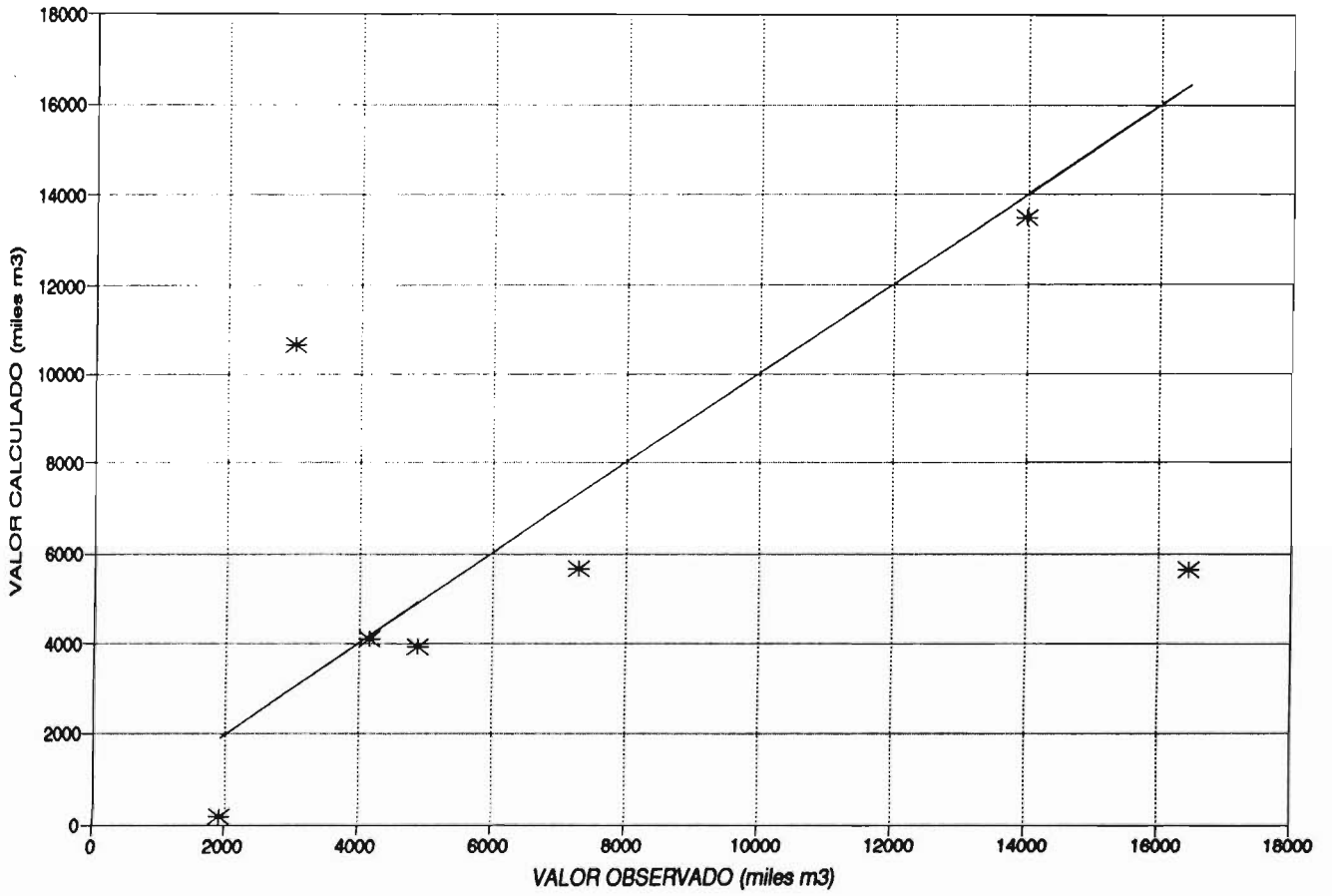
CUADRO 6.2.3-20  
PARAMETROS DE LA BONDAD DEL AJUSTE PARA EL VOLUMEN DE DESHIELO  
PERÍODO ABR-NOV EXCEDENTES CUENCA PROPIA RÍO SAN JOSE.

$r^2$	Se (miles de $\text{m}^3$ )	CVe (%)
0.68	5517	74.6

De acuerdo a las cifras anteriores, el ajuste encontrado no entrega información confiable como para utilizarlo con seguridad suficiente como herramienta de pronóstico, por lo que se recomienda su utilización con cautela. Con respecto a la distribución mensual de este pronóstico, los resultados presentan un coeficiente de variación del error estándar de



Figura 6.2.3-36  
Pronost. Vol. Abr.-Nov. Rio San Jose



estimación de alto valor, por lo que en definitiva se recomienda la distribución estacional del volumen de acuerdo a los porcentajes promedios del período histórico considerado, que se presentan en el Cuadro 6.2.3-21. En dicho cuadro, el término definido como factor permite estimar el caudal mensual en litros por segundo a partir del volumen estacional pronosticado.

Por último, al respecto de los pronósticos estadísticos del Río San José, debe recordarse que existe una relación propuesta por Conic-bf, en un estudio para la Dirección de Riego, que obedece a la expresión:

$$Q_{\text{May-Nov}} = 0.689 * P_{\text{O-M}} + 0.9$$

donde:

$Q_{\text{May-Nov}}$	=	Caudal medio del período entre Mayo y Noviembre, expresado en l/s.
$P_{\text{O-M}}$	=	Precipitación en mm acumulada entre octubre y marzo en la estación Belén.

Esta relación fue obtenida, sin embargo, con sólo 5 años de estadística y en un período en que la información se considera de menor confiabilidad.

CUADRO 6.2.3-21  
DISTRIBUCION PORCENTUAL DEL VOLUMEN ESTACIONAL RECURSOS  
EXCEDENTES DEL RÍO SAN JOSE.

MES	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
%	194	177	147	138	118	43	89	84
FACTOR	75	66	57	52	46	17	34	32

#### 6.2.4 Pronósticos en Base a Modelos Matemáticos de Simulación de Escorrentía

Como una alternativa adicional a los pronósticos realizados en base a procedimientos estadísticos, se aplicaron técnicas de simulación hidrológica, utilizando para dichos propósitos modelos de síntesis de caudales medios mensuales tanto para cuencas pluviales como pluvio-nivales. Aún cuando para propósitos de simulación, los resultados entre ambos tipos de modelos tuvieron comportamientos parecidos, para la fase de pronóstico, se obtuvo mejores resultados con los modelos de tipo nivo-pluvial, por lo que el análisis que sigue se restringe sólo a estos últimos, en los casos de Cotacotani y Parinacota. Para el caso del río

San José, sin embargo, se utilizó un modelo de simulación de tipo pluvial, basado en el modelo propuesto por Brown, Ferrer y Ayala, pero que se modificó para tener en consideración el régimen no natural de la cuenca a simular, incorporando un término de extracción de recurso para fines de regadío, proporcional a la diferencia entre la evapotranspiración potencial y la precipitación de cada mes, junto a otro término para representar eventuales retornos de riego.

a) Bases conceptuales del modelo nivo-pluvial utilizado

El modelo utilizado está basado en el balance de aguas sobre una superficie unitaria del manto de nieve, evaluando las tasas de derretimiento en base a fórmulas empíricas y rastreando dicho deshielo hasta su transformación en escorrentía en la sección de salida de la cuenca.

Considerando la variabilidad espacial de las variables hidrometeorológicas, especialmente la precipitación y temperatura en función de la altitud, la modelación se efectúa subdividiendo la superficie de la cuenca en bandas de diferentes alturas, dentro de las cuales se postula homogeneidad de las variables meteorológicas.

Las variables físicas y meteorológicas, tanto de entrada como internas del modelo se determinan para cada banda, en base a información cartográfica y meteorológica distribuida o utilizándose gradientes paramétricos para considerar la variabilidad climática con la altitud.

La escala de tiempo del modelo es mensual, por lo que el derretimiento en cada banda se calcula mes a mes, mediante la aplicación de una función de derretimiento y una modelación del ciclo de escorrentía subsecuente, basada fundamentalmente en la ecuación de balance hídrico.

Los valores correspondientes, obtenidos para cada banda, se ponderan de acuerdo al porcentaje de superficie de cada una de ellas con respecto al total de la cuenca, obteniéndose así finalmente los valores integrados a nivel de cuenca.

Para cada una de las bandas definidas, el modelo opera en base a la aplicación de la ecuación del balance hídrico sobre un área unitaria de la superficie de la cuenca. Para la aplicación de esta ecuación de balance, previamente se define para cada banda dos períodos estacionales: Un período invernal en que la precipitación cae en forma sólida sin provocar escorrentía y en el cual la evapotranspiración potencial corresponde a la evaporesublimación desde la superficie de la nieve, y un período estival, en que la precipitación ocurre en forma líquida, escurriendo un porcentaje en forma directa y en la cual la evapotranspiración potencial

corresponde a la evaporación desde agua líquida. Durante el período estival las fuentes que satisfacen la evaporación son la precipitación y la humedad del suelo.

La decisión respecto a la ocurrencia de precipitación en forma líquida o en forma sólida la adopta el modelo para cada banda y para cada mes en función de la temperatura media mensual a la cota media de cada banda, por comparación con un índice térmico umbral que se consideró parámetro del modelo y que se hizo variar entre  $+3^{\circ}\text{C}$  y  $+5^{\circ}\text{C}$ , de acuerdo a los estudios al respecto reportados por Peña y Vidal (1993).

En el Anexo 6.2-2 se presenta una explicación detallada del modelo pluvio-nival utilizado.

Con el fin de ver la factibilidad de aplicación del modelo en la zona bajo estudio, se procedió a utilizar éste en la cuenca afluyente a la Laguna Cotacotani, que dispone de la mayor cantidad de información existente en lo relativo principalmente a estadísticas hidrometeorológicas necesarias para un adecuado uso del modelo.

#### b) Información utilizada

Previo análisis de la disponibilidad, calidad y utilidad de la información meteorológica disponible en la cuenca o zonas vecinas se adoptó en definitiva las siguientes estadísticas para alimentar el modelo:

- Precipitaciones y número de días mensuales de precipitación de la estación pluviométrica Cotacotani DNR.

- Estadísticas de evaporación medida en la estación de la Laguna Cotacotani.

- Temperatura media mensual del aire en la estación de Chungara-Ajata dependiente de la Dirección General de Aguas (disponible de 1986 en adelante). Para el período 1976-1986 se utilizó una correlación obtenida de temperaturas medias mensuales entre las estaciones Chungara-Ajata y Caquena, con el fin de estimar la temperatura en la primera. Asimismo para el período anterior al año 1976 se utilizaron las temperaturas de la estación Cotacotani controlada anteriormente por Endesa. Finalmente en caso de información faltante de utilizaron los valores promedios.

- Humedad relativa del aire y velocidad media mensual del viento de la estación meteorológica de Chungará-Ajata. En caso de información faltante se utilizaron los valores promedios.

- La estadísticas de nubosidad media mensual se obtuvo indirectamente de los datos de radiación solar y número de horas de sol de la estación de Parinacota y que se recopilaron de la publicación "Energía Solar", del autor Pedro Sarmiento Editorial UCV.

La información geográfica y geomorfológica se determinó de cartografía escala 1:50000, del Instituto Geográfico Militar.

Para el proceso de calibración se utilizaron las estadísticas corregidas de caudales medios mensuales afluentes a la Laguna Cotacotani y que no incluyen la precipitación directa caída sobre ésta. En el Anexo 6.2-3 se presenta en definitiva la estadística utilizada.

c) Calibración del modelo de simulación en Laguna Cotacotani

i) Procedimiento

Considerando los propósitos de aplicación del modelo, para fines de pronóstico del período de estiaje en función de información medida en la temporada con precipitaciones, se procedió a calibrar el modelo en consideración para el período histórico completo bajo análisis correspondiente a 1967/1968-1993/1994.

El proceso de calibración consistió en ajustar los parámetros del modelo a fin de minimizar una función objetivo relativa (con el fin de darle mayor peso a los caudales ocurridos en el período de estiaje) definida por las diferencias entre los caudales medios mensuales simulados respecto a los medidos en la sección de control divididos por la raíz cuadrada de los caudales medidos.

ii) Resultados obtenidos

Los resultados de la calibración para el modelo utilizado se presentan en las Figuras 6.2.4-1 a 6.2.4-3, y los correspondientes juegos de parámetros y coeficiente de correlación se indican en el Cuadro 6.2.4-1.

Las estadísticas de caudales simulados se presentan en el Anexo 6.2-4.

De las Figuras 6.2.4-1 a 6.2.4-3 como del Cuadro 6.2.4-1 se observa que la calibración del modelo no es buena, sobretodo en el período de verano en el cual no fue posible reproducir gran parte de las crecidas ocurridas preferentemente en los meses de Enero y Febrero.

Figura 6.2.4-1  
Calibración Cotacotani (67/68-75/76)

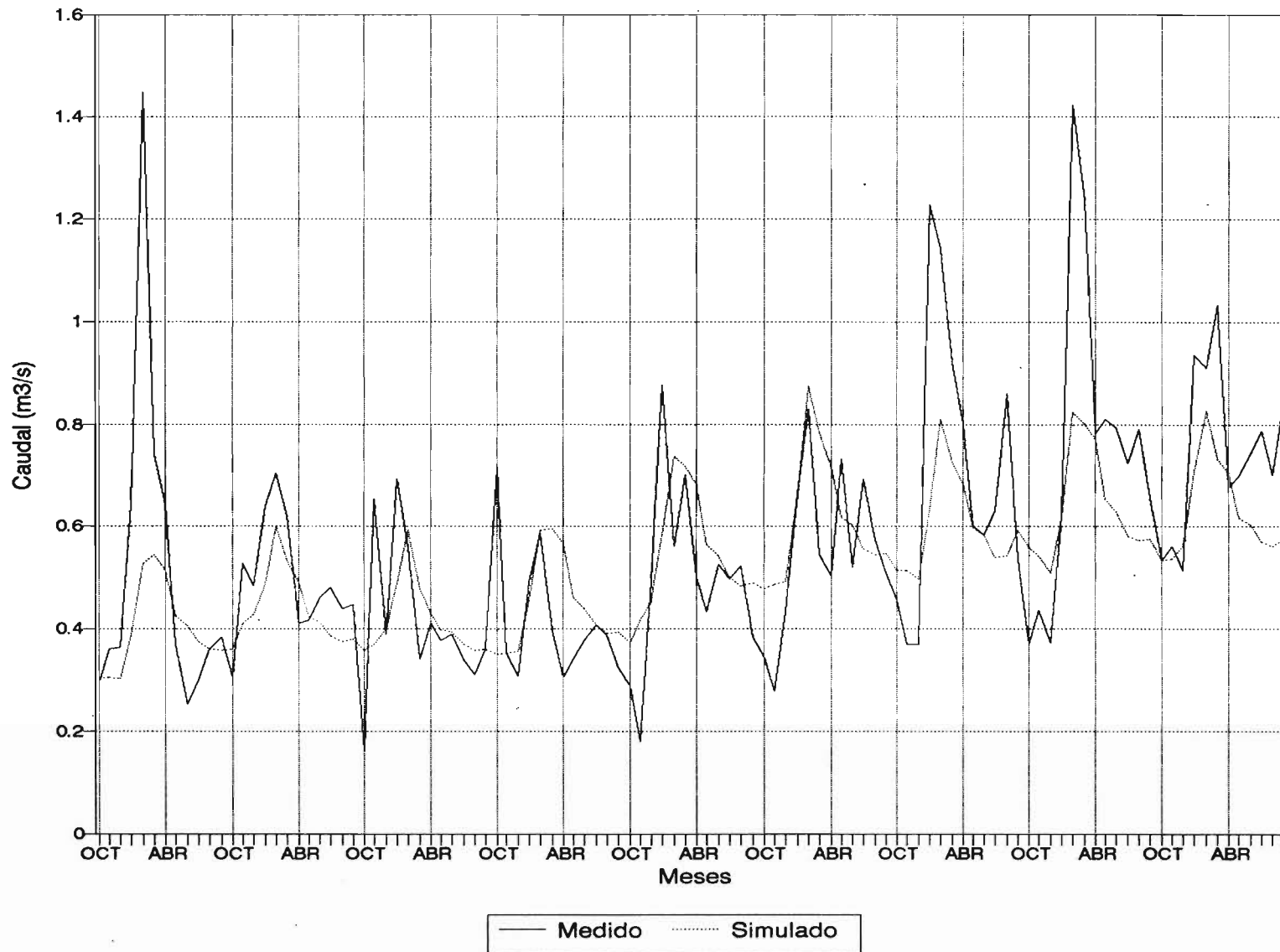


Figura 6.2.4-2  
Calibración Cotacotani (76/77-84/85)

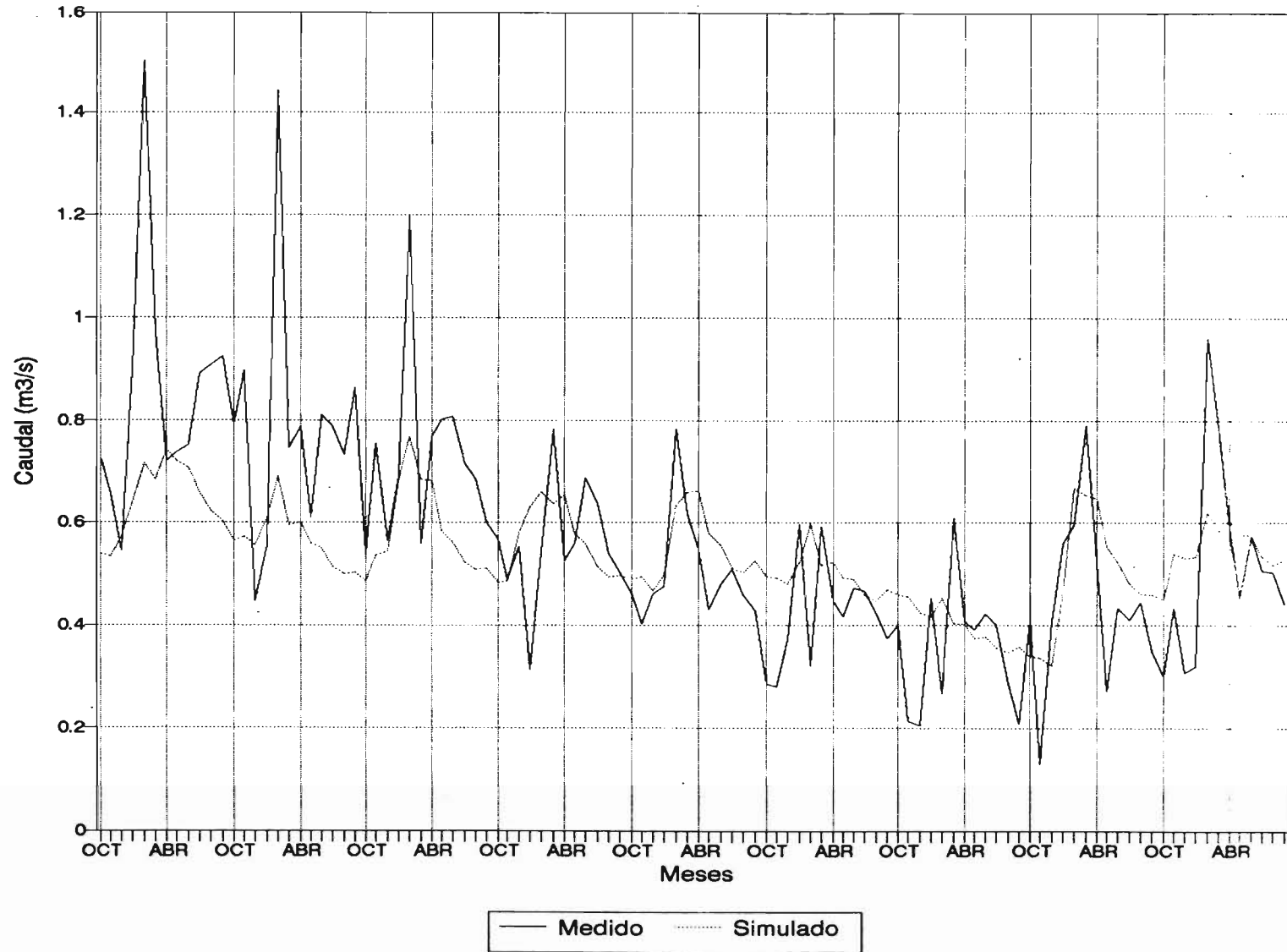
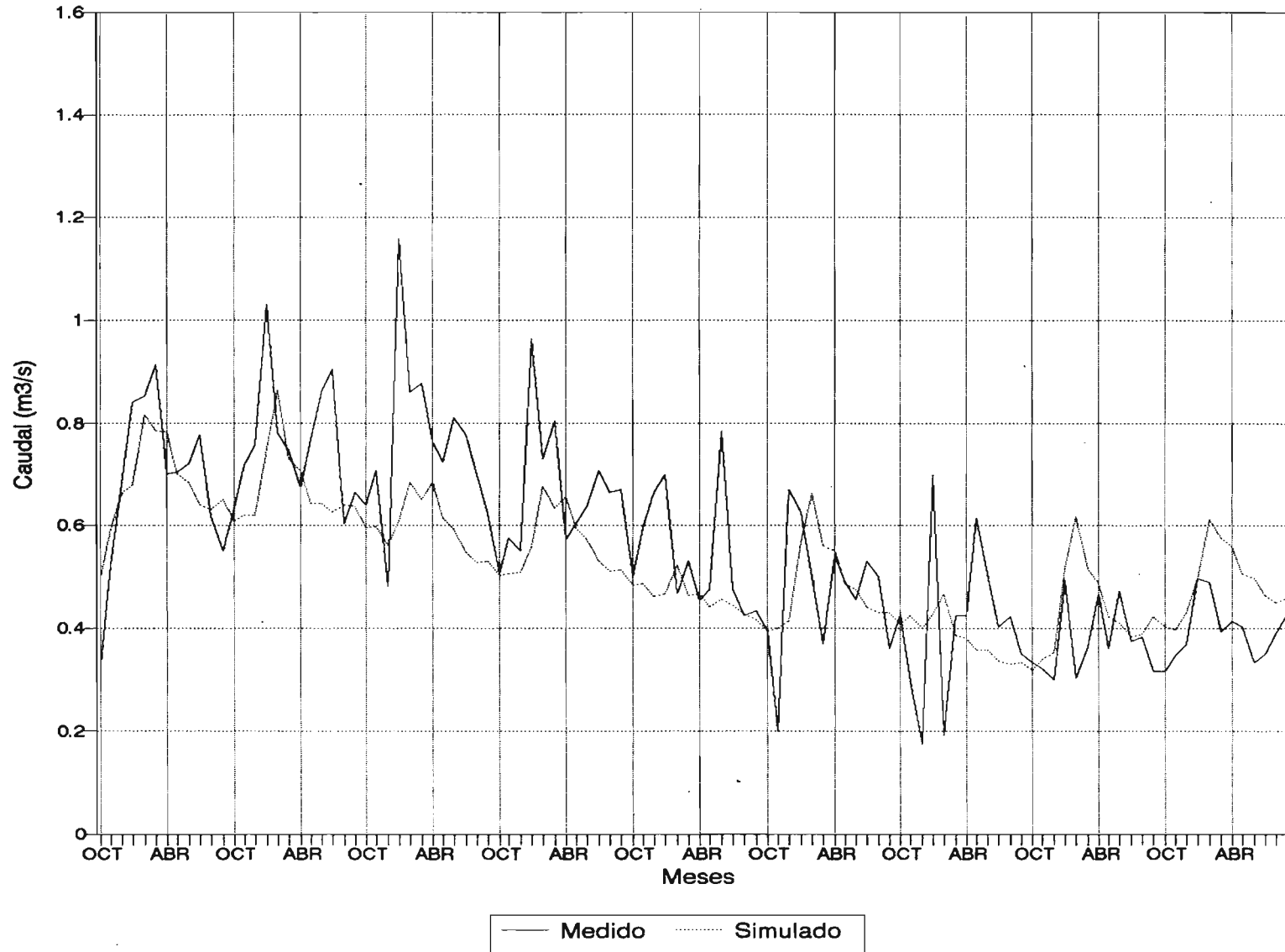


Figura 6.2.4-3  
Calibracion Cotacotani (85/86-93/94)





CUADRO 6.2.4-1  
PARAMETROS OPTIMOS DE CALIBRACION LAGUNA COTACOTANI PERÍODO  
1967/1968-1993/1994

Nº	PARAMETRO	VALOR
1	CEN	0.100
2	BB	0.000
3	B	0.400
4	HTOT	10.000
5	CEP	0.000
6	CKS	0.800
7	CK	39.000
8	FKP	0.900
9	FK	1.475
10	CLOUDK	0.480
11	DRMIN	26.000
12	COFDRT	0.575
13	GRT	6.000
14	FP1	1.000
15	FP2	1.100
16	FP3	1.180
17	FP4	1.300
18	TU	5.400
	COEF. CORRELACION	0.61

Cabe señalar a este respecto dos aspectos importantes obtenidos tanto del análisis crítico de la información utilizada como del proceso de calibración realizado. El primero está relacionado con la calidad de la información utilizada, especialmente la relativa a los caudales afluentes a la Laguna Cotacotani en la que se presentan fuertes fluctuaciones mensuales como se observa del análisis del hidrograma medido, y que no estarían aparentemente relacionadas con aspectos hidrológicos sino más bien con errores en la estimación de los caudales (obtenidos a partir de un balance másico de la Laguna Cotacotani).

El segundo aspecto se relaciona con conclusiones obtenidas del análisis del proceso de calibración en el que se detectó que el modelo de simulación tiende fuertemente a priorizar los procesos de infiltración y percolación profunda al embalse subterráneo, en desmedro de la escorrentía superficial (y que no permite adecuadamente simular las crecidas de verano), con el fin de mantener y reproducir adecuadamente el elevado flujo base para los meses posteriores del período de estiaje, lo que hace pensar que existen fuentes subterráneas

adicionales externas a la cuenca (cuencas endorreicas vecinas), que podrían drenar hacia la Laguna Cotacotani. Esta afirmación se ve apoyada por la presencia de un máximo sistemático relativo de caudales ocurrido preferentemente entre los meses de julio y agosto, en que los aportes de aguas lluvias son casi nulos, y que corresponderían a un retardo de aportes subterráneos de cuencas vecinas.

d) Pronóstico de escorrentía a nivel estacional y mensual en laguna Cotacotani

En este punto se procedió a realizar los pronósticos de escorrentía tanto a nivel estacional como a nivel mensual, adaptando el modelo para dichos fines.

Para los propósitos de su análisis se estableció como fecha de inicio de pronóstico el 1 de Abril de cada año. De esta manera, conocida la información de entrada, precipitación y variables meteorológicas hasta el mes de Marzo, se intenta pronosticar los caudales a escurrir en el período siguiente, desde Abril a Noviembre.

A fin de verificar el comportamiento del modelo como herramienta de pronóstico, se repitió el proceso de simulación, reemplazando durante el período pronosticado los valores históricos medidos por los valores esperados de cada una de las variables meteorológicas.

Los resultados de los procedimientos arriba mencionados, se presentan en el Cuadro 6.4.2-2 en los que se presentan tanto los errores estándares como los coeficientes de variación de este último. Se consideraron tres diferentes meses de inicio de pronóstico correspondiente a Abril, Mayo y Junio respectivamente.

CUADRO 6.2.4-2  
PARAMETROS ESTADISTICOS PRONOSTICO LAGUNA COTACOTANI

Período pronostico	Se (miles m3)	CVe (%)
Abr-Nov	1929	17.2
May-Nov	1792	18.4
Jun-Nov	1587	19.2

En las Figuras 6.2.4-4 a 6.2.4-6 se presentan los volúmenes estacionales observados v/s pronosticados entregados por el uso del modelo nivo-pluvial.

Figura 6.2.4-4  
Vol Medido v/s Pronosticado (Abr-Nov)

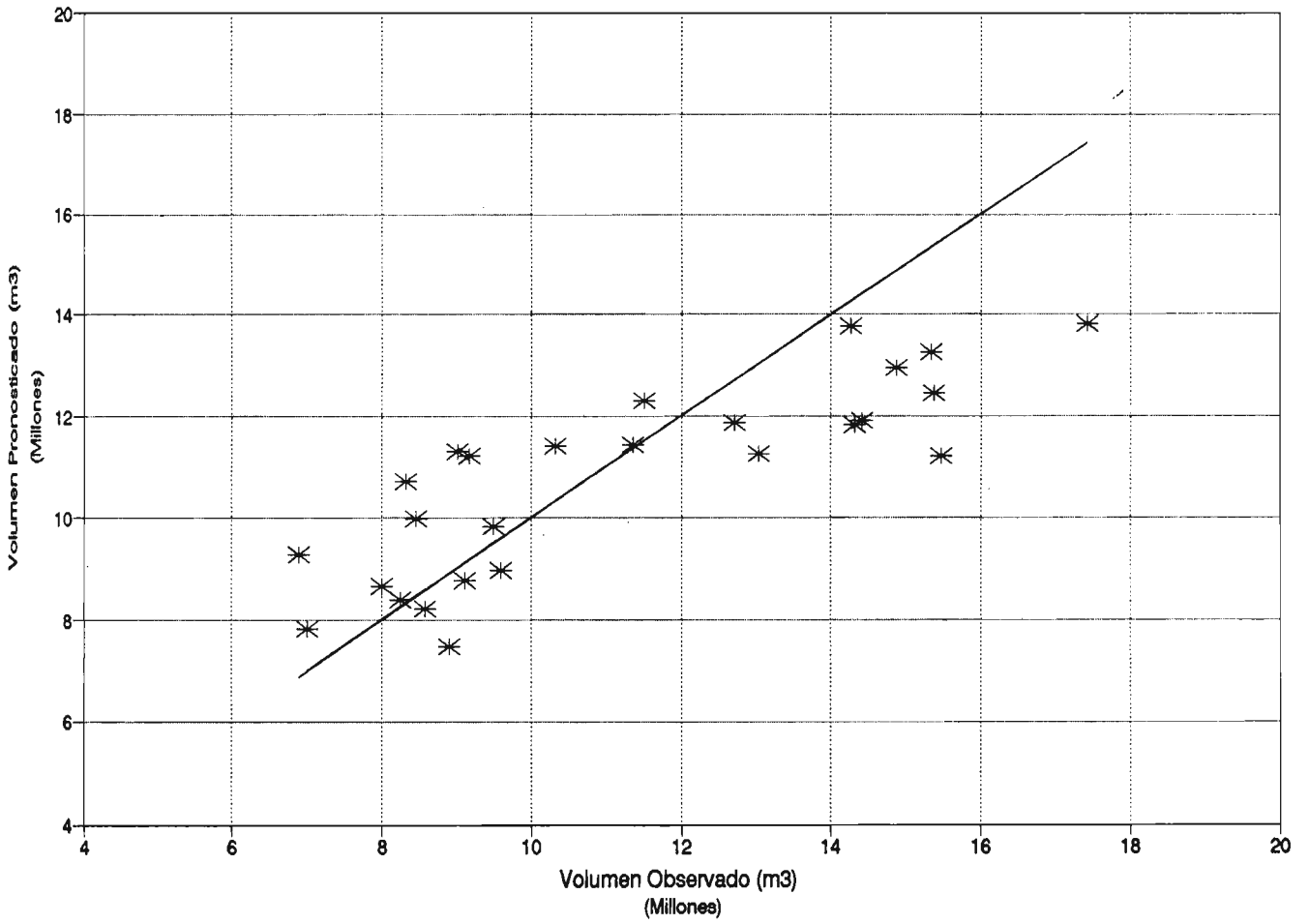


Figura 6.2.4-5  
Vol Medido v/s Pronosticado (May-Nov)

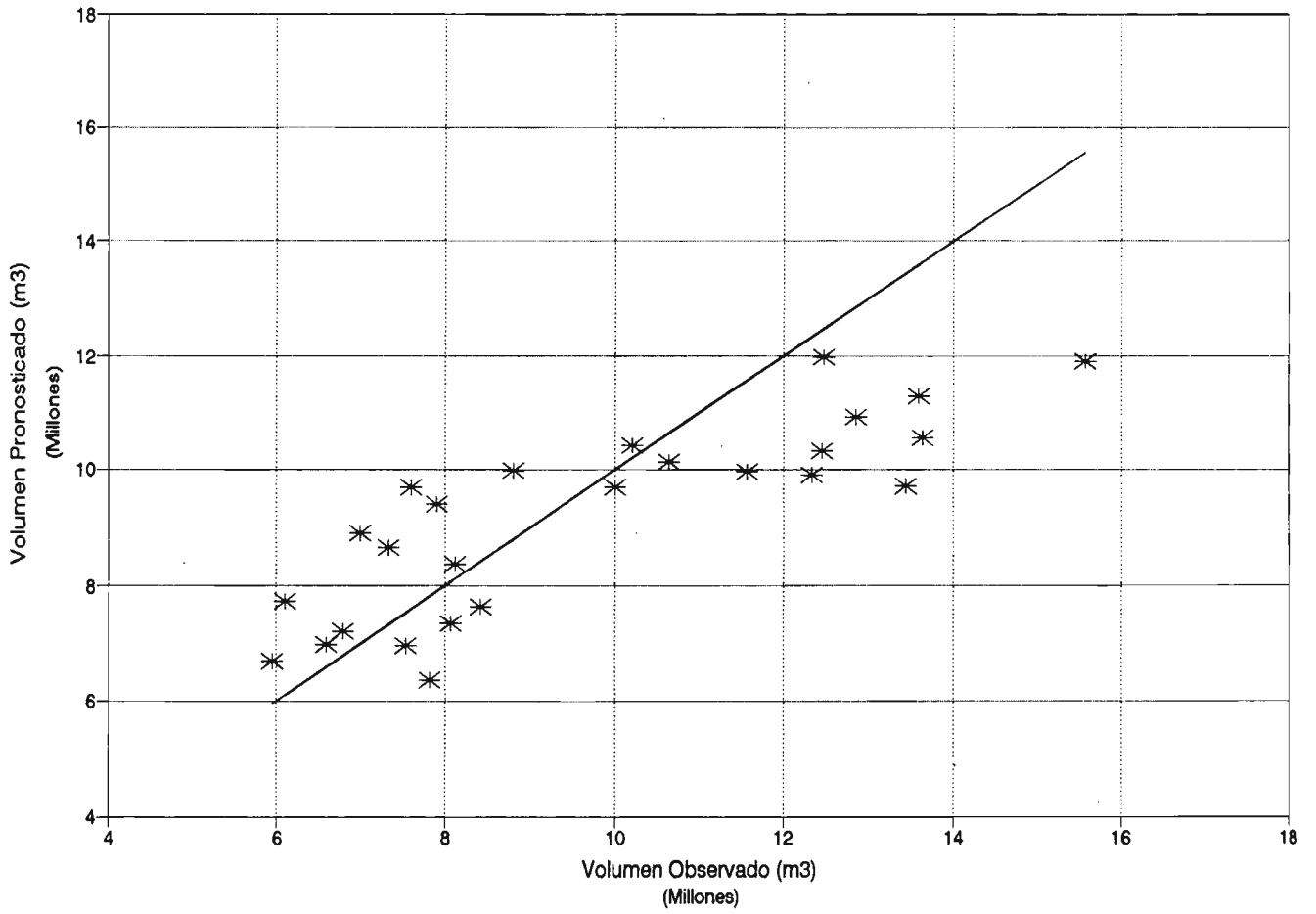
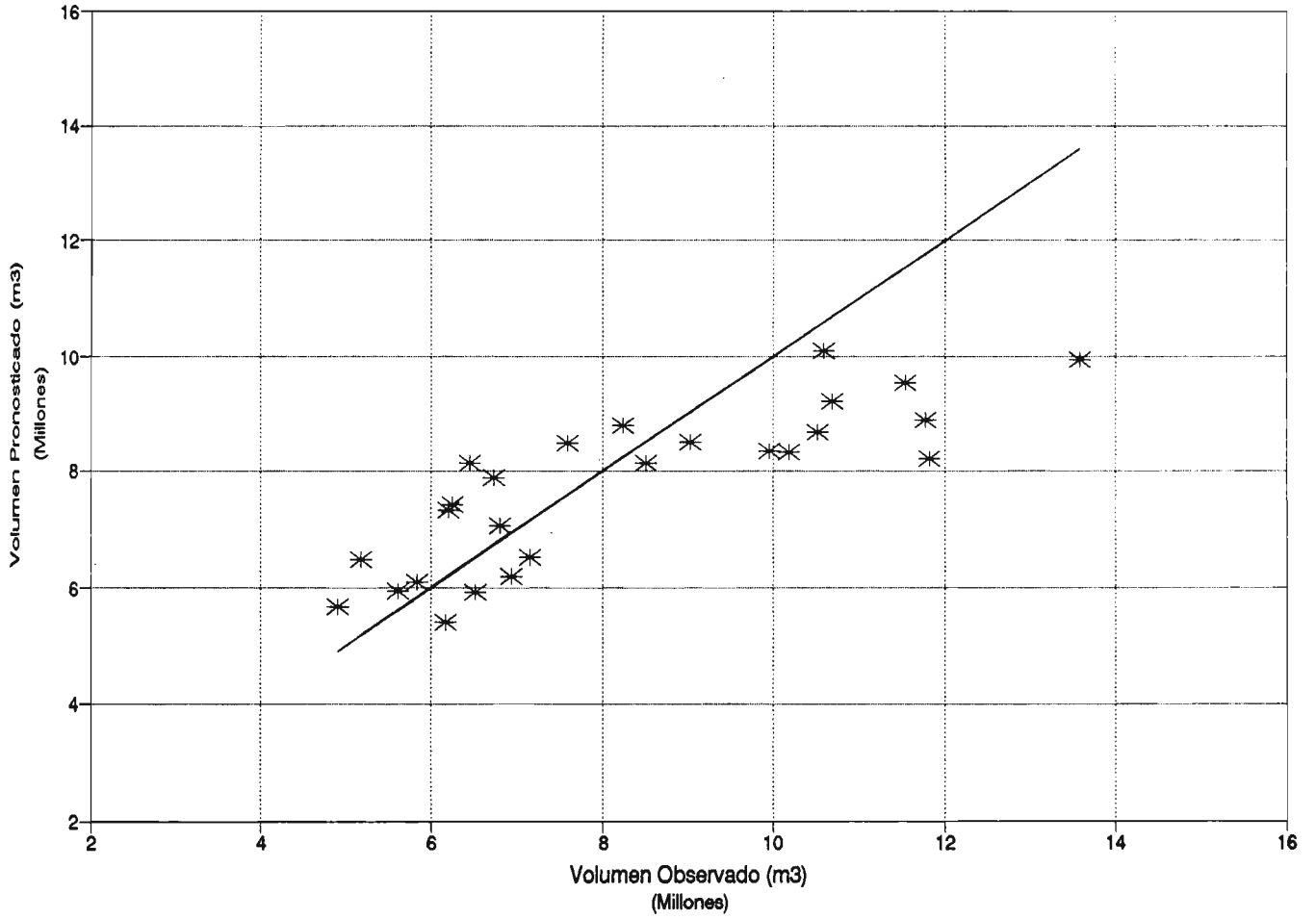


Figura 6.2.4-6  
Vol Medido v/s Pronosticado (Jun-Nov)



Finalmente en el Cuadro 6.2.4-3 se presentan los valores de los coeficientes de variación de los errores estándares del pronóstico de los caudales medios mensuales entregados por el modelo, considerando las mismas tres fechas de inicio mencionadas anteriormente.

CUADRO 6.2.4-3  
COEFICIENTES DE VARIACION DEL ERROR ESTANDAR (%)  
LAGUNA COTACOTANI

	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
Abril	19.1	21.0	23.4	24.6	23.6	26.1	28.5	35.6
Mayo	-	21.5	23.5	24.4	23.5	26.3	28.7	35.6
Junio	-	-	23.6	24.4	23.5	26.2	28.6	35.5

- e) Comparación resultados modelo simulación con método de pronóstico estadístico

El Cuadro 6.2.4-3, muestra en definitiva el coeficiente de variación de los errores de estimación de los pronósticos mensuales de escorrentía afluente a la Laguna Cotacotani, basados en métodos de simulación hidrológica. La comparación de estos resultados con los obtenidos mediante el mejor de los métodos estadísticos logrados, debe hacerse cotejando los presentes coeficientes de variación con los correspondientes a dicho método, que se presentaron en el Cuadro 6.2.3-9.

De la comparación de las cifras se observa que en una primera instancia ambos métodos dan resultados relativamente competitivos, pero que a medida que los pronósticos se van actualizando, el método estadístico tiende a lograr resultados mejores que la simulación. Lo anterior se explica por la mayor inercia de la simulación hidrológica y porque ésta utiliza en definitiva como variables explicativas a las variables meteorológicas, particularmente la precipitación, que de hecho no resultó ser la variable explicativa más adecuada en los métodos de pronóstico estadístico.

En el Cuadro 6.2.4-4 se presenta la diferencia entre el porcentaje de error del método estadístico (Cuadro 6.2.3-9) y el porcentaje de error del método de simulación (Cuadro 6.2.4-3). Estas diferencias indican en definitiva en su magnitud el porcentaje de ventaja entre un método y otro, y en su signo, el método que resulta más preciso. Signos positivos indican un mejor comportamiento del método de simulación, mientras que signos negativos indican un mejor comportamiento del método estadístico.

**CUADRO 6.2.4-4**  
**DIFERENCIAS ENTRE COEFICIENTES DE VARIACION DEL ERROR ESTANDAR**  
**(%) ENTRE METODOS ESTADISTICOS Y DE SIMULACION**  
**LAGUNA COTACOTANI**

	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
Abril	-5.8	+2.3	+1.2	-2.8	-6.4	-2.9	+2.4	-5.8
Mayo	-	-6.7	-8.5	-15.6	-9.2	-14.3	-6.6	-11.1
Junio	-	-	-7.8	-14.7	-9.1	-15.7	-6.7	-11.3

A la luz de los resultados anteriores, se adopta en definitiva el método estadístico basado en las condiciones fluviométricas anteriores. El método de pronóstico adoptado, fue llevado a un lenguaje computacional para su incorporación al modelo general de operación simulada del sistema Lauca-San José-Azapa.

f) Aplicación del modelo de simulación en las Ciénagas de Parinacota.

En forma similar al caso anterior se procedió a utilizar el modelo de simulación para estimar los aportes a las Ciénagas de Parinacota utilizando como información de entrada al modelo la misma empleada anteriormente con excepción de la información fluviométrica y geomorfológica, correspondiente esta última a información propia de la cuenca bajo estudio.

El proceso de calibración fue análogo al utilizado anteriormente y sus resultados se presentan tanto en el Cuadro 6.2.4-5 como en las Figuras 6.2.4-7 a la 6.2.4-9.

Figura 6.2.4-7  
Calibración C. Parinacota (67/68-75/76)

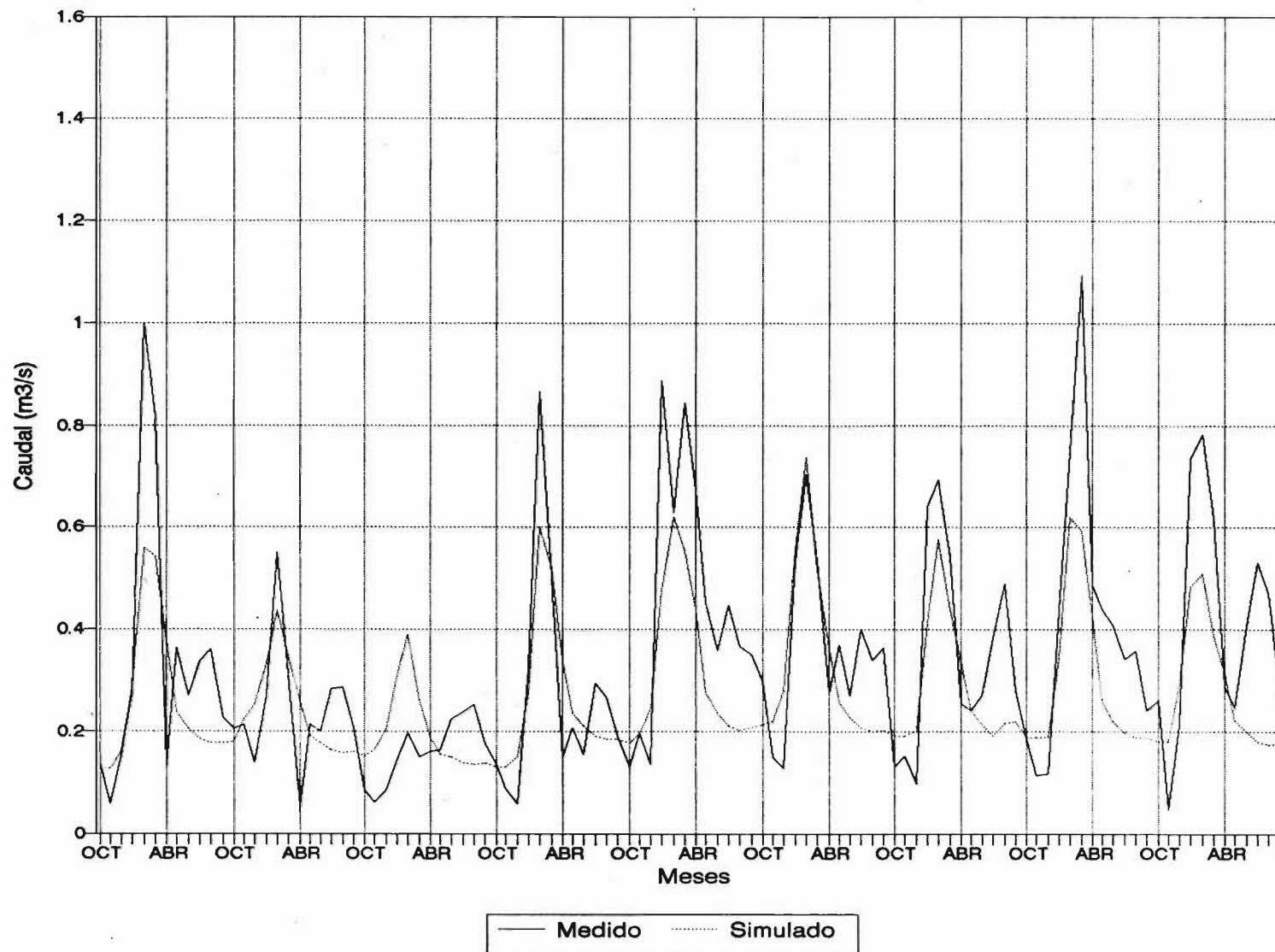




Figura 6.2.4-8  
Calibración C. Parinacota (76/77-84/85)

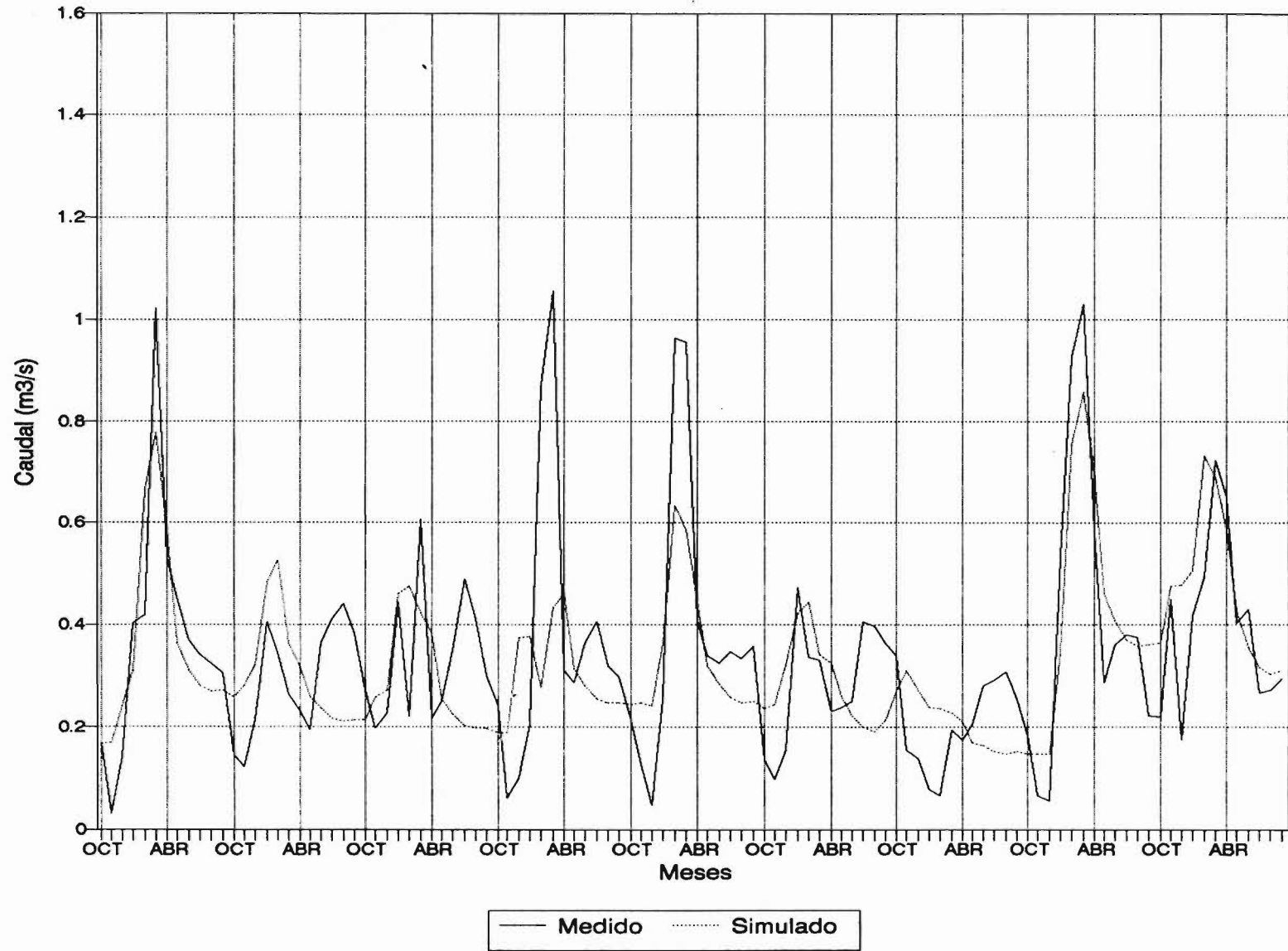
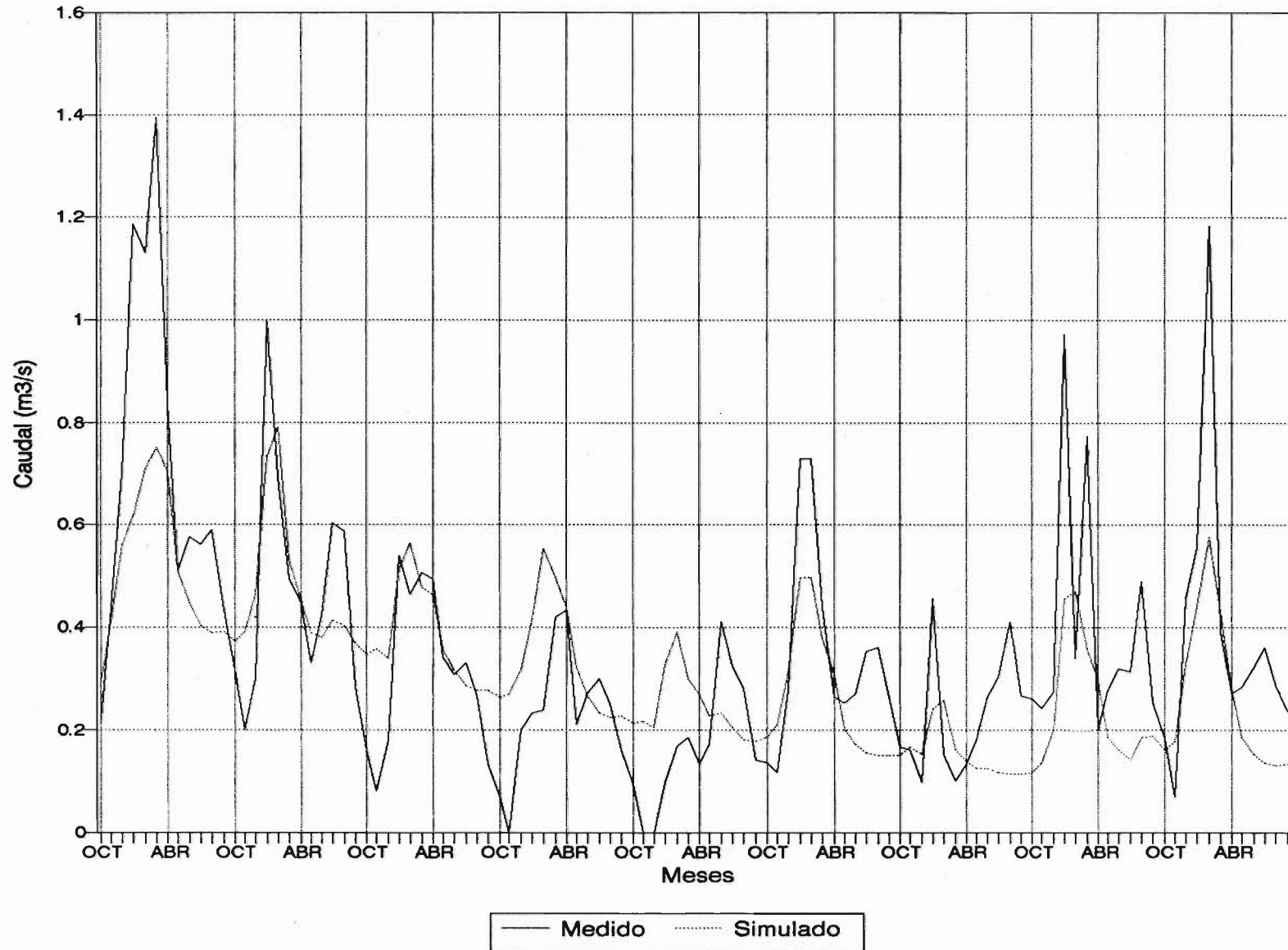


Figura 6.2.4-9  
Calibración C. Parinacota (85/86-93/94)



CUADRO 6.2.4-5  
PARAMETROS OPTIMOS DE CALIBRACION  
CIENAGAS DE PARINACOTA  
PERÍODO 1967/1968-1993/1994

Nº	PARAMETRO	VALOR
1	CEN	0.100
2	BB	0.300
3	B	1.200
4	HTOT	10.000
5	CEP	0.060
6	CKS	0.800
7	CK	46.000
8	FKP	0.900
9	FK	1.125
10	CLOUDK	0.480
11	DRMIN	50.000
12	COFDRT	1.100
13	GRT	6.500
14	FP1	0.650
15	FP2	0.650
16	FP3	0.710
17	FP4	1.000
18	TU	3.000
	COEF. CORRELACION	0.69

En las figuras y el cuadro mencionado se observa que la calibración del modelo es mejor a la lograda en la Laguna Cotacotani, reproduciéndose en mejor forma los meses de verano en desmedro de los caudales de estiaje ocurridos en los meses de invierno-primavera.

Se observa en este caso el mismo fenómeno sistemático ocurrido en la Laguna Cotacotani, de la presencia de un máximo relativo de caudales ocurrido preferentemente entre los meses de julio y agosto, en que los aportes de aguas lluvias son casi nulos, y que podrían corresponder aparentemente a un retardo de aportes subterráneos de cuencas vecinas.

Las estadísticas sintetizadas se presentan en Anexo 6.2-5.

- g) Pronóstico de escorrentía a nivel estacional y mensual en Ciénagas de Parinacota

Similarmente al caso de Laguna Cotacotani se procedió a verificar el comportamiento del modelo como herramienta de pronóstico, repitiendo el proceso de simulación y reemplazando durante el período pronosticado los valores históricos medidos por los valores esperados de cada una de las variables meteorológicas utilizadas.

Los resultados de los procedimientos arriba mencionados, se presentan en el Cuadro 6.2.4-6 en el que se aprecian tanto los errores estándares como los coeficientes de variación de este último. Se consideraron tres diferentes meses de inicio de pronóstico correspondiente a Abril, Mayo y Junio respectivamente.

CUADRO 6.2.4-6  
PARAMETROS ESTADISTICOS PRONOSTICO ESTACIONAL  
CIENAGAS DE PARINACOTA

Período pronóstico	Se (miles m3)	CVe (%)
Abr-Nov	1404	23.1
May-Nov	1475	28.4
Jun-Nov,	1356	30.8

En las Figuras 6.2.4-10 a 6.2.4-12 se presentan los volúmenes estacionales observados v/s pronosticados entregados por el uso del modelo nivo-pluvial.

Finalmente en el Cuadro 6.2.4-7 se presentan los valores de los coeficientes de variación de los errores estándares del pronóstico de los caudales medios mensuales entregados por el modelo, considerando las mismas tres fechas de inicio utilizadas anteriormente.

CUADRO 6.2.4-7  
COEFICIENTES DE VARIACION DEL ERROR ESTANDAR (%)  
CIENAGAS DE PARINACOTA

	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
Abril	37.3	26.9	33.4	47.1	50.7	38.7	50.0	102.9
Mayo	-	28.3	33.5	47.1	50.7	38.8	50.0	103.0
Junio	-	-	33.3	47.1	50.2	38.7	50.0	103.0

Figura 6.2.4-10  
Vol Medido v/s Pronosticado (Abr-Nov)

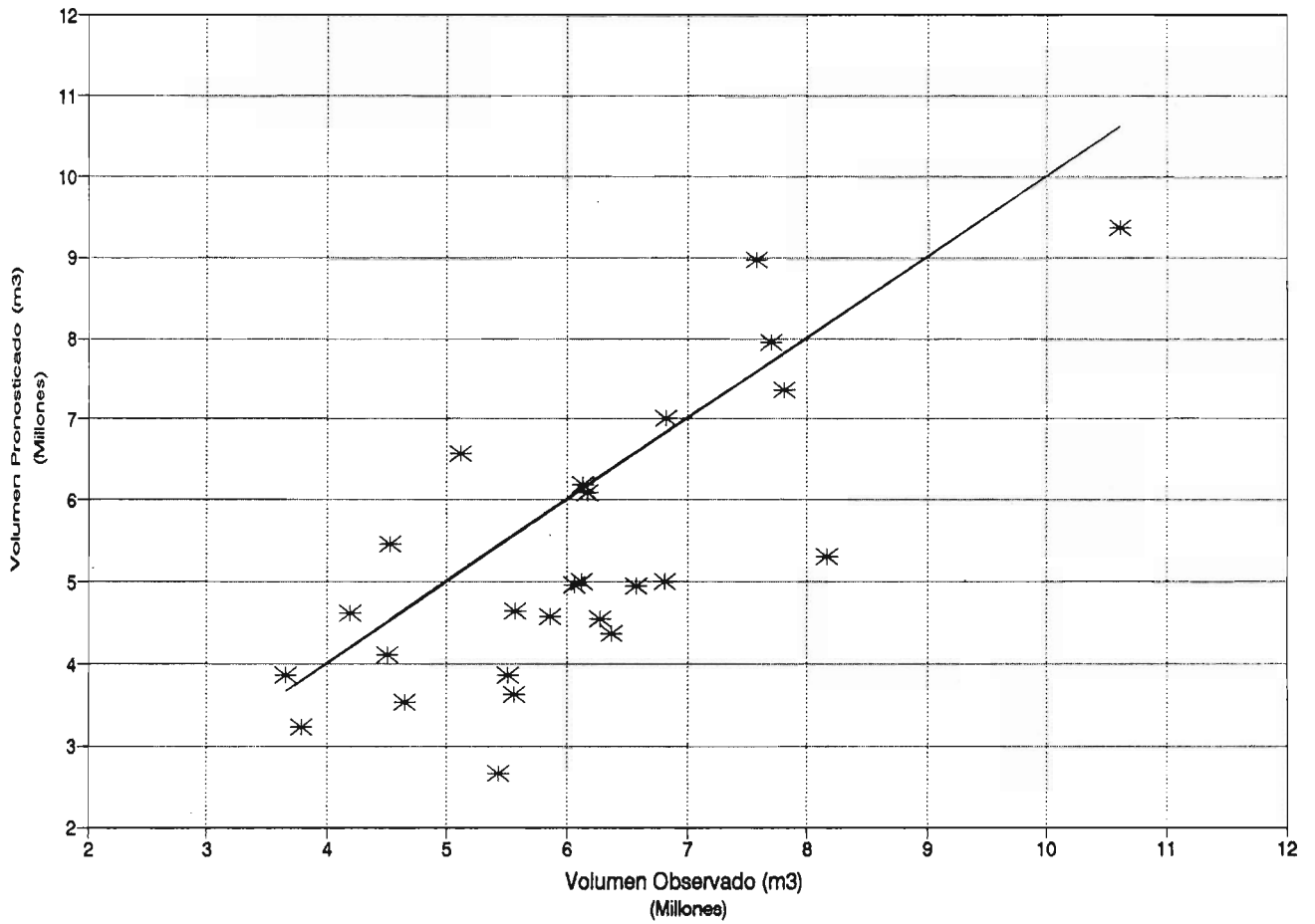


Figura 6.2.4-11  
Vol Medido v/s Pronosticado (May-Nov)

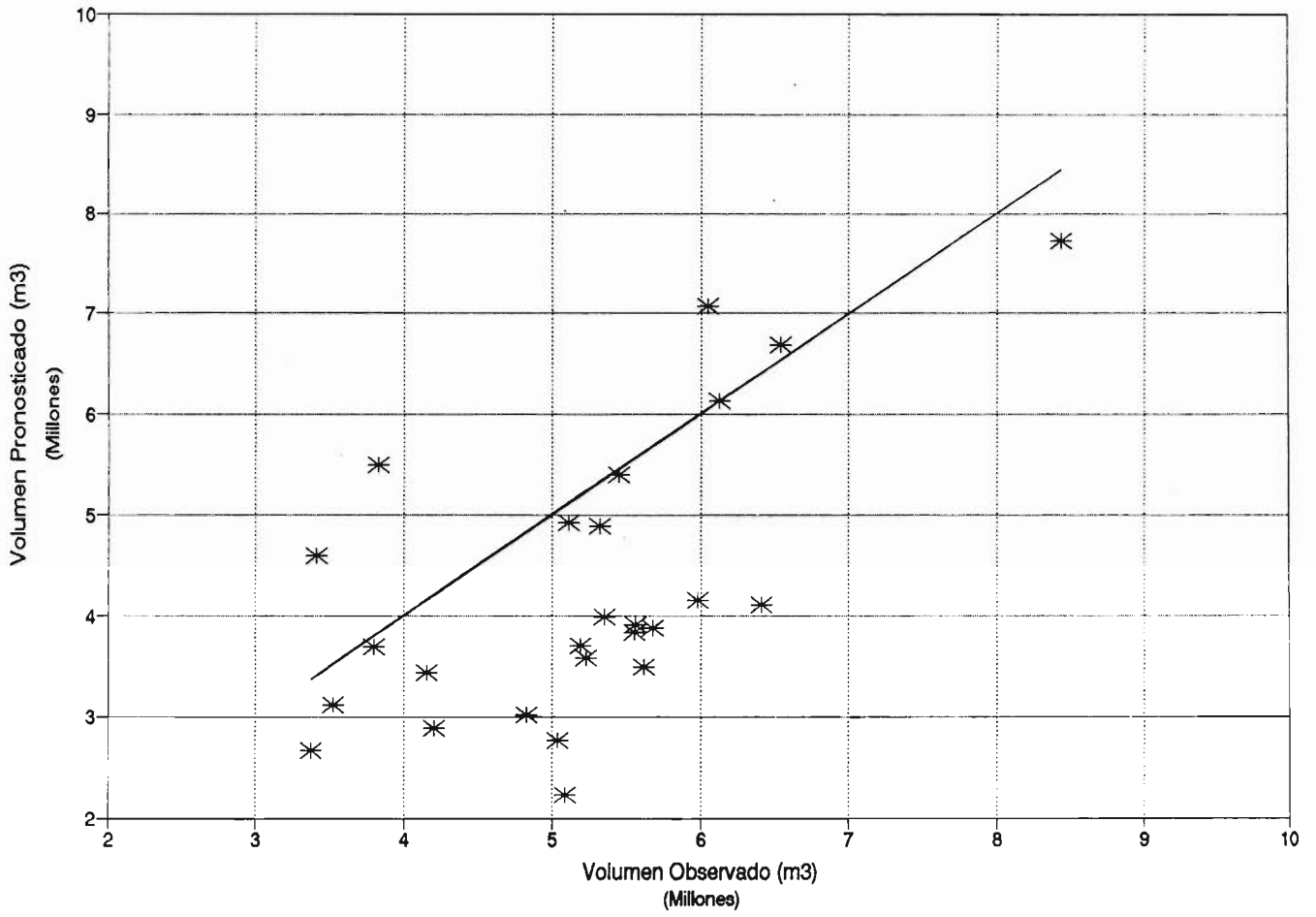
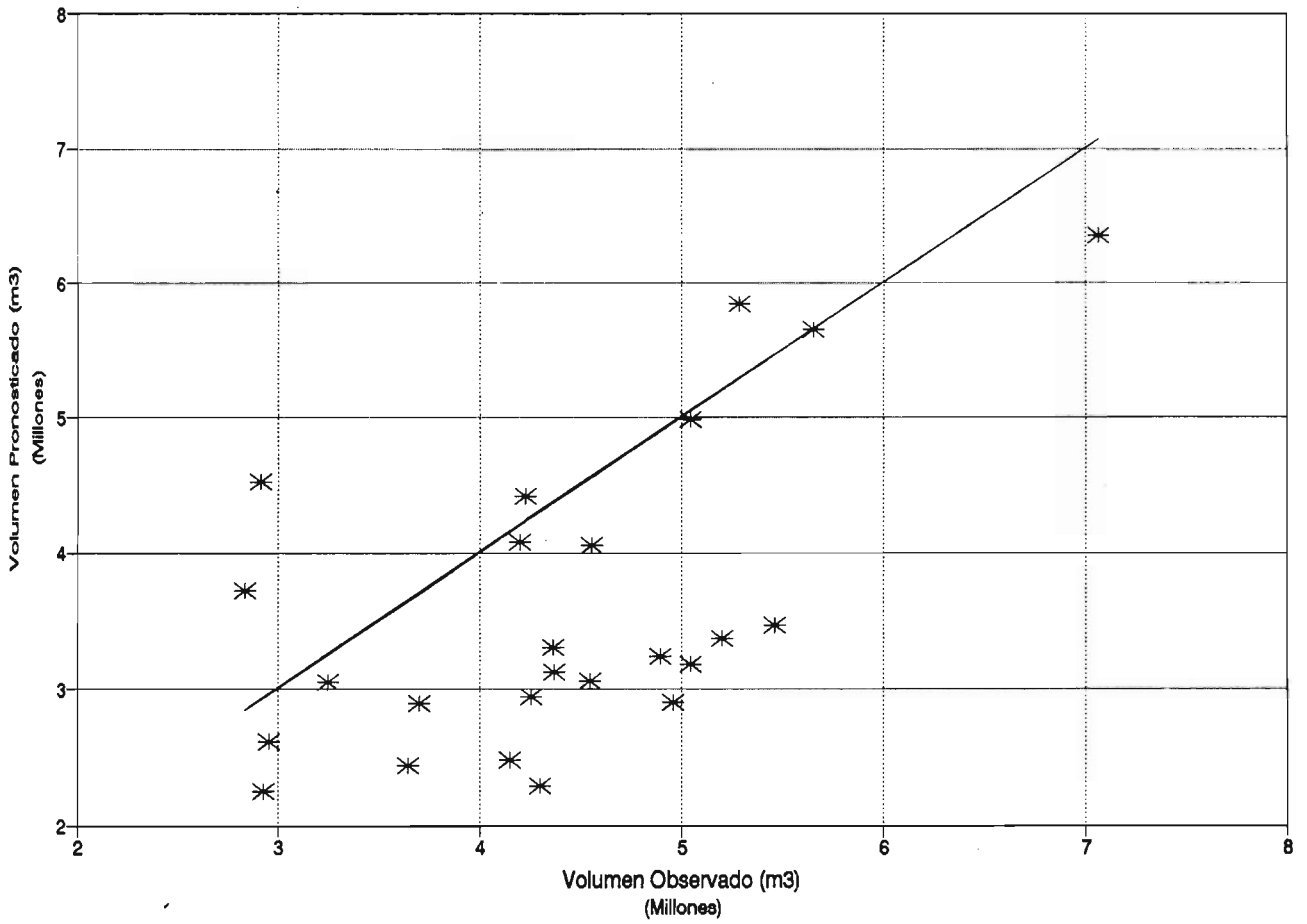


Figura '6.2.4-12  
Vol Medido v/s Pronosticado (Jun-Nov)



h) Comparación resultados modelo simulación con método de pronóstico estadístico

Cotejando visualmente los resultados entregados para las dos metodologías empleadas en lo relativo a los coeficientes de variación del error estándar tanto del pronóstico de recursos estacionales como mensuales afluentes a la Ciénagas de Parinacota y que aparecen en los Cuadros 6.2.4-6 y 6.2.4-7 para los pronósticos por utilización del modelo de escorrentía y en los Cuadros 6.2.3-17 y 6.2.3-18 para el caso de los pronósticos estadísticos, se concluye que los resultados entregados por este último método son claramente mejores tanto en el período estacional como a nivel mensual, por lo que se adopta en definitiva como método de pronóstico recomendado el determinado en base al análisis estadístico y basado en las condiciones fluviométricas anteriores. El método de pronóstico adoptado, fue también programado para su incorporación al modelo general de operación simulada del sistema Lauca-San José-Azapa.

i) Excedentes de los recursos propios de la cuenca de San José

Dada la incertidumbre respecto a la calidad de la estadística disponible para la evaluación de los recursos excedentes de la cuenca de San José y respecto a la confiabilidad de los métodos de pronóstico de base estadística, se intentó sintetizar la información requerida en base a modelos de simulación hidrológica, utilizando en este caso una versión modificada para considerar el régimen no natural de la cuenca de un modelo de simulación de caudales medios mensuales en cuencas pluviales.

En este caso anterior se utilizó como información de entrada, la estadística pluviométrica de la estación Belén, datos evaporimétricos de la estación Cotacotani más la información geomorfológica, correspondiente a las características propias de la cuenca de San José. Como estadística fluviométrica "medida", se utilizó en este caso, las estimaciones de caudales para todo el período disponible, independientemente de la calidad estimada para la información.

El proceso de calibración fue análogo al utilizado anteriormente y sus resultados se presentan tanto en el Cuadro 6.2.4-8 como en las Figuras 6.2.4-13 a la 6.2.4-15. Los caudales simulados se presentan en Anexo 6.2-6.

Se observa en este caso un comportamiento relativamente aceptable del modelo para todo el período sintetizado, con una mejora en los resultados para el período en que la información "medida" se estima de mejor calidad. Por estos motivos se considera a la estadística sintetizada como una estimación válida y alternativa a la obtenida por balances de masas en la cuenca.



Figura 6.2.4-13  
Calibración Río San José (67/68-75/76)

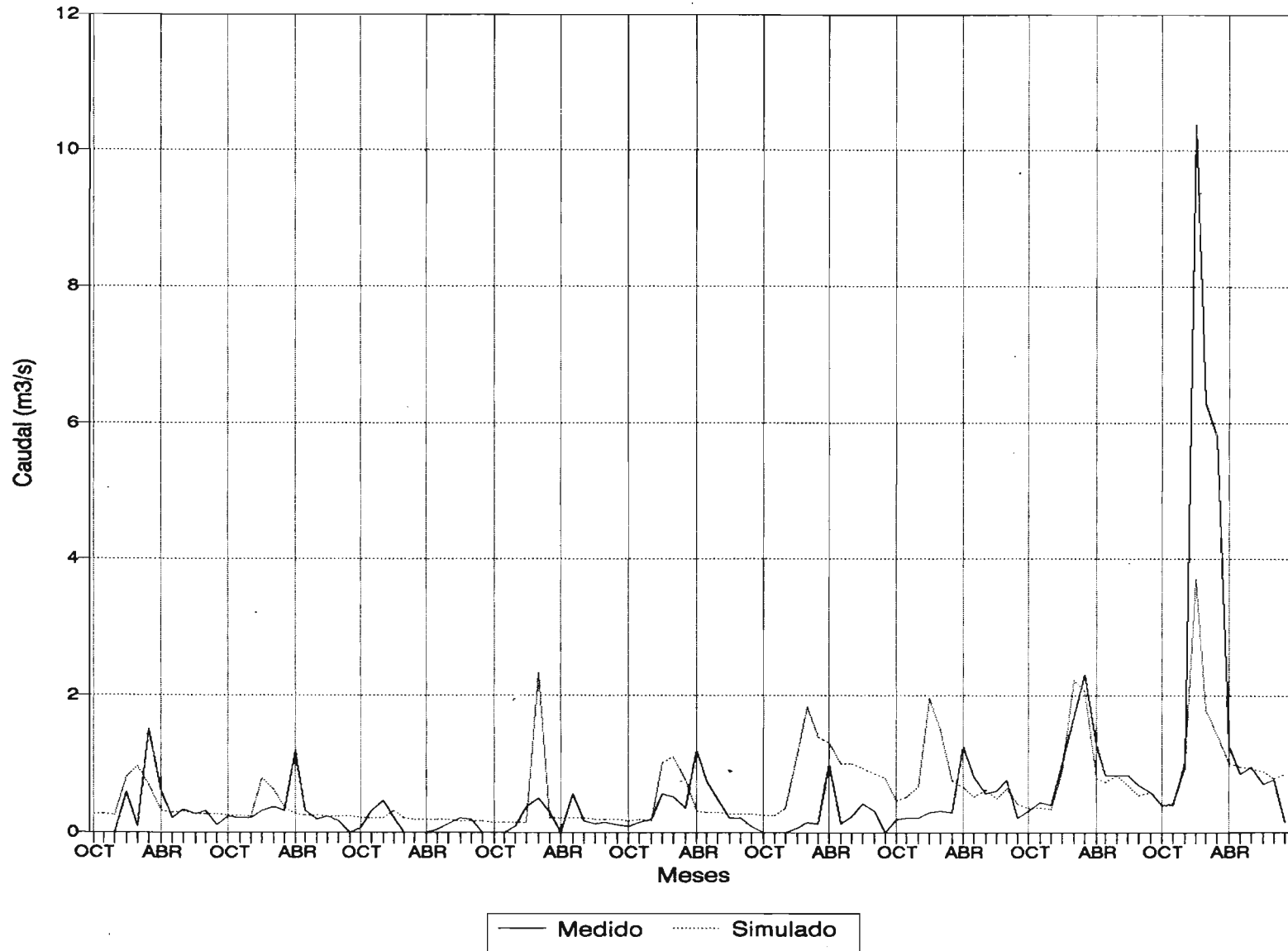


Figura 6.2.4-14  
Calibración Río San José (76/77-84/85)

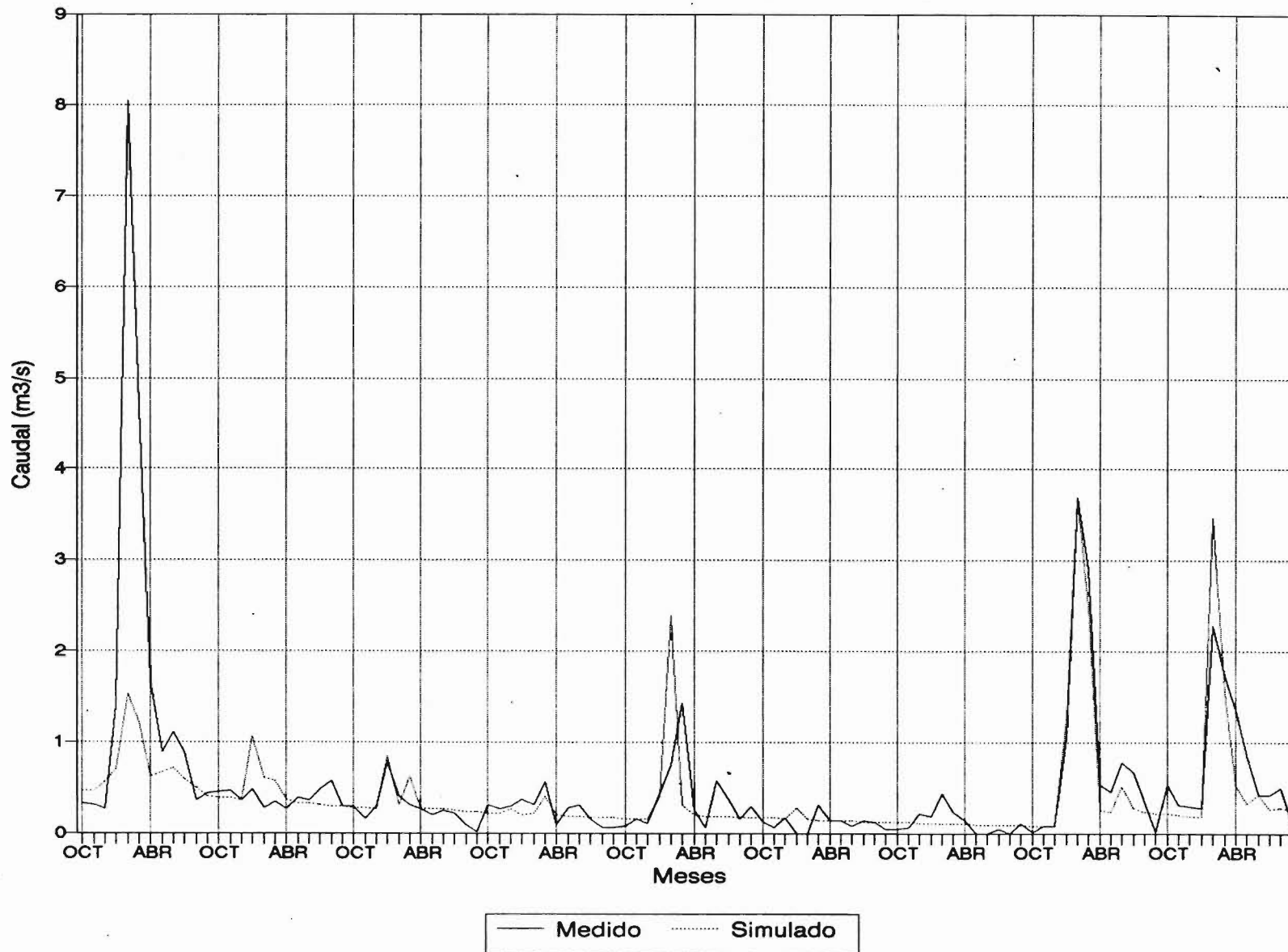
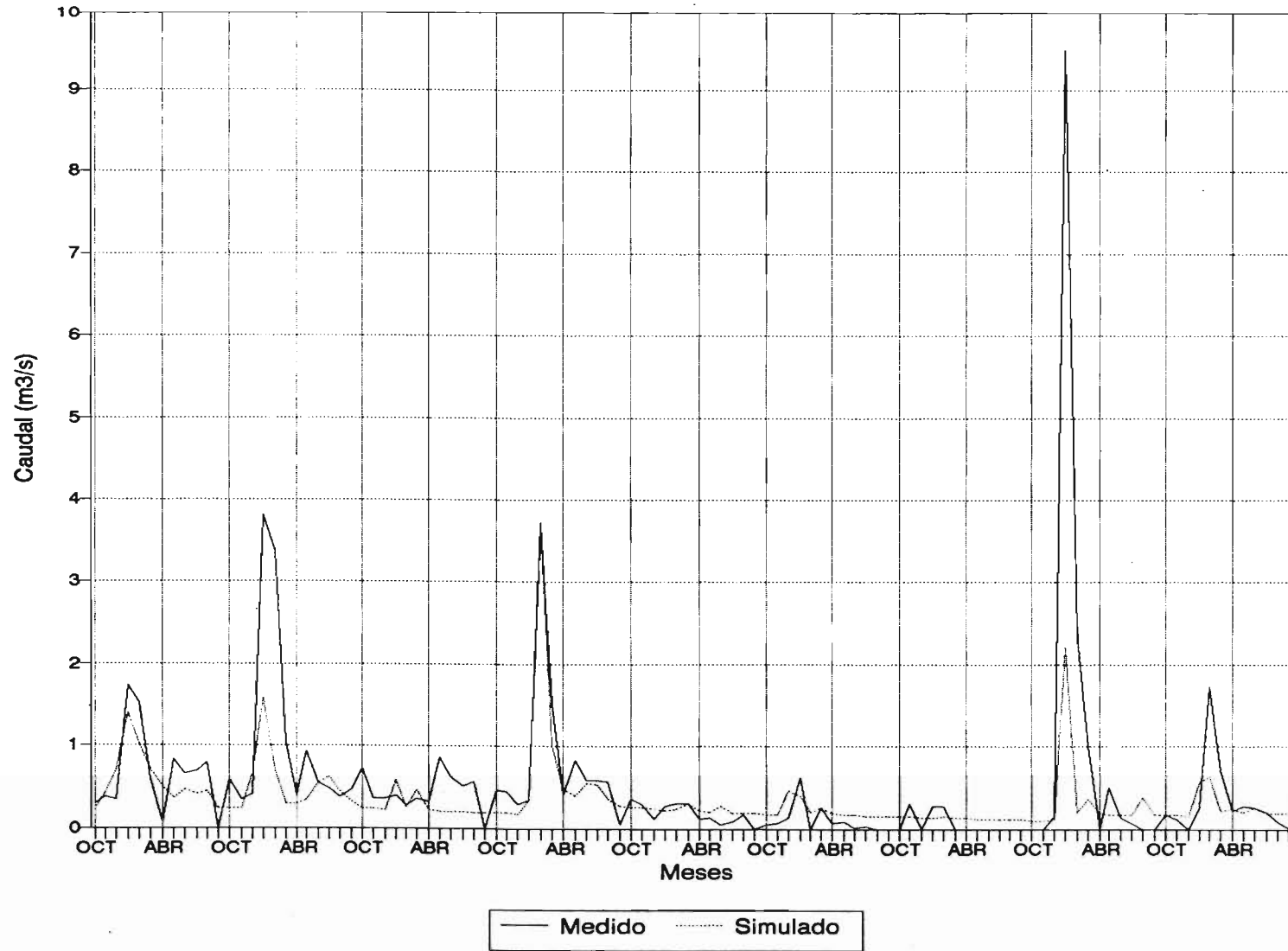


Figura 6.2.4-15  
Calibración Río San José (85/86-93/94)



CUADRO 6.2.4-8  
PARAMETROS OPTIMOS DE CALIBRACION  
EXCEDENTES RECURSOS PROPIOS RÍO SAN JOSE  
PERÍODO 1967/1968-1993/1994

Nº	PARAMETRO	VALOR
1	A	0.76
2	B	0.84
3	HMAX	50.00
4	PORC	10.00
5	CMAX	0.40
6	PRR	0.30
7	CK	0.03
8	D	0.64
9	CIF	24.00
10	PCC	0.032
	COEF. CORRELACION	0.635

j) Pronóstico de escorrentía a nivel estacional y mensual excedentes río San José

Análogamente a los casos anteriores, se procedió a verificar el comportamiento del modelo como herramienta de pronóstico, repitiendo el proceso de simulación y reemplazando durante el período pronosticado los valores históricos medidos por los valores esperados de cada una de las variables meteorológicas utilizadas.

Los resultados de los procedimientos arriba mencionados, se presentan en el Cuadro 6.2.4-9 en el que se incluyen tanto los errores estándares como los coeficientes de variación de este último. Se incluyen además los resultados mejorados que resultan de eliminar los pronósticos de los años 1972 y 1975, que resultan fuertemente anómalos.

CUADRO 6.2.4-9  
PARAMETROS ESTADISTICOS PRONOSTICO ESTACIONAL  
RIO SAN JOSE

Período pronóstico	Se (miles m <sup>3</sup> )	CVe (%)
Abr-Nov	4365	63.3
Abr-Nov (sin años 1972 y 1975)	2708	40.9

En la Figura 6.2.4-16 se presentan los volúmenes estacionales observados v/s pronosticados entregados por el uso del modelo pluvial.

k) Comparación resultados modelo simulación con método de pronóstico estadístico

Cotejando en este caso los resultados entregados por las dos metodologías empleadas en lo relativo a los coeficientes de variación del error estándar del pronóstico de recursos estacionales del Río San José, que aparecen en el Cuadro 6.2.4-9 para los pronósticos en base a modelo de escorrentía, y en el Cuadro 6.2.3-20 para el caso de los pronósticos estadísticos, se concluye que en este caso, aún cuando los dos métodos generan errores importantes, el método basado en simulación resulta competitivo y aun superior al método estadístico, si se considera que los resultados del primero son para todo el período de información disponible mientras el método estadístico es sólo para los años en que la información se consideró más confiable.

En virtud de lo anterior, se decidió en definitiva implementar para el pronóstico el método estadístico, vista su mayor simplicidad aunque tuvo mejor comportamiento el modelo de simulación. Los métodos de pronóstico adoptados, fueron adaptados para su incorporación al modelo general de operación simulada del sistema Láuca-San José-Azapa.

## 6.2.5 Relación entre el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur y las Precipitaciones

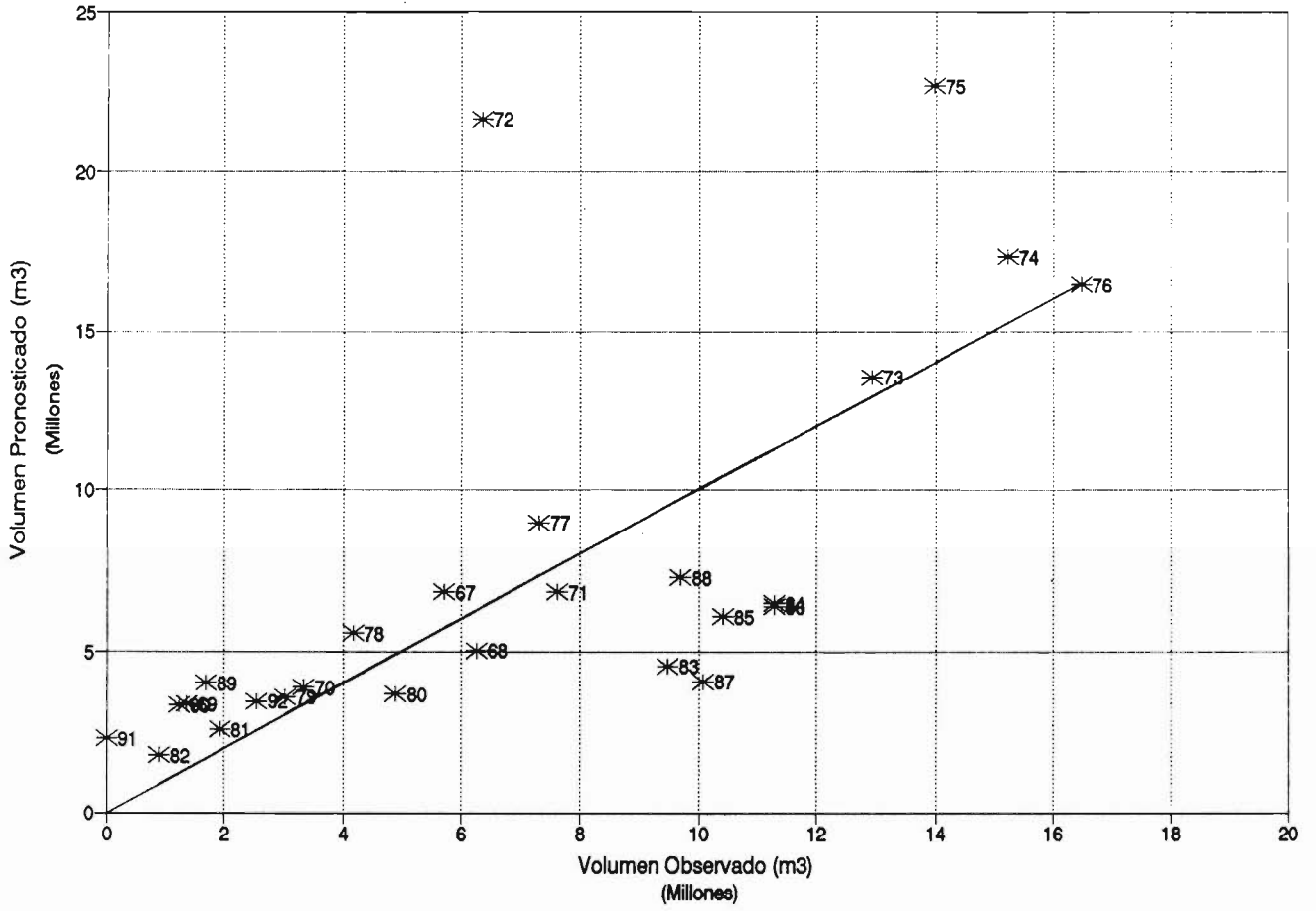
### a) Introducción

En este punto se investigó la posibilidad de existencia de correlaciones entre los índices de la Oscilación del Sur (OS) y los índices utilizados para el pronóstico de los volúmenes de deshielo. Además, se ha incluido en los análisis, la búsqueda de correlación existente entre el volumen de verano (enero a marzo) y las variables de la OS.

Para dicho propósito, se intentaron correlaciones entre las series fluviométricas de las Ciénagas de Parinacota y los caudales afluentes a la Laguna Cotacotani con cada una de las series de índices de la OS.

Los resultados presentados aquí, corresponden a las mejores estimaciones logradas, luego de una serie de intentos y combinaciones entre los índices utilizados según cada caso.

Figura 6.2.4-16  
Vol Medido v/s Pronosticado (Abr-Nov)



b) Datos y metodología

Los antecedentes recolectados en lo que se refiere a las variables que caracterizan al fenómeno ENOS son presentados en el Anexo 6.2-7, y corresponden a anomalías de la temperatura superficial del mar (en adelante TSM), y presión atmosférica superficial (en adelante PAS) en las siguientes estaciones:

- Niño 1+2, que representa la temperatura media mensual del Pacífico en la región comprendida entre los 0°-10°S, 90°-80°O.
- Niño 3, que representa la temperatura media mensual del Pacífico en la región comprendida entre los 5°N-5°S, 150°-90°O.
- Niño 4, que representa la temperatura media mensual del Pacífico en la región comprendida entre los 5°N-5°S, 160°E-150°O.
- Papeete-Tahiti, que recopila datos de PAS, ubicada en los 17°30'S, 149°36'O.
- Darwin-Australia, que compila datos PAS, ubicada en los 12°24'S, 130°54'E.
- Isla de Pascua-Chile, estación de PAS, ubicada en los 27°9'S, 109°26'O.

Para la TSM en todas las estaciones mencionadas, se adjuntan las anomalías mensuales anexas. Estas anomalías, se han calculado en un período base comprendido entre los años 1951 a 1980.

Su cálculo se realiza según los pasos descritos a continuación:

i) Para cada estación, se calcula el promedio para cada mes, en el período base comprendido entre los años 1951 a 1980, es decir:

$$\overline{TSM}_i = \frac{1}{30} * \sum_j TSM_{i,j} \quad \text{ec. 6.2.5.1}$$

en que  $i =$  mes del año  
 $j =$  año.

ii) Se calcula la anomalía como la diferencia del valor mensual observado y el promedio calculado en i), entonces se tiene:

$$Z_i = (TSM_{i,k} - \overline{TSM}_i) \quad \text{ec. 6.2.5.2}$$

en que  $i =$  mes del año.  
 $k =$  año.  
 $TSM_{i,k}$  es la anomalía del mes  $i$  para el año  $k$ .

Estas series de anomalías se adjuntan en el Anexo 6.2-7, pudiéndose obtener los registros a futuro a través de Internet.

Para la PAS en Isla de Pascua, se han calculado las anomalías mensuales en el mismo período base, pero además se han estandarizado, es decir, se han dividido por la desviación estándar del período base.

El cálculo de estas series se realiza según los pasos i) y ii) del caso anterior y, además se agrega un tercer paso:

iii)

$$X_i = \frac{Z_i}{S_i}, \quad S_i = \sqrt{\sum \frac{(PAS_i - \overline{PAS}_i)^2}{29}} \quad \text{ec. 6.2.5.3}$$

en que:  $Z_i$  es la anomalía del mes  $i$ .  
 $PAS_i$  es la PAS observada del mes  $i$ .  
 $\overline{PAS}_i$  es la PAS promedio del mes  $i$  en el período base.

Por último, las series PAS en las estaciones de Papeete y Darwin, se han representado, como se mencionó antes, mediante el IOS, que se calcula de la siguiente manera:

- 1) Para cada estación, se calculan las anomalías del PAS según el procedimiento empleado en los puntos i) y ii) para la TSM.



- 2) Se estandarizan estas series, dividiéndolas por la desviación estándar de cada mes en el período base, en forma análoga al caso de la PAS en Isla de Pascua.
- 3) Se calcula la diferencia entre Papeete y Darwin:

$$Y_i = X_{i(\text{papeete})} - X_{i(\text{darwin})} \quad \text{ec. 6.2.5.4}$$

- 4) Se divide la serie anterior por la desviación estándar de cada mes en el período base (1951 a 1980), obteniéndose finalmente el IOS.

$$IOS_i = \frac{Y_i}{S_i} \quad \text{ec. 6.2.5.5}$$

en que:  $\bar{Y}_i$  es la diferencia promedio en el período base.

Estas anomalías se adjuntan en el Anexo 6.2-7.

Para buscar correlaciones entre las variables involucradas, se procedió primeramente a preparar los datos que se deseaba pronosticar. Para ello, se estandarizaron las siguientes series de datos:

- Volúmenes de deshielo acumulado de Abril a Noviembre, tanto para las Ciénagas de Parinacota como caudales afluentes a la Laguna Cotacotani.
- Caudales de Febrero y Marzo en ambas estaciones, correspondientes a las variables predictantes para el caudal de Abril en ambas estaciones.
- Volúmenes de verano (acumulados de Enero, Febrero y Marzo) para ambas estaciones.

Posteriormente, se utilizó una correlación lineal múltiple entre cada serie fluviométrica preparada e índices seleccionados de la OS. Estos índices corresponden a las anomalías de Mayo hasta Diciembre anteriores, en cada estación recopilada con datos de la OS. Se seleccionaron las series de datos que mejor explicaban las variables a pronosticar. Los resultados para cada caso, se muestran en el punto siguiente.

- c) Pronóstico de caudales afluentes a la Laguna Cotacotani
- i) Volúmenes de deshielo acumulados de abril a noviembre

Primero se preparan los datos, estandarizando la variable a pronosticar, luego se tiene:

$$V_d = \frac{V_{abr-nov} - V_p}{S_v} \tag{ec. 6.2.5.6}$$

en que:

- $V_d$  : Volumen Abril a Noviembre estandarizado.
- $V_p$  : Volumen promedio 1968-1993 (11207.7 miles m3).
- $S_v$  : Desviación estándar del volumen de deshielo (3116.7 miles m3).

Luego de una serie de intentos, se llegó finalmente a la siguiente relación:

$$V_v = 0.194 * IOS_{oct} - 0.859 * TN4_{mayo} + 0.45 * TN4_{nov} \tag{ec. 6.2.5.7}$$

en que:

- $V_v$  : Volumen de Abril a Noviembre.
- IOS : Indice de Oscilación del sur (Octubre).
- TN4 : Anomalía de la Temperatura superficial del mar en la región Niño 4, (en el mes que corresponde).

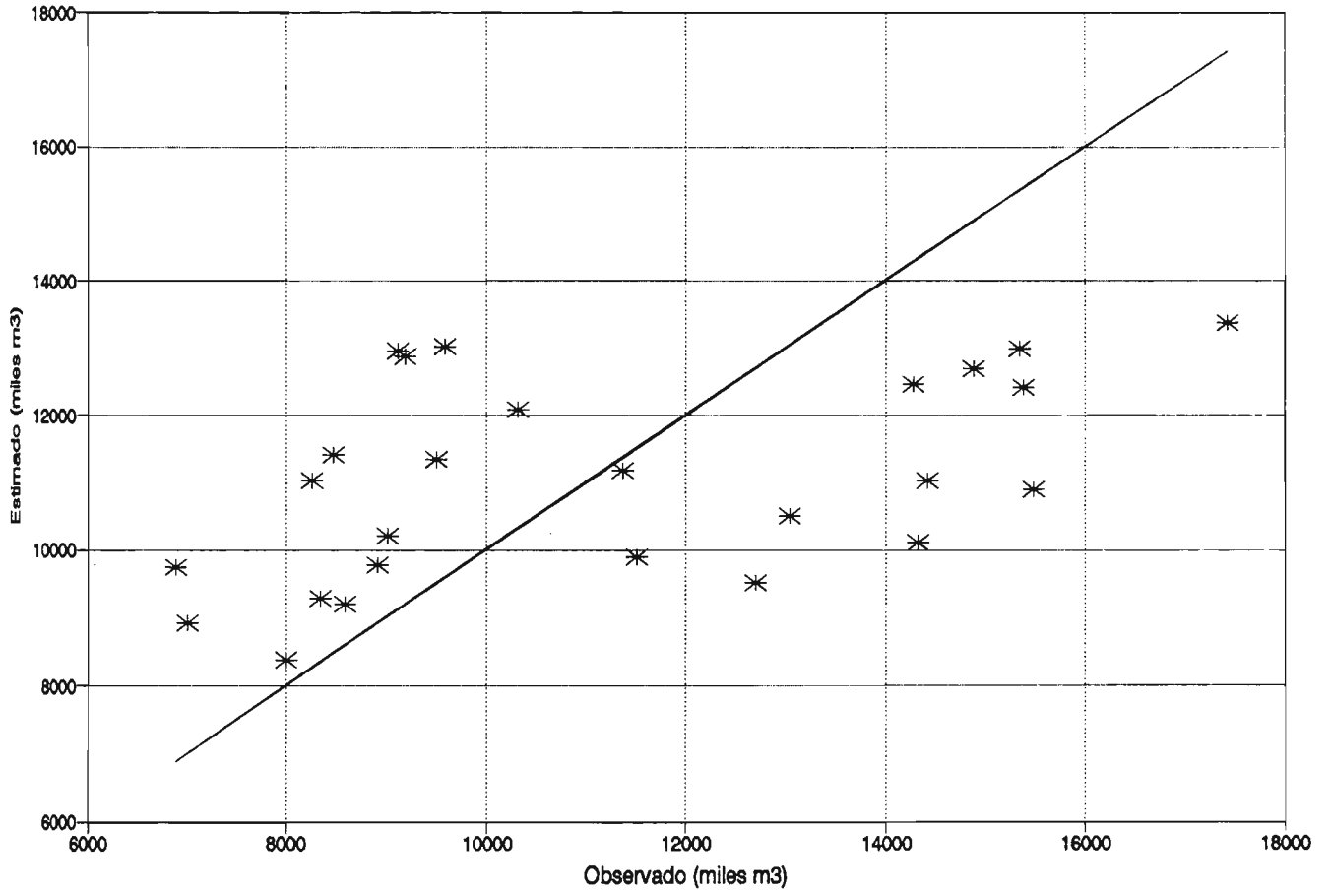
Para obtener el volumen estimado en base a las variables ENOS, simplemente basta recuperar la variable estimada multiplicando el valor de  $V_v$  obtenido por la desviación estándar y sumándole el promedio de los datos observados.

El grado de ajuste de la ecuación anterior, se resume en el Cuadro 6.2.5-1 y en la Figura 6.2.5-1 a continuación.

CUADRO 6.2.5-1

$r^2$ %	Se	Cve %
232	278464	2485

Figura 6.2.5-1  
Est. Vol. Ab-No en base a ENOS. Cotac.



Del cuadro anterior, se observa que el grado de ajuste obtenido, muestra un grado de correlación muy débil, insuficiente como para recomendar las relaciones obtenidas para el pronóstico del volumen de deshielo. Por otro lado, del gráfico se observa que la estimación de los datos estimados en base a ENOS, no logran seguir la tendencia de los datos observados.

ii) Volumen acumulado de verano

Análogamente al caso anterior, primero se estandariza la variable a pronosticar en base a la ec. 6.2.5.6, pero en este caso se utiliza:

$$\begin{aligned} \text{Promedio} &= 3836.2 \text{ miles m}^3 \\ \text{Desv. estándar} &= 1254.1 \text{ miles m}^3 \end{aligned}$$

La relación encontrada en este caso es la siguiente:

$$V_{e-f-m} = 0.181 * IOS_{nov} - 0.142 * TN3_{mayo} - 0.35 * TN4_{jun} \quad \text{ec. 6.2.5.8}$$

en que:

$V_{e-f-m}$  : Volumen de Enero a Marzo, ambos inclusive.  
 IOS : Índice de Oscilación del sur (Noviembre).  
 TN3 : Anomalía de la Temperatura superficial del mar en la región Niño 3, (en el mes que corresponde).

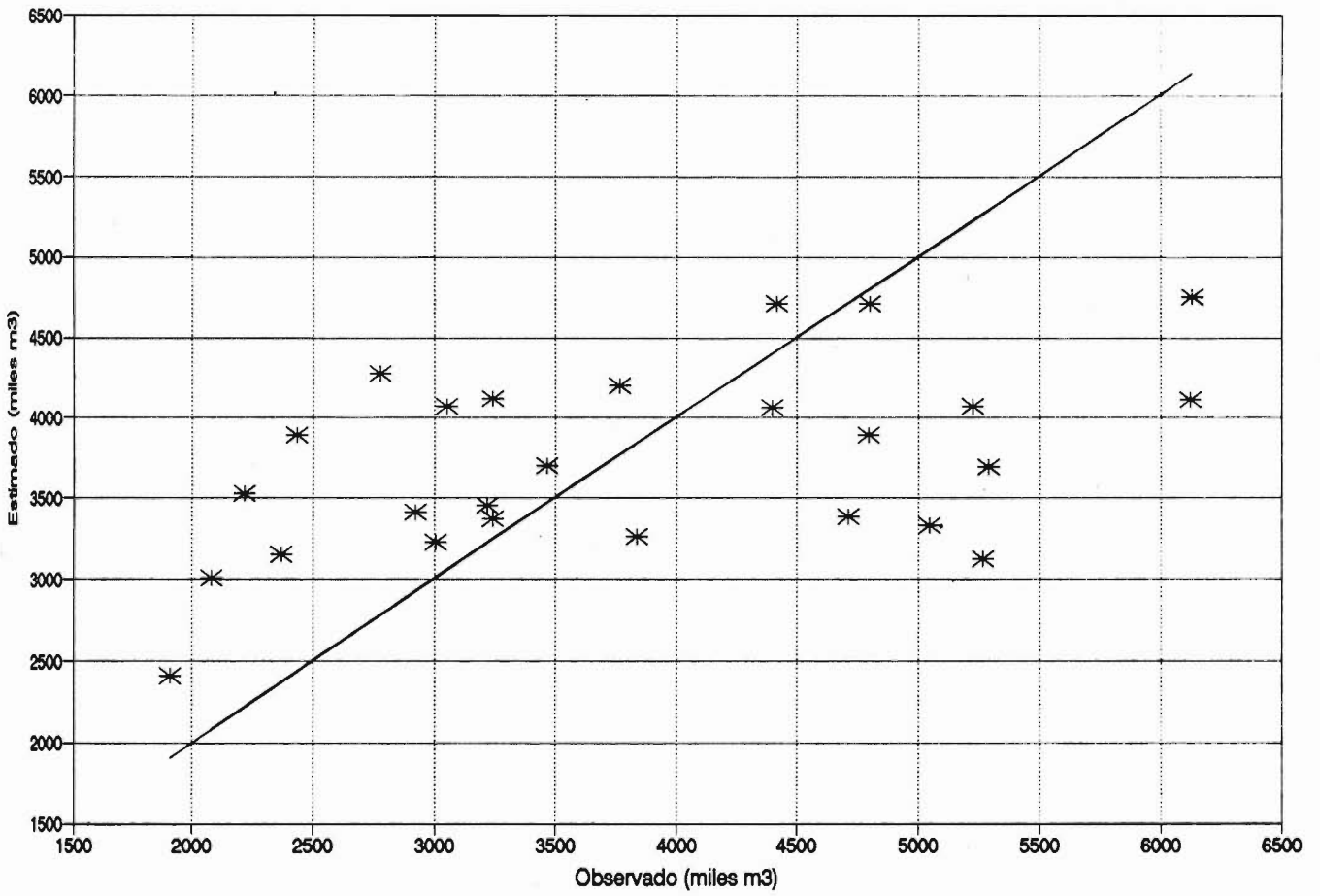
La bondad del ajuste mostrado en forma analítica se encuentra en el Cuadro 6.2.5-2 y en la figura del mismo número a continuación.

CUADRO 6.2.5-2

$r^2$ %	Se	Cve %
22.8	1124.36	29.31

De los resultados anteriores, se concluye que no es recomendable utilizar estas relaciones para el pronóstico, ya que el grado de incerteza en las estimaciones es demasiado alta.

Figura 6.2.5-2  
Est. Vol. Verano en base a ENOS. Cotac.



d) Pronósticos para las Ciénagas de Parinacota

Al igual que el caso anterior, se probaron correlaciones entre las anomalías mensuales de la OS desde Mayo a Diciembre y los caudales de verano y deshielo (estandarizados) en las Ciénagas de Parinacota, así como relaciones entre los caudales de Febrero y Marzo para ambas estaciones. Los resultados obtenidos no se adjuntan, ya que los coeficientes de correlación calculados no superan el 10%, lo cual hace desechar las correlaciones para pronóstico.

Lo anterior muestra que las variables de ENOS no resultaron útiles en el presente caso, para propósitos de pronóstico de variables fluviométricas en el Altiplano Chileno.

6.2.6 Manual de uso de la implementación computacional de los modelos estadísticos de pronóstico

En el presente acápite se entregan al usuario las nociones básicas para poder utilizar tres programas, compilados en lenguaje BASIC, que entregan el pronóstico de los caudales para los afluentes de la laguna Cotacotani, para las ciénagas de Parinacota y eventualmente, con las reservas del caso, para los excedentes del río San José.

Estos programas son el resultado de considerar las relaciones obtenidas a partir de los análisis estadísticos antes expuestos de las series de caudales existente para cada uno de los casos a analizar.

A continuación se explica cada uno de los programas por separado:

a) Laguna Cotacotani:

El programa que se entrega tiene el nombre de COTA.EXE, el que da la posibilidad de obtener los caudales pronosticados para diferentes períodos de tiempo, dentro del rango de meses entre Abril y Octubre.

El menú principal da la opción de pronosticar siete períodos diferentes, como ya se dijo, desde Abril a Octubre. Al elegir cualquiera de las alternativas se deberá tener en cuenta que como datos de entrada se necesitarán los valores de los caudales para cada uno de los meses anteriores al período a pronosticar, medidos en l/s, los que se entregan como información por pantalla cada vez que el programa lo requiera. Como ejemplo, para el período de pronóstico Abril a Noviembre se necesitan los valores de los caudales de los meses de Febrero y Marzo, medidos en l/s.

Al efectuar cada uno de los pronósticos se puede generar un archivo de salida con los resultados obtenidos. Se debe entregar por pantalla el nombre del archivo de salida, el que se generará en el mismo directorio en que se encuentra el programa COTA.EXE.

b) Ciénagas de Parinacota:

El nombre del programa que genera el pronóstico de caudales para este caso en particular se denomina PARI.EXE.

El menu principal es semejante al caso de la Laguna Cotacotani.

Lo particular de este caso es la necesidad de contar además de los valores de los meses de Febrero y Marzo, en cuanto a caudales, con el valor del mes de Enero, necesario para poder generar el caudal pronosticado del mes de Abril, el que se encuentra, a su vez, en el pronóstico del período de Abril a Noviembre. Para los demás períodos la información requerida es la misma que para el caso del punto (a).

El archivo de salida, posible de generar, necesita el nombre de este archivo y se genera en el mismo directorio en el que se encuentra el programa PARI.EXE.

c) Río San José:

El nombre del programa que genera el pronóstico de caudales para este caso en particular se denomina SANJOSE.EXE.

El menú principal, a diferencia de los anteriores, sólo solicita las estadísticas de precipitación en los meses de Enero, Febrero y Marzo, entregando el resultado de la estimación, sin posibilidad de actualización.

El archivo de salida, posible de generar, necesita el nombre de este archivo y se genera en el mismo directorio en el que se encuentra el programa SANJOSE.EXE.

## 6.3 MODELOS HIDROGEOLÓGICOS

### 6.3.1 Introducción

Se han elaborado dos modelos hidrogeológicos de simulación con el fin de que la Dirección General de Aguas disponga de una herramienta confiable y precisa que permita determinar el comportamiento de los sistemas acuíferos asociados al Valle de Azapa y sector costero de Arica y a gran parte del sector altiplánico del río Lauca. Con ellos se pueden estudiar diversas situaciones en la explotación de los recursos subterráneos, entre otros: determinar los balances absolutos y relativos entre los diversos flujos que intervienen, incorporación de nuevas captaciones, exclusión de captaciones existentes o modificación de sus reglas de operación, distintas condiciones hidrológicas, etc.

El modelo empleado corresponde al programa MODFLOW desarrollado por el USGS de Estados Unidos en conjunto con un pre y post-procesador desarrollado en Canadá por la Universidad de Waterloo, y luego perfeccionado y comercializado por Waterloo Hydrogeologic Software, denominado VISUAL MODFLOW (VM). En el Anexo 6.3-1 se presenta una descripción general del software mencionado. La versión del modelo empleada en este estudio corresponde a la 1.5, comercializada a partir de Enero de 1996.

El modelo VM permite al usuario representar prácticamente cualquier tipo de sistema acuífero y probarlo bajo diferentes condiciones, las que se refieren tanto a los aspectos básicos que representan y caracterizan a un acuífero como a las acciones externas que perturban al sistema. Dentro de las primeras, se consideran principalmente los límites espaciales del acuífero (en planta y en vertical), su naturaleza y las particularidades que caracterizan al sistema, tales como: condiciones de borde, existencia de recargas, interconexión con aguas superficiales, etc. Entre las segundas, especial importancia adquieren los bombeos desde captaciones que extraen agua del acuífero.

El trabajo con VM es facilitado gracias a un ambiente gráfico tipo "AUTOCAD", que permite ingresar, modificar y extraer información en forma sencilla, rápida y amistosa.

En este informe se describen los antecedentes considerados para conceptualizar el modelo y el procedimiento empleado para su calibración y sus resultados.



### 6.3.2 Modelo Hidrogeológico del Valle de Azapa

#### a) Límites de la Zona Modelada

La zona considerada en la modelación comprende gran parte de la planicie costera de la ciudad de Arica y a prácticamente todo el Valle de Azapa hasta el sector de Casa Grande, ubicado a unos 6 Km aguas arriba de Cabuza. En el Plano 6.3.2-1 se muestra aproximadamente la zona modelada. Para la zona señalada se ha elaborado un modelo único que considera todos los flujos y variables correspondientes.

#### b) Funcionamiento General del Sistema Modelado

De acuerdo con los análisis realizados anteriormente, en la zona modelada se tiene un acuífero con características principalmente freáticas (no confinado). El acuífero del Valle de Azapa se engrana con el acuífero de la planicie costera, resultando una continuidad espacial del sistema que permite la modelación matemática de manera unificada.

En el transcurso de la última década el sistema se ha encontrado en una condición de desequilibrio permanente o régimen transiente, debido principalmente a la intensa explotación a la que ha sido sometido por las captaciones destinadas al uso potable e industrial en la zona baja y para el riego hacia el interior del valle. Lo anterior condiciona en gran medida la forma de elaborar el modelo, en el sentido de que éste debe ser calibrado en régimen transiente y partiendo de una condición conocida de los niveles del agua subterránea o superficie freática inicial. El punto de partida temporal para la modelación debe corresponder a una fecha en la cual se tenga suficiente cantidad de información para la interpretación espacial de la superficie freática inicial. El año adecuado según lo anterior corresponde a 1988. Con posterioridad a esa fecha se han observado importantes descensos de los niveles del agua subterránea, especialmente en la zona de la ciudad de Arica, situación que se mantiene hasta el presente. En base a lo anterior, el modelo ha sido calibrado y validado utilizando el período comprendido entre los años 1988 y 1995. Considerar un período de calibración y validación extenso, como en este caso, permite obtener una mayor seguridad y representatividad del modelo.

Por otro lado, los principales condicionamientos funcionales que singularizan al sistema, son los siguientes:

- El acuífero de la zona costera no presenta una intrusión de agua de mar, a pesar de la gran profundidad a que se encuentran los niveles dinámicos observados en los pozos próximos a la costa, como fue demostrado en el análisis de las características isotópicas y químicas de las aguas. Esto significa que el borde costero del modelo debe ser representado como un límite sin flujo, lo que

complica el proceso de modelado por cuanto no se pueden establecer condiciones de borde de nivel conocido sin contradecir la hipótesis anterior. Sin embargo, el resultado final del modelo es más cercano a la realidad.

- Desde aguas arriba el acuífero está condicionado por el flujo subterráneo entrante. Lo anterior se representa mediante condiciones de borde de nivel conocido, las que pueden ser variables en el tiempo. Para la calibración del modelo sólo basta considerar niveles constantes en el tiempo, dado el escaso grado de explotación en la zona aguas arriba de Cabuza.
- Dada la naturaleza freática del acuífero, es de suma importancia que el fondo variable de las formaciones permeables sea fielmente representado en el modelo. Para ello se trabajó con la delimitación vertical de las formaciones acuíferas, obtenidas a partir de los perfiles tanto hidrogeológicos (basados en estratigrafías) como geofísicos (por gravimetría) y que fueran analizados previamente en este estudio.
- La variable externa que más condiciona la evolución temporal y espacial del sistema son los bombeos o extracciones de agua, dada su condición de desequilibrio dinámico. En consecuencia, la definición lo más exacta posible de los caudales de explotación dentro del período a considerar en la calibración, es de gran importancia para obtener un buen ajuste del modelo a la situación real experimentada por el sistema acuífero. Otra variable externa importante son las recargas por percolación desde las zonas de riego y canales.

### c) Discretización Espacial y Temporal

#### i) Discretización en Planta

La discretización espacial en planta del modelo se refiere a la forma en que éste es subdividido en celdas rectangulares, las que son definidas por la intersección de filas y columnas.

La zona modelada se extiende entre los siguientes límites, expresados en coordenadas UTM.

Límite Norte	:	UTM - Norte,	7.960.000
Límite Sur	:	UTM - Norte,	7.945.000
Límite Oeste	:	UTM - Este,	360.000
Límite Este	:	UTM - Este,	389.000

El número definido de columnas (sentido Norte - Sur) es de 221 y el número de filas (sentido Este-Oeste) es de 150. Lo anterior significa un total de 33.150 celdas, con un ancho de celda máximo de 100 m en el sentido Norte-Sur y de entre 100 y 200 m en sentido Este-Oeste (ver Figuras 6.3.2-2 a 6.3.2-7).

## ii) Discretización en Vertical

Dada la continuidad funcional del acuífero a modelar y sus características de no confinamiento, el sistema se discretizó verticalmente en un solo estrato. Éste corresponde al acuífero principal detectado en los estudios que se han realizado hasta la fecha, y constituye la fuente desde la cual se realiza la principal explotación de agua subterránea destinada a consumo potable y riego principalmente. Podrían existir napas aisladas y locales cercanas a la superficie y con aguas de inferior calidad, pero éstas no forman parte ni son funcionalmente modelables o asimilables al acuífero principal que se ha representado.

Como reafirmación de lo anterior, se tiene el hecho de que existe una lenta pero sostenida salinización del agua subterránea a lo largo de todo el valle de Azapa y sector costero de Arica. Lo anterior se ocasionaría en parte por uso y reuso del recurso subterráneo a lo largo del valle y amplificado su efecto debido al trasvase desde el canal Lauca.

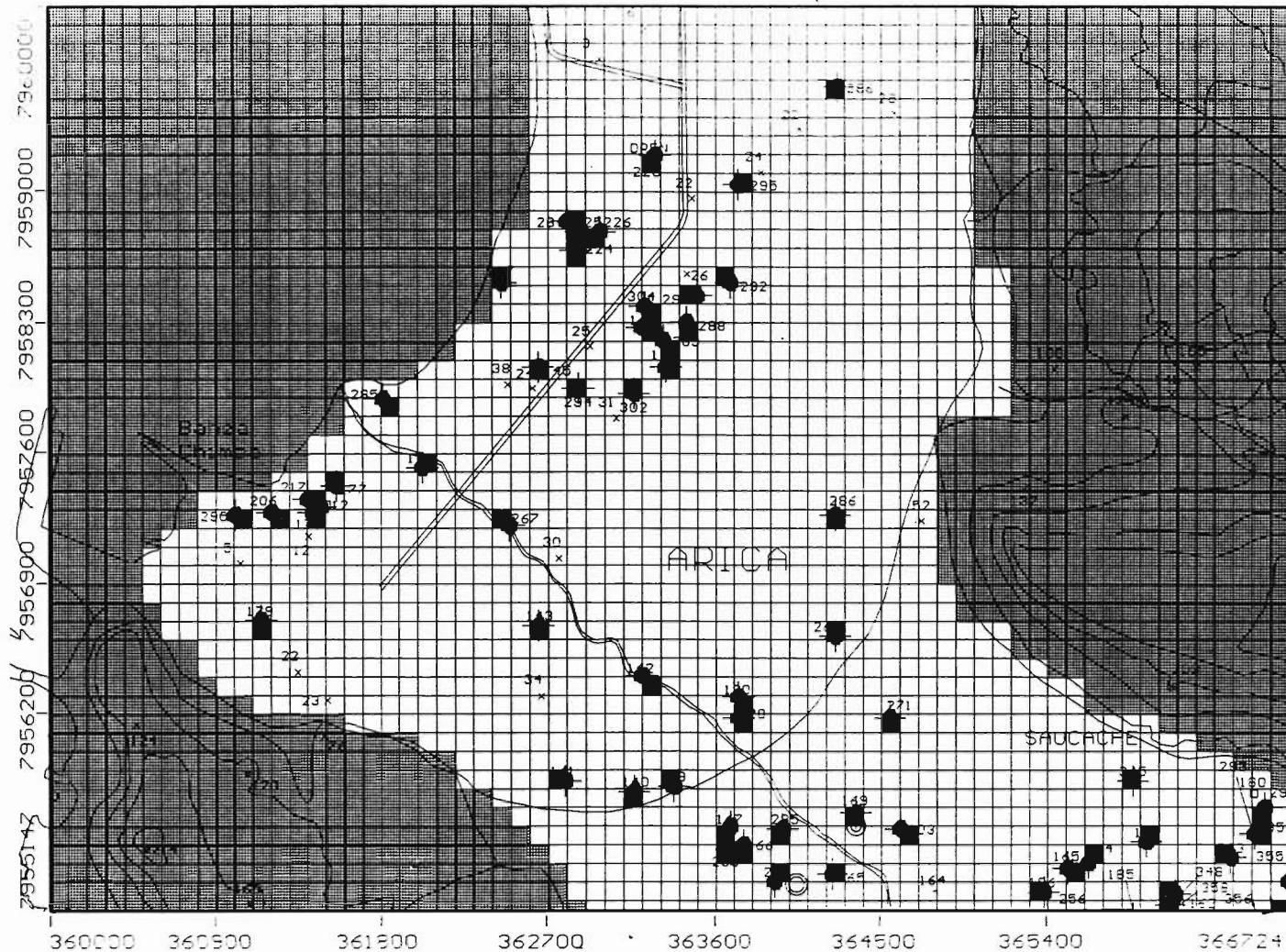
El límite que define la cota de fondo de las celdas activas del modelo ha sido establecido a partir de una serie de perfiles transversales que se trazaron para la zona de estudio, teniendo como base los perfiles hidrogeológicos y geofísicos desarrollados. En el Anexo 6.3-2 se entrega la información procesada para tal efecto en base a cuadros y una figura, en que se muestran la ubicación en planta de los perfiles y los datos considerados que incluyen, para cada perfil, las coordenadas UTM, las cotas de fondo del acuífero o cotas del basamento impermeable y las cotas de terreno.

Posteriormente, dicha información fue procesada con el software SURFER, el cual permite la generación de una superficie tridimensional por medio de una interpolación matemática; de esta forma, se dispone de una representación suave y continua del límite inferior de la zona modelada, la cual fue ingresada directamente al modelo VM. En la Figura 6.3.2-9 se muestra el basamento impermeable (fondo del acuífero).

## iii) Discretización Temporal

El período seleccionado para efectuar la calibración del modelo, tal como ya se señalara, se extiende entre los años 1988 a 1995.

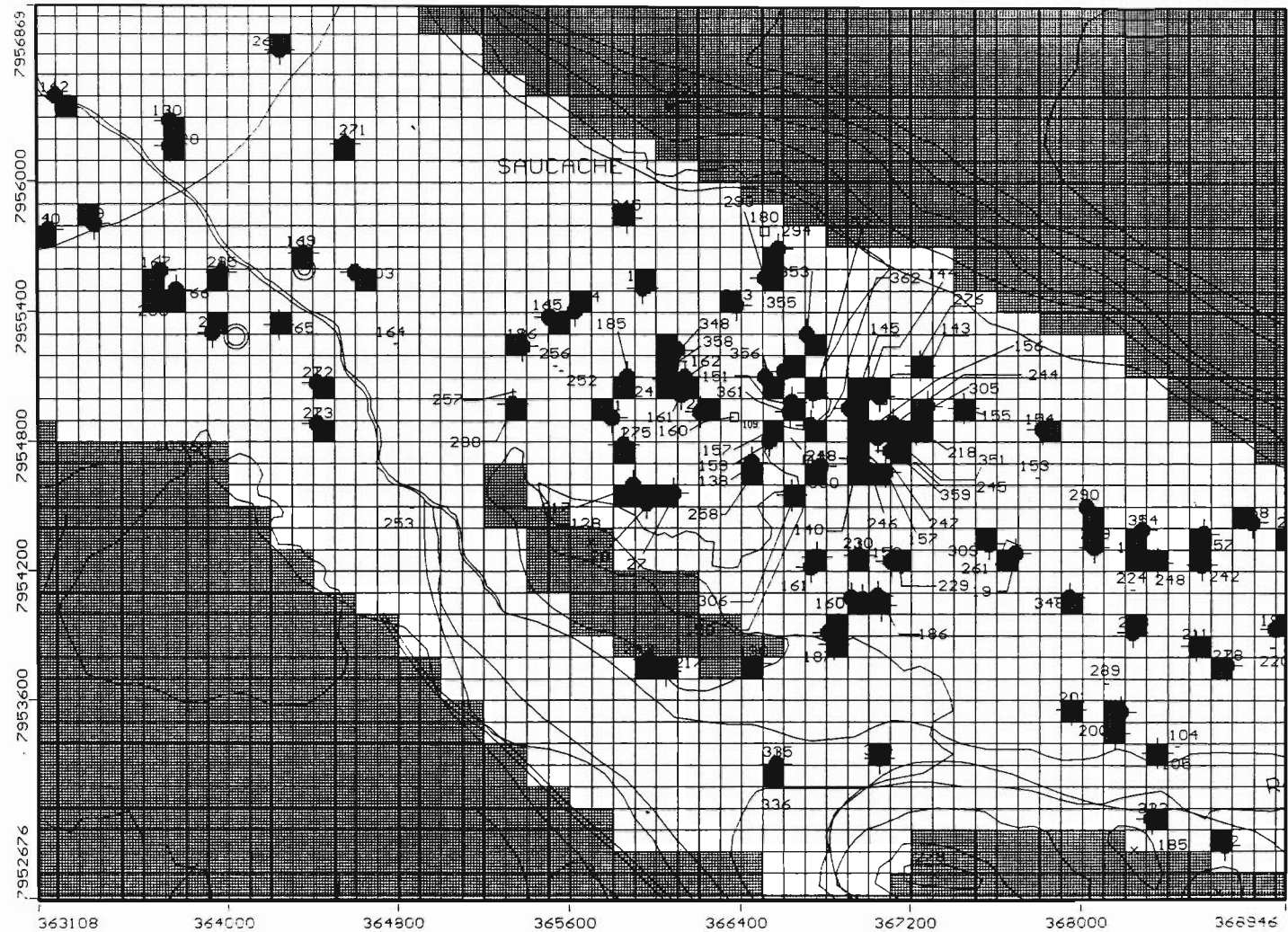
La discretización principal del tiempo está determinada por las reglas de bombeo de los pozos. Dicho intervalo fue establecido en 6 meses, lo que significa tener un total de 16 períodos o intervalos principales de tiempo.



Ayala, Cabrera y Asoc - Santiago, Chile  
 Project: AZAPA-DGA  
 Description: SECTOR ARICA  
 Modeller: FPS  
 1 Oct 96

Visual MODFLOW v.1.50, (c) 1995  
 Waterloo Hydrogeologic Software  
 NC: 221 NR: 150 NL: 1  
 Current Layer: 1

FIGURA 6.3.2 -2 MALLA DE DISCRETIZACION ESPACIAL - SECTOR ARICA

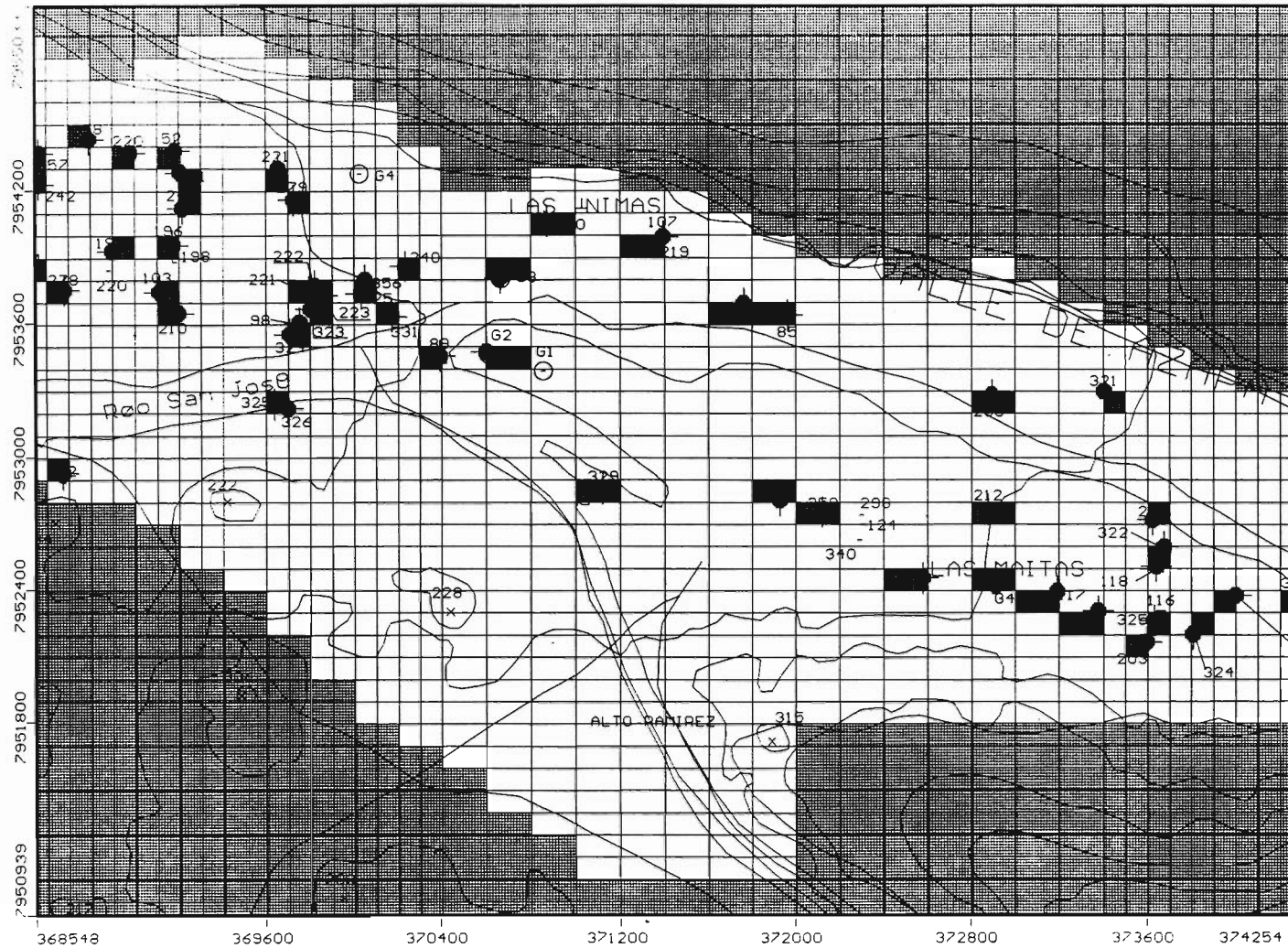


Ayala, Cabrera y Asoc - Santiago, Chile  
 Project: AZAPA-DGA  
 Description: SECTOR PLANTA AZAPA  
 Modeller: FPS  
 1 Oct 96

Visual MODFLOW v.1.50, (c) 1995  
 Waterloo Hydrogeologic Software  
 NC: 221 NR: 150 NL: 1  
 Current Layer: 1

FIGURA 6.3.2 - 3

MALLA DE DISCRETIZACION ESPACIAL - SECTOR PLANTA AZAPA

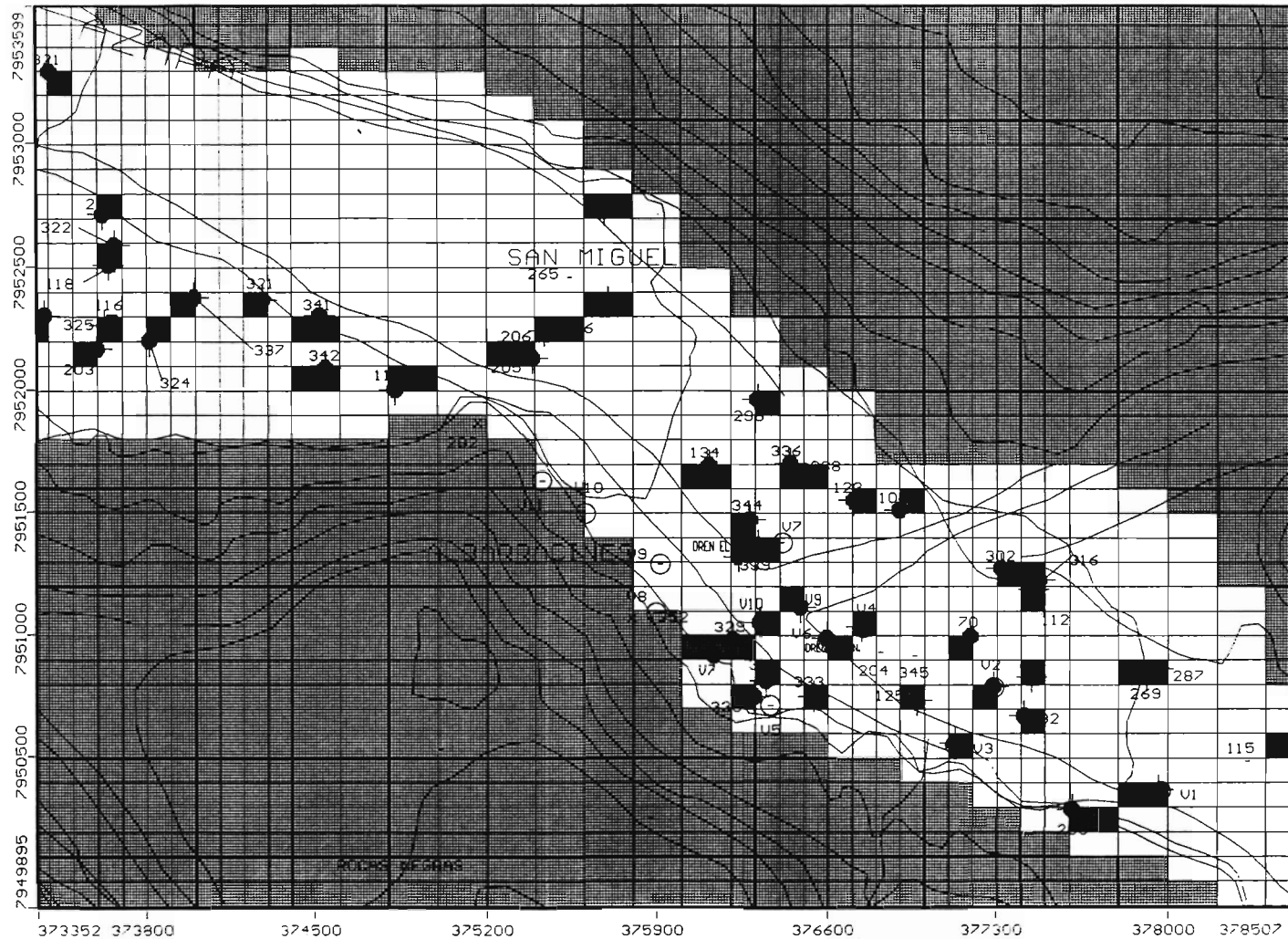


Ayala, Cabrera y Asoc - Santiago, Chile  
 Project: AZAPA-DGA  
 Description: SECTOR ALTO RAMIREZ  
 Modeller: FPS  
 1 Oct 96

Visual MODFLOW v.1.50, (c) 1995  
 Waterloo Hydrogeologic Software  
 NC: 221 NR: 150 NL: 1  
 Current Layer: 1

FIGURA 6.3.2-4

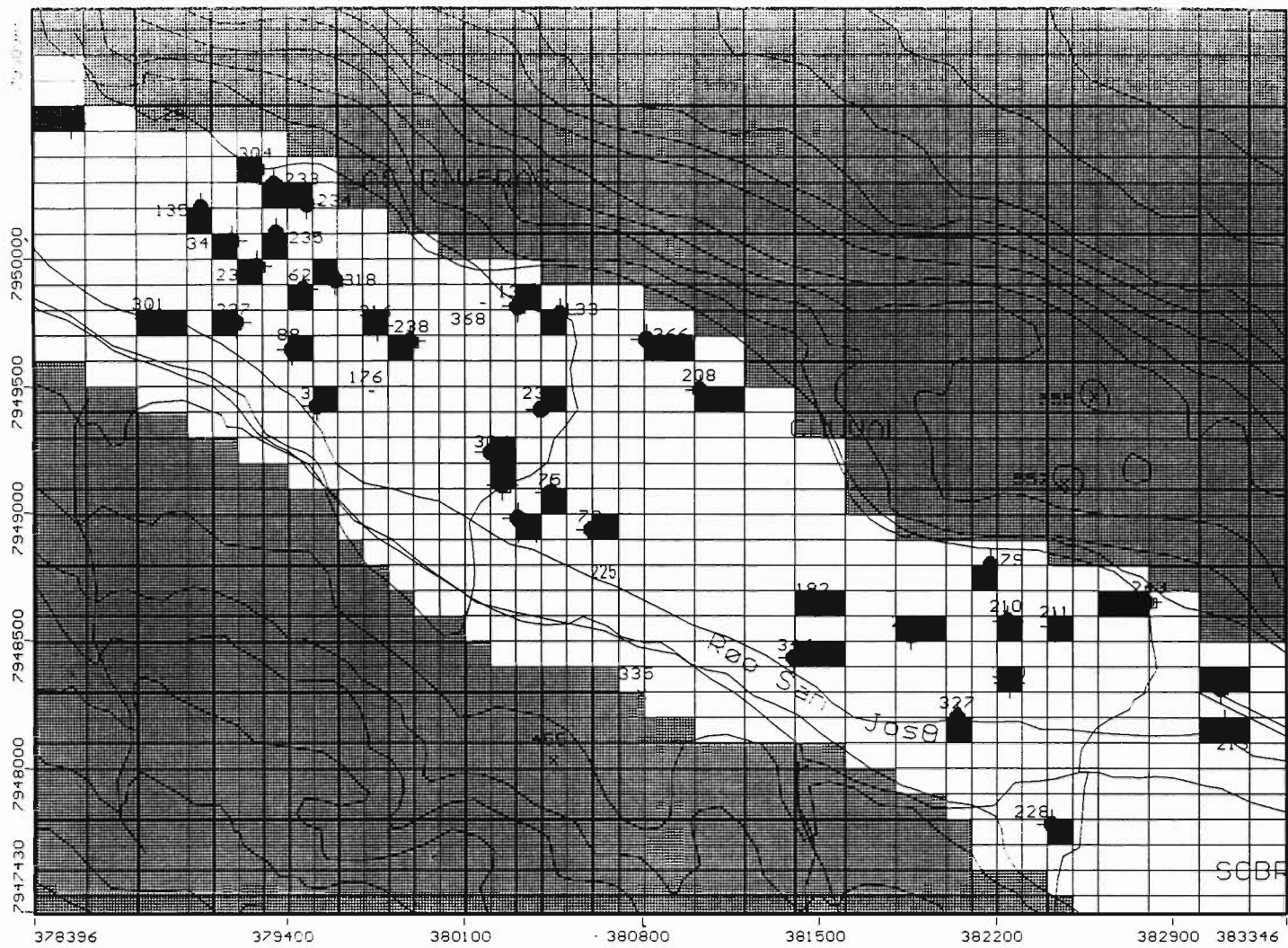
MALLA DE DISCRETIZACION ESPACIAL - SECTOR ALTO RAMIREZ



Ayala, Cabrera y Asoc - Santiago, Chile  
 Project: AZAPA-DGA  
 Description: SECTOR SAN MIGUEL  
 Modeller: FPS  
 1 Oct 96

Visual MODFLOW v.1.50, (c) 1995  
 Waterloo Hydrogeologic Software  
 NC: 221 NR: 150 NL: 1  
 Current Layer: 1

FIGURA 6.3.2-5 MALLA DE DISCRETIZACION ESPACIAL - SECTOR SAN MIGUEL

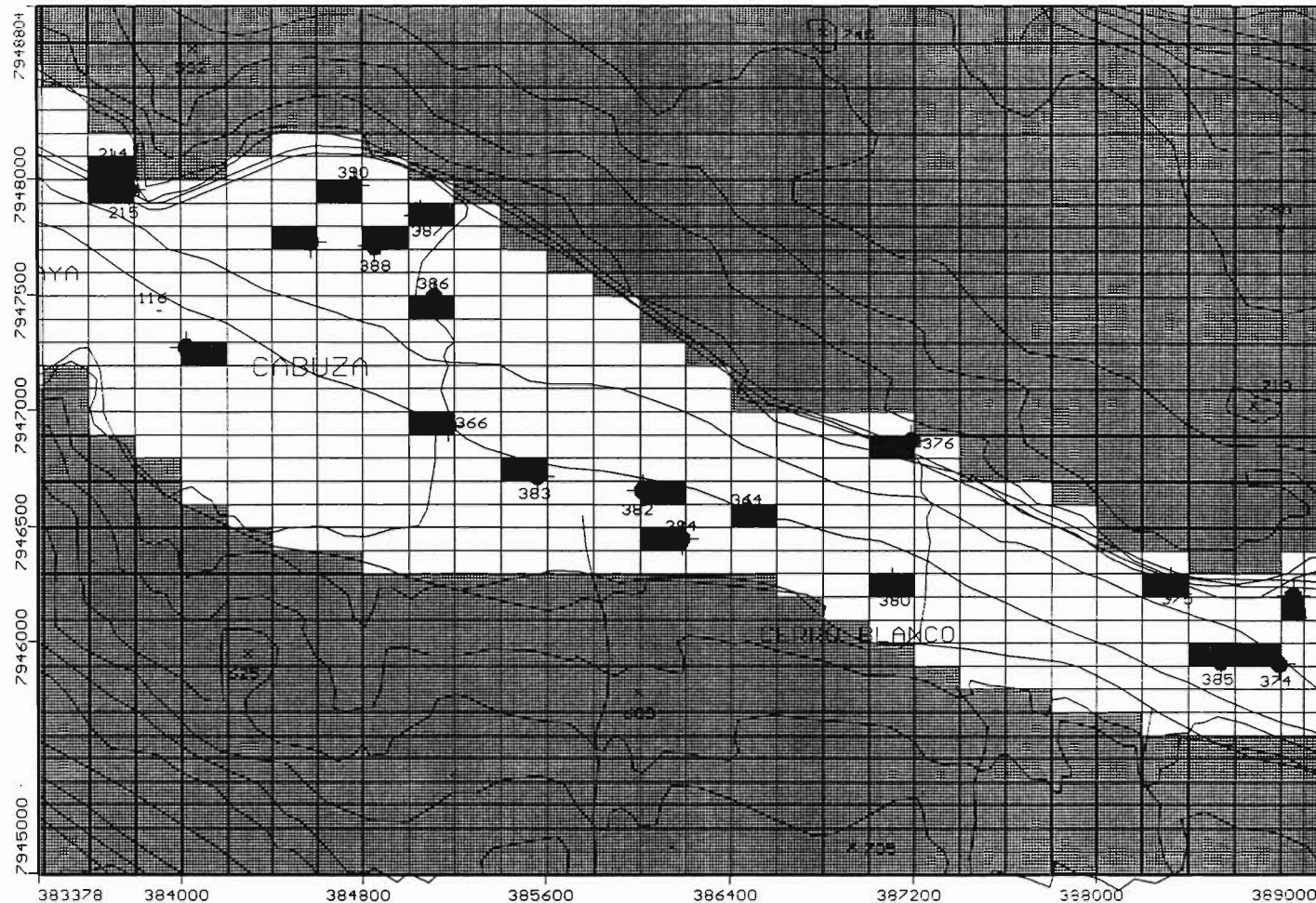


Ayala, Cabrera y Asoc - Santiago, Chile  
 Project: AZAPA-DGA  
 Description: SECTOR LAS RIVERAS-CHUVAL  
 Modeller: FPS  
 1 Oct 96

Visual MODFLOW v.1.50, (c) 1995  
 Waterloo Hydrogeologic Software  
 NC: 221 NR: 150 NL: 1  
 Current Layer: 1

FIGURA 6.3.2 - 6 MALLA DE DISCRETIZACION ESPACIAL - SECTOR LAS RIVERAS - CHUVAL





Ayala, Cabrera y Asoc - Santiago, Chile  
 Project: AZAPA-DGA  
 Description: SECTOR CABUZA-C. BLANCO  
 Modeller: FPS  
 1 Oct 96

Visual MODFLOW v.1.50, (c) 1995  
 Waterloo Hydrogeologic Software  
 NC: 221 NR: 150 NL: 1  
 Current Layer: 1

FIGURA 6.3.2-7 MALLA DE DISCRETIZACION ESPACIAL - SECTOR CABUZA - C. BLANCO

Independientemente de lo anterior, se establece el intervalo de tiempo de cálculo o de simulación, el que puede ser cualquier fracción inferior a 6 meses, quedando este último condicionado por la capacidad y rapidez del equipo computacional que se emplee.

En el Cuadro 6.3.2-1 se muestra en detalle la discretización temporal considerada, mostrándose las fechas de inicio y término de cada período.

Por último, en el Cuadro 6.3.2-2 se presenta un resumen con todas las características principales de la discretización general del modelo.

CUADRO 6.3.2-1  
DISCRETIZACIÓN TEMPORAL CONSIDERADA PARA EL MODELO

RANGO DE FECHAS		RANGO EN DÍAS		INTERVALO DÍAS	STRESS PERIOD Nº
INICIO	FINAL	INICIO	FINAL		
1/Ene/88	30/Jun/88	1	182	181	1
1/Jul/88	31/Dic/88	183	366	183	2
1/Ene/89	30/Jun/89	367	547	180	3
1/Jul/89	31/Dic/89	548	731	183	4
1/Ene/90	30/Jun/90	732	912	180	5
1/Jul/90	31/Dic/90	913	1.096	183	6
1/Ene/91	30/Jun/91	1.097	1.277	180	7
1/Jul/91	31/Dic/91	1.278	1.461	183	8
1/Ene/92	30/Jun/92	1.462	1.643	181	9
1/Jul/92	31/Dic/92	1.644	1.827	183	10
1/Ene/93	30/Jun/93	1.828	2.008	180	11
1/Jul/93	31/Dic/93	2.009	2.192	183	12
1/Ene/94	30/Jun/94	2.193	2.373	180	13
1/Jul/94	31/Dic/94	2.374	2.557	183	14
1/Ene/95	30/Jun/95	2.558	2.738	180	15
1/Jul/95	31/Dic/95	2.739	2.922	183	16

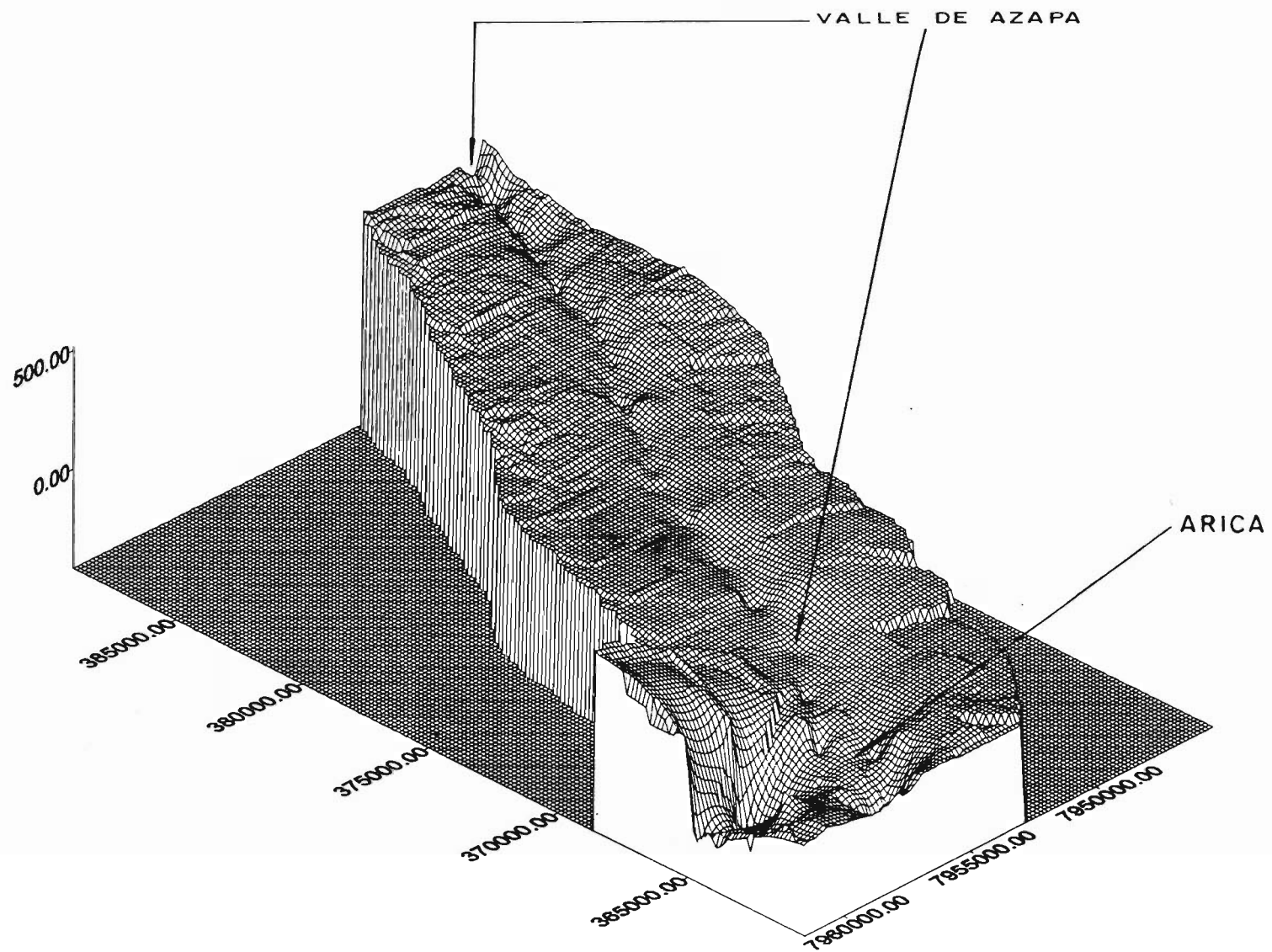


FIGURA 6.3.2 - 9 BASAMENTO O LIMITE INFERIOR DEL MODELO

**CUADRO 6.3.2-2**  
**RESUMEN DISCRETIZACIÓN DEL MODELO**

<b>DISCRETIZACIÓN ESPACIAL</b>			
<b>MALLA :</b>	N° FILAS:	150	
	N° COLUMNAS:	221	
	N° ESTRATOS:	1	
<b>TAMAÑO MÁXIMO DE CELDAS: 100x200 m</b>			
<b>RANGO DE COORDENADAS UTM:</b>			
<b>NORTE (m)</b>		<b>ESTE (m)</b>	
MIN	MAX	MIN	MAX
7.945.000	7.960.000	360.000	389.000
<b>DISCRETIZACIÓN TEMPORAL:</b>			
INTERVALO DE TIEMPO			
PRINCIPAL : 6 MESES (STRESS PERIOD)			
PASO DE TIEMPO : Variable de 1-6 meses (TIME STEP)			
N° TOTAL DE PERÍODOS			
PARA LA CALIBRACIÓN: 16 (de 1988 a 1995)			

- d) Recargas y Descargas
- i) Recargas

La recarga al embalse subterráneo de la zona modelada corresponde al flujo subterráneo entrante por el valle de Azapa y a la recarga desde la superficie (percolación de canales, sectores de riego, redes de agua, etc).

Para estimar el flujo subterráneo entrante, se consideró la recarga que se produce por infiltración del río San José aguas arriba de bocatoma del canal Azapa. Según los estudios hidrológicos la percolación total equivale al 20% del caudal que ingresa al valle por el río San José. A partir de la estadística de caudales procesada en el estudio hidrológico se obtienen las siguientes cifras:

Período 1963 a 1993	Percolación= 260 l/s
Período 1988 a 1993	Percolación= 160 l/s

Las cifras anteriores corresponden aproximadamente al flujo subterráneo que debería entrar a la zona modelada.

Debe hacerse notar que para el escenario considerado para la modelación, no es adecuado imponer en el modelo un flujo subterráneo conocido (incluso el MODFLOW no lo incorpora directamente en sus opciones), puesto que dicho flujo depende de la dinámica del sistema dentro de la zona modelada y en este caso queda determinado por los gradientes que se generan en los límites abiertos del modelo. Por consiguiente, el flujo entrante constituye una variable que queda indirectamente representada al imponer condiciones de borde de nivel conocido.

Los rangos aproximados que cabría esperar para el flujo subterráneo de recarga se consideraron como otra variable de calibración del modelo para así obtener una mayor representatividad del modelo respecto de las condiciones reales del sistema.

Otra recarga importante es la debida a la percolación asociada al riego. Para cada sector de riego definido, se calculó la percolación debido a pérdidas desde el canal matriz, canales derivados y zonas de riego.

La percolación desde el canal matriz se calculó como el producto entre el porcentaje de pérdidas del canal y el caudal observado en bocatoma Azapa. El porcentaje de pérdidas del canal se obtuvo del Anexo 3.6-1.

La percolación desde los canales derivados se obtuvo del producto entre los porcentajes de pérdida de cada canal y el caudal observado en bocatoma Azapa. Estos porcentajes de pérdida del canal se obtuvieron del Anexo 3.6-1.

Para el caso del riego, la percolación se calculó a partir del caudal entrante a cada sector multiplicándose éste por el porcentaje de aporte a la napa, cifras que se encuentran en el Anexo 3.6-2. El caudal entrante a cada sector se obtuvo a partir del caudal de bocatoma descontadas las pérdidas de conducción, según la fracción del número de acciones correspondiente.

Para las zonas regadas con vertientes, la infiltración se calculó como el producto del caudal proveniente de las vertientes por el porcentaje de aporte del riego a la napa. Los caudales de las vertientes se obtuvieron a partir de mediciones de los años 1986 (AC-DGA, 1989), 1993 y 1994 (AC-ESSAT, 1995), interpolándose los datos para los años intermedios. Hay que destacar que la mayoría de las vertientes se secaron en el año 1993.

Finalmente, la percolación total asociada a cada sector de riego que debe ser incorporada al modelo hidrogeológico, corresponde a la suma de las percolaciones antes mencionadas. En el Cuadro 6.3.2-4 se muestran las percolaciones totales correspondientes a

la media del período de calibración. Se indica el área asociada a cada sector en el modelo y el caudal de percolación total por sector expresados en l/s y mm/año. En el modelo se definieron un total de 16 sectores de recarga de los cuales 13 son de riego, uno asociado con la recarga por crecidas esporádicas del río San José (no ocurren durante el período de calibración), otro asociado con las pérdidas de las redes en la zona de Arica y finalmente un sector auxiliar.

**CUADRO 6.3.2-4**  
**TASA DE RECARGA DE LOS SECTORES DE RIEGO DEL MODELO**  
**PERÍODO DE CALIBRACIÓN (88-95)**

SECTOR		ÁREA	CAUDAL	TASA
Nº	NOMBRE	(m <sup>2</sup> )	(l/s)	(mm/año)
1	AUXILIAR	8570200		0
2	ARICA - RED	15129250	32000	67
3	PAGO DE GÓMEZ S	5288850	20009	119
4	PAGO DE GÓMEZ N	3719350	18682	158
5	CERRO SOMBRERO	1259250	6608	165
6	ALTO RAMÍREZ SUR	2558650	26136	322
7	ALTO RAMÍREZ NORTE	292000	2726	294
8	LAS MAITAS	3938350	22736	182
9	SAN MIGUEL	919800	1170	40
10	LAS RIVERAS	1011050	8110	253
11	CERRO MORENO	3861170	13452	110
12	SANTA IRENE(Norte y Sur)	2660850	18928	224
13	CERRO BLANCO	3310550	21358	203
14	CABUZA	1500150	6435	135
15	RÍO SAN JOSÉ	4029600	0	0
16	JUAN NOE (VERT)	3121655	10335	104
MEDIA				108
	ÁREA TOTAL	61170725		

Otra recarga, aunque menos importante en magnitud, es la que se produce por percolación de las pérdidas de agua que ocurren en la zona urbana a partir de la red de agua potable y alcantarillado. De acuerdo con un anterior estudio (AC-DGA, 1989), en que se efectuó una modelación de toda la zona del valle de Azapa y Arica, se estableció que un 15% de la pérdida total o diferencia entre la producción real y el consumo facturado por ESSAT S.A., percola y contribuye como recarga al acuífero desde la superficie. Estableciendo una cifra media de un 40% para pérdida total se obtiene que la recarga neta por este concepto sería de un 6% respecto de la producción total. En el Cuadro 6.3.2-5 se muestra la producción anual

para el período incluido entre los años 1988 y 1995. Además se presenta la percolación neta continua expresada en términos medios anuales. El valor promedio para el período es de 32 l/s, cifra que se debe asignar como recarga areal media sobre la zona urbana, lo que representa un valor de aproximadamente 67 mm/año.

CUADRO 6.3.2-5  
RECARGA NETA SOBRE EL ÁREA  
URBANA DE ARICA

AÑO	PRODUCCIÓN (Mm <sup>3</sup> )	RECARGA (l/s)
1988	14.003	27
1989	13.770	26
1990	17.105	33
1991	17.602	33
1992	16.929	32
1993	17.234	33
1994	19.484	37
1995	18.657	36
PROMEDIO		32

ii) Descargas

La única descarga importante del embalse subterráneo corresponde a los bombeos desde las captaciones que se ubican en la zona modelada. En las Figuras 6.3.2-2 a la 6.3.2-7 se muestra la ubicación en el modelo de las captaciones que explotan agua subterránea, ya sean éstas del tipo sondaje o noria (se muestran como una celda oscura). El conjunto total de descargas del acuífero ha sido desagregado en 3 subgrupos para efectos del análisis general realizado.

El primero de éstos, corresponde a las extracciones realizadas por los sondajes de ESSAT para el agua potable de la ciudad de Arica. El segundo subgrupo corresponde a los sondajes cuyos propietarios son particulares, mientras que el tercero, incluye la totalidad de las norias existentes.

En los Cuadros 6.3.2-6 al 8 que se presentan en el Anexo 6.3-3 se entregan los bombeos de cada una de las fuentes según los diferentes subconjuntos definidos, y para los

distintos períodos de tiempo considerados. Estos datos han sido reordenados para configurar el Cuadro 6.3.2-9 en el que se resumen las magnitudes totales de la extracción de agua en la zona para cada uno de los intervalos temporales, información que ha sido traspasada finalmente al gráfico de la Figura 6.3.2-10.

En esa figura es posible advertir que desde el año 1988 correspondiente al inicio del período considerado para la modelación, los caudales extraídos desde sondajes ESSAT permanecen constantes hasta fines de 1991. Desde este punto y hasta el año 1993 se produce un incremento en la explotación que se relaciona con la puesta en marcha de 11 nuevos sondajes al interior de la zona modelada. En relación con la explotación desde los sondajes particulares, es posible apreciar que las magnitudes de extracción se mantienen casi constantes durante todo el período de modelación. En cuanto al bombeo efectuado desde las norias existentes se advierte en la Figura 6.3.2-10 que éste también se mantiene relativamente constante con una leve disminución a partir de 1993. Esta situación responde al hecho de que en general, a medida que los niveles freáticos han ido descendiendo, se han incrementado las profundidades de estos pozos.

Finalmente, en el gráfico analizado se han incluido los valores totales para cada período, de los cuales se puede visualizar que éstos tienden a reproducir la variación observada en los sondajes ESSAT, ya que estas fuentes constituyen la principal descarga de recursos desde el acuífero asociado a la zona de interés.

Por último, los caudales descargados por las vertientes se muestran en el Cuadro 6.3.2-10.



CUADRO 6.3.2-9

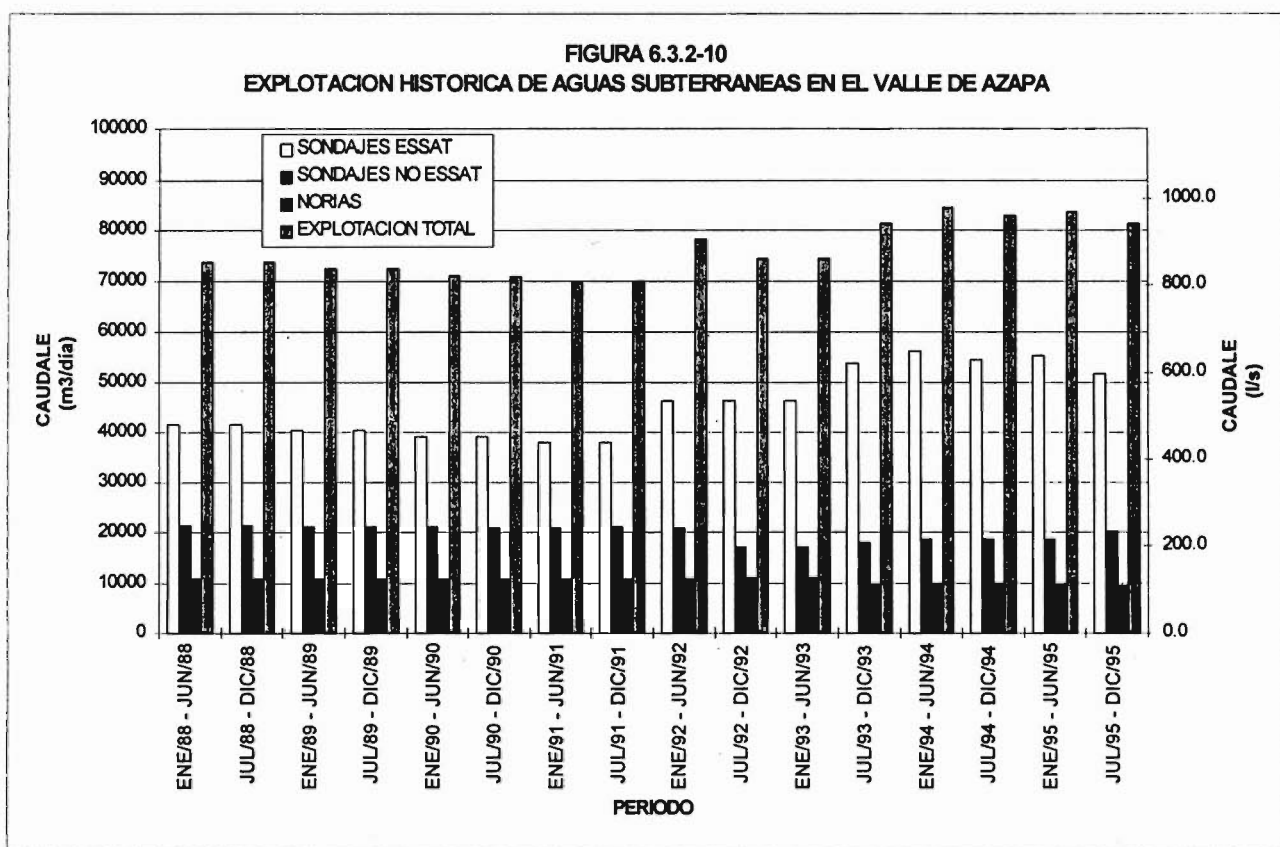
## RESUMEN DE LOS CAUDALES HISTORICOS EN EL VALLE DE AZAPA

PERÍODO	SONDAJES								NORIAS		TOTAL	
	ESSAT				NO ESSAT							
	(m <sup>3</sup> /d)	(l/s)	(m <sup>3</sup> /d)	(l/s)	(m <sup>3</sup> /d)	(l/s)	(m <sup>3</sup> /d)	(l/s)	(m <sup>3</sup> /d)	(l/s)		
1-182	ENE/88 - JUN/88	41590	481.4	23950	277.2	10725	124.1	76265	882.7			
183-366	JUL/88 - DIC/88	41590	481.4	23950	277.2	10725	124.1	76265	882.7			
367-547	ENE/89 - JUN/89	40399	467.6	23833	275.8	10717	124.0	74949	867.5			
548-731	JUL/89 - DIC/89	40399	467.6	23833	275.8	10729	124.2	74961	867.6			
732-912	ENE/90 - JUN/90	39209	453.8	23720	274.5	10811	125.1	73740	853.5			
913-1096	JUL/90 - DIC/90	39209	453.8	23461	271.5	10843	125.5	73513	850.8			
1097-1277	ENE/91 - JUN/91	38018	440.0	23646	273.7	10744	124.4	72408	838.1			
1278-1461	JUL/91 - DIC/91	38018	440.0	22894	265.0	10805	125.1	71717	830.1			
1462-1643	ENE/92 - JUN/92	46353	536.5	22843	264.4	10734	124.2	79930	925.1			
1644-1827	JUL/92 - DIC/92	46273	535.6	17994	208.3	11080	128.2	75347	872.1			
1828-2008	ENE/93 - JUN/93	46255	535.4	18038	208.8	10995	127.3	75288	871.4			
2009-2192	JUL/93 - DIC/93	53649	620.9	18150	210.1	9736	112.7	81535	943.7			
2193-2373	ENE/94 - JUN/94	56112	649.4	18622	215.5	9794	113.4	84528	978.3			
2374-2557	JUL/94 - DIC/94	54316	628.7	18637	215.7	9874	114.3	82827	958.6			
2558-2738	ENE/95 - JUN/95	55358	640.7	18435	213.4	9744	112.8	83537	966.9			
2739-2922	JUL/95 - DIC/95	51693	598.3	20120	232.9	9457	109.5	81270	940.6			

CUADRO 6.3.2-10  
CAUDALES DE VERTIENTES

VERTIENTE	AÑO															
	1988		1989		1990		1991		1992		1993		1994		1995	
	(l/s)	(m3/día)	(l/s)	(m3/día)	(l/s)	(m3/día)	(l/s)	(m3/día)	(l/s)	(m3/día)	(l/s)	(m3/día)	(l/s)	(m3/día)	(l/s)	(m3/día)
LA CONCEPCIÓN	2645	22853	2206	19060	1765	15250	1324	11439	883	7629	8	65	0	0	0	0
SAN MIGUEL	9201	79497	7706	66580	6211	53663	4716	40746	3222	27838	586	5063	232	2004	0	0
MATAVACA	236	2039	189	1633	141	1218	94	812	47	406	0	0	0	0	0	0
PEJERREY	921	7957	737	6368	553	4778	369	3188	184	1590	0	0	0	0	0	0
CONCHALIQUE	879	7595	703	6074	527	4553	351	3033	176	1521	0	0	0	0	0	0
DREN COMUNIDAD	5300	45792	4240	36634	3180	27475	2120	18317	1060	9158	0	0	0	0	0	0
EL SOCAVÓN	764	6601	611	5279	459	3966	306	2644	153	1322	0	0	0	0	0	0
MITA CHICA	1429	12347	1143	9876	857	7404	571	4933	286	2471	0	0	0	0	0	0
MEDIA LUNA	64	553	51	441	39	337	26	225	13	112	0	0	0	0	0	0
DREN EL 5°	771	6661	617	5331	463	4000	309	2670	154	1331	0	0	0	0	0	0
PEÑA BLANCA	1886	16295	1509	13038	1131	9772	754	6515	377	3257	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>2410</b>	<b>208189</b>	<b>1971</b>	<b>170312</b>	<b>1533</b>	<b>132417</b>	<b>1094</b>	<b>94522</b>	<b>656</b>	<b>56635</b>	<b>59</b>	<b>5128</b>	<b>23</b>	<b>2004</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

FIGURA 6.3.2-10  
EXPLORACION HISTORICA DE AGUAS SUBTERRANEAS EN EL VALLE DE AZAPA



- e) Condiciones de Borde e Iniciales
- i) Condiciones de Borde

En el extremo Oriente de la malla se definió una condición de borde de nivel conocido, la que se localiza en el sector denominado Casa Grande a unos 6 Km. Aguas arriba de Cabuza. Dicha porción del valle no presenta una explotación de agua subterránea de consideración, por lo que sólo se requiere imponer un nivel constante en el tiempo. De acuerdo con los antecedentes disponibles sobre mediciones del nivel en pozos cercanos se impuso un valor de 510 m.s.n.m. (ver Cuadro 6.3.2-11). En la Figura 6.3.2-11 se muestra la ubicación de dicha condición de borde en la malla del modelo.



CUADRO 6.3.2-11  
CONDICIONES DE BORDE SECTOR CASA GRANDE (VALLE DE AZAPA)

Celdas				C.B.
Desde		Hasta		
Fila	Columna	Fila	Columna	(m.s.n.m.)
23	110	42	110	510

ii) Condiciones Iniciales

La información de curvas isofreáticas, tanto dinámicas como estáticas correspondientes al año 1988, obtenidas de un anterior estudio realizado para modelar el valle de Azapa (AC-DGA, 1989), se usó como condición inicial de partida para el proceso de calibración del modelo.

f) Parámetros Iniciales

La implementación de un modelo numérico de simulación requiere de una aproximación inicial de los parámetros elásticos del suelo y la correspondiente distribución espacial. La importancia de una estimación inicial adecuada de estas variables, se relaciona directamente con la velocidad de la calibración del modelo, ya que una buena aproximación base reducirá la necesidad de ajustar estos parámetros en las fases posteriores.

Para realizar la estimación inicial de las permeabilidades y su distribución espacial en la zona en estudio necesarias para la calibración del modelo, se utilizaron las transmisibilidades establecidas en el estudio hidrogeológico, las que divididas por los espesores medios de cada sector del valle ofrecen una buena estimación inicial de la permeabilidad. En el Cuadro 6.3.2-12 se presentan los valores iniciales determinados para las distintas zonas del valle.

CUADRO 6.3.2-12  
PERMEABILIDADES INICIALES

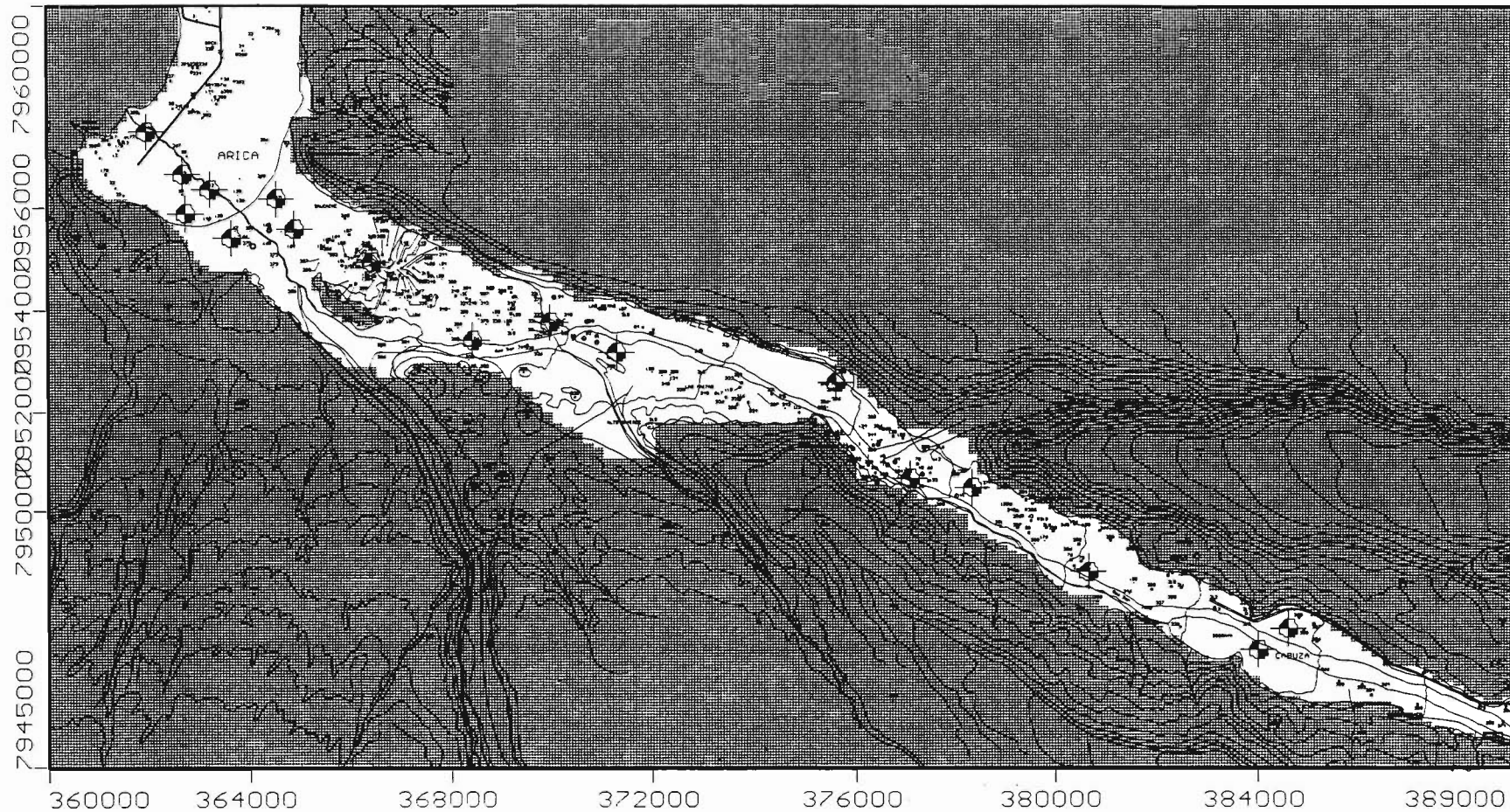
SECTOR	K
	(m/s)
CHUVAL-SOBRAYA	$4 \times 10^{-4}$ a $6 \times 10^{-4}$
LAS RIVERAS	$2 \times 10^{-4}$
QUEBRADA DEL DIABLO	$3 \times 10^{-5}$ a $7 \times 10^{-5}$
LAS MAITAS-LAS ANIMAS	$1 \times 10^{-4}$ a $3,5 \times 10^{-4}$
ALTO RAMÍREZ	$4 \times 10^{-5}$ a $7 \times 10^{-5}$
PLANTA AZAPA	$5 \times 10^{-5}$ a $5 \times 10^{-4}$
ARICA COSTA	$5 \times 10^{-5}$ a $1 \times 10^{-4}$
ARICA NORORIENTE	$5 \times 10^{-6}$ a $1 \times 10^{-5}$

g) Calibración del Modelo

Todo proceso de calibración de un modelo requiere de un conjunto de datos observados que constituyan un patrón general al cual debe acercarse la representación desarrollada. El momento en que el modelo sea capaz de reproducir con cierta precisión esta información base, indicará que el proceso de calibración ha concluido, y la certeza asociada otorgará una idea de la fidelidad con que el modelo opera.

Para el caso del modelo desarrollado han sido escogidos 17 sondajes para los cuales se dispone de datos históricos de niveles dinámicos y/o estáticos. Los pozos definidos corresponden a los designados en el catastro con los números 141, 142, 143, 147, 225, 269, 271, 101, 102, 103, 104, 109, 110, 115, 123, 283 y 284. Sus ubicaciones respectivas pueden apreciarse en la Figura 6.3.2-12.

La calibración del modelo se orienta principalmente a lograr reproducir los niveles del agua subterránea que han sido registrados históricamente, dentro del período de calibración (1988 a 1995). Dado que en este caso se contó con adecuada información para definir la geometría del sistema acuífero y al mismo tiempo se conoce la evolución histórica de los bombeos a que ha sido sometido el acuífero en los últimos años, el ajuste de los niveles simulados respecto de los valores observados, se efectuó únicamente modificando las magnitudes del coeficiente de permeabilidad y del rendimiento específico así como de la distribución espacial de ambos.



Ayala, Cabrera y Asoc - Santiago, Chile  
 Project: AZAPA-DGA  
 Description: PUNTOS DE OBSERVACIONES  
 Modeller: FPS  
 2 Oct 96

Visual MODFLOW v.1.50, (c) 1995  
 Waterloo Hydrogeologic Software  
 NC: 221 NR: 150 NL: 1  
 Current Layer: 1

FIGURA 6.3.2-12

UBICACION DE PUNTOS DE OBSERVACION

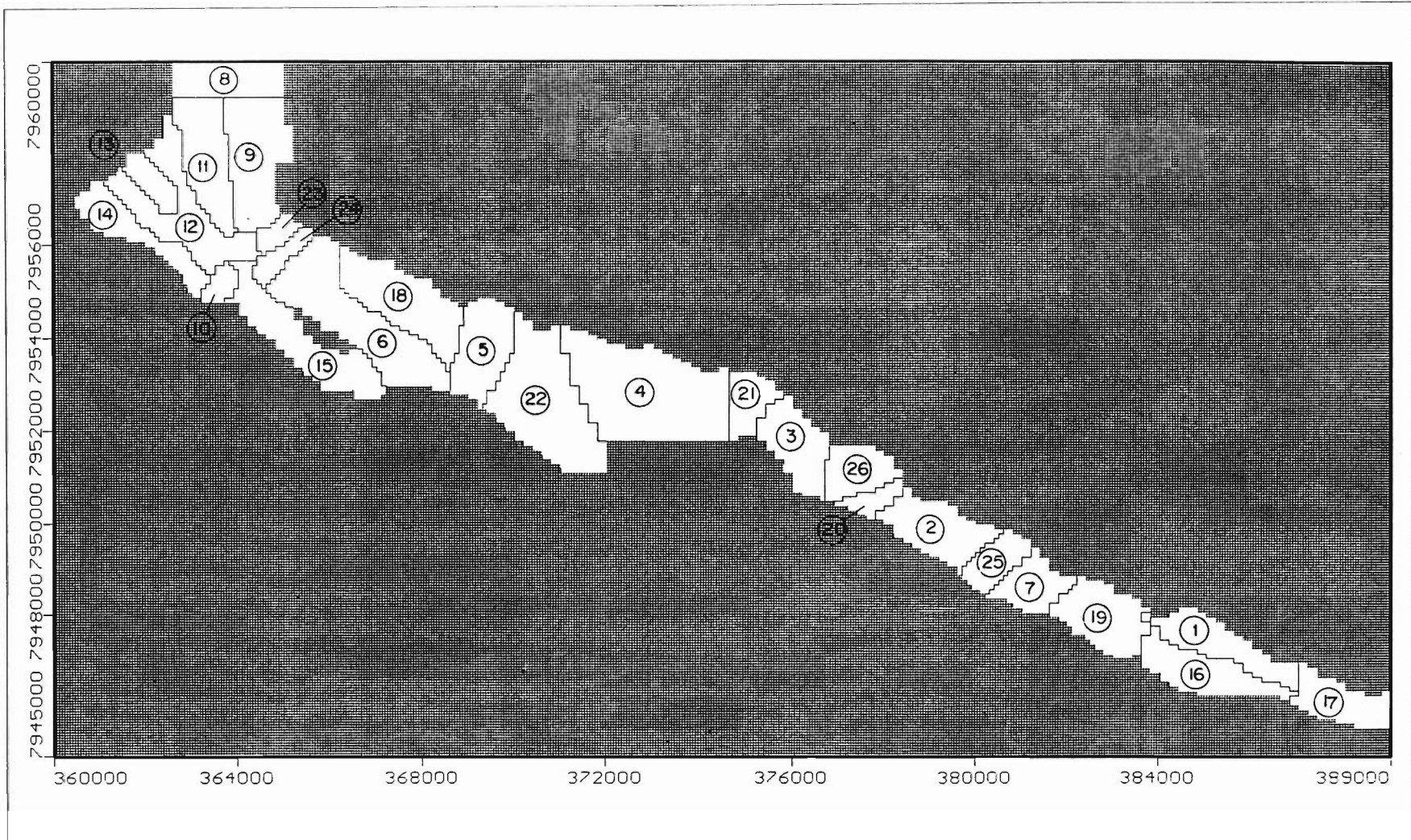
En la Figura 6.3.2-13 se muestra la distribución y los valores finales de permeabilidad a que se llegó luego del proceso de calibración. En total se discretizó el área de estudio en 26 zonas con valores de permeabilidad de entre  $2,2 \times 10^{-6}$  m/s y  $6,5 \times 10^{-4}$  m/s. El rendimiento específico adoptado finalmente varía entre 0,05 y 0,25 y su distribución espacial se muestra en la Figura 6.3.2-14. En el Cuadro 6.3.2-14 se entregan los valores de este último parámetro calibrado por zonas.

El grado de ajuste logrado con estas distribuciones de parámetros se puede apreciar en las Figuras 6.3.2-15 a 6.3.2-20, las cuales muestran los valores simulados por el modelo y los observados dentro del período de calibración. La línea continua representa a los primeros, mientras que los puntos aislados corresponden a los valores de las observaciones. Pese a las grandes variaciones del nivel en el tiempo y a la gran diferencia de cotas entre los extremos del sistema, el ajuste logrado es bastante estrecho lo que otorga suficiente confiabilidad al modelo. Las magnitudes que dieron origen a estas figuras se pueden consultar en el Anexo 6.3-4.

En las Figuras 6.3.2-21 y 22 se muestran, a modo de ejemplo, las curvas isofreáticas resultantes para los años 1991 y 1995 correspondientes a la zona de Arica y Planta Azapa, que es la de mayor concentración de la explotación del agua subterránea.

Finalmente, en el Cuadro 6.3.2-15 se presentan los balances de agua para todo el período de simulación. La entrada subterránea que resulta del modelo (146 l/s) es muy cercana al valor estimado del estudio hidrológico (160 l/s), lo que avala aún más el ajuste logrado para la calibración del modelo.

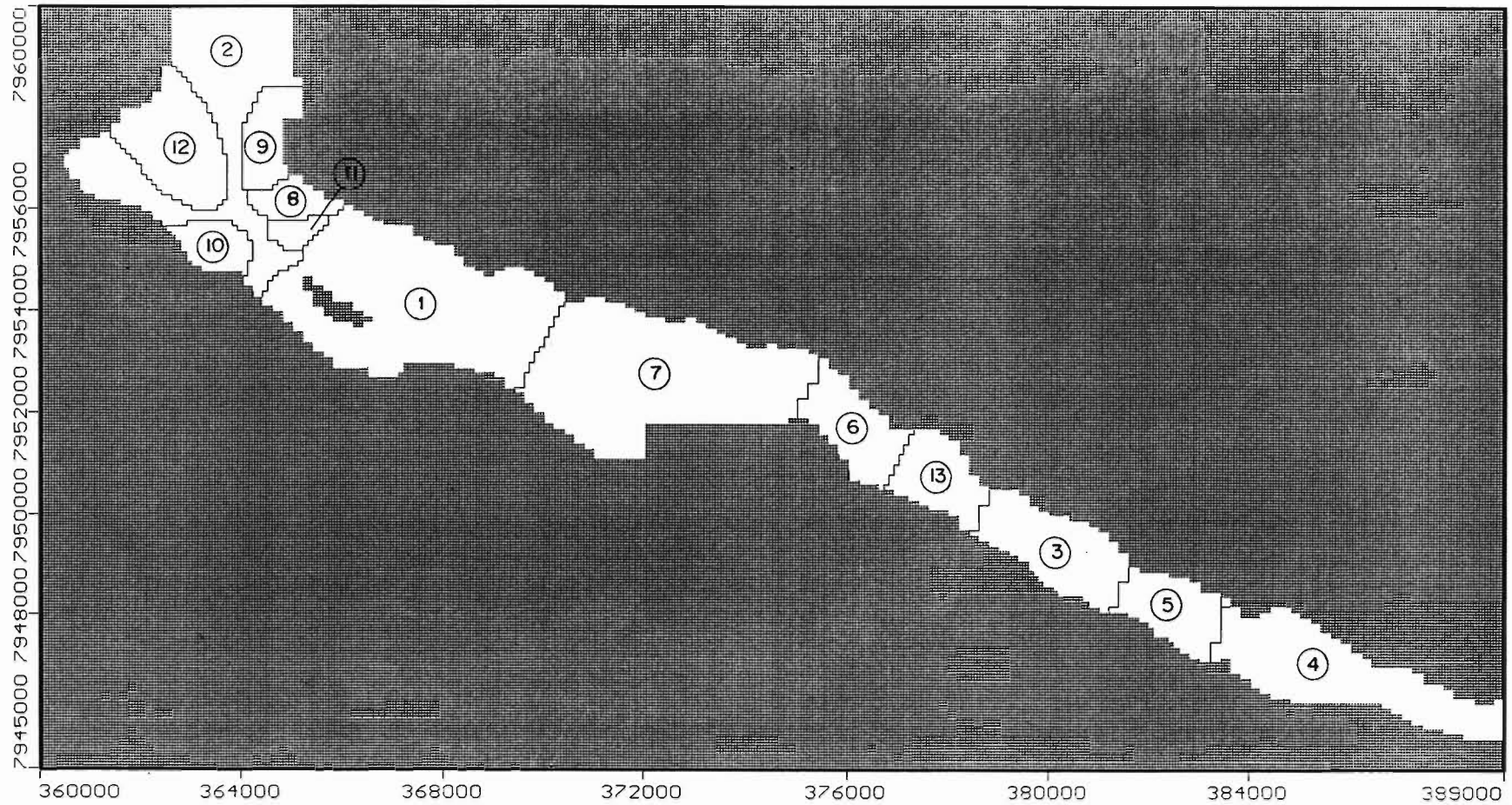




Ayala, Cabrera y Asoc - Santiago, Chile  
 Project: AZAPA-DGA  
 Description: ZONAS DE PERMEABILIDADES  
 Modeller: FPS  
 15 Oct 96

Visual MODFLOW v.1.50, (c) 1995  
 Waterloo Hydrogeologic Software  
 NC: 221 NR: 150 NL: 1  
 Current Layer: 1

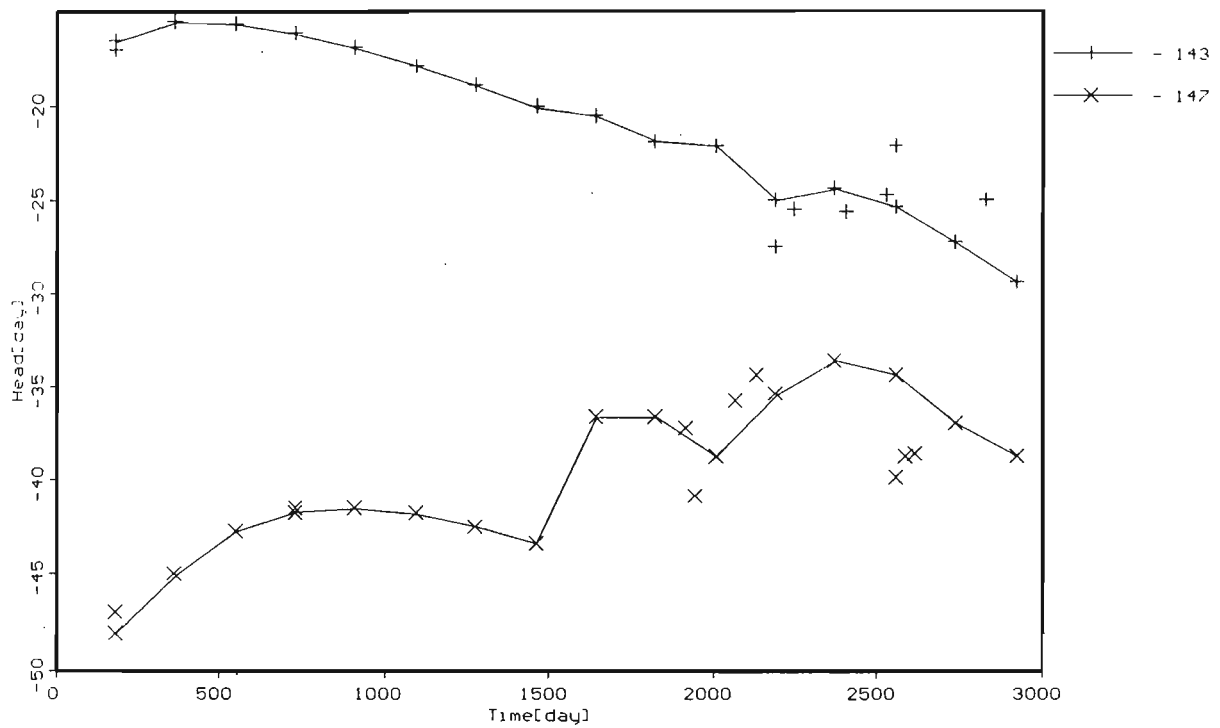
FIGURA 6.3.2-13 ZONAS DE PERMEABILIDADES FINALES (K)



Ayala, Cabrera y Asoc - Santiago, Chile  
 Project: AZAPA-DGA  
 Description: ZONAS REND. ESPECIFICO  
 Modeller: FPS  
 15 Oct 96

Visual MODFLOW v.1.50, (c) 1995  
 Waterloo Hydrogeologic Software  
 NC: 221 NR: 150 NL: 1  
 Current Layer: 1

FIGURA 6.3.2-14 RENDIMIENTO ESPECIFICO POR ZONAS (Sy)

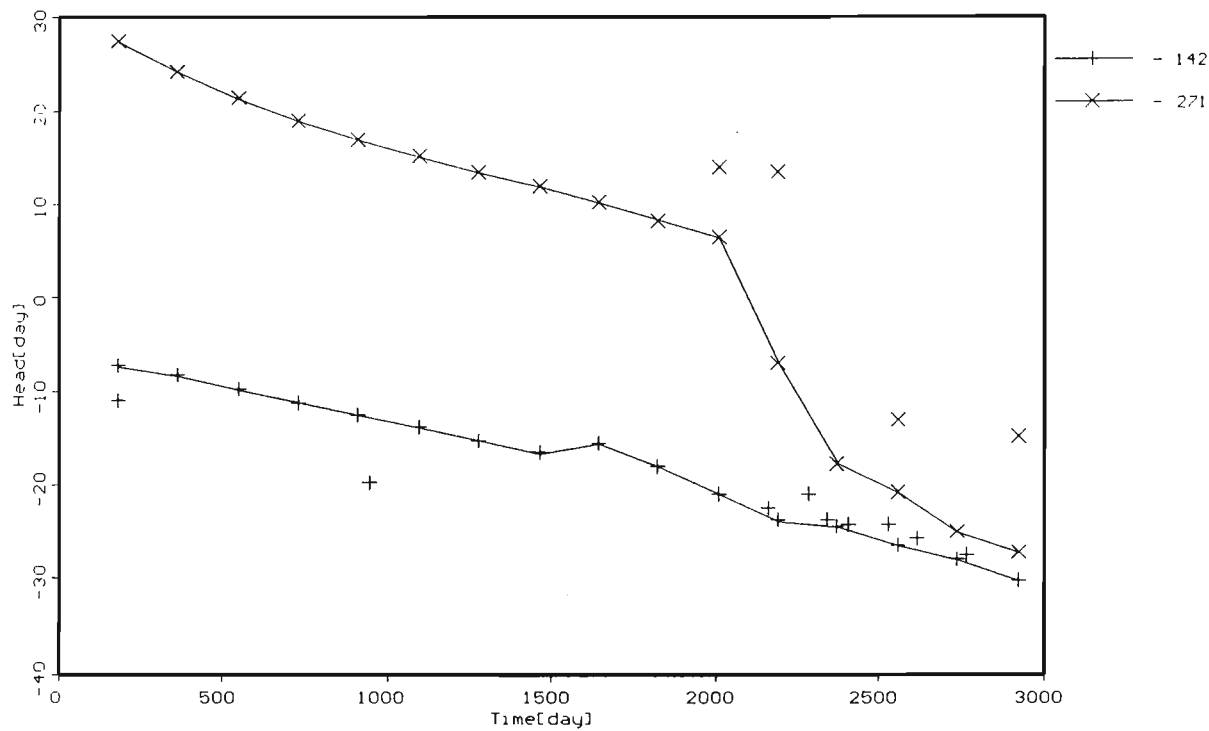


Ayala, Cabrera y Asoc - Santiago, Chile  
 Project: AZAPA-DGA  
 Description: CONTRASTE DE NIVELES  
 Modeller: FPS  
 2 Oct 98

Visual MODFLOW v.1.50, (c) 1995  
 Waterloo Hydrogeologic Software  
 NC: 221 NR: 150 NL: 1  
 Current Layer: 1

FIGURA 6.3.2-15

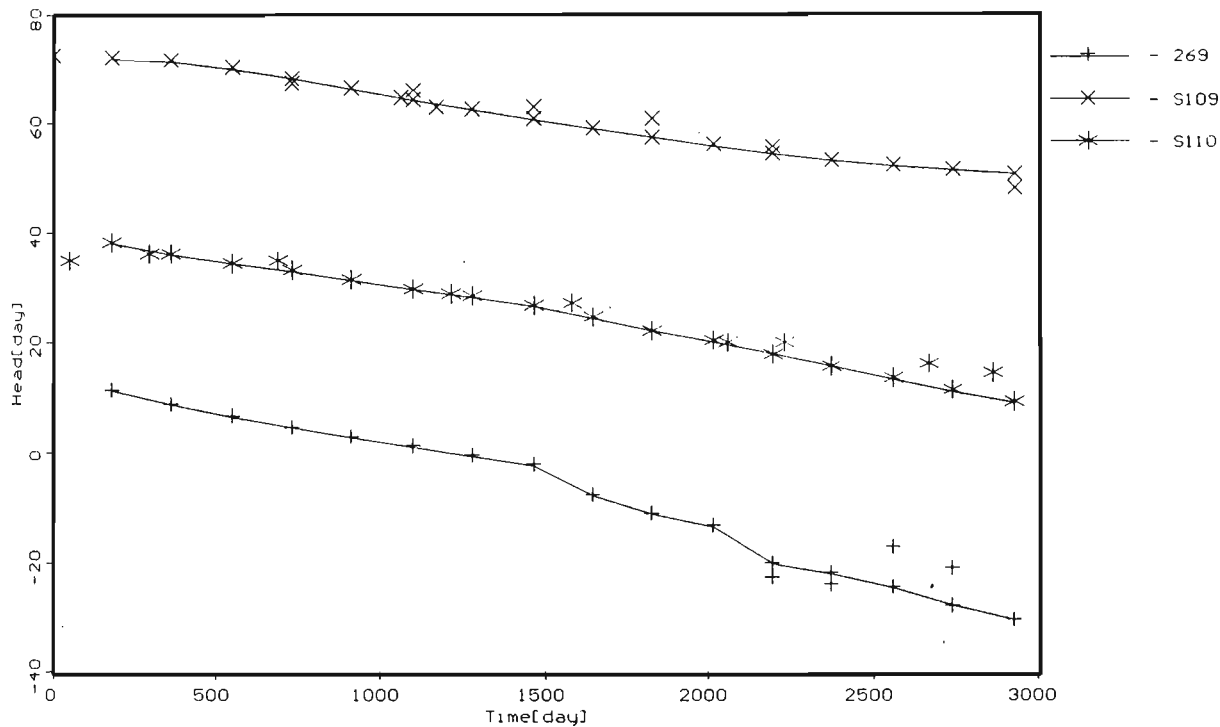
CONTRASTE DE NIVELES POZOS 143 y 147



Ayala, Cabrera y Asoc - Santiago, Chile  
 Project: AZAPA-DGA  
 Description: CONTRASTE DE NIVELES  
 Modeller: FPS  
 2 Oct 98

Visual MODFLOW v.1.50, (c) 1995  
 Waterloo Hydrogeologic Software  
 NC: 221 NR: 150 NL: 1  
 Current Layer: 1

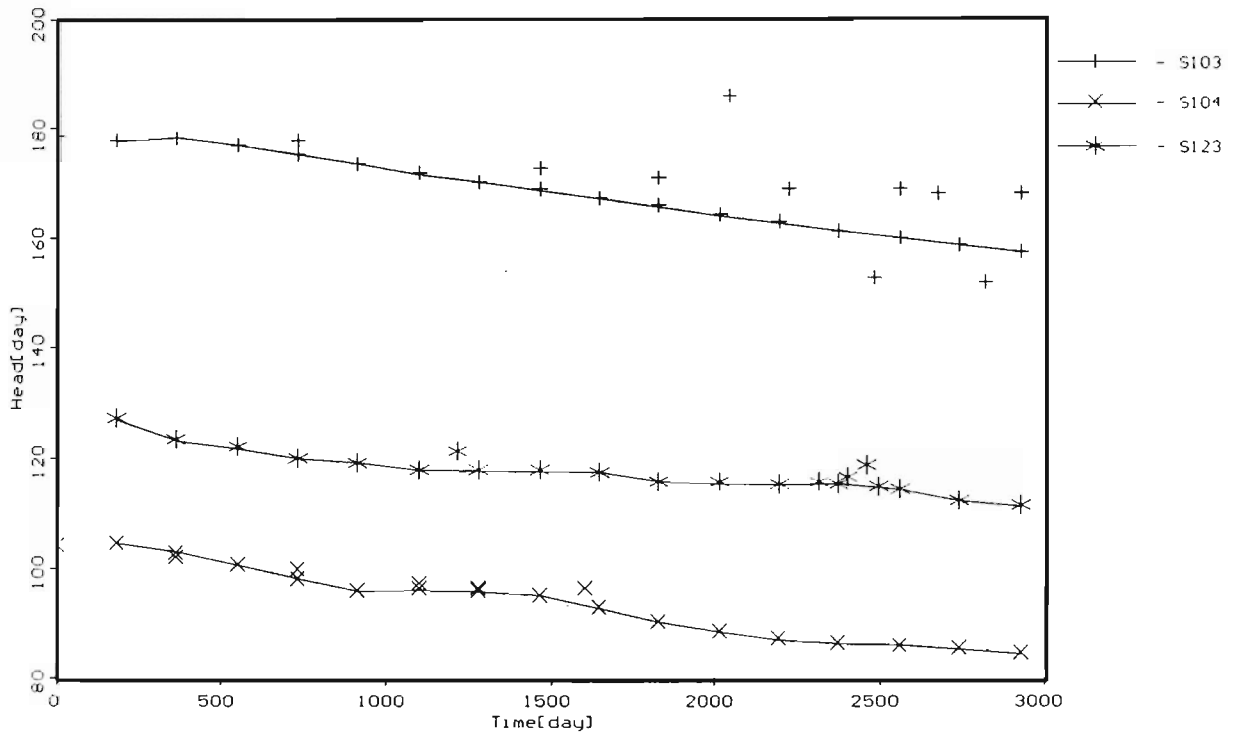
FIGURA 6.3.2-16 CONTRASTE DE NIVELES POZOS 142 y 271



Ayala, Cabrera y Asoc - Santiago, Chile  
 Project: AZAPA-DGA  
 Description: CONTRASTE DE NIVELES  
 Modeller: FPS  
 2 Oct 96

Visual MODFLOW v.1.50, (c) 1995  
 Waterloo Hydrogeologic Software  
 NC: 221 NR: 150 NL: 1  
 Current Layer: 1

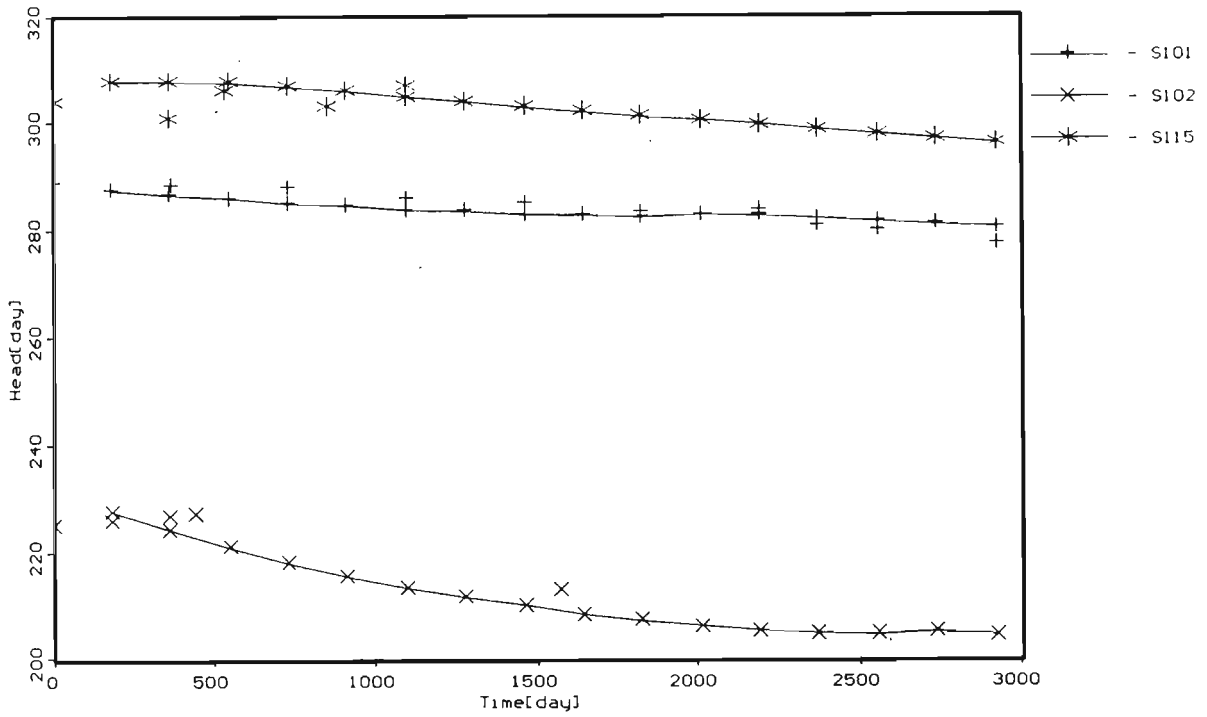
FIGURA 6.3.2-17 CONTRASTE DE NIVELES POZOS 269, 109 y 110



Ayala, Cabrera y Asoc - Santiago, Chile  
 Project: AZAPA-DGA  
 Description: CONTRASTE DE NIVELES  
 Modeller: FPS  
 2 Oct 96

Visual MODFLOW v.1.50, (c) 1995  
 Waterloo Hydrogeologic Software  
 NC: 221 NR: 150 NL: 1  
 Current Layer: 1

FIGURA 6.3.2 -18 CONTRASTE DE NIVELES POZOS 103,104 y 123

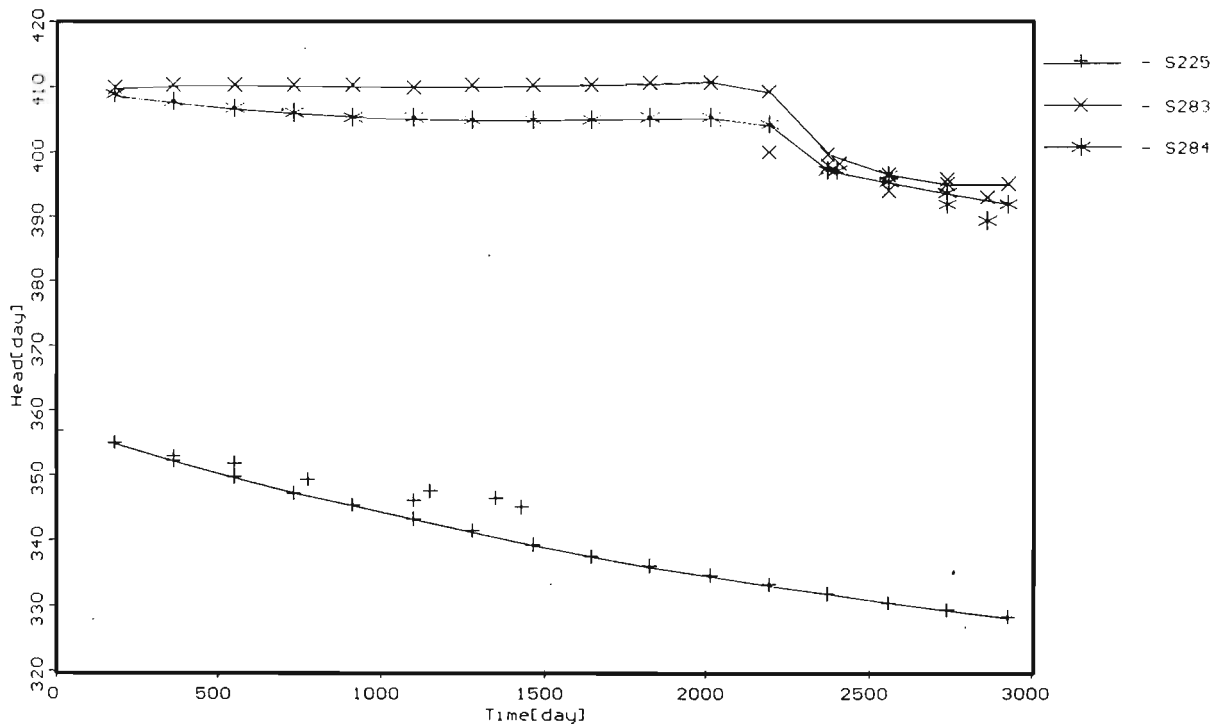


Ayala, Cabrera y Asoc - Santiago, Chile  
 Project: AZAPA-DGA  
 Description: CONTRASTE DE NIVELES  
 Modeller: FPS  
 2 Oct 96

Visual MODFLOW v.1.50, (c) 1995  
 Waterloo Hydrogeologic Software  
 NC: 221 NR: 150 NL: 1  
 Current Layer: 1

FIGURA 6.3.2-19

CONTRASTE DE NIVELES POZOS 101, 102 y 115

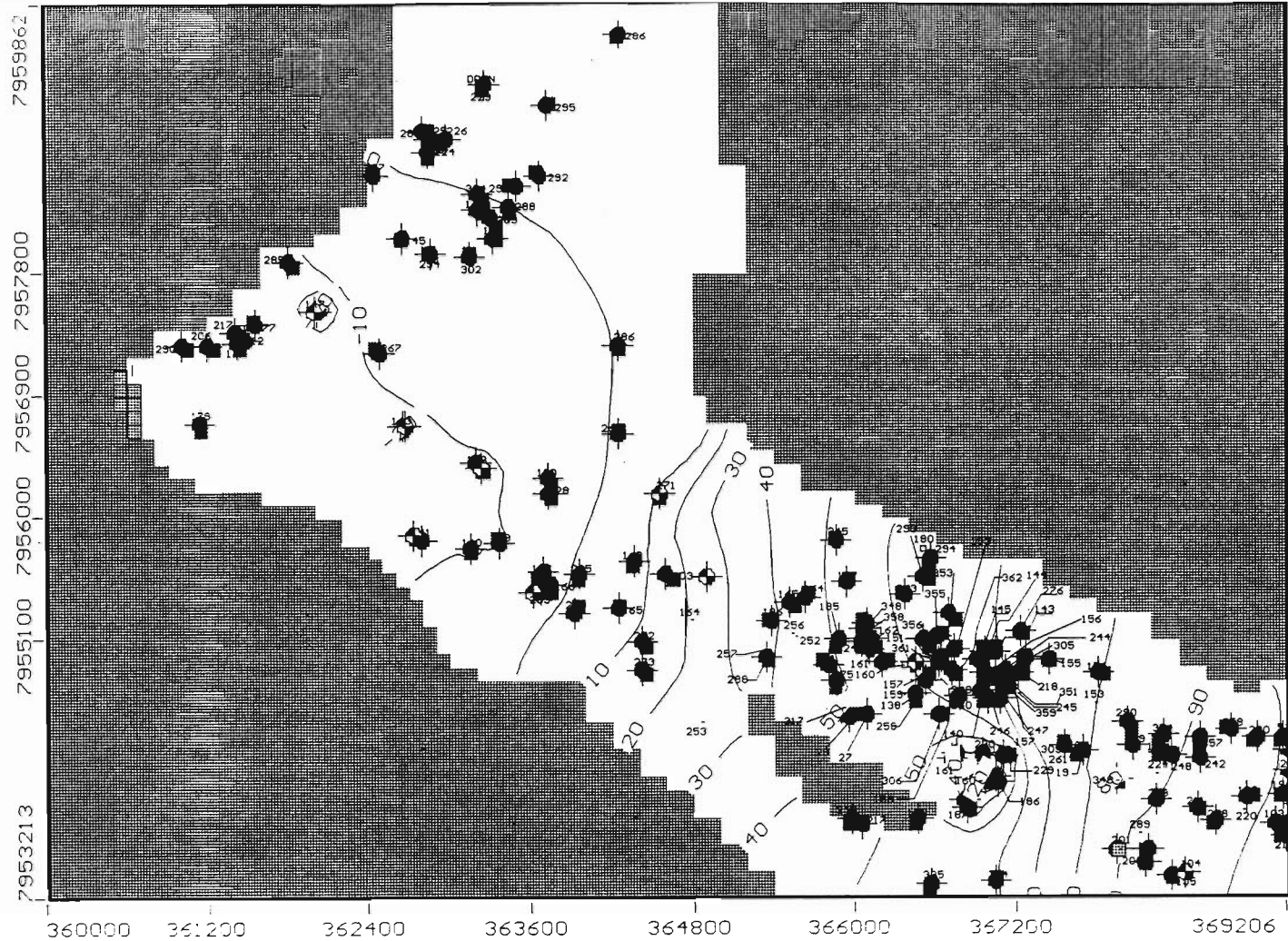


Ayala, Cabrera y Asoc - Santiago, Chile  
 Project: AZAPA-DGA  
 Description: CONTRASTE DE NIVELES  
 Modeller: FPS  
 2 Oct 96

Visual MODFLOW v.1.50, (c) 1995  
 Waterloo Hydrogeologic Software  
 NC: 221 NR: 150 NL: 1  
 Current Layer: 1

FIGURA 6.3.2-20 CONTRASTE DE NIVELES POZOS 225, 283 y 284

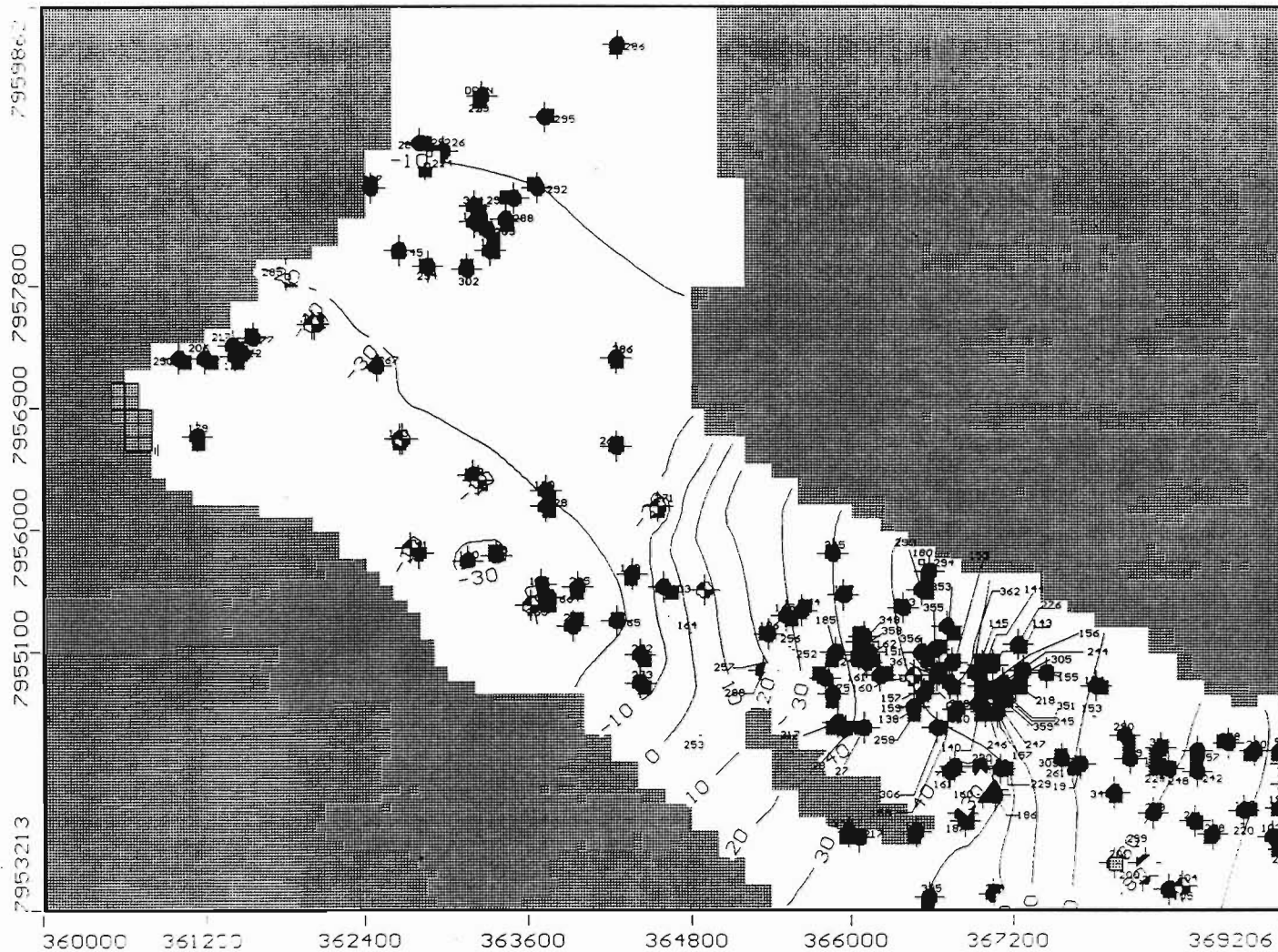




Ayala, Cabrera y Asoc - Santiago, Chile  
 Project: AZAPA-DGA  
 Description: ISOFREATICAS 1991  
 Modeller: FPS  
 2 Oct 96

Visual MODFLOW v.1.50, (c) 1995  
 Waterloo Hydrogeologic Software  
 NC: 221 NR: 150 NL: 1  
 Current Layer: 1

FIGURA 6.3.2-21 ISOFREATICAS AÑO 1991



Ayala, Cabrera y Asoc - Santiago, Chile  
 Project: AZAPA-DGA  
 Description: ISOFREATICAS 1995  
 Modeller: FPS  
 2 Oct 96

Visual MODFLOW v.1.50, (c) 1995  
 Waterloo Hydrogeologic Software  
 NC: 221 NR: 150 NL: 1  
 Current Layer: 1

**CUADRO 6.3.2-13**  
**COEFICIENTES DE PERMEABILIDAD**  
**PARA EL MODELO CALIBRADO**

ZONA Nº	PERMEABILIDAD (m/s) × 10 <sup>-5</sup>
1	1,1
2	20
3	8,5
4	65
5	4,5
6	1
7	50
8	5
9	2
10	8
11	4,9
12	1,6
13	0,22
14	10
15	6
16	5,2
17	20
18	5
19	10
20	40
21	4
22	2,5
23	0,3
24	1,5
25	10
26	4

CUADRO 6.3.2-14  
RENDIMIENTO ESPECÍFICO ( $S_y$ )  
PARA EL MODELO CALIBRADO

ZONA N°	RENDIMIENTO ESPECÍFICO
1	1,00
2	0,08
3	0,20
4	0,20
5	0,20
6	0,20
7	0,10
8	0,25
9	0,05
10	0,20
11	0,08
12	0,06
13	0,25

CUADRO 6.3.2-15  
BALANCE HÍDRICO PROMEDIO PARA EL PERÍODO 1988-1995

	Millones de m <sup>3</sup>	l/s
ENTRADAS		
FLUJO SUBT. ENTRANTE (ORIENTE)	36.959	146
RECARGA DESDE LA SUPERFICIE	52.927	210
TOTAL ENTRADA	89.886	356
SALIDAS		
CAPTACIONES DE AGUA	225.060	892
TOTAL SALIDAS	225.060	892
EXTRACCIÓN DESDE EL ALMACENAMIENTO DEL ACUÍFERO	129.614	513
ERROR DE CIERRE		23 (l/s) ó 2%

#### h) Conclusiones

Se ha elaborado y ajustado un modelo numérico de simulación del comportamiento del sistema acuífero, que cubre gran parte del Valle de Azapa y de la zona costera que ocupa la ciudad de Arica.

El modelo empleado corresponde al denominado MODFLOW que resuelve numéricamente el sistema de flujo del acuífero, más un pre y post-procesador denominado VISUAL-MODFLOW, que facilita enormemente el trabajo de ingreso y salida de información del modelo.

El modelo fue calibrado para el período de tiempo que va de 1988 a 1995. Dicho período fue seleccionado por las siguientes razones:

- Existe gran cantidad de información (niveles estáticos y dinámicos) para los años mencionados, en particular para los años 1988, 1993, 1994 y 1995.
- El sistema, para dicho período, ha estado sujeto a grandes cambios debido a la fuerte explotación a que es sometido, generándose significativas alteraciones

dinámicas en su funcionamiento, como por ejemplo descensos sostenidos de niveles en algunos sectores.

- El calibrar el modelo para el período mencionado, se traduce en una mayor seguridad y representatividad de éste para ser usado como herramienta predictiva para la administración de los recursos hídricos. Ello por cuanto han quedado incorporadas en el modelo (a través de su calibración) una serie de alteraciones que afectan al sistema.

Partiendo de estimaciones iniciales de los parámetros del modelo (permeabilidad y rendimiento específico) se llegó, luego de su calibración, a valores que no distan en exceso de dichas estimaciones, lo que significa que se logró una buena representatividad de las características reales del sistema que se modela.

Respecto de la explotación del sistema desde los pozos y norias, se puede afirmar que este factor es el de mayor incidencia en los cambios que ha experimentado el sistema acuífero en los últimos años.

En general se logró una representación bastante buena de las condiciones reales del sistema con el modelo, como se desprende del ajuste de niveles en el tiempo (para un período extenso de tiempo de 8 años) y de los caudales subterráneos muy parecidos a los valores estimados previamente.

### 6.3.3 Modelo Hidrogeológico Sector Lauca

#### a) Límites de la Zona a Modelar

La zona incorporada en la modelación comprende las cuencas de los ríos Lauca y Vizcachani, entre poco aguas arriba de la estación fluviométrica Río Lauca en Estancia el Lago por el Norte (cuenca río Lauca) y canal Lauca en Las Rejas (cuenca río Vizcachani) hasta poco aguas abajo de la confluencia del río Vizcachani con el río Lauca, sector Misitune. En el Plano 6.3.3-1 a escala 1:50.000, se presenta el área de estudio y la zona modelada.

#### b) Funcionamiento General del Sistema Modelado

De acuerdo con los estudios y análisis previos, se ha determinado que el acuífero de la zona modelada presenta características de confinamiento en toda su extensión.

Actualmente, la explotación de agua subterránea en el área de estudio es prácticamente nula, estando sólo en operación el pozo P4 de la Dirección de Riego y el pozo

Pech 4 de la Minera Vilacollo. Lo anterior condicionó en gran medida la forma de elaborar el modelo, en lo relativo a su calibración y validación. En efecto, el modelo fue calibrado en régimen permanente intentando reproducir los niveles estáticos de agua subterránea medidos en todos los pozos, mientras que la validación consistió en reproducir los niveles dinámicos de las pruebas de bombeo de gasto constante registrados en cada uno de los pozos, pruebas efectuadas recientemente en algunos de ellos y cuando fueron construidos en el resto.

Por otro lado, los principales condicionamientos funcionales que singularizan al sistema son los siguientes:

- Se utilizaron condiciones de borde de nivel conocido y constantes, en cada una de las entradas a la zona modelada (río Lauca y río Vizcachani), y en la salida.
  - Dada la naturaleza confinada del acuífero modelado, las recargas provenientes de lluvias que precipitan en forma de agua o nieve y que se infiltran a la napa subterránea, se tradujeron en incorporar puntos de recarga distribuidos a lo largo del borde del contacto roca-relleno.
  - La delimitación del contacto roca-relleno se determinó a partir de los perfiles geofísicos efectuados por gravimetría para el sector Oeste, y de acuerdo a la topografía y geomorfología del terreno analizada a partir de cartas escala 1:50.000 del IGM. Por otro lado, la delimitación vertical de las formaciones acuíferas se determinó a partir de los estudios geofísicos efectuados (Geoexploraciones S.A.) y de los perfiles hidrogeológicos basados en las estratigrafías de los pozos del área.
- c) Discretización Espacial
- i) Discretización en Planta

La discretización espacial en planta del modelo se refiere a la forma en que éste es subdividido en celdas rectangulares, las que son definidas por la intersección de filas y columnas.

La zona modelada se extiende entre los siguientes límites, expresados en coordenadas UTM.

Límite Norte	:	UTM - Norte,	7.985.000
Límite Sur	:	UTM - Norte,	7.965.000
Límite Oeste	:	UTM - Este,	447.000
Límite Este	:	UTM - Este,	471.000

El número definido de columnas (sentido Norte - Sur) es de 150 y el número de filas (sentido Este-Oeste) es de 145. Lo anterior significa un total de 21.750 celdas, con un ancho de celda máximo de 250 m y mínimo de aproximadamente 25 m (en torno a los pozos); en la Figura 6.3.3-2 se puede apreciar la malla considerada.

## ii) Discretización en Vertical

Dada la continuidad funcional del acuífero a modelar y sus características de confinamiento, el sistema se discretizó en sólo un estrato.

El límite que define la cota del techo y del fondo de las celdas activas del modelo, se estableció a partir de los perfiles geofísicos obtenidos del trabajo “Reinterpretación Estudio Geofísico Sector Río Blanco - Ancochalloani”, efectuado por Geoexploraciones en Septiembre de 1995. En la Figura 6.3.3-3 se muestra en forma esquemática la ubicación en planta de los puntos con cotas del techo y fondo del acuífero confinado, y como dato adicional la cota de terreno correspondiente.

En el Cuadro 6.3.3-1 se presentan los datos que incluyen el número del sondaje eléctrico vertical utilizado en las prospecciones, sus coordenadas UTM, la cota de terreno y las cotas del techo y fondo del acuífero confinado, así como el espesor de este último. Dicha información se obtuvo del informe “Reinterpretación Estudio Geofísico Río Blanco-Ancochalloani”, realizado por Geoexploraciones S.A. en 1995, y de las estratigrafías de los pozos Pech ubicados en el sector de Misitune.

Posteriormente, dicha información fue procesada con el software SURFER, el cual se encarga de generar una superficie tridimensional por medio de una interpolación matemática. Así, se dispuso de una representación suave y continua de los límites superior e inferior del acuífero confinado modelado, la cual fue ingresada directamente al modelo VM.

## d) Recargas

De acuerdo con los conocimientos que se tienen del área de estudio, las recargas que se producen a la napa confinada son producto principalmente de las lluvias que son generadas mayoritariamente por masas de aire que penetran al altiplano andino del Atlántico vía cuenca del Amazonas (lluvias de verano), y que precipitan en forma de agua o nieve en las altas cumbres ubicadas al Este y Oeste de la cuenca del río Lauca, y en las del Norte y Sur de la cuenca del río Vizcachani. Las lluvias que precipitan entre el río Lauca y el lago Chungará escurren en parte hacia el lado Este de las cumbres, generando los recursos superficiales del río Chungará (afluente al lago Chungará); de las que escurren hacia el lado Oeste, una parte infiltra a la napa, mientras que el resto escurre subsuperficialmente, aflorando a la llegada al río Lauca, generando así recuperaciones en el río. El mismo proceso ocurre en la cuenca del río Vizcachani.



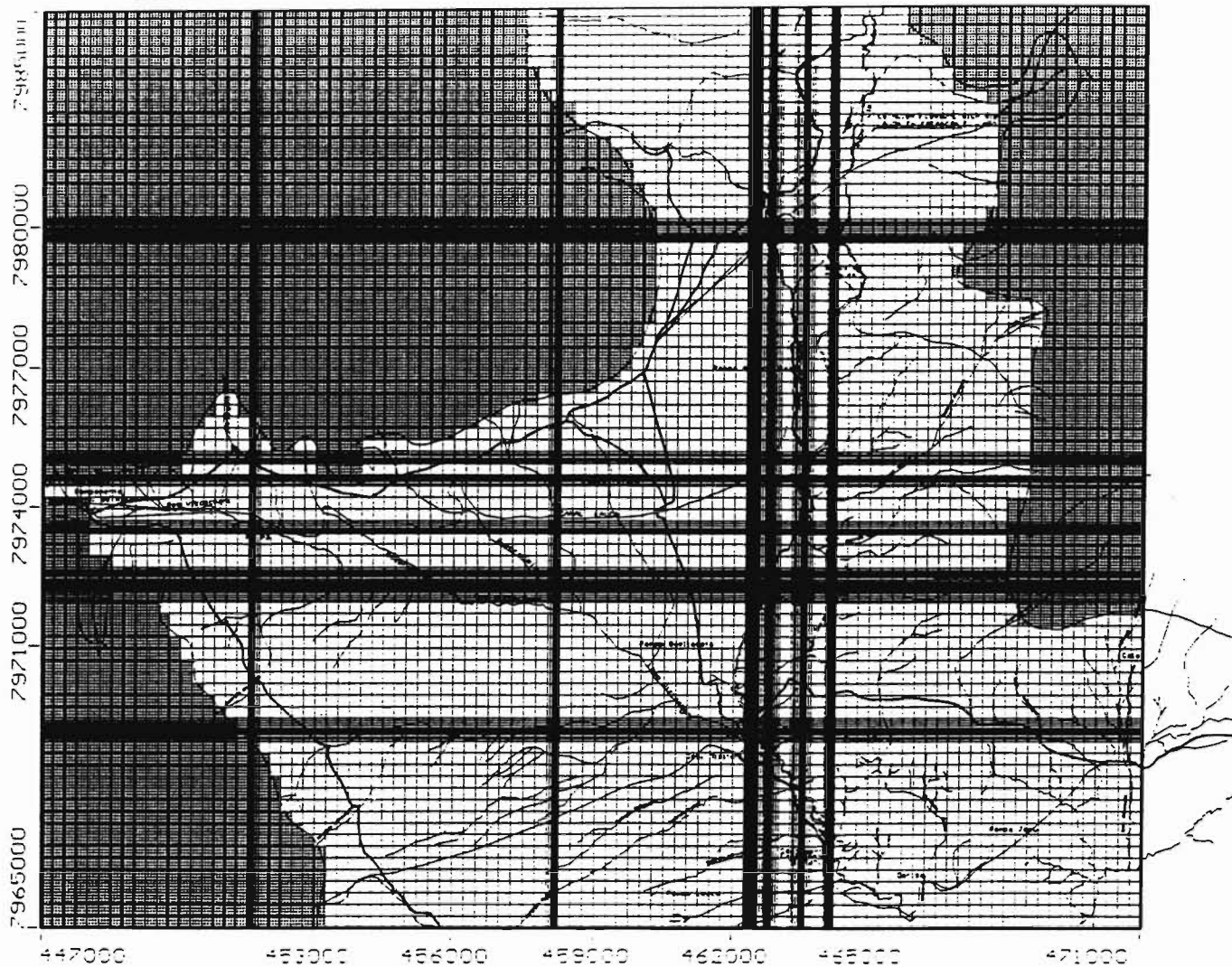


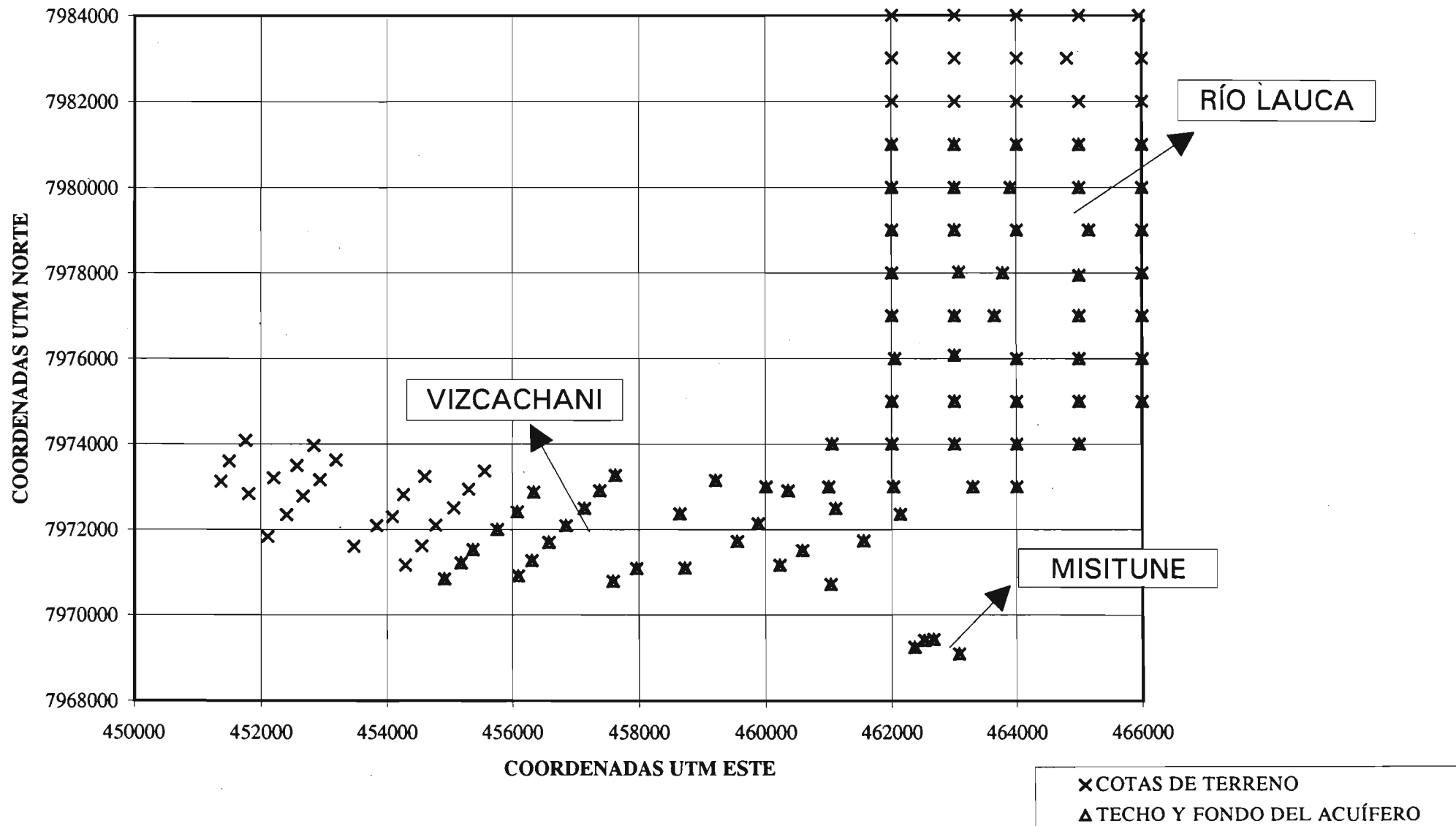
FIGURA 6.3.3-2

MALLA CONSIDERADA

Guillermo Cabrera - Chile  
 Project: ESTUDIO LAUCA-ARICA  
 Description: MALLA CONSIDERADA  
 Modeller: JAIME VARGAS P.  
 26 Sep 96

Visual MODFLOW v.1.50, (c) 1995  
 Waterloo Hydrogeologic Software  
 NC: 150 NR: 145 NL: 1  
 Current Layer: 1

FIGURA 6.3.3-3  
PUNTOS CON COTAS CONOCIDAS



**CUADRO 6.3.3-1**  
**COTAS DE TERRENO, TECHO Y FONDO DEL ACUÍFERO**

SEV	ESTE	NORTE	COTA T.	C.TECHO	C. FONDO	ESPEJOR
1	451754	7974074	4397			
2	451498	7973598	4351			
3	451368	7973120	4378			
5	452820	7973967	4364			
6	452556	7973493	4362			
7	452190	7973203	4344			
8	451805	7972831	4370			
9	453169	7973613	4359			
10	452911	7973154	4337			
11	452650	7972775	4382			
12	452393	7972337	4388			
13	452098	7971830	4374			
14	454595	7973240	4355			
15	454255	7972806	4350			
16	454080	7972292	4325			
17	453825	7972087	4360			
18	455551	7973368	4351			
19	455300	7972940	4343			
20	455057	7972506	4345			
21	454771	7972094	4341			
22	454548	7971618	4352			
23	454288	7971167	4365			
24	453456	7971599	4375			
25	456338	7972873	4350	4270	4005	265
26	456077	7972407	4340	4250	4000	250
27	455753	7971991	4340	4275	4020	255
28	455370	7971525	4350	4305	4120	185
29	455171	7971216	4360	4285	4080	205
30	454910	7970843	4370	4295	4063	232
31	457617	7973261	4336	4306	4116	190
32	457374	7972906	4327	4264	4077	187
33	457132	7972489	4334	4259	4067	192
34	456840	7972085	4306	4258	4039	219
35	456575	7971691	4336	4246	4049	197
36	456310	7971264	4337	4247	4025	222
37	456091	7970914	4337	4290	4042	248
38	459208	7973147	4360	4288	4025	263
39	458646	7972364	4350	4305	4100	205
40	457953	7971080	4330	4288	4023	265
41	457577	7970783	4340	4280	4092	188
42	460351	7972901	4360	4290	4087	203
43	459882	7972134	4300	4263	4060	203
44	459553	7971718	4350	4285	4085	200
45	458726	7971094	4327	4290	4092	198
46	461110	7972488	4340	4215	4067	148

**CUADRO 6.3.3-1**  
**COTAS DE TERRENO, TECHO Y FONDO DEL ACUÍFERO**

SEV	ESTE	NORTE	COTA T.	C.TECHO	C. FONDO	ESPESOR
47	460578	7971509	4330	4170	4000	170
48	460220	7971160	4325	4157	3993	164
49	462130	7972351	4315	4265	3990	275
50	461553	7971725	4290	4265	3983	282
51	461032	7970717	4330	4110	3840	270
52	462000	7975000	4330	4270	4190	80
53	463000	7975000	4330	4280	4200	80
54	464000	7975000	4330	4295	4155	140
55	465000	7975000	4330	4255	4175	80
56	466000	7975000	4330	4250	4080	170
57	462050	7976000	4350	4308	4160	148
58	463000	7976080	4350	4268	4202	66
59	464000	7976000	4398	4338	4208	130
60	465000	7976000	4332	4297	4182	115
61	466000	7976000	4441	4396	4266	130
62	462000	7977000	4380	4315	4160	155
63	463000	7977000	4376	4326	4236	90
64	463650	7977000	4371	4314	4186	128
65	465000	7977000	4380	4345	4285	60
66	466000	7977000	4378	4345	4178	167
67	462000	7978000	4400	4305	4140	165
68	463070	7978025	4350	4255	4140	115
69	463780	7978000	4394	4334	4154	180
70	465000	7977950	4387	4352	4162	190
71	466000	7978000	4411	4371	4233	138
72	462000	7979000	4419	4269	4114	155
73	463000	7979000	4380	4300	4135	165
74	464000	7979000	4362	4302	4162	140
75	465150	7979000	4383	4291	4138	153
76	466000	7979000	4407	4345	4295	50
77	462000	7980000	4473	4373	4213	160
78	463000	7980000	4426	4316	4164	152
79	463900	7980000	4398	4328	4175	153
80	465000	7980000	4412	4332	4147	185
81	466000	7980000	4438	4378	4206	172
82	462000	7981000	4385	4283	4060	223
83	463000	7981000	4386	4269	4116	153
84	464000	7981000	4390	4245	4070	175
85	465000	7981000	4371	4281	4109	172
86	466000	7981000	4388	4288	4148	140
87	462000	7982000	4576			
88	463000	7982000	4675			
89	464000	7982000	4550			
90	465000	7982000	4400			
91	466000	7982000	4416			

**CUADRO 6.3.3-1  
COTAS DE TERRENO, TECHO Y FONDO DEL ACUÍFERO**

SEV	ESTE	NORTE	COTA T.	C.TECHO	C. FONDO	ESPESOR
92	462000	7983000	4576			
93	463000	7983000	4576			
94	464000	7983000	4418			
95	464800	7983000	4398			
96	466000	7983000	4487			
97	462000	7984000	4576			
98	463000	7984000	4576			
99	464000	7984000	4546			
100	465000	7984000	4428			
101	465950	7984000	4398			
102	460000	7973000	4300	4250	4067	183
103	461000	7973000	4300	4250	4050	200
104	462020	7973000	4300	4253	4030	223
105	463300	7973000	4300	4290	4055	235
106	464000	7973000	4300	4240	4080	160
107	461050	7974000	4300	4235	4073	162
108	462000	7974000	4300	4243	4072	171
109	463000	7974000	4300	4235	4070	165
110	464000	7974000	4300	4250	4097	153
111	465000	7974000	4300	4215	4112	103
MISITUNE	463071	7969095	4291	4256	4221	35
	462662	7969428	4280	4245	4210	35
	462513	7969407	4278	4243	4208	35
	462354	7969241	4276	4241	4206	35

Como primera aproximación se llevó a cabo el cálculo de la recarga teórica al área de estudio a través de una ecuación de balance hídrico en términos anuales, la cual se presenta a continuación.

$$Q_{\text{boc}} + P = Q_{\text{mis}} + \text{EVT} + R \quad (1)$$

donde:

- $Q_{\text{boc}}$  = caudal superficial en el río Lauca justo aguas abajo de la bocatoma del canal Lauca.
- $P$  = precipitación en el área de estudio.
- $Q_{\text{mis}}$  = caudal superficial en el río Lauca en el sector de Misitune (considera caudal del río Vizcachani).
- $\text{EVT}$  = evapotranspiración en el área de estudio.
- $R$  = recarga que se produce a la napa confinada.

Nota: no se consideró variación de almacenamiento del acuífero confinado.

A continuación se explica brevemente cómo se determinó cada uno de los términos involucrados en la ecuación de balance (1).

- $Q_{\text{BOC}}$  = debido a que la bocatoma del canal Lauca capta la totalidad de los recursos superficiales del río, inmediatamente aguas abajo de dicha bocatoma el caudal superficial es nulo.
- $P$  = se determinaron a partir de un análisis sobre las estadísticas existentes de las estaciones Chucuyo Carabineros, Chungará Retén y Belén para el período comprendido entre 1963 y 1994.
- $Q_{\text{MIS}}$  = el caudal superficial del río Lauca en Misitune se obtuvo de acuerdo al estudio hidrológico, también para el período comprendido entre 1963 y 1994.
- $\text{EVT}$  = se utilizó la relación  $\text{EVT} = K_c Et_o$ , con  $K_c$  el coeficiente de cultivo y  $Et_o = K_p \times Ev$ , siendo  $K_p$  el coeficiente de cubeta y  $Ev$  la evaporación de bandeja; el procedimiento de cálculo se puede consultar en "Las Necesidades de Agua de los Cultivos", estudio FAO Riego y Drenaje N°24. Las relaciones se aplicaron a un área de 11 Km<sup>2</sup> correspondiente a bofedales y al resto del área suponiendo suelos no cultivados o desnudos.

Se calculó la recarga al acuífero confinado, evaluando la ecuación 1) en términos anuales; en los años donde la recarga dio negativa significa que toda el agua disponible es consumida y evapotranspirada, resultando por lo tanto que la recarga es nula.

Dada la gran incertidumbre en el cálculo de la evapotranspiración, la recarga resultó ser de entre 300 l/s y 1.000 l/s, dependiendo de si se considera que toda el área de estudio (cuenca) evapotranspira o sólo la planicie limitada por el contacto roca-relleno. En

consecuencia los valores así determinados sólo sirvieron como punto de partida en la calibración del modelo. Lo señalado se justifica debido a que todos los cálculos efectuados son sólo teóricos, y obtenidos con poca información.

#### e) Condiciones de Borde

En los extremos Norte, Sur y Oeste de la malla se definieron condiciones de borde de nivel conocido. El primero, corresponde a parte del flujo de entrada al modelo proveniente del sector de las ciénagas de Parinacota; de acuerdo con las isopiezométricas definidas en el acápite 3.4, se impuso un valor constante e igual a 4.360 m.s.n.m.

En el extremo Oeste, que corresponde al flujo de entrada por el sector de la cuenca del río Vizcachani, también se impuso un valor constante e igual a la cota de terreno del sector, 4.400 m.s.n.m.; lo anterior puesto que los niveles en dicha parte son igual a la cota de terreno.

Finalmente, en el extremo Sur del área modelada, se impuso un valor constante e igual a 4.260 m.s.n.m., determinado también de acuerdo con las isopiezométricas definidas anteriormente.

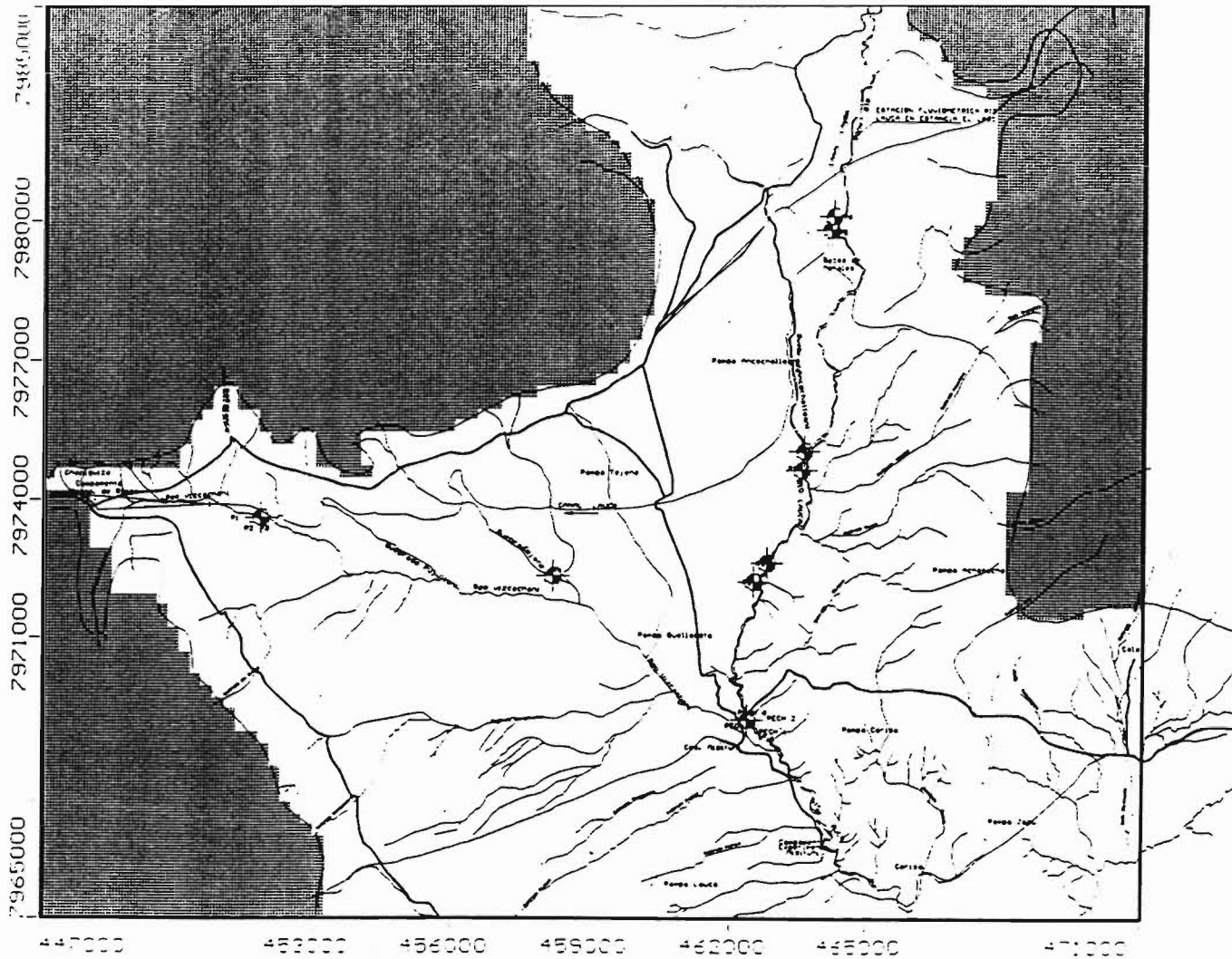
En la Figura 6.3.3-4 se señala la ubicación general de las condiciones de borde antes señaladas.

#### f) Calibración del Modelo

Puesto que en el área de estudio la explotación de agua subterránea es muy baja, y además se cuenta con muy poca información de caudales bombeados y niveles (sólo en el pozo 4), el proceso de calibración se llevó a cabo para una situación en régimen permanente, intentando reproducir los niveles estáticos medidos en 9 pozos del área de estudio. En el Cuadro 6.3.3-2 se indica cada pozo con su nivel estático considerado, mientras que en la Figura 6.3.3-5 se presentan sus ubicaciones respectivas.







UBICACION DE POZOS PARA LA CALIBRACION

FIGURA 6.3.3-5

Guillermo Cabrera - Chile  
 Project: ESTUDIO LAUCA-ARICA  
 Description: POZOS DE OBSERVACION  
 Modeller: JAIME VARGAS P.  
 26 Sep 96

Visual MODFLOW v.1.50. (c) 1995  
 Waterloo Hydrogeologic Software  
 NC: 150 NR: 145 NL: 1  
 Current Layer: 1

CUADRO 6.3.3-2  
POZOS Y NIVELES ESTÁTICOS CONSIDERADOS EN LA CALIBRACIÓN

POZO	NIVEL ESTÁTICO (m.s.n.m.)
P6	4332,9
P8	4333,2
P7	4307,1
P10	4306,4
P9	4289,5
P5	4291,3
PECH 4	4278,6
P4	4305,2
P3	4342,6

Los niveles estáticos presentados en el cuadro anterior corresponden al promedio de los medidos en las campañas de terreno efectuadas como parte del presente estudio, así como los medidos cuando los pozos fueron construidos. En el caso del pozo Pech 4, se tomó el promedio de entre todos los pozos Pech (muy cercanos entre sí) de modo que dicho nivel fuera representativo del sector.

Por otro lado, debido a que el acuífero modelado es confinado, la única forma de representar una recarga producto de las lluvias es incorporar pozos ficticios que introduzcan agua al acuífero distribuidos a lo largo de todo el contacto roca-relleno. Dicha recarga fue distribuida a lo largo de las tres líneas de contacto roca-relleno, de acuerdo a los porcentajes de área que involucra el sector entre dicho contacto y el límite de la cuenca correspondiente; los porcentajes calculados son los siguientes:

Sector Este	=	31% de la recarga total
Sector Oeste	=	58% de la recarga total
Sector Sur-Oeste	=	11% de la recarga total

La recarga incorporada al modelo se definió a lo largo de cada uno de los contactos roca-relleno, tal como fuera antes señalado; en las cercanías de las condiciones de borde de nivel constante, no se colocaron pozos ficticios de recarga para no interferir con las características que representan.

El proceso de calibración del modelo está orientado principalmente a lograr reproducir los niveles estáticos del agua subterránea que han sido registrados. Dado que en este caso se contó con una adecuada información para definir la geometría del sistema acuífero, el ajuste de los niveles simulados respecto de los valores observados, se efectuó modificando la magnitud y distribución espacial del coeficiente de permeabilidad y la magnitud de la recarga total al sistema. Se debe señalar que debido a que la calibración se ha efectuado en régimen permanente, no entra en juego el coeficiente de almacenamiento en el proceso.

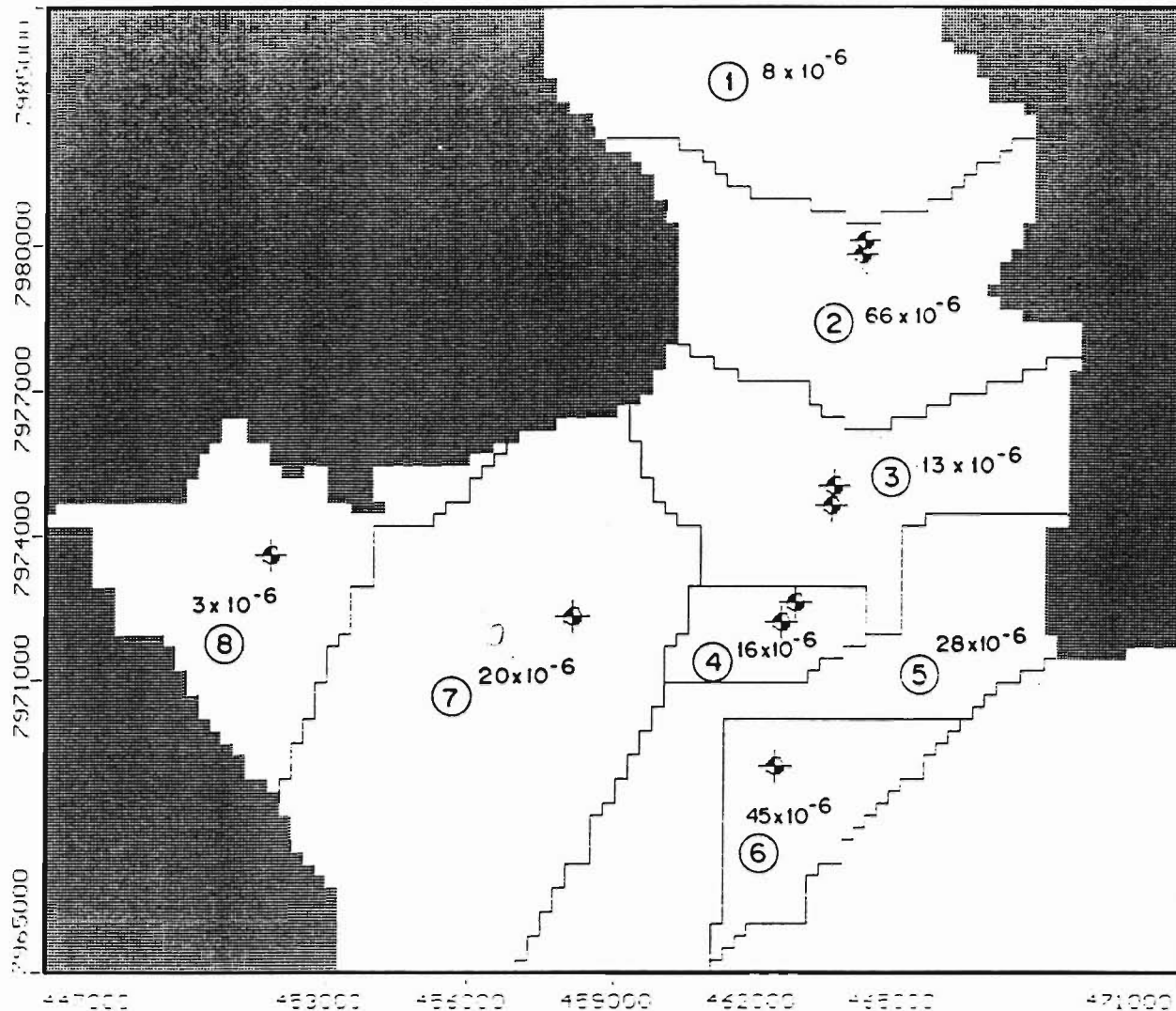
En la Figura 6.3.3-6 se muestra la distribución y los valores finales de permeabilidad a que se llegó luego del proceso de calibración. En total se discretizó el área de estudio en 8 sectores con valores de permeabilidad entre  $3 \times 10^{-6}$  m/s y  $6,6 \times 10^{-5}$  m/s; en el Cuadro 6.3.3-3 se indican los valores por sector.

CUADRO 6.3.3-3  
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD  
PARA EL MODELO CALIBRADO

SECTOR	PERMEABILIDAD (m/s) $\times 10^{-6}$
1	8
2	66
3	13
4	16
5	28
6	45
7	10
8	3

Respecto a la recarga subterránea total del sistema acuífero del Lauca, se probaron diferentes magnitudes, resultando finalmente un valor cercano a 200 l/s (193 l/s). La recarga final considerada en el proceso de calibración es menor que el rango determinado en forma teórica a través de balances, es decir que en un principio ésta fue sobrestimada. Con recargas superiores a 200 l/s el modelo no respondió en forma adecuada, lo que significa que el rango de valores determinados por balances hídricos no fue correcto.

El grado de ajuste logrado con la distribución de permeabilidades antes señalada y con una recarga total de 193 l/s se puede apreciar en la Figura 6.3.3-7, mientras que en el Cuadro 6.3.3-4 se presentan los valores observados y simulados, junto con la discrepancia en metros entre ambos; en la Figura 6.3.3-8 se muestran las isopiezométricas simuladas cada 5 m.



DISTRIBUCION DE PERMEABILIDADES PARA EL MODELO CALIBRADO (m/s)

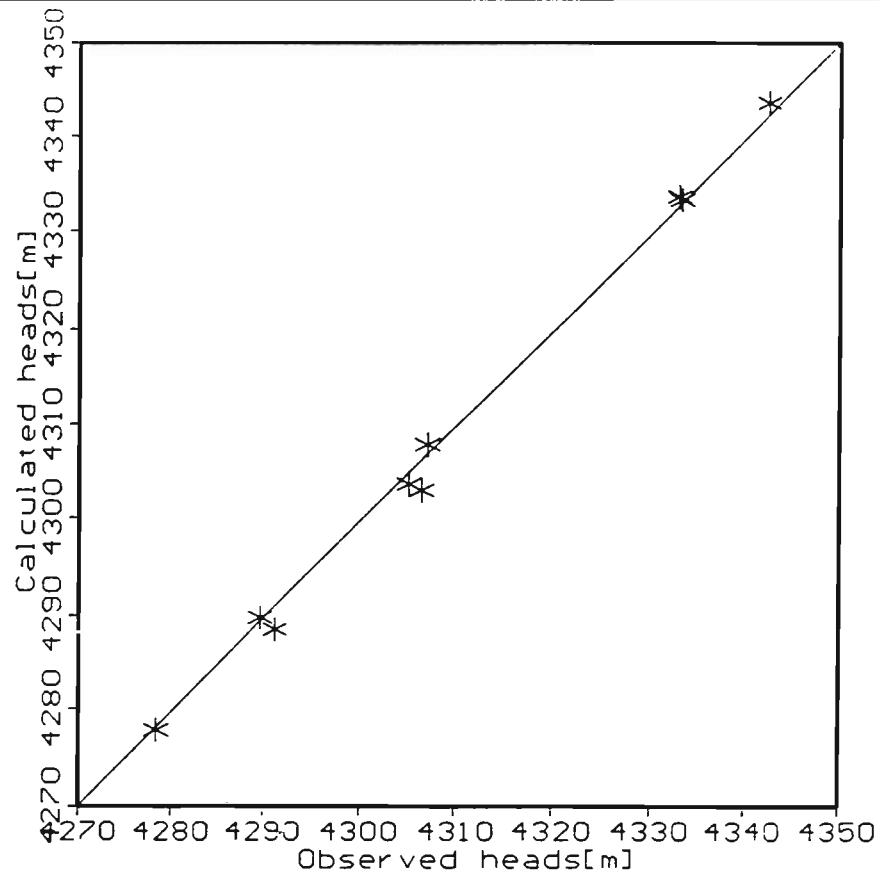
FIGURA 6.3.3-6

Guillermo Cabrera - Chile  
 Project: ESTUDIO LAUCA-ARICA  
 Description: PERMEABILIDADES (m/s)  
 Modeller: JAIME VARGAS P.  
 26 Sep 96

Visual MODFLOW v.1.50. (c) 1995  
 Waterloo Hydrogeologic Software  
 NC: 150 NR: 145 NL: 1  
 Current Layer: 1

RESULTADOS DE LA CALIBRACION

FIGURA 6.3.3-7



Period: 1

Step: 1

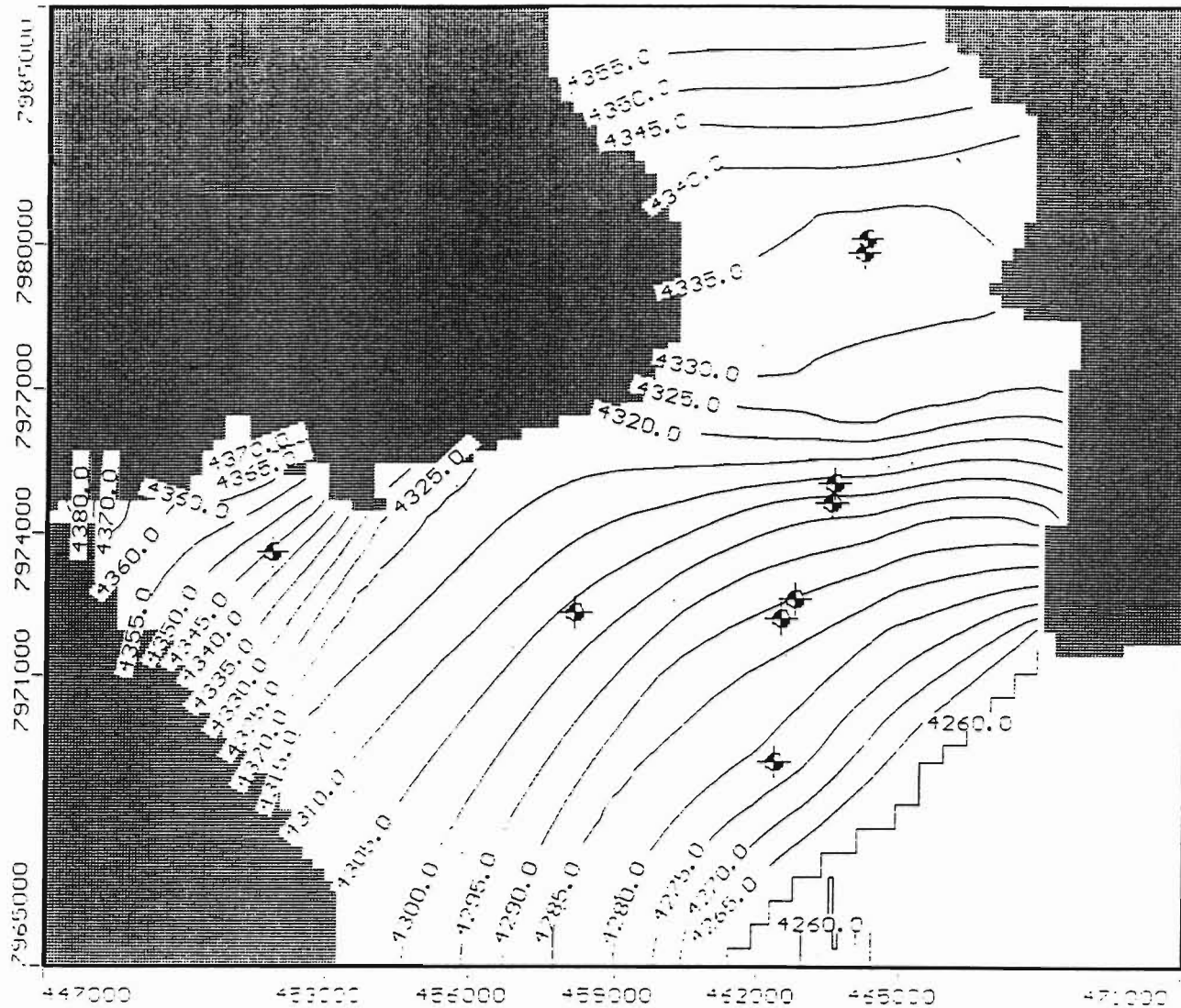
Mean error: -0.7437826

Mean abs. err.: 1.21342

RMS error: 1.64615

Guillermo Cabrera - Chile  
Project: ESTUDIO LAUCA-ARICA  
Description: RESULTADOS CALIBRACION  
Modeller: JAIME VARGAS P.  
26 Sep 96

Visual MODFLOW v.1.50. (c) 1995  
Waterloo Hydrogeologic Software  
NC: 150 NR: 145 NL: 1  
Current Layer: 1



ISOPIEZOMETRICAS REGIMEN PERMANENTE

FIGURA 6.3.3-8

Guillermo Cabrera - Chile  
 Project: ESTUDIO LAUCA-ARICA  
 Description: ISOPIEZOMETRICAS (m.s.n.m)  
 Modeller: JAIME VARGAS P.  
 26 Sep 96

Visual MODFLOW v.1.50. (c) 1995  
 Waterloo Hydrogeologic Software  
 NC: 150 NR: 145 NL: 1  
 Current Layer: 1

CUADRO 6.3.3-4  
NIVELES ESTÁTICOS OBSERVADOS Y SIMULADOS

POZO	NIVEL OBSERVADO (m.s.n.m.)	NIVEL SIMULADO (m.s.n.m.)	DIFERENCIA (m)
P6	4332,9	4333,6	-0,7
P8	4333,2	4333,3	-0,1
P7	4307,1	4307,9	-0,8
P10	4306,4	4303,3	+3,1
P9	4289,5	4289,7	-0,2
P5	4291,3	4288,6	+2,7
PECH 4	4278,6	4278,0	+0,6
P4	4305,2	4303,8	+1,4
P3	4342,6	4343,4	-0,8

El promedio del error absoluto de la diferencia entre el nivel observado y simulado de los 9 pozos de observación utilizados en la calibración fue de 1,2 m.

Por otro lado, los caudales subterráneos que entran al sistema son los siguientes:

Sector Río Lauca Norte	=	79 l/s
Sector Río Vizcachani Oeste	=	8 l/s
Recarga por límites del modelo	=	193 l/s
<hr/>		
Caudal total que ingresa al área de estudio	=	280 l/s

En la minuta “Diagnóstico Sobre la Potencialidad de los Pozos de Agua Subterránea de la Dirección de Riego ubicados en la Cuenca del Río Lauca” efectuada por esta Oficina en Agosto de 1996, se recomendó un caudal de explotación total máximo a través de los pozos 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 de 288 l/s. De aquí se desprende que ambos resultados, el entregado por el modelo (280 l/s) y el recomendado en la minuta señalada son coincidentes.

Finalmente, se debe señalar que el ajuste logrado en la calibración, no obstante haberse llevado a cabo en condiciones permanentes, es razonable, tomando en cuenta las diferencias de niveles impuestos como condiciones de borde, esto es, 140 m en la cuenca del río Vizcachani y 100 m en la cuenca del río Lauca.

## g) Validación del Modelo

Puesto que la calibración del modelo llevada a cabo reflejó sólo el comportamiento de los niveles estáticos en el acuífero confinado modelado en condiciones permanentes sin bombeo, se ha estimado conveniente estudiar el comportamiento del modelo en régimen impermanente considerando bombeos desde los pozos existentes.

Una forma de validar el modelo frente a una situación impermanente con bombeo, es utilizar las pruebas de gasto constante efectuadas cuando los pozos se construyeron y las recientes, e intentar reproducir los niveles dinámicos o depresiones medidos. Se debe tomar en cuenta que reproducir una situación puntual de bombeo desde un pozo, con un modelo de simulación que abarca una zona muy amplia, como es el caso de estudio, es obviamente muy complicado, suponiendo además que las pruebas de bombeo fueron ejecutadas correctamente.

El ajuste de los niveles simulados respecto a los niveles medidos, se llevó a cabo únicamente modificando magnitudes y distribución espacial del coeficiente de almacenamiento del acuífero confinado, manteniendo inalterados los valores y distribución de permeabilidad determinados en la calibración.

Respecto a los valores finales del coeficiente de almacenamiento adoptados en el proceso de validación fueron para toda el área de estudio  $1 \times 10^{-8}$ , excepto en los sectores de ubicación de los pozos 7 y 10 que fueron  $4 \times 10^{-6}$  y  $1 \times 10^{-6}$ , respectivamente. Se debe aclarar que el valor del coeficiente de almacenamiento que maneja VM es por unidad de espesor del acuífero confinado, y es por esto que los valores adoptados son tan pequeños.

El modelo inicia la operación con los niveles de agua subterránea estáticos determinados en el proceso de calibración. Los pozos bombean durante 365 días, e interesan los niveles dinámicos al cabo de 3 días de operación continua para ser comparados con los obtenidos en las pruebas de bombeo correspondientes.

En el Cuadro 6.3.3-5 se muestran las depresiones medidas en las pruebas de gasto constante junto con las determinadas por el modelo al cabo de 3 días de bombeo continuo, mientras que en la Figura 6.3.3-9 se muestran las curvas de igual nivel piezométrico cada 5 m, a los 3 días de solicitación.





CUADRO 6.3.3-5  
DEPRESIONES MEDIDAS Y SIMULADAS

POZO	CAUDAL BOMBEO (l/s)	DEPRESIÓN MEDIDA (m)	DEPRESIÓN SIMULADA (m)
P6	35 *	25,28	19,49
P8	60 *	25,14	20,91
P7	56 *	48,03	47,39
P10	7	37,15	20,93
P9	60 *	57,91	33,06
P5	40 *	64,87	28,87
PECH 4	38,5	32,16	23,61
P4	35	34,70	34,26
P2	10	47,16	32,66

\* Pruebas de bombeo efectuadas en primer semestre de 1996. El resto corresponde a cuando el pozo fue construido.

No obstante que en algunos pozos la depresión simulada difiere en un alto porcentaje respecto a la medida en la prueba de bombeo, se estima que la validación efectuada es razonable, tomando en cuenta fundamentalmente que el modelo ha sido ajustado a una zona de aproximadamente 250 Km<sup>2</sup> (25.000 hás), y se intenta reproducir lo que ocurre en un punto (pozo) cuando desde éste se bombea un cierto caudal durante sólo 3 días.

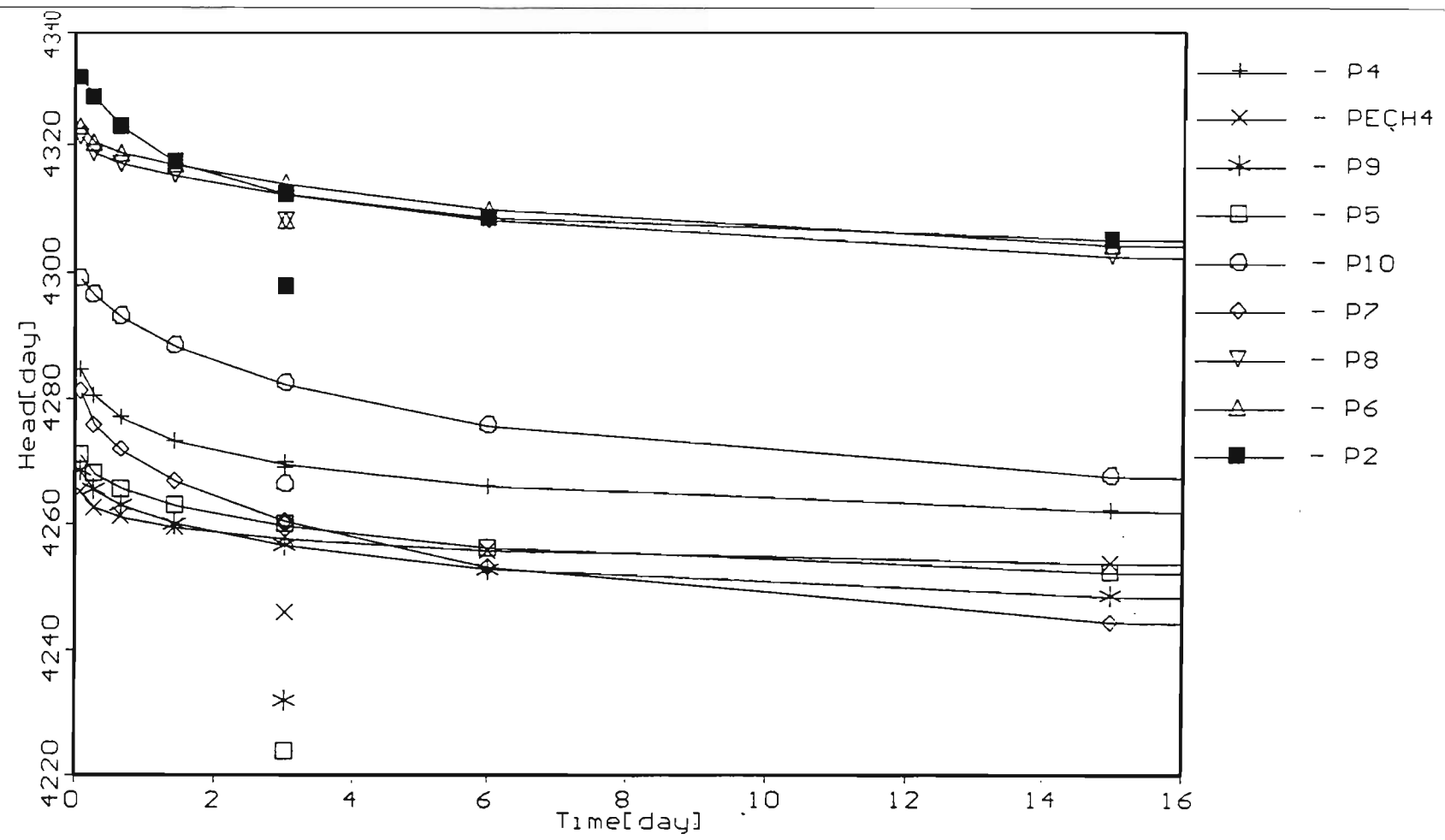
Por otro lado, es importante señalar que los tiempos de estabilización del nivel dinámico calculados por el modelo, son similares a los registrados en las pruebas de bombeo; en la Figura 6.3.3-10 se puede visualizar lo señalado. En dicha figura se puede apreciar que en los pozos 7 y 10 no se advierte una estabilización de los niveles, lo que puede ser corroborado a través de la prueba de bombeo reciente efectuada en el pozo 7 (en el pozo 10 no se efectuó recientemente una prueba de bombeo), en que los niveles no se estabilizaron completamente luego de 72 horas de bombeo continuo.

#### h) Conclusiones

Se ha elaborado y ajustado un modelo numérico de simulación del comportamiento del sistema acuífero que cubre una extensa área de las cuencas de los ríos Lauca y Vizcachani, en el denominado Parque Nacional Lauca.

VARIACION DE NIVELES DINAMICOS EN EL TIEMPO

FIGURA 6.3.3-10



Guillermo Cabrera - Chile  
Project: ESTUDIO LAUCA-ARICA  
Description: VALIDACION  
Modeller: JAIME VARGAS PAYSAN  
26 Sep 96

Visual MODFLOW v.1.50, (c) 1995  
Waterloo Hydrogeologic Software  
NC: 150 NR: 145 NL: 1  
Current Layer: 1

El modelo empleado corresponde al denominado MODFLOW, el cual resuelve numéricamente el sistema del flujo de agua subterránea en un acuífero, más un pre y post procesador denominado VISUAL-MODFLOW, que facilita el trabajo de ingreso y salida de información del modelo.

No obstante la poca información que existe en el área de estudio, respecto al comportamiento del acuífero, frente a diversas situaciones en la explotación de los recursos subterráneos actuales e históricas, además de la casi nula solicitud externa a que ha estado expuesto el acuífero, se calibró el modelo en régimen permanente, reproduciendo los niveles estáticos en 9 pozos distribuidos en toda el área de estudio. El ajuste logrado fue satisfactorio, con un error promedio entre niveles observados y simulados de sólo 1,2 m.

Por último, con el objeto de estudiar y analizar el comportamiento del sistema en régimen impermanente, incluyendo bombeo desde los pozos existentes, se operó el modelo imponiendo un bombeo constante en 9 pozos con un caudal similar al registrado durante las pruebas de bombeo de gasto constante que han sido efectuadas. De ese modo, y variando sólo el coeficiente de almacenamiento en el área y registrando el nivel dinámico en cada pozo de bombeo a los 3 días de operación simultánea, se compararon las depresiones simuladas con aquellas medidas en las respectivas pruebas de bombeo. Los ajustes alcanzados resultaron razonables, tomando en cuenta fundamentalmente que el modelo simula el comportamiento del sistema acuífero de una gran extensión, y que se intentó reproducir lo que sucede en sectores puntuales (pozos) en un pequeño lapso de tiempo.

## 6.4 MODELO DE CALIDAD DEL AGUA

### 6.4.1 Introducción

Las estadísticas de calidad de las aguas subterráneas de la cuenca inferior del río San José indican un incremento sostenido de la salinidad de las aguas en los últimos 30 años. La concentración de cloruros del orden de 150 mg/l, ha crecido entre 3,9 y 13,3 mg/l/año en el sector de Arica, mientras que la conductancia específica de 1.200  $\mu\text{mho/cm}$  ha registrado aumentos entre 8 y 16  $\mu\text{mho/cm/año}$ . Este fenómeno, junto con el incremento de salinidad que se produce desde aguas arriba hacia aguas abajo, están posiblemente asociados al riego intensivo que se hace en el valle con aguas del canal Azapa y aguas subterráneas.

El objetivo de este capítulo es la elaboración de un modelo de calidad del agua que represente los fenómenos de incremento de la salinidad del agua subterránea, tanto espacial como temporalmente, mediante la identificación y cuantificación de los principales mecanismos que producen el fenómeno. Los parámetros modelados son la concentración de cloruros y la conductividad.

El tramo de acuífero que será representado por el modelo comprende aproximadamente los últimos 40 kilómetros antes de la desembocadura y está comprendido entre el sector de Pampa Grande y la desembocadura, junto a la ciudad de Arica.

Para el caso en estudio se utilizó un modelo de balance de masas, es decir, balance de agua y balance de salinidad mediante una discretización anual del fenómeno.

Este modelo ha sido elaborado especialmente para el caso analizado y considera los fenómenos de balance de agua y salinidad asociados a variables como: riego, percolación desde canales y zonas de riego, evapotranspiración desde zonas de riego, extracciones efectuadas al acuífero para distintos usos, descenso de los niveles de la napa y flujo subterráneo.

El modelo sólo considera la calidad de las aguas subterráneas, ya que las aguas superficiales se captan íntegramente por el canal Azapa y sus variaciones de calidad son poco significativas en el tramo estudiado.

Cabe indicar que la información disponible, consistente en análisis en algunos pozos del sistema a lo largo del tiempo, es sólo información puntual y no permite representar en forma cabal las características espaciales medias de salinidad en cada sector modelado. No existe información a lo largo del tiempo en pozos aguas arriba del sector Cabuza. Lo anterior sólo permite la elaboración de un modelo muy simplificado, no acabado, para representar las tendencias de aumento de salinidad en el acuífero del Valle de Azapa.

#### 6.4.2 Proceso de salinización

En el caso estudiado los fenómenos más relevantes que intervienen en el proceso de salinización son el proceso de evapotranspiración desde zonas de riego, que produce acumulación de sales en la superficie de los predios, la percolación desde zonas de riego, que permite la lixiviación de estas sales, la retención de sales en la zona no saturada y la intrusión salina. De acuerdo a la información recogida en la elaboración del modelo hidrogeológico, la intrusión salina no juega un papel relevante en el proceso de salinización, por lo que no se consideró en este modelo.

Los parámetros de salinidad que finalmente se modelaron son la conductividad eléctrica y la concentración de cloruros, pues son los más representativos del nivel de salinidad en el agua.

El riego se realiza en el valle con las aguas del canal Azapa, provenientes del río San José, y con aguas que se extraen desde el acuífero. Una parte del agua de riego se pierde a la atmósfera por evapotranspiración mientras el resto infiltra hacia el acuífero arrastrando el

exceso de sales dejado por la evapotranspiración. Es posible que una fracción de las sales se acumule en el suelo en un proceso de salinización. El resto incrementa la salinidad de las aguas subterráneas.

Las aguas subterráneas, a su vez, son extraídas a través de pozos, tanto para su uso agrícola, como para satisfacer la demanda de agua potable. El agua utilizada para riego vuelve a sufrir un incremento de salinidad por efecto de la evapotranspiración, en tanto el agua extraída para abastecimiento humano sale del sistema.

Como resultado del proceso de riego, las aguas subterráneas experimentan un incremento de su salinidad hacia aguas abajo, a medida que se va reduciendo su volumen por evapotranspiración mientras el contenido de sales permanece igual. El uso de agua para abastecimiento humano, por su parte, si bien no contribuye directamente al incremento de la salinidad, porque extrae agua y sales en la misma proporción en que se encuentran, reduce el volumen de agua subterránea disponible para diluir el aporte de sal del proceso de riego, por lo que el resultado neto es un incremento mayor de la salinidad.

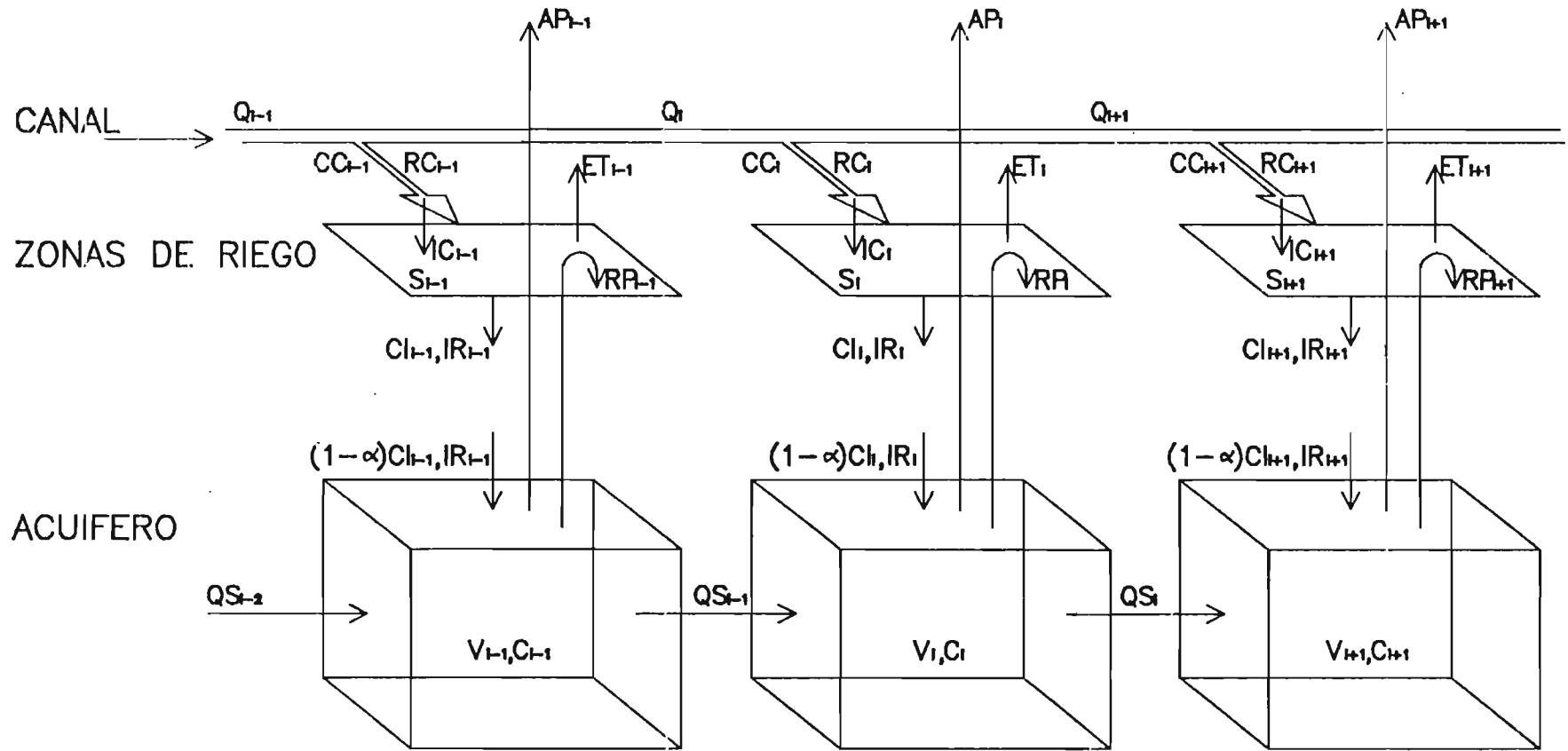
Por otra parte, partiendo desde una condición sin riego o sin extracción de agua para abastecimiento o con riego y extracción en menor intensidad que las actuales, también se produce un incremento de la salinidad en el tiempo debido a que el mayor aporte de aguas salinas, producto de la evapotranspiración, va gradualmente aumentando la concentración hasta que se alcanza un nuevo valor de equilibrio, en que la salinidad es tan alta que las salidas de agua de un determinado volumen permiten equilibrar los ingresos de sal.

#### 6.4.3 Bases conceptuales del modelo

Para efectos del modelo, se ha supuesto que tanto el sistema superficial como el acuífero, se pueden representar como un sistema unidimensional. Discretizando éste, desde aguas arriba hacia aguas abajo, y en el tiempo, resultan variables identificadas por los subíndices  $i$  y  $j$ , indicativos de la posición espacial y temporal, respectivamente. Así, la variable  $v_{i,j}$  representa la condición en el elemento  $i$  en el período  $j$ , tal como se indica esquemáticamente en la Figura 6.4.3-1.

Se ha supuesto que a cada zona de riego existe asociada la porción del acuífero ubicada debajo de ésta. Del volumen de agua aportado por el canal, para satisfacer las necesidades de riego, una parte evapotranspira y el resto percola hacia el acuífero arrastrando consigo la masa de sal contenida en toda el agua de riego, por lo que su concentración aumenta en proporción a la evapotranspiración. Además, una parte del agua de los canales infiltra, por efecto de las pérdidas del sistema de conducción. Para esta infiltración se ha supuesto que el incremento de salinidad, que es proporcional a la evaporación directa desde los canales, es despreciable.

Figura 6.4.3-1  
Esquema del modelo de calidad



La porción de acuífero entrega las aguas subterráneas captadas, tanto para riego como para otros usos, y recibe la infiltración desde las zonas de riego y desde los canales. Se ha supuesto que una fracción de la sal arrastrada por la infiltración permanece en el suelo, no alcanzando las aguas subterráneas, valor que fue calibrado en la modelación. La porción de acuífero de cada módulo, además, recibe el aporte de sal desde el módulo de aguas arriba y, asimismo, entrega su aporte al módulo de aguas abajo.

a) Variables del modelo

Las variables que representan el sistema para un elemento son las siguientes:

Cantidad de agua

- RC: volumen de riego extraído desde el canal.
- RV: volumen de riego con agua superficial desde vertientes.
- Q: caudal transportado por el canal en la entrada de la zona de riego respectiva.
- S: superficie de riego
- ET: evapotranspiración
- IR: infiltración desde la zona de riego
- IC: infiltración desde los canales de riego en cada zona
- RP: volumen de riego extraído desde las aguas subterráneas
- AP: volumen de agua extraído desde las aguas subterráneas para abastecimiento humano (agua potable) u otros usos diferentes del riego.
- QS: volumen de aguas subterráneas aportado hacia el elemento de aguas abajo.
- $\Delta V$ : Variación del volumen de agua subterránea por efecto de la extracción excesiva

Calidad del agua

- CC: concentración de cloruros, conductividad o cualquier elemento conservativo a analizar, presente en el agua del canal en la entrada de la zona de riego respectiva.
- CV: concentración del elemento en las fuentes de aguas superficiales complementarias al canal.
- C: concentración del elemento en el agua subterránea.
- CI: concentración del elemento en la infiltración desde la zona de riego.

b) Ecuaciones de balance de agua

En el canal:

El caudal del canal antes de una zona de riego debe ser igual a la suma de las pérdidas por infiltración que se producen en los canales en la zona, la extracción para riego y el caudal que continúa hacia la zona siguiente:



$$Q_{ij} = IC_{ij} + RC_{ij} + Q_{i+1,j}$$

Si la distribución de caudales está bien hecha entre las distintas zonas de riego, en la última de ellas se debería ocupar todo el caudal del canal, es decir, el caudal que continúa hacia aguas abajo debería ser nulo.

En la ecuación anterior se supone que tanto las pérdidas por infiltración en el sistema de canales como la demanda de agua para riego son conocidas, por lo que su aplicación permite calcular los caudales remanentes en el canal, aguas abajo de cada zona de riego.

En el predio:

El aporte de agua de riego, superficial y subterránea, debe ser igual a la suma de la evapotranspiración y la infiltración:

$$RC_{ij} + RV_{ij} + RP_{ij} = ET_{ij} + IR_{ij} + IC_{ij}$$

En esta ecuación se supone conocidas las demandas de riego y la infiltración, por lo que su aplicación permite evaluar, por diferencia, la evapotranspiración efectiva.

En el agua subterránea:

El aporte de agua subterránea desde el módulo de aguas arriba más la infiltración debe ser igual a la extracción de agua subterránea para riego más la extracción para otros usos más la variación de volumen por descenso del nivel freático más los afloramiento de la napa en forma de vertientes y más el aporte de agua subterránea al módulo siguiente:

$$QS_{i-1,j} + IR_{ij} + IC_{ij} = RP_{ij} + AP_{ij} + V_{ij} + RV_{ij} + QS_{ij}$$

En esta ecuación son conocidas la infiltración y las extracciones de agua, mientras que los caudales subterráneos correspondientes a los traspasos de recursos entre los módulos de simulación, se pueden obtener a partir de la aplicación del modelo hidrogeológico del valle de Azapa. Con esta información es posible evaluar la relación anterior y determinar las variaciones de volumen en cada uno de los módulos.

No se ha considerado el desfase de las percolaciones ya que se adoptó una discretización temporal de períodos suficientemente largos (un año).

## c) Ecuaciones de balance de masas

En el predio:

El aporte de salinidad que produce el agua del canal, más el aporte de salinidad por efecto del riego con agua subterránea, debe ser igual a la salinidad que se incorpora al suelo junto con la infiltración desde la zona de riego y desde los canales:

$$RC_{ij} \times CC_{ij} + RV_{ij} \times CV_{ij} + RP_{ij} \times C_{ij} = IR_{ij} \times CI_{ij} + IC_{ij} \times CC_{ij}$$

Esta ecuación supone que no hay un incremento acumulativo de la salinidad a nivel de la capa superficial del suelo agrícola. Esto se puede justificar por la práctica de lixiviar los suelos cuando la acumulación de sal es excesiva. Sin embargo, es posible que una parte de la salinidad se acumule en las niveles inferiores del suelo. Suponiendo que la fracción retenida por el suelo es  $\mu$ , entonces la cantidad de sal que llega al agua subterránea es:

$$(1-\mu) \times I \times CI$$

La aplicación de esta ecuación supone conocidas todas las variables, excepto la concentración de salinidad de la infiltración en la zona de riego ( $CI_{ij}$ ), valor que se puede calcular por simple balance.

En el agua subterránea:

La masa de sal en un elemento de agua subterránea al final de un período de tiempo  $T$  es igual a la masa de sal existente al inicio del período, más los aportes de sal durante el período, menos las salidas. Los aportes están constituidos por la entrada de sal desde el elemento de aguas arriba y la fracción de la infiltración que llega a las aguas subterráneas. Las salidas están constituidas por la sal contenida en las extracciones para riego y para otros usos, y en el traspaso de salinidad hacia el nodo de aguas abajo.

$$M_{ij} = M_{ij-1} + E_{ij} - S_{ij}$$

o bien,

$$V_{ij} \times C_{ij} = V_{ij-1} \times C_{ij-1} + QS_{i-1,j} \times C_{i-1,j} + (1-\mu)(IR_{ij} \times CI_{ij} + IC_{ij} \times CC_{ij} - RP_{ij} \times C_{ij} - AP_{ij} \times C_{ij} - QS_{ij} \times C_{ij})$$

La ecuación anterior permite calcular la concentración de sal en un módulo del acuífero en un período determinado, en función de la concentración en el período anterior y los aportes y extracciones de sal. Sin embargo, no puede ser usada para calcular la distribución

espacial de la concentración con independencia del período anterior, ya que no está basada en relaciones que permitan obtener esta información.

La forma correcta de aplicar esta ecuación es mediante una hipótesis razonable respecto de la distribución de salinidad inicial y luego calcular las concentraciones resultantes en los períodos siguientes.

#### 6.4.4 Información disponible

Para la elaboración del modelo se utilizó los siguientes antecedentes:

a) Catastro de sondajes y norias de la cuenca del río San José

Este catastro fue realizado por AC Ingenieros Consultores entre mayo y junio de 1996. El catastro incluye 361 pozos y 391 norias, de los cuales entrega la siguiente información: ubicación, sector, uso (agua potable, riego o industrial), cota, prueba de bombeo, profundidad, diámetro, nivel estático, nivel dinámico y caudal.

b) Antecedentes históricos de caudales de los pozos y norias

Estos antecedentes consisten en la estadística de caudales diarios bombeados desde los sondajes y norias, desde 1988 hasta 1995. En algunos casos sólo se cuenta con información hasta 1993.

c) Valores medios mensuales de la evapotranspiración en el valle de Azapa, estimados a partir de balances de masa en cada módulo de simulación.

d) Estadística de caudales del canal Azapa.

Se cuenta con estimaciones de los caudales en los canales derivados. Estas estimaciones se realizaron a partir de mediciones en la bocatoma y de las acciones de agua.

e) Percolación total por sector de riego y percolación desde los canales.

f) Información histórica de niveles de agua subterránea.

Se cuenta con información para 15 pozos, de la variación de los niveles estáticos de la napa.

## g) Datos de basamento

Se cuenta con perfiles de basamento, en donde se entrega su ubicación espacial, latitud y longitud, cota de terreno, cota del basamento y el espesor la roca.

## h) Planos de la zona de estudio

En el Plano 3.3.1-1 se presentan los pozos y las norias identificados con su número respectivo, el Plano 3.4.1-1 corresponde al trazado de las curvas isofreáticas de diferentes años en el valle de Azapa, y en los Planos 5.1.1-1a y 5.1.1-1b se pueden visualizar los distintos sectores de riego.

6.4.5 Configuración del sistema

Para efectos de la modelación, el sistema se fraccionó en 9 zonas o módulos, cada una de ellas consistentes en varios sectores de riego que conforman un unidad con cierto grado de homogeneidad. En el caso de las zonas 6 y 7, se fraccionó algunos de los sectores para evitar que se definieran zonas de tamaño significativamente superior al de otras. En el Cuadro 6.4.5-1 se presenta la distribución de sectores correspondiente a cada zona definida, con sus áreas de riego respectivas.

CUADRO 6.4.5-1  
DISTRIBUCIÓN DE SECTORES POR CADA ZONA DE RIEGO

Zona	Sector	Superficie por sector (Há)	Superficie por Zona (Há)	Km
Zona I	Ticnamar-Belén	52,74	150,57	6,8-10,6
	Surire	97,83		
Zona II	Camiña	80,01	259,83	10,6-14,6
	La Cruz	76,32		
	Hijos Livilcar	103,50		
Zona III	Livilcar	92,34	453,69	14,6-19,3
	18 de Sept.	115,47		
	Sobraya Norte	59,13		
	Sobraya Sur	186,75		
Zona IV	Cerro Blanco	313,92	437,85	19,3-25,1
	Cabuza	123,93		
Zona V	S. Irene Chuval	247,95	624,33	25,1-30,9
	Cerro Moreno	378,38		
Zona VI	Las Riveras	76,86	549,99	30,9-36,0
	San Miguel	72,09		
	Juan Noé	165,87		
	Las Maitas	166,86		
	Alto Ramírez S	68,31		
Zona VII	Juan Noé	137,52	652,68	36,0-38,8
	Las Maitas	198,36		
	Alto Ramírez N	23,13		
	Alto Ramírez S	281,16		
	Cerro Sombrero	12,51		
Zona VIII	Alto Ramírez N	2,97	1.041,21	38,8-44,5
	Cerro Sombrero	88,20		
	Pago de Gómez	409,14		
	Pago de Gómez	540,90		
Zona IX	Ciudad de Arica	0,0	0,0	44,5-45,2
Total			4170,15	4170,15

#### 6.4.6 Valores de las variables del modelo

En el Cuadro 6.4.6-1 se presentan los valores de las variables utilizadas en el modelo de calidad. La porosidad total y efectiva fue estimada según el estudio hidrogeológico del sector, que se presenta en el punto 3 de este informe y cuyo valor representativo es de un 10%.

El parámetro alfa, que representa la fracción de salinidad que es retenida por el suelo en el proceso de percolación, se calibró de acuerdo a los perfiles de salinidad históricos presentados en las Figuras A.4.1-63 a la A.4.1-68 del Anexo 4-1. Estos perfiles corresponden a análisis en puntos específicos del sector analizado y no representan cabalmente la situación media del acuífero. Sin embargo, son útiles para estudiar la tendencia que siguen los parámetros de salinidad en el acuífero.

El caudal subterráneo entrante al sistema y pasante entre cada zona corresponde al valor entregado por el modelo hidrogeológico, en su simulación del período de calibración (1988-1996).

La geometría del acuífero corresponde a una simplificación en base a la información contenida en el Anexo 3.4-1. Esta información no incluye la zona aguas arriba de Cabuza por lo que se supuso una geometría del acuífero en este sector.

La información de caudales de canales de riego y las infiltraciones desde estos canales corresponde a la presentada en el Anexo 3.6-1 de este informe.

Los caudales extraídos desde los pozos se determinaron a partir de la información que se presenta resumida en el Cuadro 3.3.2-2. En el Cuadro 3.3.1-3 se presenta un catastro en que contiene información de los usos dados a cada pozo.

La información de calidad de agua del canal Azapa corresponde al estudio "Monitoreo de la Cuenca del Valle de Azapa - Arica", realizado por Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. en 1995.

La información de la condición inicial de la simulación está hecha en base a los perfiles históricos de salinidad presentados en las Figuras A.4.1-63 a la A.4.1-68 del Anexo 4-1, estimándose la calidad en los puntos intermedios que no poseen información. No existe información de calidad de agua subterránea aguas arriba del sector Cabuza por lo que, para efectos del modelo, fue estimada a partir de la calidad medida en los primeros pozos del sector.

**CUADRO 6.4.6-1  
VARIBLES DEL MODELO**

**Datos generales del modelo**

Porosidad del acuífero	
total	0.2
efectiva	0.1

**Retención de sales del suelo (calibrado)**

sector	alfa
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0.6
7	1
8	0.5
9	

**Flujo subterráneo**

**Caudal estimado en la entrada del sector**

año	Caudal l/s	Caudal Mm3/año
1988	154	4.858
1989	186	5.864
1990	108	3.405
1991	86	2.715
1992	79	2.504
1993	69	2.168
1994	71	2.229
1995	75	2.356

**Datos generales de los módulos**

Módulo	km inicial	km final	Largo módulo m	ancho basam. m	Cota roca msnm	Area napa Mm2	Cota inicial napa msnm	Volumen inicial acuifero Mm3	Area de riego há
0	0.00	6.82	6820	800.00	785.5	5.458	849.8	69.95	0
1	6.82	10.61	3790	800.00	646.8	3.032	743.4	58.60	150.57
2	10.61	14.64	4030	800.00	569.7	3.224	667.4	63.02	259.63
3	14.64	19.34	4700	800.00	487.7	3.760	592.9	79.12	453.69
4	19.34	25.16	5820	889.82	366.6	5.179	485	122.63	437.85
5	25.16	30.94	5780	1172.07	271.1	6.775	356.5	115.71	624.33
6	30.94	36.00	5060	989.60	181.2	5.007	247	65.90	549.99
7	36.00	38.82	2820	1996.33	101.3	5.630	150.7	55.62	652.68
8	38.82	44.46	5640	3240.31	-14.1	18.275	93.84	394.53	1041.21
9	44.46	45.23	774	3745.63	-154.1	2.899	30.9	107.27	0

**Datos generales de caudales****CAUDAL POR CANAL PRINCIPAL Y DERIVADOS (Millones de m<sup>3</sup>/año)**

SECTOR	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
1	1.127	0.666	0.749	0.624	0.674	0.734	0.685	0.541
2	1.974	1.166	1.313	1.094	1.182	1.286	1.201	0.948
3	2.995	1.769	1.992	1.660	1.793	1.950	1.822	1.439
4	3.486	2.059	2.318	1.932	2.087	2.270	2.120	1.674
5	4.372	2.583	2.908	2.423	2.617	2.847	2.659	2.100
6	1.732	1.023	1.152	0.960	1.037	1.128	1.054	0.832
7	1.648	0.974	1.096	0.913	0.987	1.073	1.002	0.792
8	6.518	3.851	4.335	3.613	3.903	4.245	3.965	3.131
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	23.851	14.091	15.863	13.219	14.280	15.534	14.508	11.458

**PERCOLACIONES DESDE LAS ZONAS DE RIEGO (Millones de m<sup>3</sup>/año)**

SECTOR	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
1	0.474	0.280	0.305	0.246	0.243	0.255	0.188	0.129
2	1.201	0.710	0.784	0.578	0.425	0.447	0.342	0.231
3	1.388	0.820	0.893	0.720	0.749	0.785	0.570	0.368
4	1.545	0.913	0.998	0.809	0.873	0.922	0.582	0.390
5	1.983	1.172	1.286	1.046	0.967	0.766	0.584	0.385
6	1.823	1.260	1.092	0.788	0.711	0.715	0.710	0.577
7	2.428	1.605	1.478	1.094	1.061	1.080	0.948	0.725
8	2.212	1.307	1.473	1.186	1.306	1.422	1.336	1.058
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	13.055	8.066	8.309	6.486	6.334	6.393	5.218	3.864

**PERCOLACIONES DESDE LOS CANALES (Millones de m<sup>3</sup>/año)**

SECTOR	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
1	0.149	0.088	0.099	0.083	0.076	0.083	0.078	0.061
2	0.633	0.374	0.421	0.289	0.126	0.137	0.128	0.092
3	0.577	0.341	0.384	0.320	0.343	0.373	0.328	0.234
4	0.649	0.383	0.432	0.360	0.413	0.449	0.256	0.202
5	0.854	0.505	0.568	0.474	0.377	0.154	0.144	0.113
6	0.610	0.360	0.406	0.338	0.359	0.390	0.364	0.288
7	1.287	0.760	0.856	0.707	0.785	0.854	0.798	0.630
8	0.518	0.306	0.344	0.243	0.286	0.312	0.291	0.230
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	5.278	3.118	3.510	2.814	2.766	2.753	2.388	1.852



CAUDAL PROVENIENTE DE VERTIENTES (Millones de m3/año)

SECTOR	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	3.800	3.108	2.417	1.725	1.034	0.093	0.036	0.000
7	3.800	3.108	2.417	1.725	1.034	0.093	0.036	0.000
8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	7.600	6.216	4.834	3.450	2.069	0.186	0.073	0.000

AGUA SUBTERRANEA: AGUA POTABLE Y USOS INDUSTRIALES (Millones de m3/año)

SECTOR	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
4	0.003	0.003	0.003	0.006	0.078	0.340	2.282	2.299
5	0.176	0.176	0.188	0.199	0.199	0.328	1.457	1.491
6	1.172	1.168	1.180	1.190	1.353	1.774	2.168	1.632
7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.072	0.462	0.392	0.306
8	7.262	6.937	6.632	6.328	7.615	7.751	7.894	9.060
9	5.814	5.798	5.801	5.823	7.042	7.516	7.028	7.191
	14.427	14.084	13.806	13.547	16.361	18.171	21.222	21.979

AGUA SUBTERRANEA: RIEGO (Millones de m3/año)

SECTOR	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
4	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.034	0.037	0.036
5	1.828	1.804	1.800	1.612	1.597	1.569	1.534	1.361
6	1.561	1.556	1.536	1.516	1.525	1.538	1.700	2.197
7	1.975	1.956	1.943	1.835	1.542	1.220	1.055	1.042
8	2.931	2.923	4.060	4.098	2.933	2.552	2.405	2.339
9	0.908	0.903	0.900	0.897	0.897	0.865	0.819	0.799
	9.036	8.975	10.071	9.990	8.527	7.778	7.551	7.777

### Datos de Calidad de aguas

CONDUCTIVIDAD AGUA SUPERFICIAL:	1000	umho/cm
CONDUCTIVIDAD AGUA SUBTERRANEA	1600	umho/cm
CLORUROS AGUA SUPERFICIAL:	57.9	mg/l
CLORUROS AGUA SUBTERRANEA BASE:	280	mg/l

### CALIDAD INICIAL (1988 o anterior) AGUAS SUBTERRANEAS

SECTOR	C.E. umho/cm	Cloruros mg/l
1	1600	280
2	1600	280
3	1750	300
4	1798	311
5	1800	280
6	1930	212
7	1225	215
8	1540	223
9	1272	219

#### 6.4.7 Salidas del modelo

En el Cuadro 6.4.7-1 se presentan las salidas de modelo de simulación. La penúltima columna (Qsij) señala el caudal subterráneo considerado como dato y obtenido del modelo hidrogeológico. En las Figuras 6.4.7-1 a la 6.4.7-22 se presentan los perfiles de conductividad eléctrica y concentración de cloruros a lo largo del Valle y a lo largo del tiempo para cada uno de los sectores modelados. Estos perfiles modelados se contrastan con las curvas ajustadas a los datos históricos que se presentan en las Figuras A.4.1-63 a la A.4.1-68 del Anexo 4-1. También se incluyó la información de los últimos muestreos de conductividad eléctrica y concentración de cloruros en las figuras correspondientes.

Para los sectores 1, 2 y 3 se observa un leve incremento de la salinidad en cada módulo desde 1988 hasta 1996, que va desde 1.500 a 1.550  $\mu\text{mho/cm}$ . En el sector 4 se han determinado incrementos de conductividad desde 1.800 hasta 2.910. Sin embargo el modelo no acusa la presencia de este incremento.

En el sector 5 se observa un incremento de la conductividad desde 1.800 hasta 2.020  $\mu\text{mho/cm}$  entre 1988 y 1996. En el sector 6 se cuenta con información de calidad de las aguas que acusa un incremento de la conductividad entre 1988 y 1996 desde 1.930 hasta 2.400  $\mu\text{mho/cm}$ . Este incremento es representado en buena forma por el modelo.

En sector N°7 existe información de calidad de las aguas que indica que en este sector se produce un incremento entre 1988 y 1996 desde 1.225 hasta 1.500  $\mu\text{mho/cm}$  lo que es reproducido por el modelo indicando que hay una alta retención de salinidad en el suelo (alfa = 1). Por otro lado, la conductividad utilizada en el sector N°7 para el período inicial, es decir 1988, es demasiado baja en relación a la tendencia general, tal como se observa en el perfil de conductividad para ese año (Figura 6.4.7-10).

Por último, en el sector N°8, entre 1988 y 1996, se produce un incremento de la conductividad y cloruros desde 1.540, hasta 1.580, lo que es reproducido satisfactoriamente por el modelo.

Los perfiles de conductividad y cloruros a lo largo del tiempo entregados por el modelo representan bastante bien el fenómeno de incremento de salinidad en el tiempo y su desplazamiento hacia aguas abajo, con mayores niveles de salinidad en los sectores afectados por evapotranspiración. Es posible que si se dispone de una mejor información de calidad de aguas subterráneas no afectada por singularidades espaciales, ésta permita una mejor calibración, y por lo tanto quede mejor representada por el modelo.

**CUADRO 6.4.7-1  
SALIDAS DEL MODELO**

**Balance de agua (en millones de m3)**

**AÑO 1988 (j=1)**

i	Qi <sub>j</sub>	RV <sub>ij</sub>	RC <sub>ij</sub>	RP <sub>ij</sub>	AP <sub>ij</sub>	IC <sub>ij</sub>	IR <sub>ij</sub>	ET <sub>ij</sub>	ΔV <sub>ij</sub>	QS <sub>ij</sub>	V <sub>ij</sub> al comien
1	29.129	0.000	1.127	0.000	0.000	0.149	0.474	0.653	0.000	5.482	58.60
2	27.853	0.000	1.974	0.000	0.000	0.633	1.201	0.772	-0.000	7.316	63.02
3	25.248	0.000	2.995	0.001	0.000	0.577	1.388	1.607	7.925	1.358	79.12
4	21.674	0.000	3.486	0.032	0.003	0.649	1.545	1.973	-4.211	7.726	122.63
5	17.539	0.000	4.372	1.628	0.176	0.854	1.983	4.016	-0.732	9.492	115.71
6	12.313	3.800	1.732	1.561	1.172	0.610	1.823	5.270	1.893	3.500	65.90
7	9.971	3.800	1.648	1.975	0.000	1.287	2.428	4.995	-2.534	3.974	55.62
8	7.036	0.000	6.518	2.931	7.262	0.518	2.212	7.238	-6.486	2.996	394.53
9	0.000	0.000	0.000	0.908	5.814	0.000	0.000	0.908	-3.726	0.000	107.27
TOTAL		7.600	23.851	9.036	14.427	5.278	13.055		-7.872		1062.38

**AÑO 1989 (j=2)**

i	Qi <sub>j</sub>	RV <sub>ij</sub>	RC <sub>ij</sub>	RP <sub>ij</sub>	AP <sub>ij</sub>	IC <sub>ij</sub>	IR <sub>ij</sub>	ET <sub>ij</sub>	ΔV <sub>ij</sub>	QS <sub>ij</sub>	V <sub>ij</sub>
1	17.209	0.000	0.666	0.000	0.000	0.088	0.280	0.386	0.000	6.233	58.60
2	16.455	0.000	1.166	0.000	0.000	0.374	0.710	0.456	0.000	7.316	63.02
3	14.915	0.000	1.769	0.001	0.001	0.341	0.820	0.950	6.615	1.861	67.04
4	12.805	0.000	2.059	0.032	0.003	0.383	0.913	1.178	-4.352	7.474	118.42
5	10.362	0.000	2.583	1.604	0.176	0.505	1.172	3.015	2.808	4.762	114.98
6	7.275	3.108	1.023	1.556	1.168	0.360	1.260	4.428	-2.383	2.933	67.79
7	5.891	3.108	0.974	1.956	0.000	0.760	1.605	4.433	-2.825	3.059	53.09
8	4.157	0.000	3.851	2.923	6.937	0.306	1.307	5.467	-8.279	3.091	388.04
9	-0.000	0.000	0.000	0.903	5.798	0.000	0.000	0.903	-3.610	0.000	103.54
TOTAL		6.216	14.091	8.975	14.084	3.118	8.066		-12.225		1054.51

**AÑO 1990 (j=3)**

i	Qi <sub>j</sub>	RV <sub>ij</sub>	RC <sub>ij</sub>	RP <sub>ij</sub>	AP <sub>ij</sub>	IC <sub>ij</sub>	IR <sub>ij</sub>	ET <sub>ij</sub>	ΔV <sub>ij</sub>	QS <sub>ij</sub>	V <sub>ij</sub>
1	19.373	0.000	0.749	0.000	0.000	0.099	0.305	0.444	0.000	3.809	58.60
2	18.525	0.000	1.313	0.000	0.000	0.421	0.784	0.529	0.000	5.014	63.02
3	16.791	0.000	1.992	0.001	0.001	0.384	0.893	1.099	4.207	2.081	93.66
4	14.415	0.000	2.318	0.032	0.003	0.432	0.998	1.352	-3.493	6.969	114.07
5	11.665	0.000	2.908	1.600	0.188	0.568	1.286	3.221	3.000	4.037	117.59
6	8.189	2.417	1.152	1.536	1.180	0.406	1.092	4.014	-2.658	3.059	65.41
7	6.632	2.417	1.096	1.943	0.000	0.856	1.478	3.978	-1.742	2.775	50.26
8	4.680	0.000	4.335	4.060	6.632	0.344	1.473	6.923	-9.065	2.964	379.76
9	-0.000	0.000	0.000	0.900	5.801	0.000	0.000	0.900	-3.736	0.000	99.93
TOTAL		4.834	15.863	10.071	13.806	3.510	8.309		-13.487		1042.29

AÑO 1991 (j=4)

i	Qij	RVij	RCij	RPij	APIj	ICij	IRij	ETij	ΔVij	QSij	Vij
1	16.033	0.000	0.624	0.000	0.000	0.083	0.246	0.379	0.000	3.043	58.60
2	15.326	0.000	1.094	0.000	0.000	0.289	0.578	0.516	0.000	3.910	63.02
3	13.943	0.000	1.660	0.001	0.001	0.320	0.720	0.941	-2.709	2.239	97.86
4	11.963	0.000	1.932	0.032	0.006	0.360	0.809	1.154	-3.063	6.433	110.58
5	9.671	0.000	2.423	1.612	0.199	0.474	1.046	2.989	2.579	3.564	120.59
6	6.775	1.725	0.960	1.516	1.190	0.338	0.788	3.414	-2.896	3.154	62.75
7	5.477	1.725	0.913	1.835	0.000	0.707	1.094	3.379	-1.222	2.617	48.52
8	3.856	0.000	3.613	4.098	6.328	0.243	1.186	6.526	-9.155	2.775	370.70
9	-0.000	0.000	0.000	0.897	5.823	0.000	0.000	0.897	-3.944	0.000	96.19
TOTAL		3.450	13.219	9.990	13.547	2.814	6.466		-14.993		1028.80

AÑO 1992 (j=5)

i	Qij	RVij	RCij	RPij	APIj	ICij	IRij	ETij	ΔVij	QSij	Vij
1	17.046	0.000	0.674	0.000	0.000	0.076	0.243	0.432	0.000	2.823	58.60
2	16.295	0.000	1.182	0.000	0.000	0.126	0.425	0.757	0.000	3.374	63.02
3	14.987	0.000	1.793	0.001	0.001	0.343	0.749	1.045	2.036	2.428	100.57
4	12.851	0.000	2.087	0.032	0.078	0.413	0.873	1.246	-2.325	5.929	107.51
5	10.351	0.000	2.617	1.597	0.199	0.377	0.967	3.247	2.134	3.343	123.16
6	7.357	1.034	1.037	1.525	1.353	0.359	0.711	2.885	-2.906	3.406	59.85
7	5.961	1.034	0.987	1.542	0.072	0.785	1.061	2.502	0.207	2.397	47.30
8	4.189	0.000	3.903	2.933	7.615	0.286	1.306	5.530	-9.240	2.681	361.54
9	-0.000	0.000	0.000	0.897	7.042	0.000	0.000	0.897	-5.259	0.000	92.25
TOTAL		2.069	14.280	8.527	16.361	2.766	6.334		-15.352		1013.61

AÑO 1993 (j=6)

i	Qij	RVij	RCij	RPij	APIj	ICij	IRij	ETij	ΔVij	QSij	Vij
1	18.287	0.000	0.734	0.000	0.000	0.083	0.255	0.479	0.000	2.506	58.60
2	17.470	0.000	1.286	0.000	0.000	0.137	0.447	0.839	0.000	3.091	63.02
3	16.047	0.000	1.950	0.001	0.000	0.373	0.785	1.166	1.693	2.554	102.61
4	13.724	0.000	2.270	0.034	0.340	0.449	0.922	1.381	-1.840	5.393	105.19
5	11.004	0.000	2.847	1.569	0.328	0.154	0.766	3.650	1.230	3.185	125.30
6	8.003	0.093	1.128	1.538	1.774	0.390	0.715	2.044	-2.457	3.343	56.95
7	6.485	0.093	1.073	1.220	0.462	0.854	1.080	1.306	1.012	2.491	47.50
8	4.557	0.000	4.245	2.552	7.751	0.312	1.422	5.375	-8.537	2.460	352.30
9	-0.000	0.000	0.000	0.865	7.516	0.000	0.000	0.865	-5.921	0.000	86.99
TOTAL		0.186	15.534	7.778	18.171	2.753	6.393		-14.820		998.46

AÑO 1994 (j=7)

i	Qij	RVij	RCij	RPij	APIj	ICij	IRij	ETij	ΔVij	QSij	Vij
1	16.896	0.000	0.685	0.000	0.000	0.078	0.188	0.497	0.000	2.495	58.60
2	16.133	0.000	1.201	0.000	0.000	0.128	0.342	0.859	0.000	2.964	63.02
3	14.804	0.000	1.822	0.001	0.000	0.328	0.570	1.252	1.654	2.208	104.30
4	12.654	0.000	2.120	0.037	2.282	0.256	0.562	1.596	-4.339	5.046	103.35
5	10.277	0.000	2.659	1.534	1.457	0.144	0.564	3.630	-0.329	3.091	126.53
6	7.474	0.036	1.054	1.700	2.168	0.364	0.710	2.080	-2.925	3.185	54.49
7	6.056	0.036	1.002	1.055	0.392	0.798	0.948	1.145	0.957	2.491	48.52
8	4.256	0.000	3.965	2.405	7.894	0.291	1.336	5.034	-8.609	2.428	343.77
9	0.000	0.000	0.000	0.819	7.028	0.000	0.000	0.819	-5.419	0.000	81.07
TOTAL		0.073	14.508	7.551	21.222	2.388	5.218		-19.010		983.64

AÑO 1995 (j=8)

i	Qij	RVij	RCij	RPij	APIj	ICij	IRij	ETij	ΔVij	QSij	Vij
1	13.309	0.000	0.541	0.000	0.000	0.061	0.129	0.412	0.000	2.547	58.60
2	12.707	0.000	0.948	0.000	0.000	0.092	0.231	0.717	0.000	2.870	63.02
3	11.666	0.000	1.439	0.001	0.000	0.234	0.368	1.071	1.485	1.987	105.96
4	9.993	0.000	1.674	0.038	2.299	0.202	0.390	1.323	-4.551	4.793	99.01
5	8.117	0.000	2.100	1.361	1.491	0.113	0.385	3.076	-0.682	3.122	126.20
6	5.903	0.000	0.832	2.197	1.632	0.288	0.577	2.453	-2.996	3.154	51.56
7	4.783	0.000	0.792	1.042	0.306	0.630	0.725	1.108	0.764	2.397	49.47
8	3.361	0.000	3.131	2.339	9.060	0.230	1.058	4.412	-9.764	2.050	335.16
9	-0.000	0.000	0.000	0.799	7.191	0.000	0.000	0.799	-5.940	0.000	75.65
TOTAL		0.000	11.458	7.777	21.979	1.852	3.664		-21.684		964.63

**Balance de salinidad (conductividad eléctrica umho/cm)**

AÑO 1988 (j=1)

i	CCij	CVij	CIRij	Cij al comienzo
1	1000.00	1600.00	2377.16	1600.0
2	1000.00	1600.00	1642.91	1600.0
3	1000.00	1750.00	2158.24	1750.0
4	1000.00	1798.00	2293.34	1798.0
5	1000.00	1800.00	3681.60	1800.0
6	1000.00	1930.00	6624.09	1930.0
7	1000.00	1225.00	3592.78	1225.0
8	1000.00	1540.00	4987.03	1540.0
9	1000.00	1272.00	0.00	1272.0

AÑO 1989 (j=2)

i	CCij	CVij	CIRij	Cij
1	1000.00	1604.75	2377.08	1604.8
2	1000.00	1594.79	1642.93	1594.8
3	1000.00	1738.93	2158.92	1738.9
4	1000.00	1799.54	2318.93	1799.5
5	1000.00	1826.38	4704.96	1826.4
6	1000.00	2025.58	8309.33	2025.6
7	1000.00	1273.45	4625.07	1273.5
8	1000.00	1540.82	6391.94	1540.8
9	1000.00	1279.75	0.00	1279.8

AÑO 1990 (j=3)

i	CCij	CVij	CIRij	Cij
1	1000.00	1607.06	2456.82	1607.1
2	1000.00	1592.79	1675.14	1592.8
3	1000.00	1728.66	2231.92	1728.7
4	1000.00	1800.02	2379.97	1800.0
5	1000.00	1849.80	4580.69	1849.8
6	1000.00	2123.38	8746.07	2123.4
7	1000.00	1336.16	4683.57	1336.2
8	1000.00	1543.53	7197.52	1543.5
9	1000.00	1287.83	0.00	1287.8

AÑO 1991 (j=4)

i	CCij	CVij	CIRij	Cij
1	1000.00	1610.04	2542.06	1610.0
2	1000.00	1590.72	1892.25	1590.7
3	1000.00	1723.43	2307.40	1723.4
4	1000.00	1800.79	2458.11	1800.8
5	1000.00	1871.84	5200.38	1871.8
6	1000.00	2200.36	*****	2200.4
7	1000.00	1388.09	5350.99	1388.1
8	1000.00	1549.17	8402.58	1549.2
9	1000.00	1295.71	0.00	1295.7

**AÑO 1992 (j=5)**

i	CCij	CVij	CIRij	Cij
1	1000.00	1612.62	2775.86	1612.6
2	1000.00	1591.71	2781.88	1591.7
3	1000.00	1720.15	2396.75	1720.2
4	1000.00	1801.44	2456.95	1801.4
5	1000.00	1893.05	5830.63	1893.0
6	1000.00	2259.16	9586.04	2259.2
7	1000.00	1440.01	4427.00	1440.0
8	1000.00	1556.00	6485.07	1556.0
9	1000.00	1303.33	0.00	1303.3

**AÑO 1993 (j=6)**

i	CCij	CVij	CIRij	Cij
1	1000.00	1616.11	2880.56	1616.1
2	1000.00	1599.48	2875.69	1599.5
3	1000.00	1718.45	2485.51	1718.5
4	1000.00	1801.86	2526.87	1801.9
5	1000.00	1916.42	7641.03	1916.4
6	1000.00	2286.68	6790.13	2286.7
7	1000.00	1474.13	2785.55	1474.1
8	1000.00	1560.60	5786.01	1560.6
9	1000.00	1311.12	0.00	1311.1

**AÑO 1994 (j=7)**

i	CCij	CVij	CIRij	Cij
1	1000.00	1620.13	3644.70	1620.1
2	1000.00	1607.89	3514.57	1607.9
3	1000.00	1718.13	3199.02	1718.1
4	1000.00	1802.78	3893.76	1802.8
5	1000.00	1945.09	*****	1945.1
6	1000.00	2261.07	7016.70	2261.1
7	1000.00	1474.16	2753.48	1474.2
8	1000.00	1564.52	5784.74	1564.5
9	1000.00	1318.69	0.00	1318.7

**AÑO 1995 (j=8)**

i	CCij	CVij	CIRij	Cij	Cij+1
1	1000.00	1625.04	4184.71	1625.0	1629.0
2	1000.00	1617.48	4106.70	1617.5	1626.0
3	1000.00	1720.79	3907.66	1720.8	1724.0
4	1000.00	1810.67	4468.20	1810.7	1818.0
5	1000.00	1974.35	*****	1974.4	1999.3
6	1000.00	2238.08	9967.48	2238.1	2231.0
7	1000.00	1473.87	3209.68	1473.9	1482.1
8	1000.00	1568.22	6424.92	1568.2	1572.1
9	1000.00	1326.58	0.00	1326.6	1333.7



Balance de salinidad (cloruros mg/l)

AÑO 1988 (j=1)

i	CCij	CVij	CIRij	Cij al comienzo
1	57.90	280.00	137.64	280.0
2	57.90	280.00	95.12	280.0
3	57.90	300.00	125.07	300.0
4	57.90	311.00	137.05	311.0
5	57.90	260.00	341.01	260.0
6	57.90	212.00	678.27	212.0
7	57.90	183.00	474.62	183.0
8	57.90	223.00	466.09	223.0
9	57.90	219.00	0.00	219.0

AÑO 1989 (j=2)

i	CCij	CVij	CIRij	Cij
1	57.90	278.28	137.63	278.3
2	57.90	274.24	95.13	274.2
3	57.90	293.92	125.17	293.9
4	57.90	307.22	141.33	307.2
5	57.90	263.32	488.18	263.3
6	57.90	230.50	900.17	230.5
7	57.90	185.21	619.55	185.2
8	57.90	222.39	667.89	222.4
9	57.90	219.12	0.00	219.1

AÑO 1990 (j=3)

i	CCij	CVij	CIRij	Cij
1	57.90	277.45	142.25	277.4
2	57.90	271.34	96.99	271.3
3	57.90	290.05	129.38	290.0
4	57.90	304.84	144.18	304.8
5	57.90	267.47	463.50	267.5
6	57.90	245.20	949.18	245.2
7	57.90	190.59	605.21	190.6
8	57.90	222.32	783.18	222.3
9	57.90	219.22	0.00	219.2

AÑO 1991 (j=4)

i	CCij	CVij	CIRij	Cij
1	57.90	276.52	147.19	276.5
2	57.90	268.12	109.56	268.1
3	57.90	286.71	133.79	286.7
4	57.90	302.14	150.09	302.1
5	57.90	270.73	551.25	270.7
6	57.90	256.98	1127.84	257.0
7	57.90	194.36	680.68	194.4
8	57.90	222.57	945.84	222.6
9	57.90	219.31	0.00	219.3

**AÑO 1992 (j=5)**

i	CCij	CVij	CIRij	Cij
1	57.90	275.83	160.72	275.8
2	57.90	266.10	161.07	266.1
3	57.90	284.17	138.95	284.2
4	57.90	299.86	149.39	299.9
5	57.90	273.94	608.84	273.9
6	57.90	266.44	1043.03	266.4
7	57.90	198.22	535.22	198.2
8	57.90	223.06	674.24	223.1
9	57.90	219.41	0.00	219.4

**AÑO 1993 (j=6)**

i	CCij	CVij	CIRij	Cij
1	57.90	275.25	166.78	275.2
2	57.90	265.41	166.50	265.4
3	57.90	281.76	144.08	281.8
4	57.90	297.30	153.33	297.3
5	57.90	277.10	782.68	277.1
6	57.90	272.07	711.56	272.1
7	57.90	199.72	300.31	199.7
8	57.90	223.16	573.30	223.2
9	57.90	219.52	0.00	219.5

**AÑO 1994 (j=7)**

i	CCij	CVij	CIRij	Cij
1	57.90	274.64	211.03	274.6
2	57.90	264.65	203.49	264.7
3	57.90	279.44	185.45	279.4
4	57.90	294.59	237.94	294.6
5	57.90	280.76	1037.48	280.8
6	57.90	271.21	749.51	271.2
7	57.90	197.13	288.05	197.1
8	57.90	223.07	573.45	223.1
9	57.90	219.63	0.00	219.6

**AÑO 1995 (j=8)**

i	CCij	CVij	CIRij	Cij	Cij+1
1	57.90	274.36	242.29	274.4	274.3
2	57.90	264.30	237.78	264.3	264.3
3	57.90	277.83	226.61	277.8	276.8
4	57.90	293.32	277.22	293.3	292.4
5	57.90	284.44	1322.52	284.4	287.8
6	57.90	270.62	1114.31	270.6	272.1
7	57.90	195.08	343.53	195.1	194.6
8	57.90	222.96	664.11	223.0	223.0
9	57.90	219.74	0.00	219.7	219.8

FIGURA 6.4.7-1

# Conductividades a lo largo del tiempo

Zona N°1

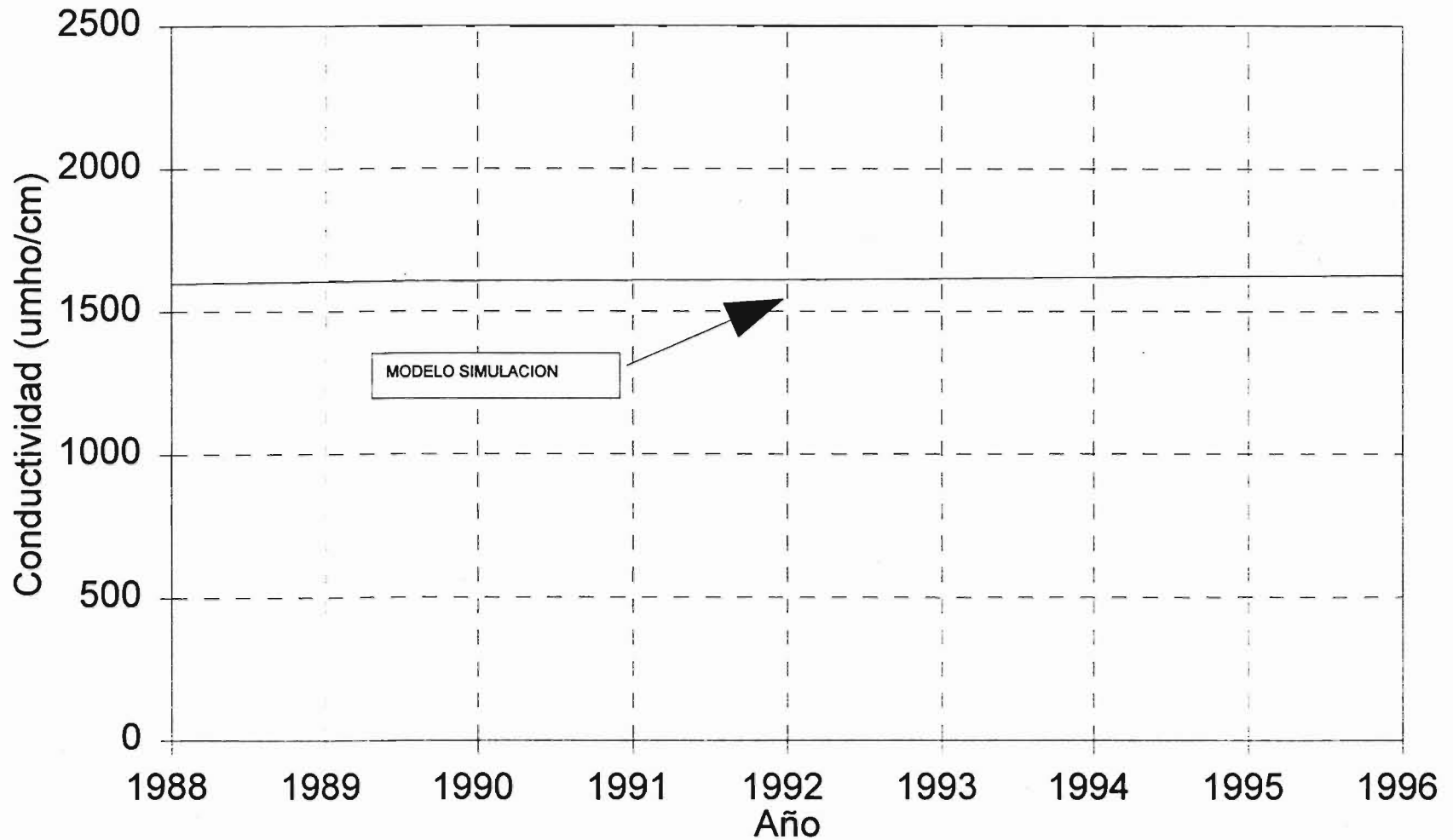


FIGURA 6.4.7-2

# Conductividades a lo largo del tiempo

Zona N°2

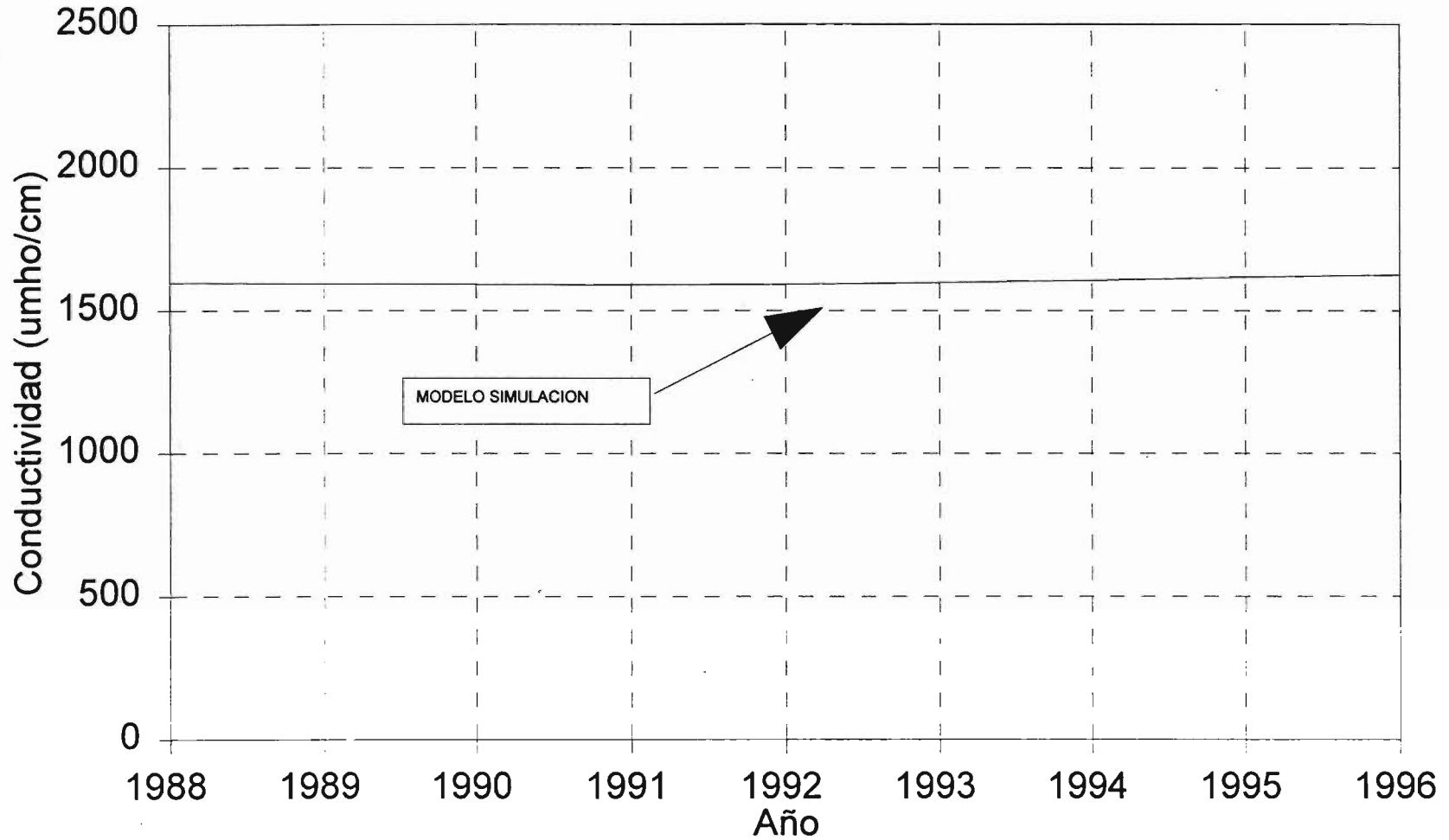


FIGURA 6.4.7-3

# Conductividades a lo largo del tiempo

Zona N°3

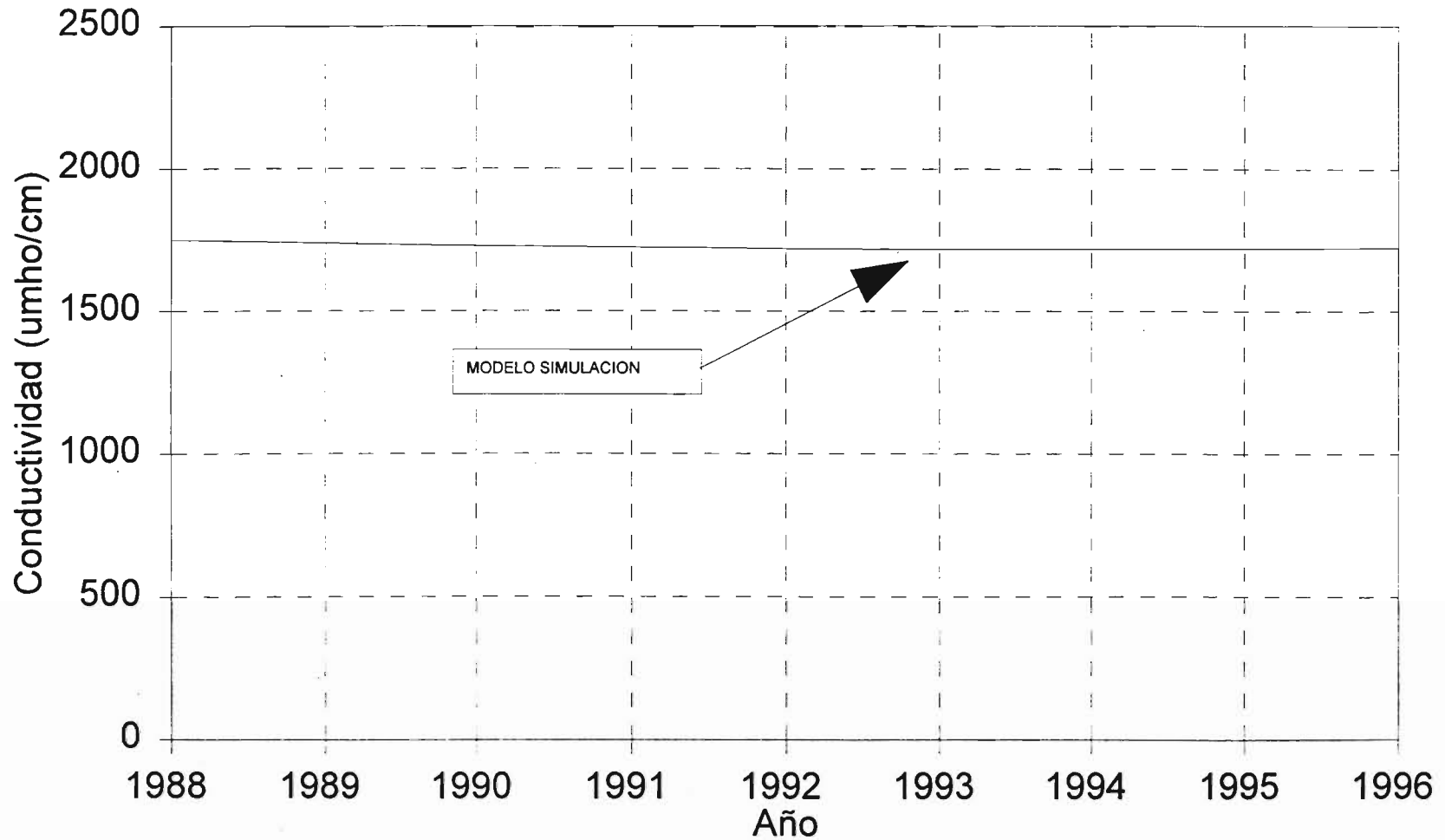


FIGURA 6.4.7-4  
Conductividades a lo largo del tiempo  
Zona N°4

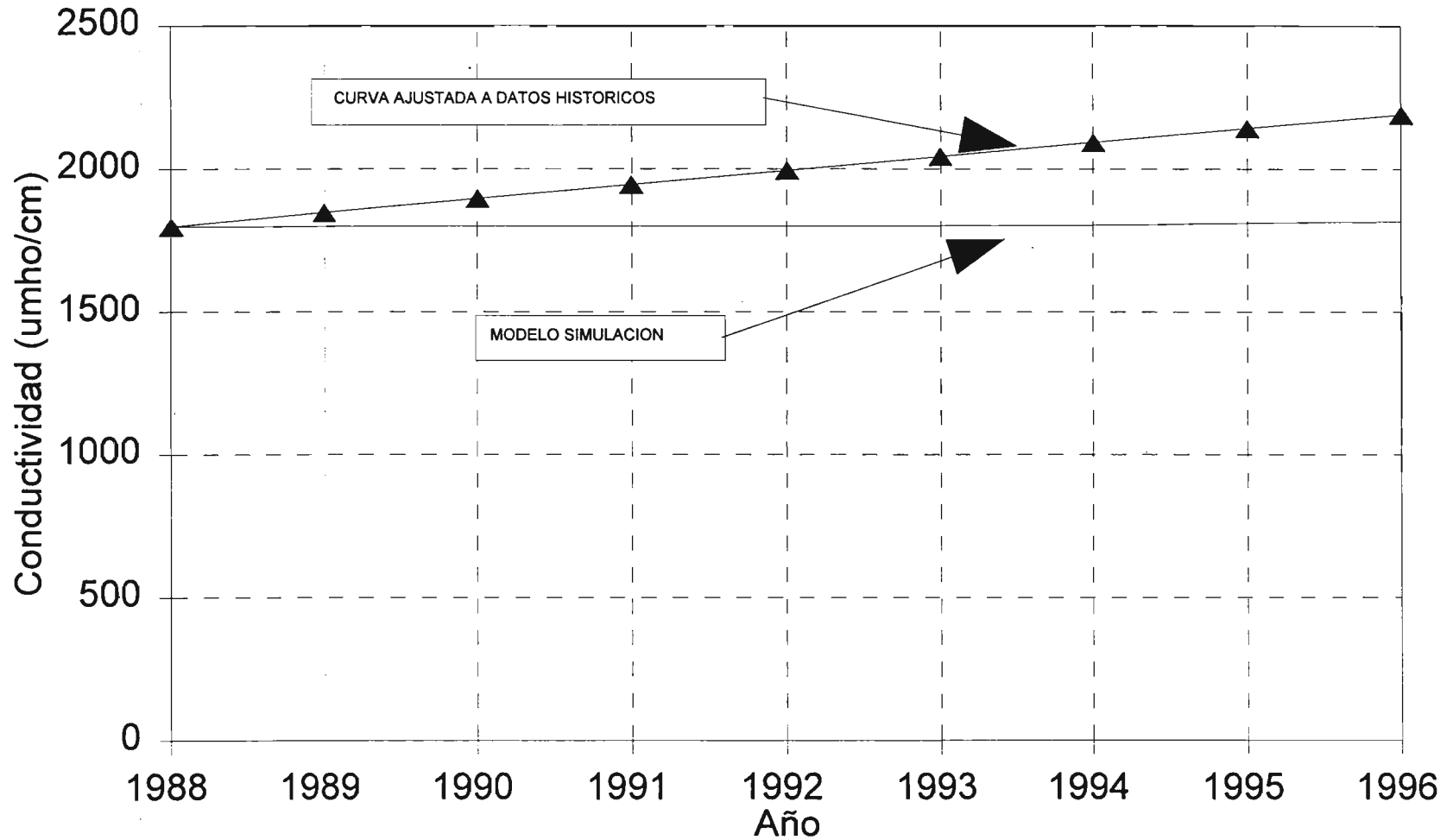


FIGURA 6.4.7-5

# Conductividades a lo largo del tiempo

Zona N°5

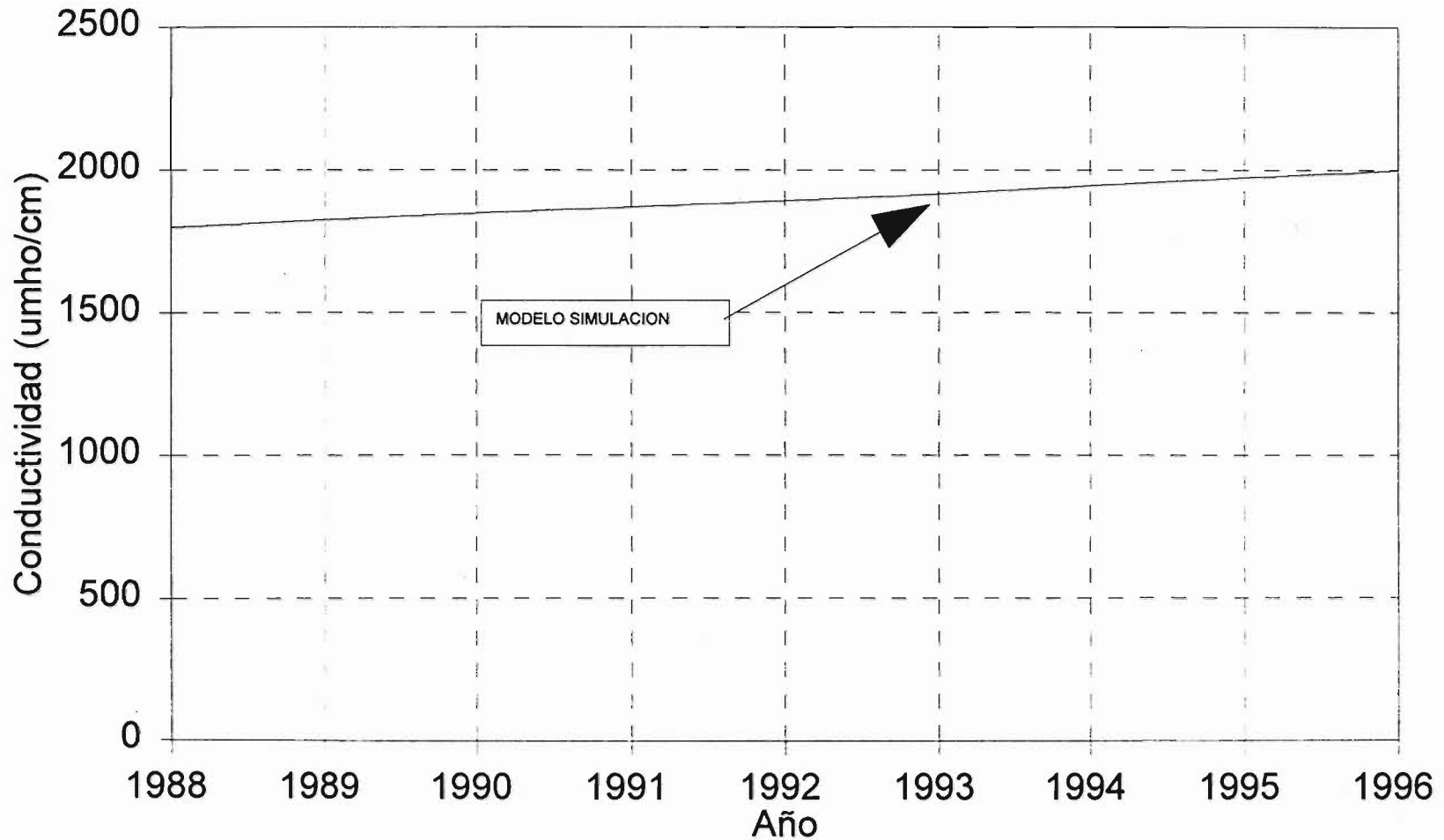


FIGURA 6.4.7-6

# Conductividades a lo largo del tiempo

Zona N°6

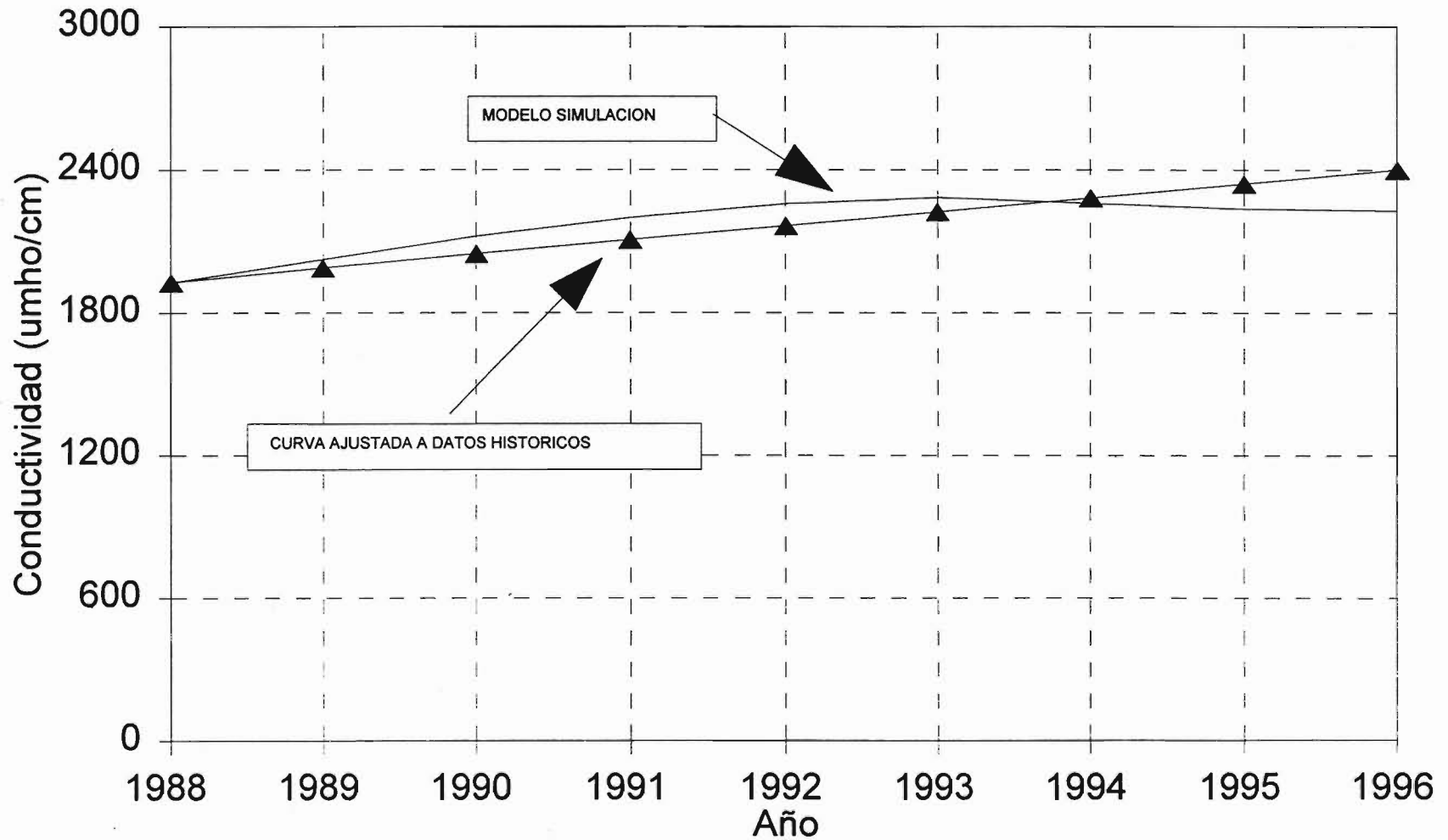




FIGURA 6.4.7-7

# Conductividades a lo largo del tiempo

Zona N°7

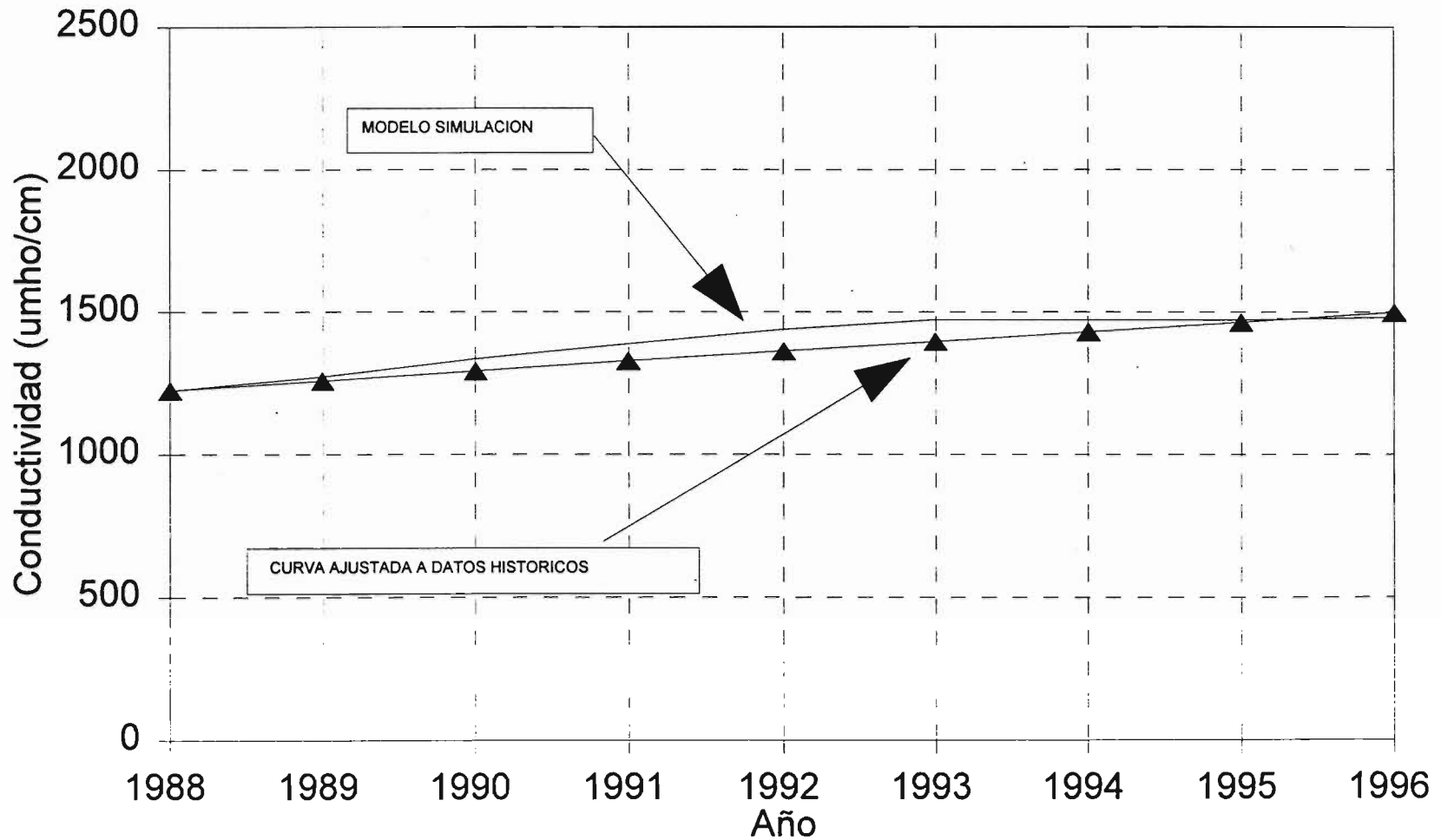


FIGURA 6.4.7-8  
Conductividades a lo largo del tiempo  
Zona N°8

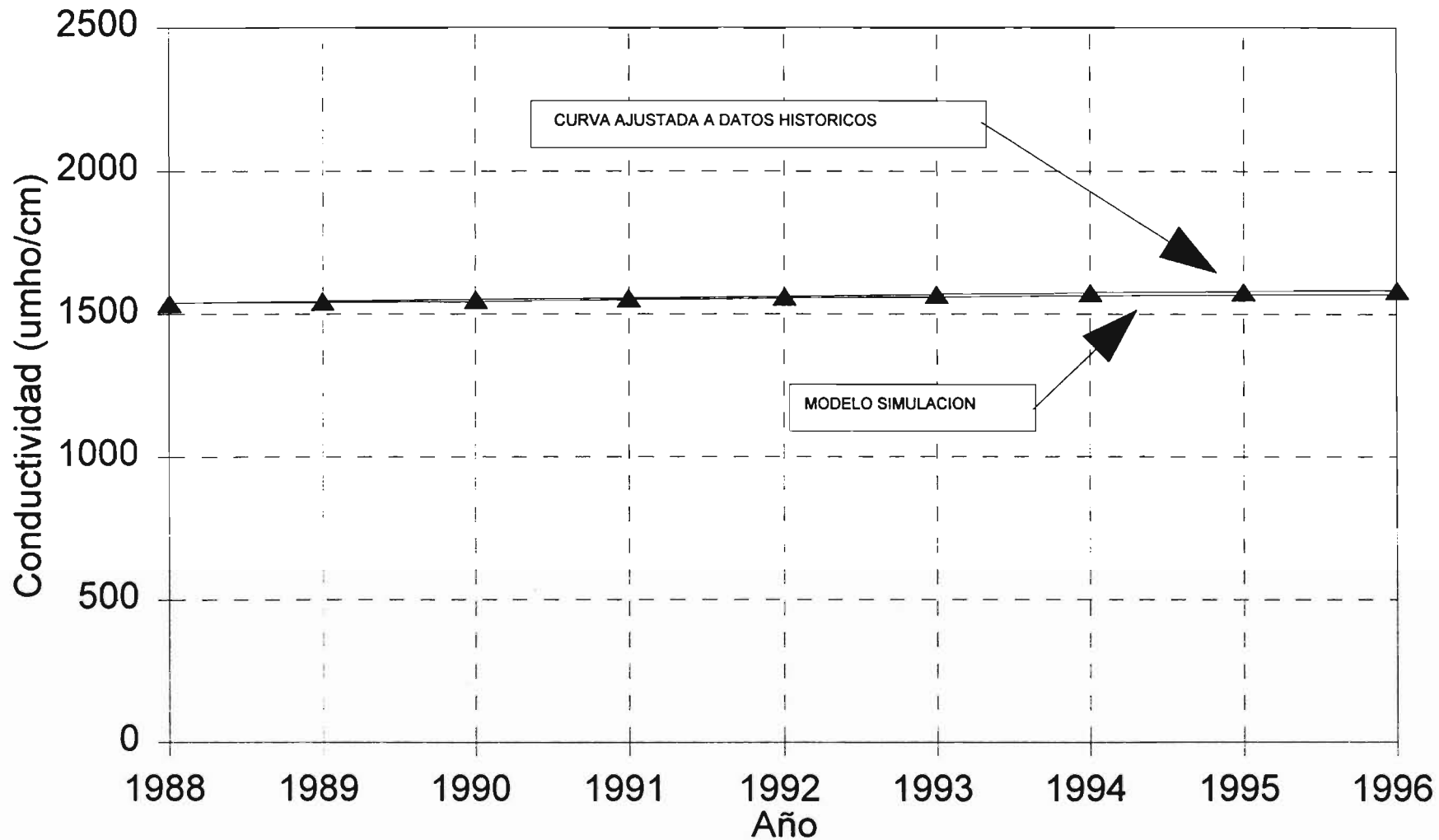


FIGURA 6.4.7-9

# Conductividades a lo largo del tiempo

Zona N°9

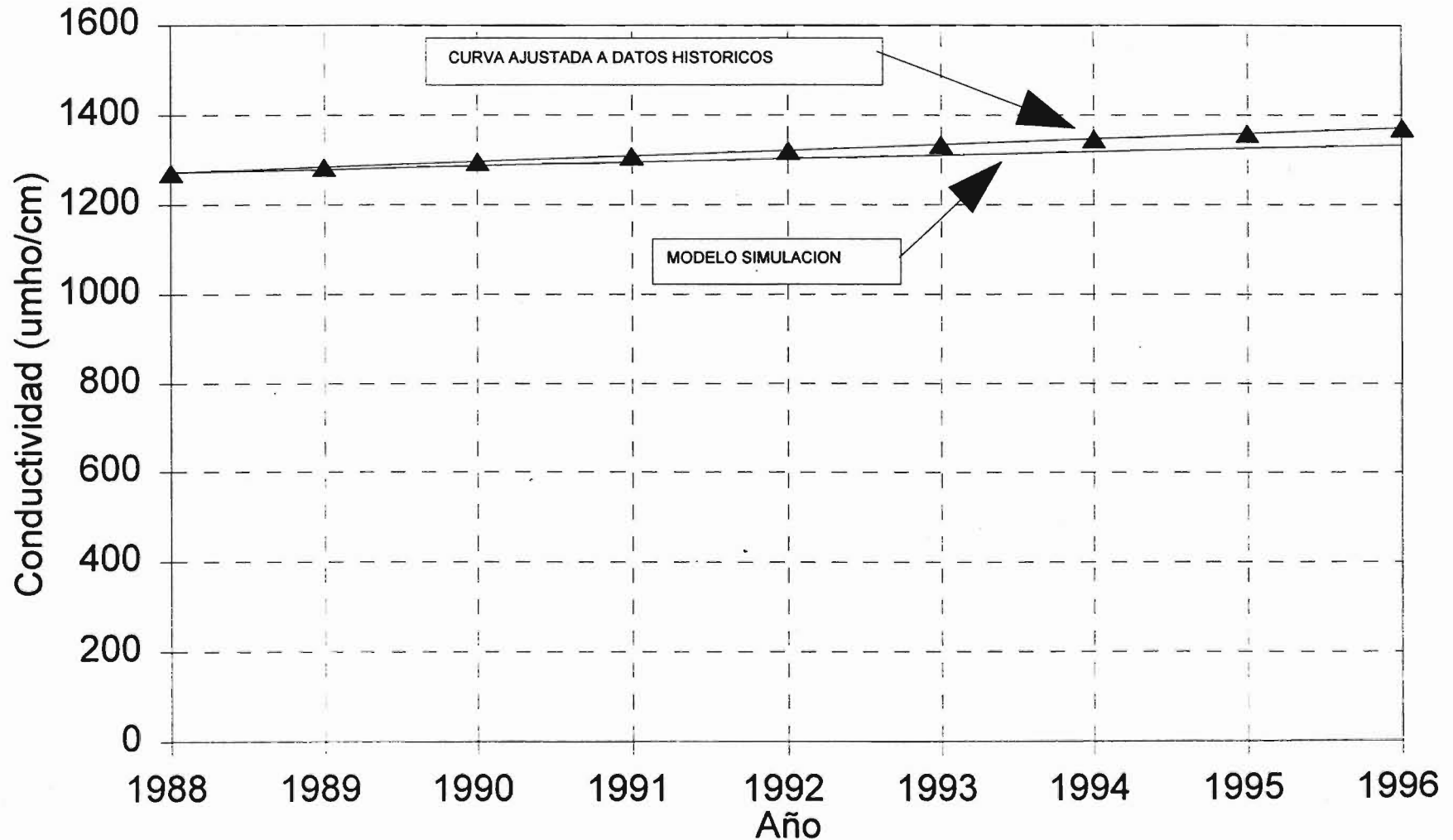


FIGURA 6.4.7-10

# Perfiles de conductividades simuladas

Años 1988, 1990, 1992, 1994 y 1996

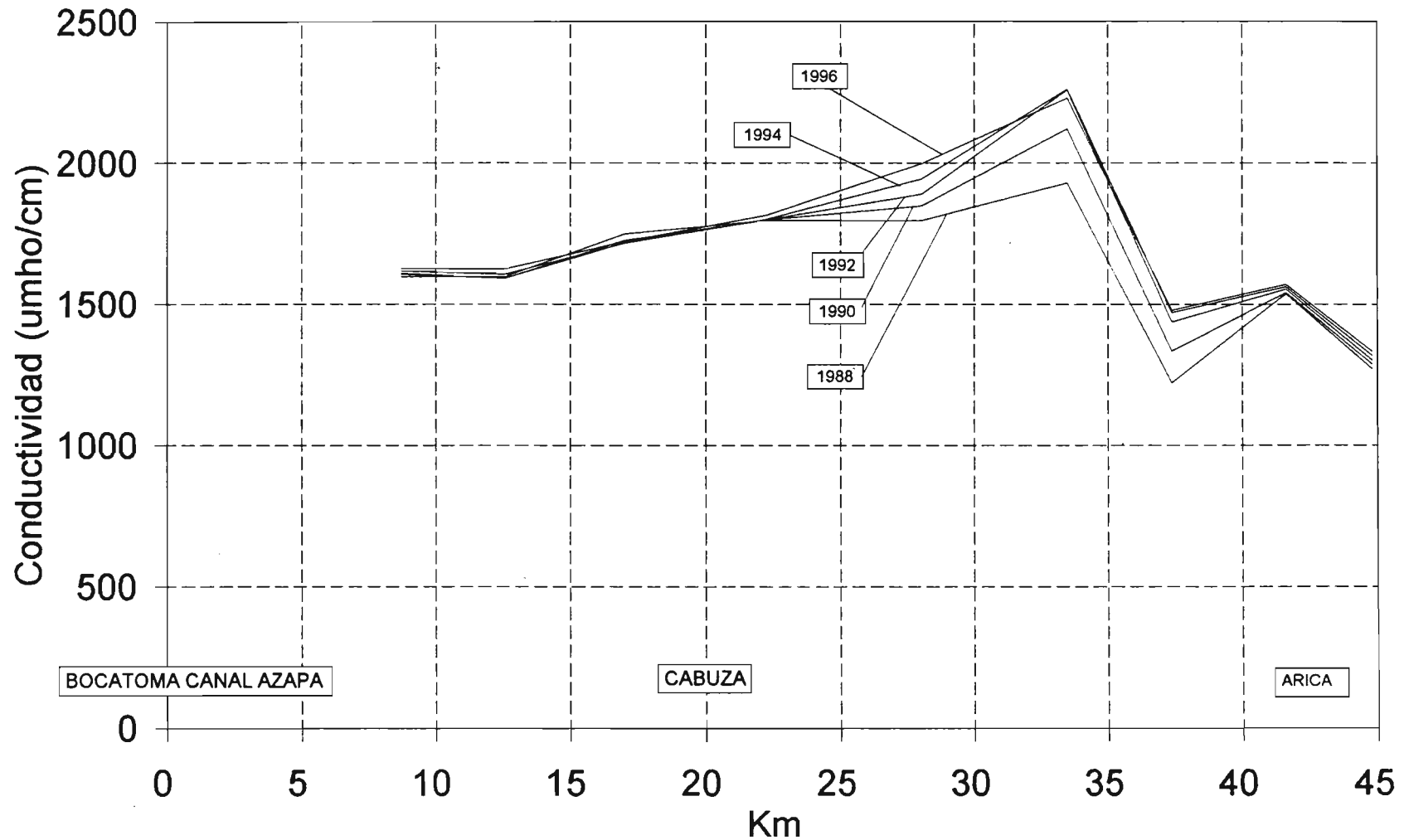
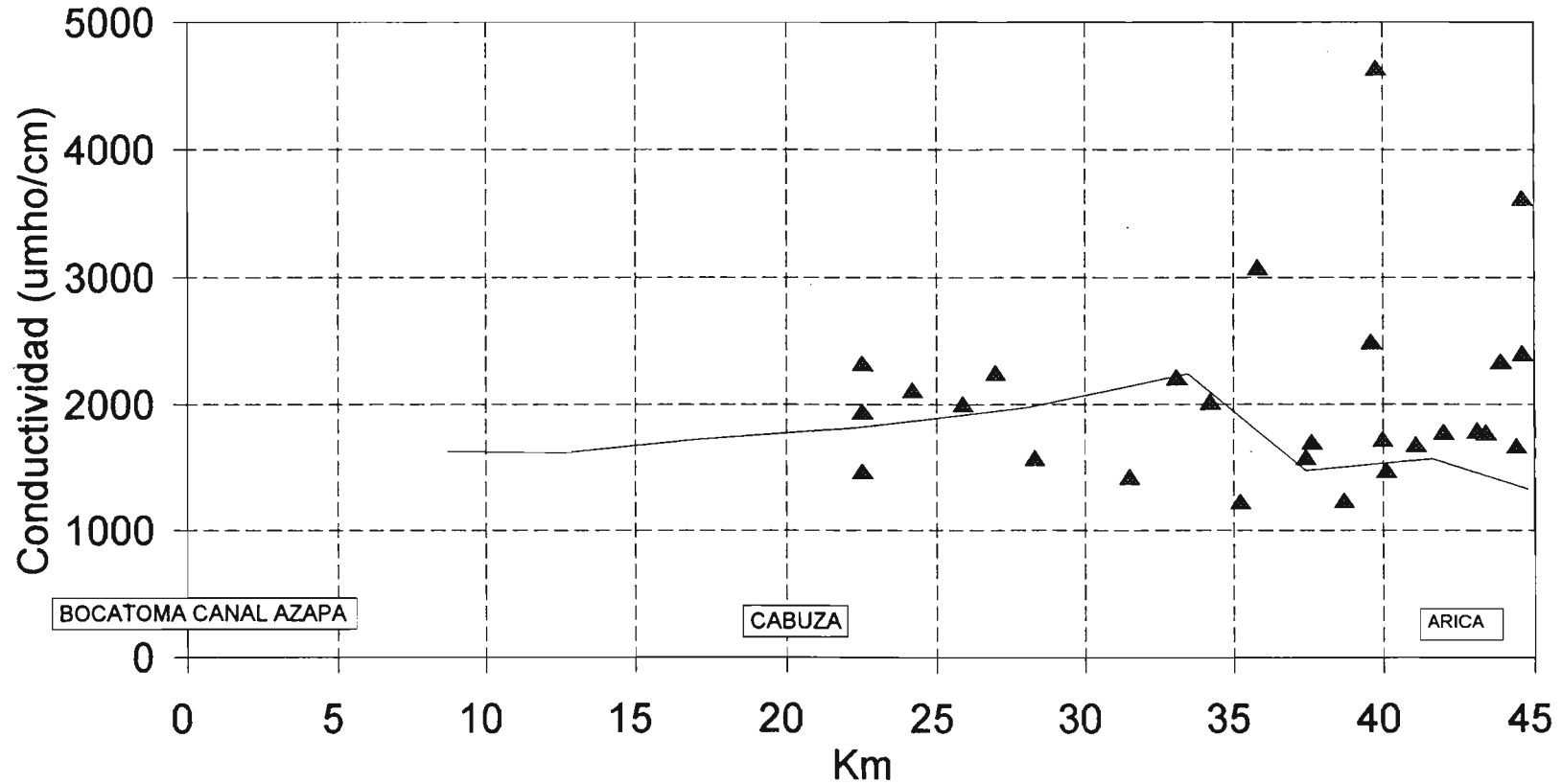


FIGURA 6.4.7-11

# Perfil de conductividades simuladas versus medidas año 1995



— Modelo simulación    ▲ muestreo 1995

FIGURA 6.4.7-12

# Cloruros a lo largo del tiempo

Zona N°1

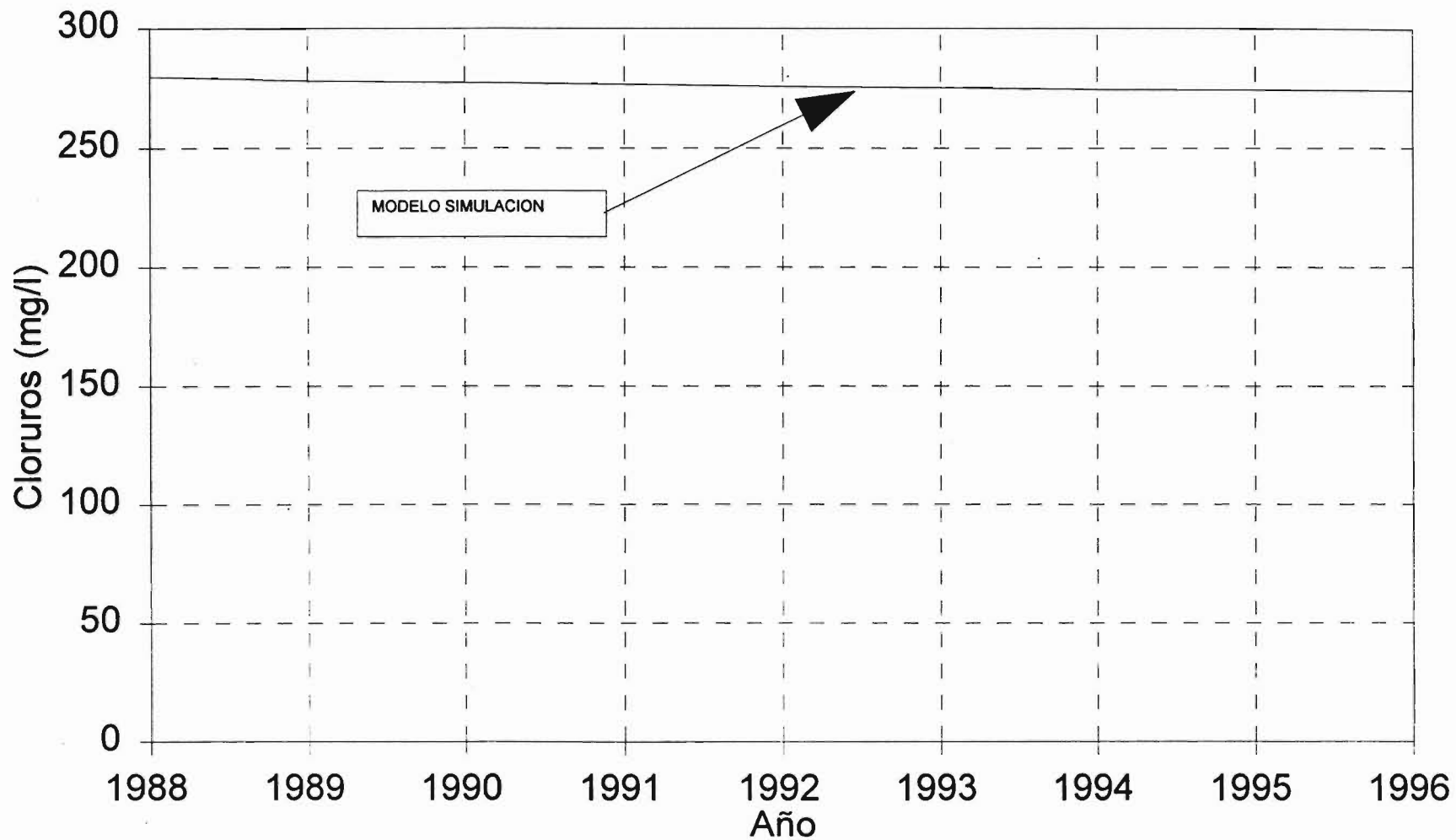


FIGURA 6.4.7-13

# Cloruros a lo largo del tiempo

Zona N°2

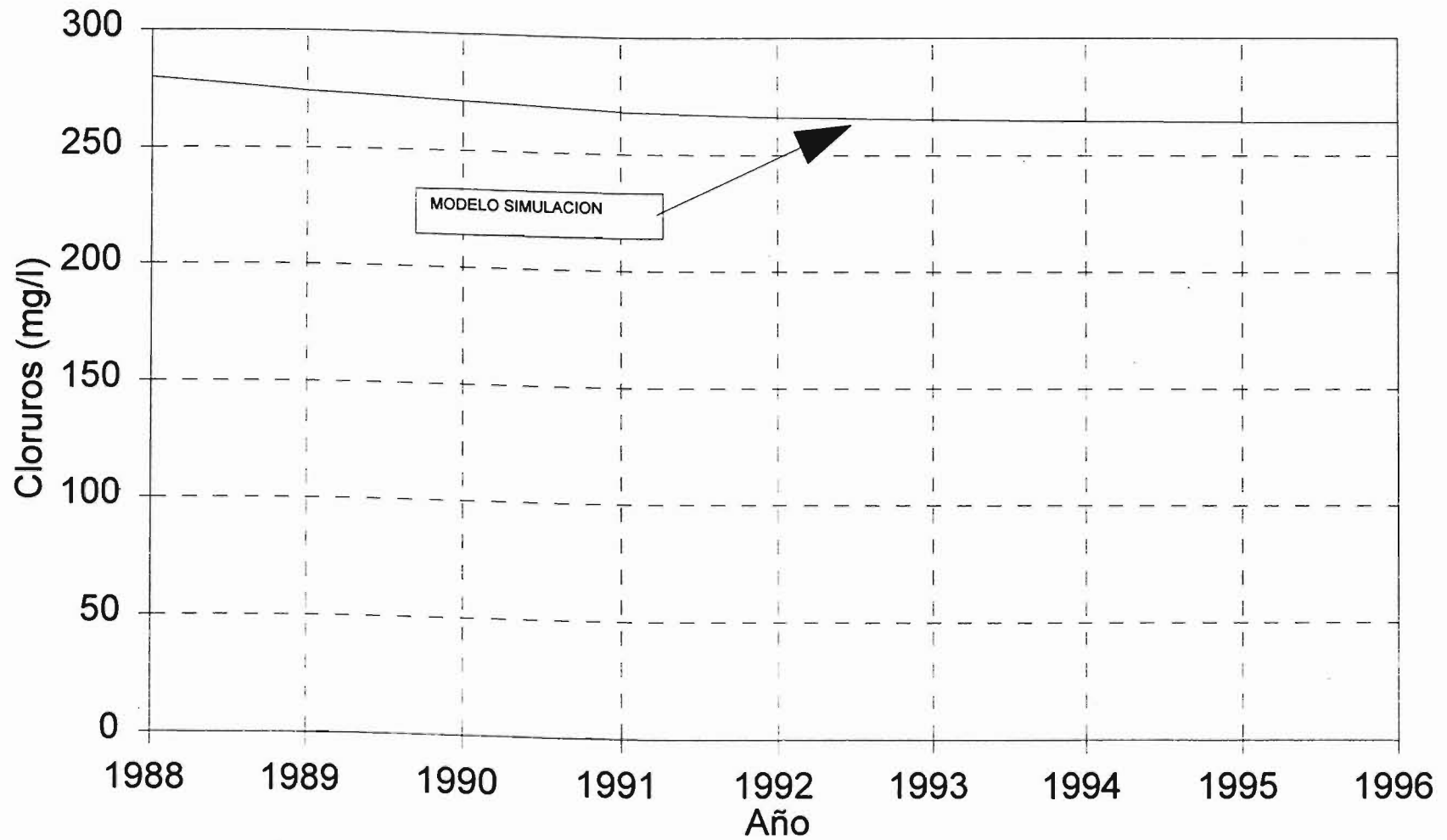


FIGURA 6.4.7-14

# Cloruros a lo largo del tiempo

## Zona N°3

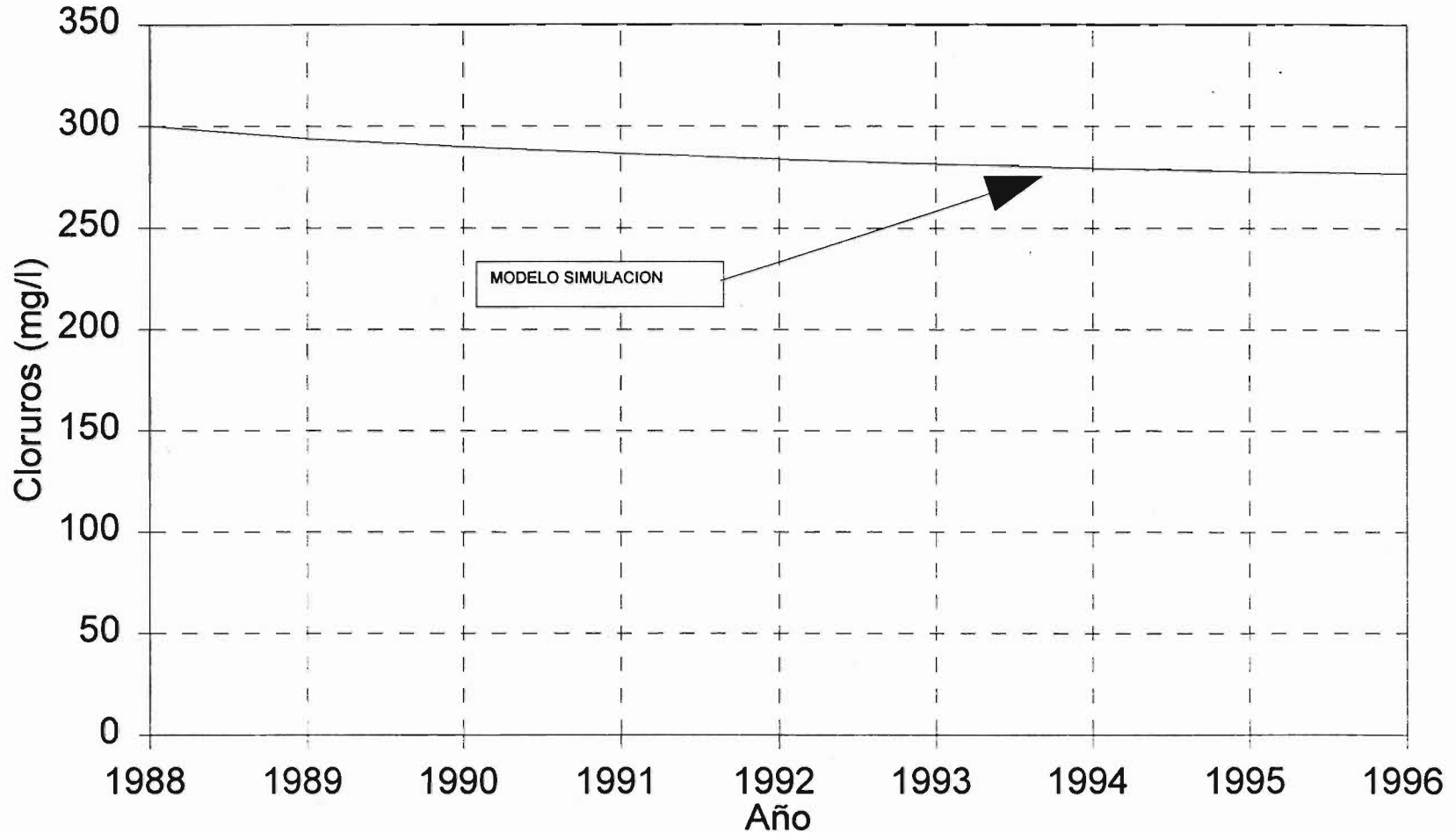




FIGURA 6.4.7-15

# Cloruros a lo largo del tiempo

## Zona N°4

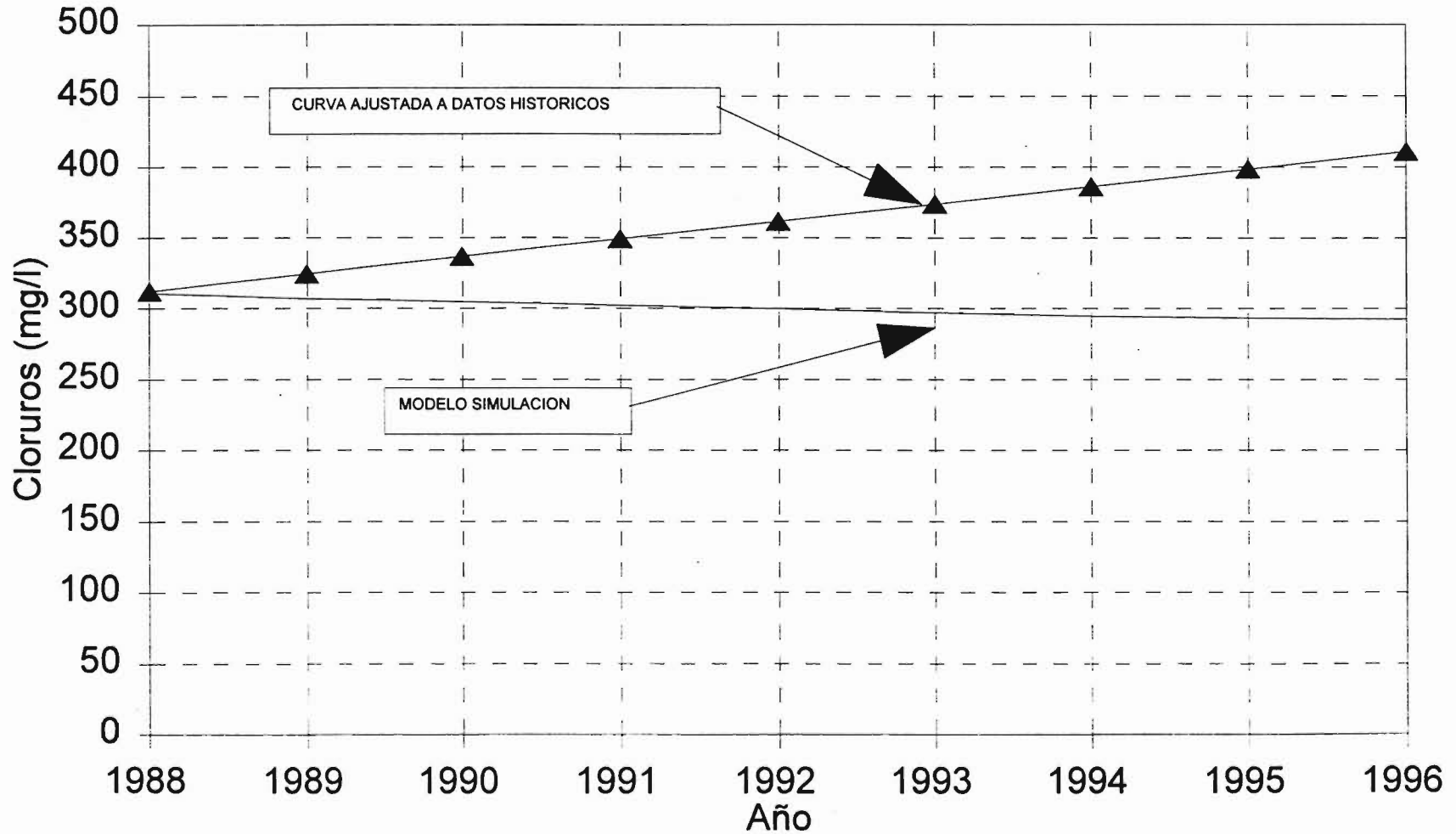


FIGURA 6.4.7-16

# Cloruros a lo largo del tiempo

Zona N°5

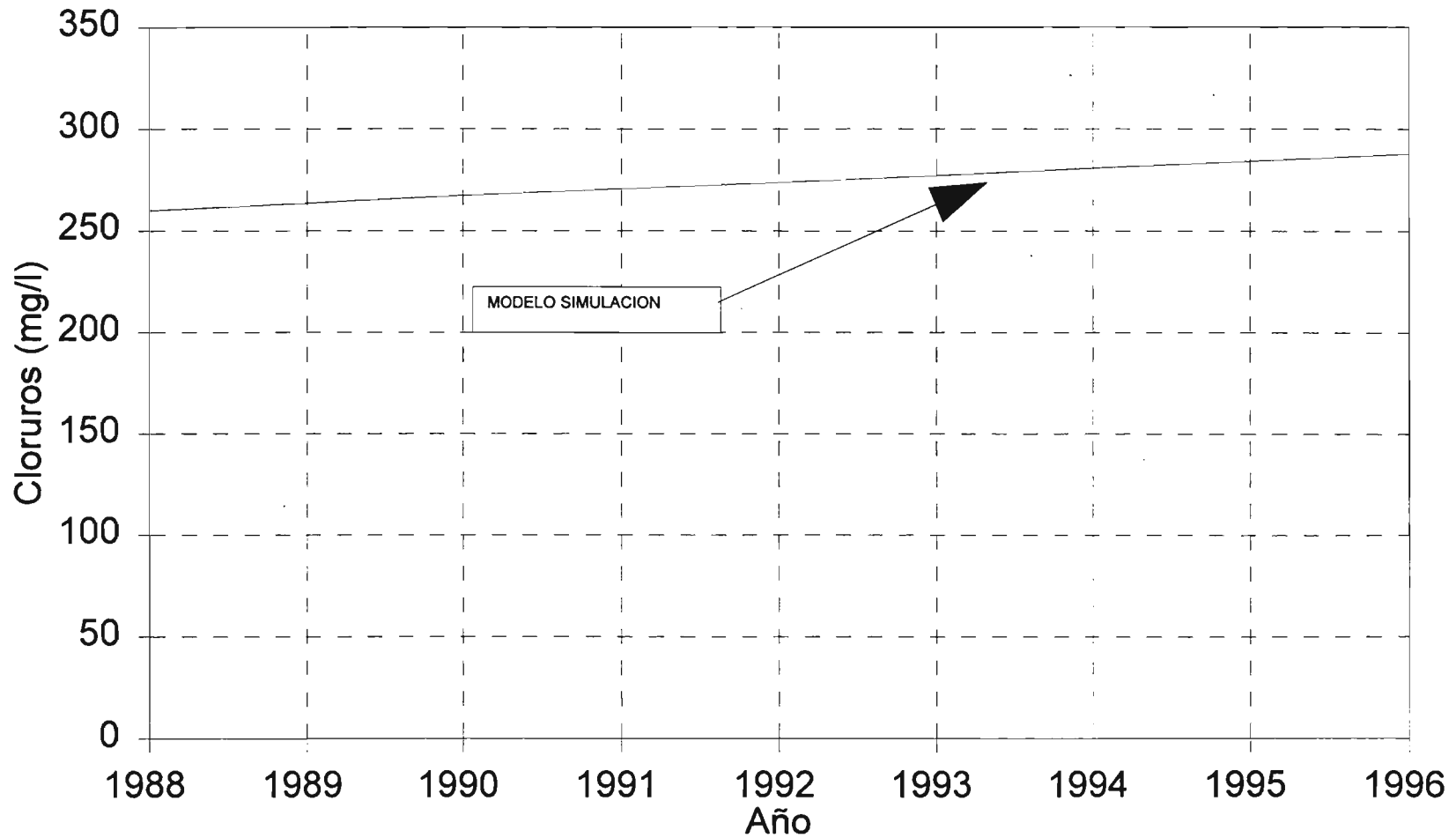


FIGURA 6.4.7-17

# Cloruros a lo largo del tiempo

Zona N°6

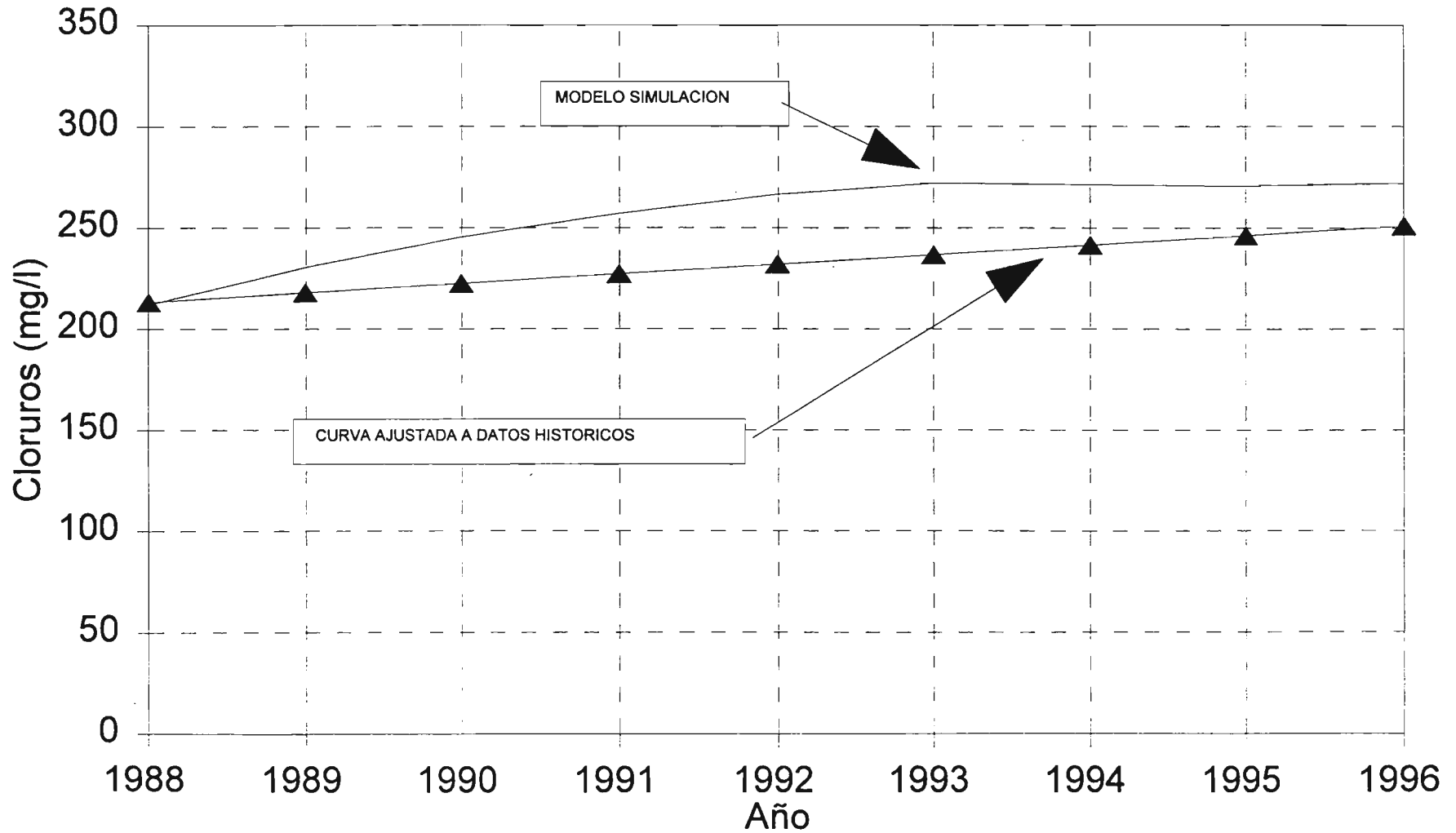


FIGURA 6.4.7-18

# Cloruros a lo largo del tiempo

Zona N°7

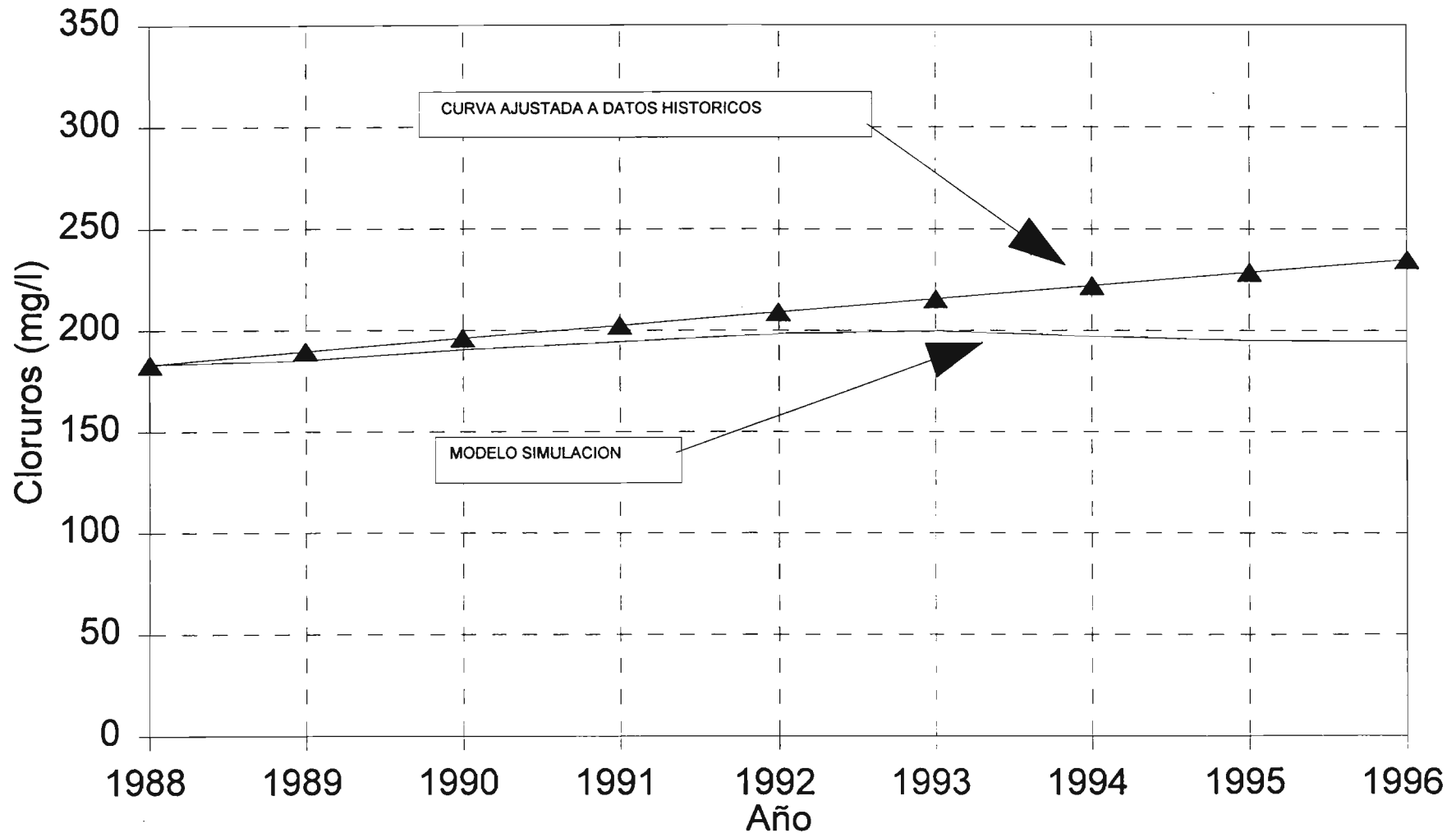


FIGURA 6.4.7-19

# Cloruros a lo largo del tiempo

## Zona N°8

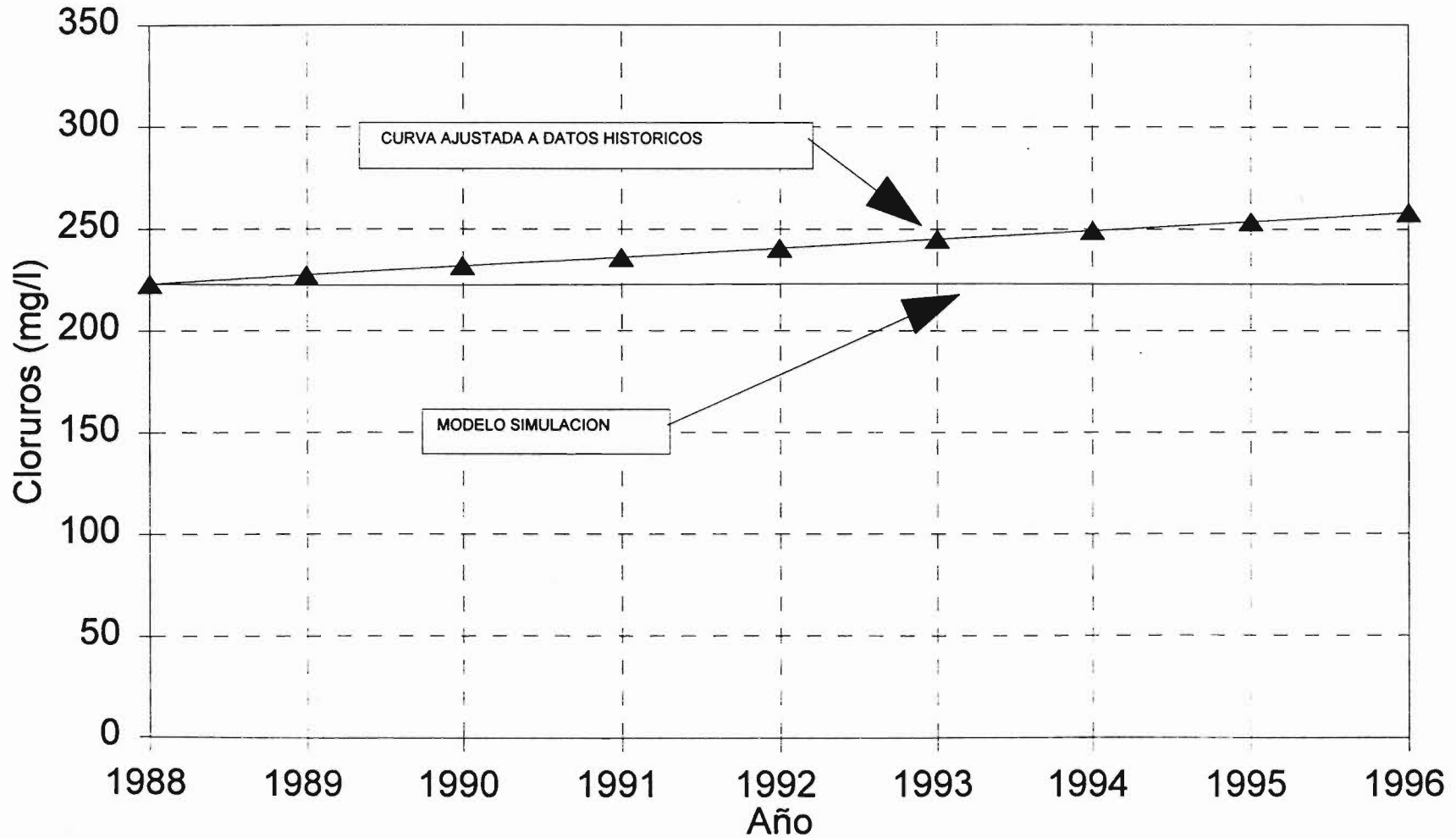


FIGURA 6.4.7-20

# Cloruros a lo largo del tiempo

Zona N°9

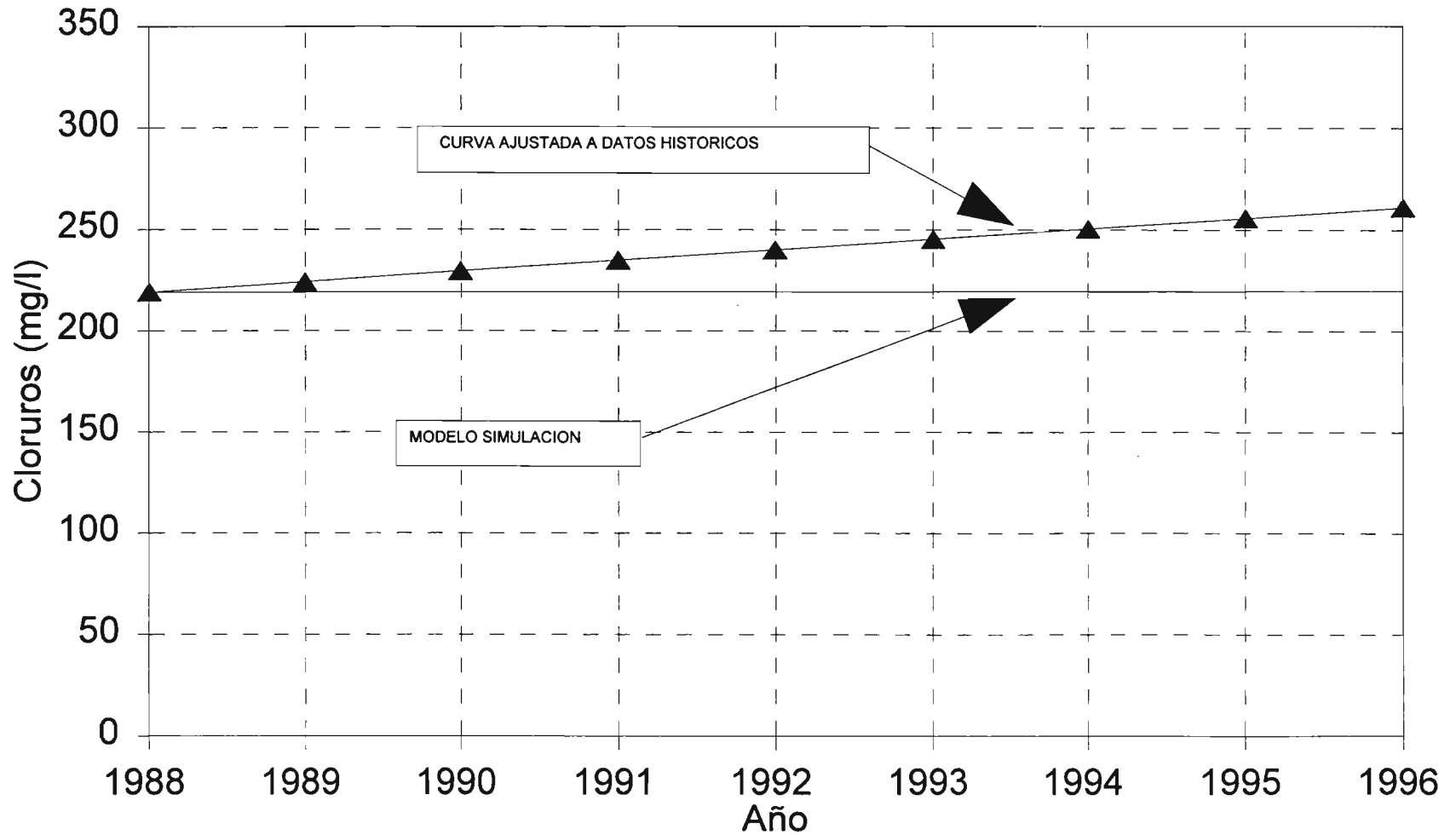
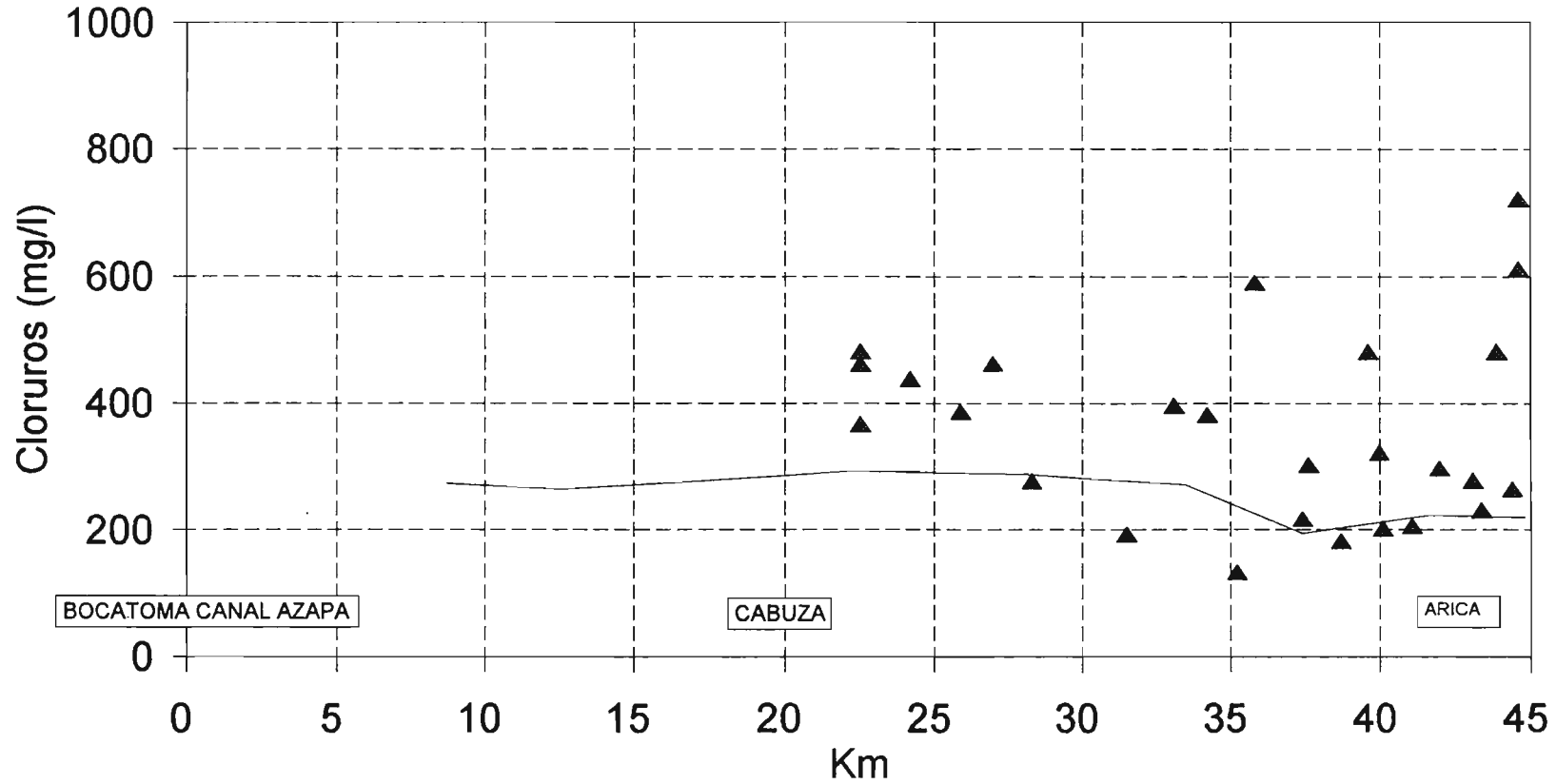


FIGURA 6.4.7-21

# Perfil de cloruros simulados versus medidos año 1995

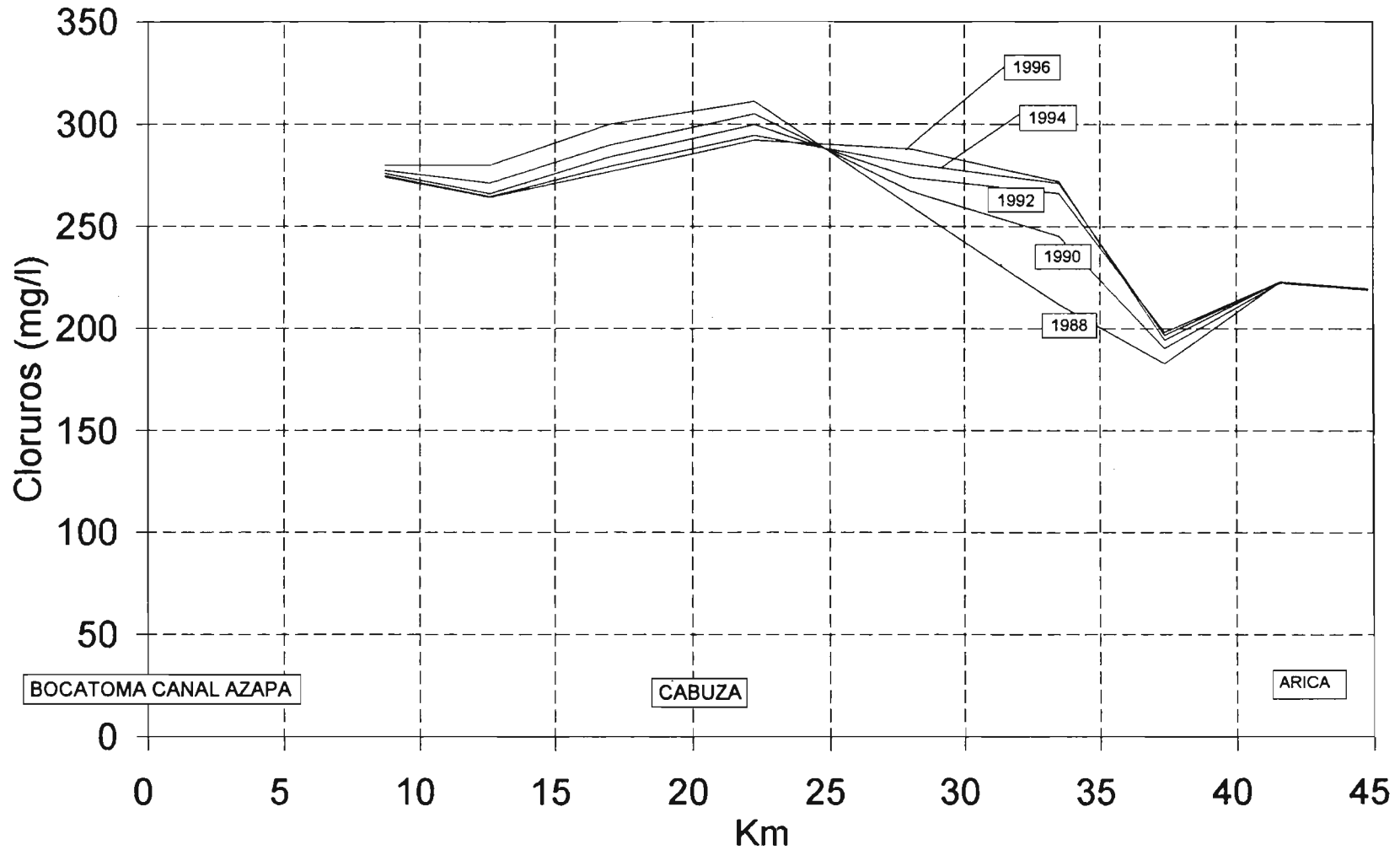


— Modelo simulación    ▲ muestreo 1995

FIGURA 6.4.7-22

# Perfiles de cloruros simulados

Años 1988, 1990, 1992, 1994 y 1996





#### 6.4.8 Análisis de Resultados

En general el modelo representa el fenómeno de salinización de las aguas subterráneas asociado principalmente al uso intensivo de estas aguas y descenso de los niveles de la napa y de la percolación de agua con alto contenido de salinidad producto del riego.

No es posible calibrar acabadamente el modelo puesto que se cuenta con información parcial del fenómeno a lo largo del tiempo. De los nueve sectores utilizados en la modelación sólo los sectores 4, 6, 7, 8 y 9 cuentan con información y ésta corresponde a mediciones puntuales que no representan cabalmente la situación media de los sectores modelados.

En el período de inicio de la simulación casi no existe información de calidad por lo que ésta fue estimada mediante ajuste de curvas a los datos existentes en cada sector.

Dado lo anterior sólo es posible esperar un modelo que dé cuenta de las tendencias que se presentan en el fenómeno de salinización, lo que es logrado satisfactoriamente.

El único parámetro susceptible de ser calibrado es alfa, que representa la retención de sales en el suelo durante la percolación. Mediante ajuste de los gráficos de conductividades a lo largo del tiempo en los sectores en que se dispone de información, se determinaron los valores que se presentan en el Cuadro 6.4.6-1. Estos valores no pretenden ser exactos sino dar una idea de la incidencia de retención de sales en cada sector. De acuerdo con lo determinado, la retención de sales empieza a tener un papel activo en los sectores 6 al 8 ubicados aguas abajo de Cabuza.

El sector de Cabuza, sector 4, no fue adecuadamente modelado. Cabe indicar que no existen mayores antecedentes de lo que ocurre aguas arriba de esta sección, de modo que tanto la geometría como la calidad del agua subterránea fue estimada.

#### 6.4.9 Recomendaciones para el Monitoreo de la Calidad de las Aguas Subterráneas

##### a) Consideraciones generales

Los problemas de contaminación de aguas subterráneas se caracterizan por no ser visibles a simple vista, pudiendo pasar inadvertidos para la población por períodos

prolongados, por lo que se hace necesario desarrollar programas de monitoreo con el fin de detectar estos problemas.

Otra característica de los problemas de contaminación de estos recursos, es que ésta se produce lentamente y con un cierto retardo en relación a la acción de la fuente que le da origen. Hay una permanencia prolongada del efecto contaminante y una reacción retardada del acuífero frente a las medidas correctivas. La zona no saturada puede actuar como una barrera protectora de la contaminación del acuífero, pero también como elemento de acumulación de los agentes contaminantes y/o como un elemento de retardo de la contaminación.

La vulnerabilidad de un acuífero a los agentes contaminantes está dada principalmente por la profundidad de los niveles freáticos, el tipo de ocurrencia del agua subterránea (napa libre o confinada), y las características de los estratos ubicados sobre la zona saturada.

La contaminación de recurso subterráneo puede deberse a efectos puntuales como pozos de infiltración de residuos industriales, infiltración desde tranques de relave y percolación desde algunas de estabilización o rellenos sanitarios, o bien a efectos difusos, como el uso intensivo de fertilizantes y pesticidas en la agricultura y el fenómeno de salinización asociado al riego, y además al efecto de la intrusión salina.

## b) Recomendaciones

El acuífero del Valle de Azapa presenta una característica de no confinamiento con distintas profundidades de la napa freática, variando desde zonas de afloramientos (actualmente secas) hasta profundidades de 35 a 40 metros en algunos sectores donde el efecto de acumulación en la zona no saturada tiene un efecto importante, tal como se infiere de la aplicación del modelo de calidad de aguas.

En este marco se hace recomendable realizar un seguimiento de los niveles estáticos de la napa acompañando a las mediciones de calidad de aguas, ya que los primeros determinan en cierta medida la vulnerabilidad del acuífero frente a los agentes contaminantes. También es conveniente elegir puntos de muestreo a ambos costados del Valle y en todo su largo, de modo que se pueda representar la condición media de una sección o sector del acuífero para detectar la variabilidad espacial transversal de los parámetros de calidad.

Dado que los tiempos involucrados en los procesos de contaminación del acuífero son en general extensos, se recomienda realizar muestreos semestrales, lo que resultará suficiente para observar el comportamiento de los parámetros de calidad del agua del subsuelo.

De acuerdo a lo establecido en el capítulo de calidad del recurso subterráneo, el principal problema que se observa es el constante aumento de los niveles de salinidad asociado principalmente al fenómeno de evapotranspiración. El plan de monitoreo a desarrollar debe incluir el seguimiento de los parámetros de calidad relacionados con la salinidad, tales como, conductividad eléctrica, contenido de cloruros y concentración de nitratos, los que pueden verse incrementados debido al uso de fertilizantes en el valle, y por contaminación de aguas servidas o residuos industriales.

Es conveniente determinar la calidad de las aguas subterráneas aguas arriba de las zonas de riego para definir una línea de base de los diferentes parámetros y poder diferenciar la calidad natural de aquella resultante de la influencia de la actividad humana.

También es recomendable al tomar muestras de agua subterránea, extraer agua durante un tiempo suficientemente largo para disminuir el riesgo de incorporar impurezas o elementos provenientes de la oxidación de las bombas y tuberías de las fuentes.

Por último, es aconsejable distribuir las mediciones a lo largo del valle para conocer a cabalidad las variaciones espaciales de los parámetros de análisis de calidad. De este modo, se recomienda utilizar como base la red de muestreo definida en el Capítulo 1 del presente informe, para realizar análisis de calidad de las aguas subterráneas con muestreos trimestrales. De este modo, será posible observar las variaciones de las características de los recursos, lo que permitirá analizar la evolución de la calidad del sistema subterráneo del valle de Azapa.

## 7 OPERACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO DEL RÍO SAN JOSÉ

### 7.1 INTRODUCCIÓN

A partir del modelo calibrado construido anteriormente, se han desarrollado simulaciones del comportamiento del sistema acuífero valle de Azapa para distintos escenarios relacionados con los bombeos efectivos históricos, actuales y según los derechos constituidos y en trámite, para un horizonte de 10 años a partir de la fecha actual. De este modo, se han determinado estimaciones del efecto de distintas reglas de bombeo sobre los niveles de la napa.

Para la operación del modelo como herramienta predictiva ha sido necesario considerar la recarga más probable proveniente del sistema superficial, principal fuente de recarga del acuífero de Azapa. A fin de considerar una combinación de diferentes tipos de años hidrológicos, se eligió trabajar con el promedio de la recarga histórica calculada para el período entre 1988 y 1995.

Finalmente, respecto de los derechos en trámite, se incorporó en el modelo el bombeo continuo de un porcentaje del total del caudal pendiente en las solicitudes en trámite.

A continuación se describen todos los supuestos, y las consideraciones asumidas para la representación del funcionamiento del sistema, así como también los desarrollos de las simulaciones, sus resultados y conclusiones.

### 7.2 APLICACION DEL MODELO MATEMATICO DE LA OPERACION DEL SISTEMA LAUCA - AZAPA

#### 7.2.1 Introducción

El modelo **AzpSys**, que simula la operación del sistema Lauca Azapa incluyendo la regulación de la laguna Cotacotani ubicada en la cuenca del río Lauca, se procesó para el período histórico de los años hidrológicos 1967/68 a 1993/94 con el objeto de conocer el comportamiento del sistema para las condiciones actuales de infraestructura y demandas de riego del área abastecida por el canal de Azapa.

Al modelo **AzpSys** se le agregó el cálculo de las percolaciones que se originan en el sistema del canal Azapa, es decir, las pérdidas en el canal matriz en sus derivados y en las áreas regadas con sus aguas. Estas recargas se determinaron para cada uno de los sectores del modelo de aguas subterráneas y se expresan en mm año. Para conocer las pérdidas de todo el canal Azapa y aunque no forma parte del modelo de aguas subterráneas, se incluyó el sector que va desde bocatoma hasta el Km 13,710.

El resultado de las percolaciones consiste en la recarga media anual de cada sector para todos los años del período estadístico simulado y también su promedio general. En esta forma se dispone de un archivo con las recargas de cada sector, cifras que pueden ingresarse directamente como datos del modelo de aguas subterráneas sin ningún cálculo adicional.

Además de incorporar el cálculo de las pérdidas por percolación en el modelo **AzpSys**, se preparó una planilla en Excel que permite determinar las pérdidas históricas de cada sector del modelo de aguas subterráneas separadas por su origen; es decir, canal matriz, derivados y áreas regadas, todo ello de acuerdo con los resultados de los estudios de pérdidas en el sistema y su variación en el tiempo. Esta planilla se ha denominado **PerAzp.xls**.

Con el fin de poder seleccionar años de diferentes grados de humedad, se efectuó un análisis de frecuencia de los caudales medios anuales afluentes a la laguna Cotacotani, de tal manera que cada año hidrológico de la estadística simulada, y también los resultados, particularmente las percolaciones, queda asociado a una cierta probabilidad de excedencia y puede ser examinado o utilizado en análisis de escenarios con el modelo de aguas subterráneas.

### 7.2.2 Resultados

Los archivos de datos y los resultados de la aplicación del modelo **AzpSys** se presentan en el Anexo 7.2-1.

a) Archivos de datos del caso.

- el archivo de datos **A0.dat**
- los archivos **Qaflecc.qmm**, **Qaflep.qmm** y **Qexasnj.qmm** que corresponden a las estadísticas de caudales afluentes a Cotacotani, los aportes de las Ciénagas de Parinacota y los excedentes de las cuencas prealtiplánicas del río San José, respectivamente.

b) Archivos asociados a Cotacotani.

Los archivos de resultados asociados a la operación de la laguna Cotacotani se identifican con los dos primeros caracteres del caso procesado, seguido de los caracteres EMB y luego la extensión que designa el tipo de resultados del archivo, en la forma siguiente:

- A0EMB.AFL : caudal medio mensual afluente, en m<sup>3</sup>/s
- A0EMB.DEM : caudal medio mensual demandado, en m<sup>3</sup>/s
- A0EMB.EVP : caudal medio mensual evaporado, en m<sup>3</sup>/s

- A0EMB.LLU : caudal medio mensual de lluvia, en m<sup>3</sup>/s
- A0EMB.EFL : caudal medio mensual por obra de entrega, en m<sup>3</sup>/s
- A0EMB.VRT : caudal medio mensual vertido, en m<sup>3</sup>/s
- A0EMB.VUF : volumen útil al final de cada mes, en millones de m<sup>3</sup>

c) Archivos asociados a canales y ríos.

Estos archivos son los siguientes :

- A0RIOLCA.EXC : Excedentes río Lauca en bocatoma canal Lauca, en m<sup>3</sup>/s
- A0RIOSNJ.EXC : Excedentes río San José en bocatoma canal Azapa, en m<sup>3</sup>/s
- A0CNLLCA.QMM: Caudal medio mensual canal Lauca en bocatoma, en m<sup>3</sup>/s
- A0CNLAZP.QMM: Caudal medio mensual canal Azapa en bocatoma, en m<sup>3</sup>/s
- A0PDSAZP.PDS: Porcentaje de satisfacción demanda canal Azapa, en m<sup>3</sup>/s
- A0PERMDR.PER: Pérdidas en el sistema del canal Azapa, en mm/año (canal matriz, derivados y sectores de riego)

### 7.2.3 Análisis de resultados

Al examinar los resultados del grado de satisfacción de la demanda del canal de Azapa, que corresponde a la que se tendría actualmente, se advierte que la seguridad de riego obtenida es de 66,7 %, seguridad que es consecuencia de 9 años fallados en un total de 27 años.

Los mayores déficit ocurren en los meses de agosto a diciembre, pero es noviembre el mes que siempre presenta los déficit más severos.

De acuerdo con el análisis de frecuencia efectuado para los afluentes a la laguna Cotacotani, análisis que se muestra en el Cuadro 7.2-1 y en las Figuras 7.2-1 “a” y “b”, los años fallados, que son los de 1967, 1969, 1970, 1971, 1982, 1983, 1991, 1992 y 1993, están asociados a probabilidades de excedencia superiores, prácticamente, al 80%, salvo los años 1967 y 1971 con probabilidades de 42,7 % y 64,7%, respectivamente.

Estos resultados muestran lo escaso del recurso agua frente a las demandas planteadas; es decir, que el sistema no es capaz de ofrecer suficiente agua segura para las

demandas planteadas, o lo que es equivalente, se puede abastecer con adecuada seguridad, tipo 85% , una demanda inferior a la planteada.

También se advierte que los últimos años de la simulación 1991, 1992 y 1993 fueron muy secos y también han sido igual o más secos aún los años siguientes 1994, 1995 y 1996; es decir, que el valle enfrenta una situación de escasez de agua que se prolonga ya por seis años.

De la observación de los resultados de pérdidas por evaporación desde la laguna Cotacotani se aprecia que ellas son de 200 lt/seg como promedio estadístico, cifra que representa del orden de un tercio de la demanda media anual del canal de Azapa.

Considerando la importancia de dichas pérdidas por evaporación frente a las demandas del canal de Azapa, se concluye la necesidad de investigar la factibilidad técnica y económica de reducirlas por los medios que existan, incluyendo también las entregas y políticas de operación de la laguna.

Los resultados de las recargas por sector permiten apreciar su variación a lo largo de los años y apreciar también su disminución en los últimos años, dada su directa relación con el caudal del canal Azapa.

FIGURA 7.2.1 a) AFLUENTES A LAGUNA COTACOTANI.  
Análisis de frecuencia del caudal medio anual

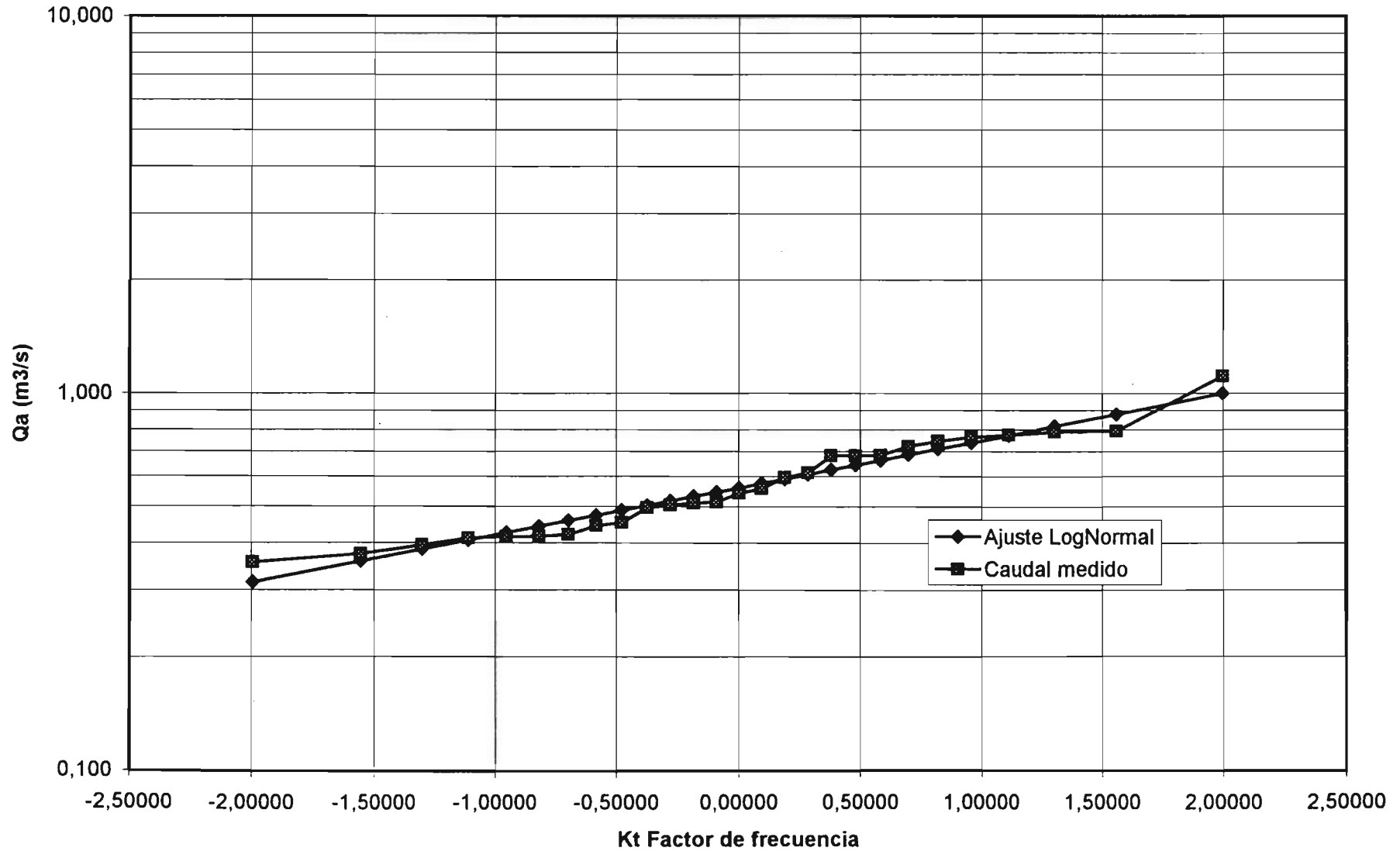
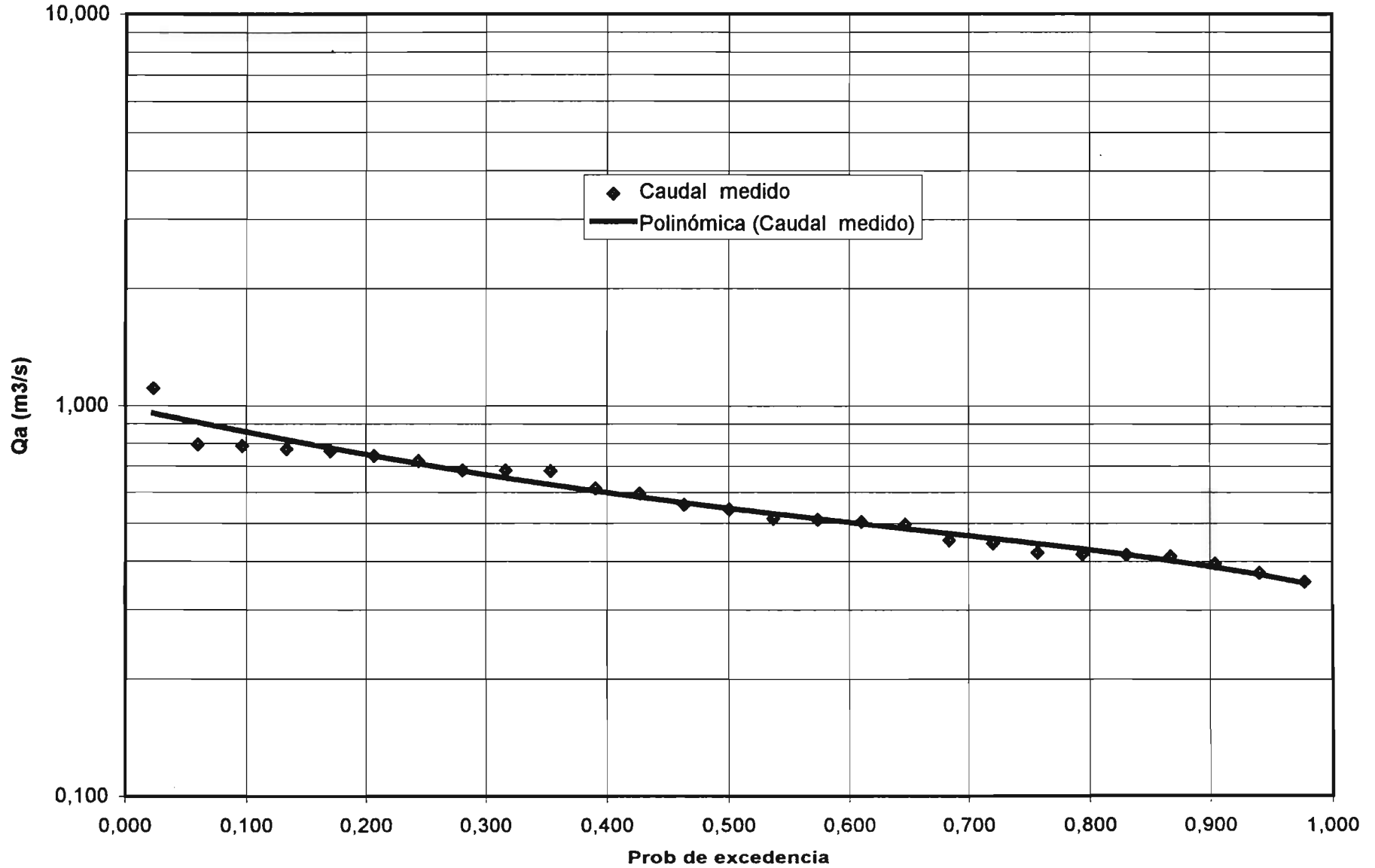




FIGURA 7.2.1 b) AFLUENTES A LAGUNA COTACOTANI.  
Análisis de frecuencia del caudal medio anual.



**CUADRO 7.2-1**  
**AFLUENTE A LAGUNA COTACOTANI**  
**ANÁLISIS DE FRECUENCIA DEL CAUDAL MEDIO ANUAL**

<b>Año</b>	<b>Qa</b> <b>( m3/s )</b>	<b>PEXC</b> <b>( % )</b>
1976	1.110	0.023
1986	0.796	0.060
1977	0.789	0.096
1987	0.775	0.133
1974	0.766	0.170
1975	0.745	0.206
1978	0.724	0.243
1985	0.684	0.280
1973	0.683	0.317
1988	0.682	0.353
1972	0.615	0.390
1967	0.597	0.427
1979	0.558	0.463
1989	0.542	0.500
1984	0.515	0.537
1968	0.511	0.573
1980	0.505	0.610
1971	0.497	0.647
1990	0.453	0.683
1983	0.444	0.720
1981	0.421	0.757
1970	0.417	0.794
1969	0.416	0.830
1991	0.411	0.867
1993	0.395	0.904
1992	0.374	0.940
1982	0.355	0.977

### 7.3 SIMULACIÓN DEL SISTEMA SUBTERRÁNEO

#### 7.3.1 Proyección de Escenarios Futuros

En la ejecución de un modelo de simulación, es necesario definir ciertas características que representen las influencias de las áreas que no quedan incorporadas en el modelo. En el caso estudiado, estas características correspondientes a las condiciones de borde, representan los volúmenes de recarga desde los límites de la zona de estudio y se relacionan

indirectamente con las variables hidrológicas de todo el valle, en particular de la zona alta donde se producen las lluvias altiplánicas.

En el modelo del valle de Azapa ha sido definida una condición de borde de nivel conocido del agua subterránea que corresponde al límite oriente del modelo, en la zona de Casa Grande a unos 5 Km aguas arriba de Cabuza. De acuerdo con la información histórica y el conocimiento que se tiene de la dinámica del acuífero de Azapa, dicha condición de borde permanecería constante en el tiempo puesto que la perturbación transiente, debido a la sobreexplotación del acuífero, sólo afecta a los sectores ubicados aguas abajo de Cabuza.

Otra variable externa que es necesario de considerar en cuanto a su proyección futura, es la correspondiente a las recargas provenientes de la superficie (canales, áreas de riego, ciudad de Arica y río San José). Para simular la evolución futura del sistema acuífero se consideró adecuado establecer como recarga base, sobre la cual se estudiarían las diferentes alternativas de explotación, a la correspondiente al promedio del período histórico entre 1988 y 1995, la misma que fue utilizada para la calibración del modelo. En dicho período quedan implícitas diferentes condiciones hidrológicas registradas en la cuenca, y en particular la sequía registrada durante los últimos años. En efecto, los años 1991, 1992 y 1993 correspondieron a años con una probabilidad de excedencia asociada de más de 85%, según el análisis de los caudales afluentes a Cotacotani. También han sido igual o más secos aún los años siguientes 1994, 1995 y 1996, es decir, el valle enfrenta una situación de escasez de agua que se prolonga ya por seis años.

En cuanto a la proyección de los caudales de bombeo, se establecieron varias alternativas que resultan de combinar los caudales de bombeo efectivos (actuales e históricos) con los caudales correspondientes a los derechos constituidos y los solicitados o en trámite.

El tiempo total de simulación considerado para la operación del modelo corresponde a un lapso de 18 años, que comprende al período histórico desde 1988 a 1995 y a un período proyectado de 10 años a partir de 1996, es decir hasta el término del año 2005. No se ha considerado simular para un período de tiempo mayor puesto que mientras más lejano es el horizonte de tiempo las condiciones supuestas son mucho más inciertas, particularmente en este sistema que está sometido a una gran explotación.

### 7.3.2 Escenarios Considerados

De acuerdo con lo establecido en términos generales en el acápite anterior, se definieron 4 escenarios para ser simulados con el modelo. Dichas proyecciones corresponden a los siguientes casos:

- CASO A: Proyección Situación Actual
- CASO B: Proyección Situación Actual y Derechos Constituidos
- CASO C: Proyección con los Derechos Constituidos
- CASO D: Proyección con los Derechos Constituidos y en Trámite

A continuación se describen en detalle cada uno de los escenarios considerados:

a) CASO A: Proyección Situación Actual

- ⇒ recarga histórica media (período 1988-1995) proveniente del sistema hídrico superficial (canales, sectores de riego, río, ciudad).
- ⇒ proyección de los bombeos reales registrados para la situación actual (1996)
- ⇒ condición de borde de nivel constante en 510 msnm (borde oriente del modelo)

La recarga media histórica asciende a un caudal de aproximadamente 200 l/s que ingresan en forma distribuida al modelo de acuerdo con la sectorización de riego definida. Esto equivale a una tasa media de infiltración de aproximadamente 100 mm/año que se aplica a toda el área definida como de recarga en el modelo. Las cifras anteriores consideran las pérdidas por percolación del canal Azapa, sus derivados, de los sectores de riego y de la red de agua de Arica. La infiltración eventual del río San José se ha considerado nula como ha acontecido en el período histórico considerado.

Los bombeos históricos considerados corresponden a los del período 1988 a 1995 y son los señalados en el acápite 6.3 del presente informe. Para los años 1996 a 2005 se proyecta la distribución de bombeos existente en la actualidad, que asciende a aproximadamente 800 l/s.

b) CASO B: Proyección Situación Actual y Derechos Constituidos

- ⇒ las mismas condiciones del CASO A pero con otra distribución de bombeos
- ⇒ la extracción de agua subterránea se considera de la siguiente manera:

período de 1988 a 1995:	bombeo histórico real (CASO A)
período de 1996 a 2005:	bombeos según el caudal constituido en los pozos que poseen derechos. En el resto se considera el caudal registrado actualmente.

Los pozos con derechos constituidos y la magnitud de los caudales se muestran en el Cuadro 7.3.2-1. La cifra total asciende a cerca de 888 l/s, que corresponde a los derechos

constituidos hasta el año 1992. Posteriormente, las solicitudes para nuevos derechos de aprovechamiento se encuentran en trámite.

c) CASO C: Proyección con los Derechos Constituidos

- ⇒ las mismas condiciones del CASO A pero con otra distribución de bombes
- ⇒ la extracción de agua subterránea se considera de la siguiente manera:

período de 1988 a 1995:	bombeo histórico real (CASO A)
período de 1996 a 2005:	bombean sólo los pozos que poseen derechos constituidos y con el caudal autorizado (ver Cuadro 7.3.2-1). El resto de los pozos no bombea a partir de 1996.

d) CASO D: Proyección con los Derechos Constituidos y en Trámite

- ⇒ las mismas condiciones del CASO A pero con otra distribución de bombes
- ⇒ la extracción de agua subterránea se considera de la siguiente manera:

período de 1988 a 1995:	bombeo histórico real (CASO A)
período de 1996 a 2005:	bombean sólo los pozos que poseen derechos constituidos y con el caudal autorizado (ver Cuadro 7.3.2-1). El resto de las fuentes que históricamente registran extracción, no bombea a partir de 1996. Además, se incorporan los primeros 17 pozos del Cuadro 7.3.2-2 cuyas solicitudes en trámite corresponden a las más antiguas y que constituyen un 20% del caudal total pendiente. La magnitud del bombeo adicional alcanza a unos 525 l/s. El caudal total pendiente hasta enero de 1996 llega a los 2670 l/s aproximadamente.

Las solicitudes para nuevos derechos de aprovechamiento que se encuentran en trámite se entregan en el Cuadro 7.3.2-2. En dichos cuadros, se señalan la ubicación asociada a un pozo reconocido en terreno, los caudales, el solicitante o titular, el número del expediente o la resolución de constitución, etc.

**CUADRO 7.3.2-1**  
**DERECHOS CONSTITUIDOS DE AGUAS SUBTERRANEAS ORDENADOS POR FECHA DE INGRESO**  
**COMUNA DE ARICA**

Nº	U.T.M.		FUENTE ASOCIADA CATASTRO	UBICACION	SECTOR	CAUDAL				EXPEDIENTE		SOLICITANTE	OBSERVACIONES
	NORTE	ESTE				CONCEDIDO		SUMA ACUM.	ACTUAL	Nº	FECHA INGRESO		
						(l/s)	(m3/día)						
1			S-144	POZO UBICADO EN PLANTA, AV. STA. MARIA LOTE 21	ARICA	15,0	1.296	15,0	108	M-1-45	20/05/71	EMBOTELLADORA ARICA SAIC.	RESOLUCION 207, 11/07/78
2			S-221	POZO 1113, PLANTA SENDOS PAGO DE GOMEZ	KM 6 VALLE AZAPA	22,0	1.801	37,0	620	M-1-98	18/04/80	SENDOS I REGION	RESOLUCION 121, 19/03/86
3			S-222	POZO 1114, PLANTA SENDOS PAGO DE GOMEZ	KM 6 VALLE AZAPA	35,0	3.024	72,0	794	M-1-98	18/04/80	SENDOS I REGION	RESOLUCION 121, 19/03/86
4			S-223	POZO 1142, PLANTA SENDOS PAGO DE GOMEZ	KM 6 VALLE AZAPA	25,0	2.160	97,0	744	M-1-98	18/04/80	SENDOS I REGION	RESOLUCION 121, 19/03/86
5			S-161	POZO 434, PLANTA SENDOS PAGO DE GOMEZ	KM 3,5 VALLE AZAPA	28,0	2.419	125,0	854	M-1-98	18/04/80	SENDOS I REGION	RESOLUCION 121, 19/03/86
6			S-230	POZO 491, PLANTA SENDOS PAGO DE GOMEZ	KM 3,5 VALLE AZAPA	27,0	2.333	152,0	1.056	M-1-98	18/04/80	SENDOS I REGION	RESOLUCION 121, 19/03/86
7			S-158	POZO 492, PLANTA SENDOS PAGO DE GOMEZ	KM 3,5 VALLE AZAPA	27,0	2.333	178,0	648	M-1-98	18/04/80	SENDOS I REGION	RESOLUCION 121, 19/03/86
8			S-186	POZO 184, PLANTA SENDOS PAGO DE GOMEZ	KM 3,5 VALLE AZAPA	14,0	1.210	193,0	959	M-1-98	18/04/80	SENDOS I REGION	RESOLUCION 121, 19/03/86
9			S-180	POZO 48, PLANTA SENDOS PAGO DE GOMEZ	KM 3,5 VALLE AZAPA	31,0	2.678	224,0	790	M-1-98	18/04/80	SENDOS I REGION	RESOLUCION 121, 19/03/86
10			S-187	POZO 47, PLANTA SENDOS PAGO DE GOMEZ	KM 3,5 VALLE AZAPA	21,0	1.814	245,0	825	M-1-98	18/04/80	SENDOS I REGION	RESOLUCION 121, 19/03/86
11			S-185	POZO LOS PINOS 568, UBICADO EN POBLADO ARTESANAL	ARICA	20,0	1.728	265,0	968	M-1-99	18/04/80	SENDOS I REGION	RESOLUCION 421, 19/12/84
12			S-186	POZO SAUCACHE 660, UBICADO EN CALLE 18 DE SEPTIEMBRE	ARICA	30,0	2.592	295,0	1.331	M-1-99	18/04/80	SENDOS I REGION	RESOLUCION 421, 19/12/84
13			S-167	POZO PILON 569, UBICADO EN CALLE 18 DE SEPTIEMBRE C/BELMAR	ARICA	18,0	1.555	313,0	1.603	M-1-99	18/04/80	SENDOS I REGION	RESOLUCION 421, 19/12/84
14			S-141	POZO RETÉN ESTADIO 714, UBICADO EN 18 DE SEPTIEMBRE C/S.BOLIVAR	ARICA	10,0	864	323,0	2.072	M-1-99	18/04/80	SENDOS I REGION	RESOLUCION 421, 19/12/84
15			S-139	POZO DANIEL COPAJA 715, UBICADO EN 18 DE SEPTIEMBRE C/D.COPAJA	ARICA	8,0	691	331,0	1.720	M-1-99	18/04/80	SENDOS I REGION	RESOLUCION 421, 19/12/84
16			S-142	POZO TUCAPEL 4897, UBICADO EN CALLE CARLOS PEZO A C/TUCAPEL	ARICA	40,0	3.456	371,0	2.334	M-1-99	18/04/80	SENDOS I REGION	RESOLUCION 421, 19/12/84
17			S-143	POZO LIGA DE EMPLEADOS, UBICADO EN CALLE JUAN A. RIOS	ARICA	35,0	3.024	408,0	1.812	M-1-99	18/04/80	SENDOS I REGION	RESOLUCION 421, 19/12/84
18			S-147	POZO SAN JOSÉ, UBICADO EN JUAN A. RIOS, RECINTO DE SENDOS	ARICA	22,0	1.901	428,0	1.238	M-1-98	18/04/80	SENDOS I REGION	RESOLUCION 421, 19/12/84
19			S-190	POZO AB-5	KM 7 VALLE AZAPA	23,0	1.987	451,0	193	M-1-114	14/02/83	EVA NANCY DE FILIPPS S.	RESOLUCION 83, 05/03/84
20			S-128 y S-130	POZOS 1 Y 2, UBICADOS EN CALLE DIEGO PORTALES 2351	ARICA	100,0	8.640	551,0	0	T-2-7-4-002	22/07/88	COOP. AGRICOLA SOBRAYA	SENTENCIA JUDICIAL INSCRITA A FOJAS 14 VTA. 8 DE 1988
21			N-303	PARCELAS DE LA COOPERATIVA	KM 15 VALLE AZAPA	12,0	1.037	563,0	63	NR-1-1-1	18/03/87	MANUEL MADRID AGUIRRE	SENTENCIA JUDICIAL DEL 02/06/89 A FOJAS 81/89
22	7.957.400	362.185	S-287	TERMINAL RODOVIARIO	ARICA	30,0	2.592	593,0	1.123	ND-1-1-3	06/12/87	SENDOS I REGION	RESOLUCION 458, 15/12/87
23			S-145	CALLE DIEGO PORTALES 2251, CIUDAD ARICA	ARICA	5,0	432	598,0	0	ND-1-1-13	08/11/88	ALDEAS INFANTILES S.O.S.	RESOLUCION 207, 01/06/89
24			N-180	PARCELACION EL ALGODONAL	VALLE AZAPA	1,25	108	599,3	0	ND-1-1-19	08/03/89	RAUL CASTRO LETELIER	RESOLUCION 360, 27/04/89
26			N-119	NORIA 119	KM 9 VALLE AZAPA	12,0	1.037	611,3	0	NR-1-1-28	11/07/89	ALICIA FAUNDEZ TESTA	SENTENCIA JUDICIAL INC. A FOJAS Nº 1 DE 1989
29	7.953.430	369.720	G-3	VERTIENTE MEDIA LUNA		33,0	2.851	644,3	0	NR-1-1-40	12/11/89	RAUL LOMBARDI F.	JUDICIAL INSC. A FOJAS 1 Nº1, REPERTORIO 28 DE 1990
30	7.953.720	369.960	S-323	POZO 96		5,0	432	649,3	72	NR-1-1-41	12/11/89	ALDO LOMBARDI L.	JUDICIAL INSC. A FOJAS 409 Nº215, REPERTORIO 4340 DE 1990
31	7.953.680	369.960	N-88	POZO 98		25,0	2.160	874,3	63	NR-1-1-41	12/11/89	ALDO LOMBARDI L.	JUDICIAL INSC. A FOJAS 409 Nº215, REPERTORIO 4340 DE 1990
32	7.953.680	369.960	S-324	POZO 98		15,0	1.296	889,3	848	NR-1-1-41	12/11/89	ALDO LOMBARDI L.	JUDICIAL INSC. A FOJAS 409 Nº215, REPERTORIO 4340 DE 1990
33			N-207	SECTOR LAS MAITAS, PARCELA LA HUERTA	VALLE AZAPA	45,0	3.888	734,3	0	NR-1-1-50	23/03/90	ORTUÑO Y NIETO LTDA. Y CIA	JUDICIAL INSC. A FOJAS 308 Nº150, REPERTORIO 1376 DE 1993
34	7.953.470	369.100	N-103	NORIA 103		10,0	864	744,3	324	NR-1-1-54	25/04/90	ALDO ELENA Y CARLOS LOMBARDI L.	JUDICIAL INSC. A FOJAS 8 Nº3, REPERTORIO 2 DE 1992
35	7.953.462	368.745	S-104	HACIENDA LO VARGA, POZO BA-10		35,0	3.024	779,3	0	NR-1-1-57	25/04/90	CARLOS BUNEDER JORRAT	JUDICIAL INSC. EN REPERTORIO 4032, FOJAS 393 Nº 204 DE 1991
36			N-161	PASAJE LOS ITALIANOS	VALLE AZAPA	1,1	95	780,4	38	ND-1-1-60	07/11/90	MARCO A. AGUIRRE BONILLA	RESOLUCION 575, 01/12/92
37			S-280	SONDAJE 1645 LAS MAITAS	VALLE AZAPA	20,0	1.728	800,4	791	ND-1-1-65	26/11/90	ESSAT S.A.	RESOLUCION 130, 09/04/92
38			S-280	SONDAJE 1646 LAS MAITAS	VALLE AZAPA	50,0	4.320	850,4	791	ND-1-1-65	26/11/90	ESSAT S.A.	RESOLUCION 130, 09/04/92
39			?	50 M AL SUR DEL CAMINO LONGITUDINAL A ARICA	CAMINO LONGITUDINAL	8,0	691	856,4				FELIX LISBOA PASTERI Y M. TERESA PASTERI B.	DCO. CONC. Nº 1307, 05/07/80, TIT. DEF. Nº 355, 14/09/87
40			?	UBICADO EN PREDIO DE LA INTERESADA		30,0	2.592	888,4				PROCESADORA DE METALES LTDA. Y CIA.	RESOLUCION CONC. Nº172, 20/05/88
<b>COMUNA DE PARINACOTA</b>													
25	7.969.193	462.295,21	PECH-4		PECH 4	47,0	4.061	47,0		ND-1-2-23	08/05/89	MINERA VILACOLLO	RESOLUCION 175, 06/06/80
27	7.969.045,13	463.001,31	PECH-1		POZO PECH 1	8,0	691	55,0		ND-1-2-35	06/11/89	MINERA VILACOLLO	RESOLUCION 358, 02/10/81
28	7.969.357	462.456	PECH-3		PECH 3	20,0	1.728	75,0		ND-1-2-35	08/11/89	MINERA VILACOLLO	RESOLUCION 358, 02/10/81

CUADRO 7.3.2-2  
DERECHOS EN TRAMITE (AGUAS SUBTERRANEAS)  
COMUNA DE ARICA

Nº	COORDENADAS UTM		FUENTE ASOCIADA CATASTRO	UBICACION	SECTOR	CAUDAL TRAMITE			EXPEDIENTE		COMUNA	SOLICITANTE	OBSERVACIONES
	NORTE	ESTE				SOLICITADO (l/s)	ACUMULADO (m3/día)	(l/s)	Nº	FECHA INGRESO			
1			N-117	POZO 117 PREDIO LA HUASCA KM 10	VALLE DE AZAPA	20,0	1.728	20,0	MA-1-4	22/07/85	ARICA	Mª J. GUTIERREZ VALDES	SE ENVIO A CORTE DE APELACIONES ARICA ORD. 907 DE 12/11/88
2				PARCELAS DE LA COOPERATIVA	VALLE DE AZAPA	300,0	25.320	320,0	ND-1-1-2	05/08/87	ARICA	COOP. AGRICOLA DE JUAN NOE	USO AGRICOLA
3	7.953.990	372.505	(S-297)	KM 7,5	VALLE DE AZAPA	30,0	2.592	350,0	ND-1-1-2	06/12/87	ARICA	SENDOS I REGION	ARCHIVO INDEFINIDO RESOLUCION 30 DE 11/02/88 (USO AGRICOLA)
4				POZO 117-K	VALLE DE AZAPA	20,0	1.728	370,0	NR-1-1-34	30/10/89	ARICA	COMANDANCIA Y DIVISION DE EJTO	SE ENVIA A CORTE DE APELACIONES. ORD. 95 DE 02/05/90 (A.POSY)
5			N-62	PARCELA CHAGOL, SECTOR CERRO MORENO KM 16	VALLE DE AZAPA	45,0	3.888	415,0	NR-1-1-47	03/05/90	ARICA	PASCUAL ROCCO CACERES	SE ENVIO A CORTE DE APELACIONES ARICA ORD. 173
6	7.950.586	366.000	(S-236)		VALLE DE AZAPA	30,0	2.592	445,0	NR-1-1-53	04/10/90	ARICA	CARLOS MOZO WAGUELIN	SE ENVIO A CORTE DE APELACIONES ARICA ORD. 171, 27/07/90
7	7.953.418	368.615	S-201	COLONIA JUAN NOE, SECTOR BELLAVISTA	VALLE DE AZAPA	40,0	3.456	485,0	NR-1-1-55	25/04/90	ARICA	CARLOS GOMEZ A, SUCESION B. PERIC	SE ENVIO A CORTE DE APELACIONES ARICA ORD. 172 DE 27/07/90
8	7.953.520	368.260	S-203	POZO BA-15 O 1080	VALLE DE AZAPA	40,0	3.456	525,0	NR-1-1-56	25/04/90	ARICA	MIROSLAV GARDJIC BOCK	SE ENVIO A CORTE DE APELACIONES ARICA ORD. 216 DE 24/05/94
9			S-237 ó S-238	LAS MAITAS KM 8	VALLE DE AZAPA	20,0	1.728	545,0	NR-1-1-58	04/10/91	ARICA	MP SOLEDAD PIRIS, NIKISA BEZMALINOVIC	SE ENVIO A CORTE DE APELACIONES ARICA ORD. 187 DE 03/05/91
10				LOTJE MONTALVO	VALLE DE AZAPA	1,5	130	546,5	NR-1-1-70	21/06/91	ARICA	MARIO I. CHANG ALVARADO	SE ENVIO A CORTE DE APELACIONES ARICA ORD. 200/91
11			N-46	NORIA 45, HACIENDA LAS MERCEDÉS	VALLE DE AZAPA	8,0	691	554,5	NR-1-1-71	07/03/91	ARICA	RHYNA E. BLAMEY ROJAS	SE ENVIO A CORTE DE APELACIONES ARICA ORD. 95 DE 10/05/95
12			(N-212)	PARCELA 28, COLONIA JUAN NOE	VALLE DE AZAPA	7,3	631	561,8	NR-1-1-72	07/08/91	ARICA	MANUEL CABRERA SAAVEDRA	SE ENVIO A CORTE DE APELACIONES ARICA ORD. 37 DE 18/02/92
13			S-208	KM 12	VALLE DE AZAPA	330,0	28.512	891,8	NR-1-1-77	10/08/91	ARICA	COOP. AGRICOLA DR. JUAN NOE	SE ENVIO A CORTE DE APELACIONES ARICA DESDE NIVEL CENTRAL
14	7.954.237	371.432	S-219	KM 7 (POZO SAN RICARDO)	VALLE DE AZAPA	15,0	1.296	906,8	NR-1-1-81	25/11/91	ARICA	RHYNA E. BLAMEY ROJAS	SE ENVIO A CORTE DE APELACIONES ARICA ORD. 164 DE 28/07/88
15	7.954.370	370.560	S-295	KM 7 (POZO SAN CARLOS)	VALLE DE AZAPA	10,0	864	916,8	NR-1-1-81	25/11/91	ARICA	RHYNA E. BLAMEY ROJAS	SE ENVIO A CORTE DE APELACIONES ARICA ORD. 164 DE 28/07/88
16	7.954.450		S-288	HACIENDA SALICACHE	VALLE DE AZAPA	5,0	432	921,8	NR-1-1-82	24/12/91	ARICA	LUIS DEVOTTO ORDONEZ	SE ENVIO A CORTE DE APELACIONES ARICA ORD. 66 DE 11/03/93
17				LOTJE B PAGO DE GOMEZ	VALLE DE AZAPA	0,2	13	922,0	ND-1-1-83	02/05/92	ARICA	MP LORENA GARBIN ASTE	EN TRAMITE
18			(N-22)	NORIA 22		2,0	173	924,0	NR-1-1-84	02/05/92	ARICA	ROSA LAMCHFA ACHA	EN TRAMITE. SE SOLICITO PRUEBA DE BOMBEO
19			(N-23)	NORIA 23		2,0	173	926,0	NR-1-1-84	02/05/92	ARICA	ROSA LAMCHFA ACHA	ORD. 64, 28/02/96
20			S-305			1,0	86	927,0	NR-1-1-86	20/03/92	ARICA	GUANLUGI CANEPA CABELLINO	SE SOLICITA PRUEBA DE BOMBEO. ORD. 65 DE 26/02/96
23					VALLE DE AZAPA	0,3	23	927,2	NR-1-1-101	05/12/92	ARICA	ENRIQUE DIVORQUEZ FELMAN	SE SOLICITA PRUEBA DE BOMBEO ORD. 63 DE 26/02/96
25			S-240	SONDAJE BA-27	VALLE DE AZAPA	15,0	1.296	942,2	ND-1-1-104	25/05/92	ARICA	CHEBID BLINEDER JORRAY	SE ENVIO A CORTE DE APELACIONES ARICA ORD. 118 DE 17/05/93
26			N-295		VALLE DE AZAPA	1,5	130	943,7	NR-1-1-105	07/06/92	ARICA	S.A.A.M.	SE ENVIO A CORTE DE APELACIONES ARICA ORD. 129 DE 28/05/93
27	7.959.144	363.674	S-334	SONDAJE CERRO SOMBRERO	VALLE DE AZAPA	25,0	2.160	968,7	NR-1-1-109	24/08/92	ARICA	ESSAY S.A.	EN TRAMITE
28	7.956.620	377.524	N-66		VALLE DE AZAPA	8,0	691	976,7	NR-1-1-115	23/11/92	ARICA	JOSE ANDIA TICONA	ENVIADO A LA CORTE DE APELACIONES ARICA. ORD. 197, 12/12/94
29	7.948.845	382.248	N-79		VALLE DE AZAPA	2,5	216	979,2	NR-1-1-116	23/11/92	ARICA	BARTOLOME STANGARO MOYA	EN TRAMITE
30	7.952.442	381.265	S-328		VALLE DE AZAPA	8,0	510	985,2	ND-1-1-120	22/12/92	ARICA	GUAN FABRO	EN TRAMITE
31	7.956.587	364.270	S-268	SONDAJE 12 ARACENA	CIUDAD DE ARICA	40,0	3.456	1.025,2	ND-1-1-122	28/12/92	ARICA	ESSAY S.A.	EN TRAMITE
32	7.955.590	364.275	S-286	SONDAJE 12 LOA	CIUDAD DE ARICA	40,0	3.456	1.065,2	ND-1-1-123	21/01/92	ARICA	ESSAY S.A.	EN TRAMITE
33	7.954.799	366.542	N-160		VALLE DE AZAPA	1,0	86	1.066,2	NR-1-1-124	21/01/93	ARICA	RAUL CASTRO LETELIER	SE ENVIO A LA CORTE DE APELACIONES ARICA. ORD. 248, 28/10/93
34	7.949.897,59	379.518,46			VALLE DE AZAPA	23,0	1.987	1.089,2	NR-1-1-125	02/12/92	ARICA	MIGUEL ORTUÑO NIETO	SE SOLICITO PRUEBA DE BOMBEO. ORD. 65 DE 26/02/96
35			(N-292)	PLANTA WRANGLER, B. ARANA 2365, ARICA		10,0	864	1.099,2	ND-1-1-129	17/03/93	ARICA	PATRICIO PIVA LECAROS	EN TRAMITE
36	7.963.968,74	361.809,38			CHACALLUTA	0,3	24	1.099,5	ND-1-1-130	26/03/93	ARICA	LUIS MATORANA JARPA	EN TRAMITE
37	7.951.971	357,024	(N-113)		VALLE DE AZAPA	5,0	432	1.104,5	NR-1-1-131	13/04/93	ARICA	ALBERTO FOCCAGI VIVES	ENVIADO A LA CORTE DE APELACIONES ARICA. ORD. 9 DE 14/01/94
38	7.953.211	373.758	S-321	COLONIA JUAN NOE	VALLE DE AZAPA	10,0	864	1.114,5	NR-1-1-132	05/04/93	ARICA	LUIS OLIVARES LIMARE	SE SOLICITO PRUEBA DE BOMBEO. ORD. 70 DE 26/02/96
40	7.954.769	367.183	S-244	LOTJE 80 ALGODONAL	VALLE DE AZAPA	7,0	608	1.121,5	NR-1-1-134	06/04/93	ARICA	YOUSSEF NADER BON ANTUR M.	SE SOLICITO PRUEBA DE BOMBEO ORD. 68 DE 26/02/96
41	7.953.712	370,094	S-356		VALLE DE AZAPA	5,0	432	1.136,5	NR-1-1-135	06/04/93	ARICA	MIGUEL NADER BON ANTUR KARKY	SE SOLICITO PRUEBA DE BOMBEO ORD. 69 DE 26/02/96
42	7.948.215	382,406	S-327		VALLE DE AZAPA	8,0	432	1.131,5	ND-1-1-136	06/04/93	ARICA	ALDO LOMBARDI LOMBARDI	EN TRAMITE
43	7.948.215	382,406	S-154	SONDAJE CD-2		7,0	608	1.138,5	NR-1-1-137	06/04/93	ARICA	EIO KHALIL KHARRAY BOUDGUEUR	SE ENVIO AL JUZ. ORD. 48 DE 08/02/96
44	7.954.850	367,478	S-155	SONDAJE CD-3		5,0	432	1.143,5	NR-1-1-137	06/04/93	ARICA	EIO KHALIL KHARRAY BOUDGUEUR	SE ENVIO AL JUZ. ORD. 48 DE 08/02/96
45	7.954.714	367,990	S-351	LOTJE ALGODONAL FRENTE KM 3,5. CAMINO ARICA-AZAPA		2,5	216	1.146,0	NR-1-1-139	21/05/93	ARICA	CESAR CESPEDES ULLOA	SE SOLICITO PRUEBA DE BOMBEO ORD. 67 DE 26/02/96
46	7.952.878	375,027			VALLE DE AZAPA	5,0	432	1.151,0	ND-1-1-142	23/05/93	ARICA	HIPOLITO NUÑEZ VLDOSO	SE SOLICITO PRUEBA DE BOMBEO ORD. 72 DE 26/02/96
47	7.955.185	364,075	S-270	POZO O'HAGGINS, CIUDAD		25,0	2.160	1.176,0	ND-1-1-142	07/07/93	ARICA	ESSAY S.A.	EN TRAMITE
48	7.955.401	363,586	S-269	POZO ANGELMO, CIUDAD		25,0	2.246	1.202,0	ND-1-1-142	07/07/93	ARICA	ESSAY S.A.	EN TRAMITE
49	7.954.615	364,568	S-273	POZO TAMBO QUEMADO, CIUDAD		29,0	2.506	1.231,0	ND-1-1-142	07/07/93	ARICA	ESSAY S.A.	EN TRAMITE
50	7.970.050	360,175		POZO PZ1, PARQUE ZOFFR, ARICA		20,0	1.728	1.251,0	ND-1-1-144	28/06/93	ARICA	JUAN MORALES BARRAZA, ZOFFR S.A.	EN TRAMITE
51	7.950.200	379,139	N-135	POZO SANTA LUCIA 1	VALLE DE AZAPA	6,5	562	1.257,5	ND-1-1-147	19/10/93	ARICA	LUICIA M. RAMOS BRAVO	ENVIADO A LA CORTE DE APELACIONES ARICA. ORD. 198, 12/12/94
52	7.949.784	378,972	N-301	POZO SANTA LUCIA 2	VALLE DE AZAPA	3,5	302	1.261,0	ND-1-1-148	19/10/93	ARICA	LUICIA M. RAMOS BRAVO	EN TRAMITE
60	7.964.863	366,301		PARCELACION EL ALGODONAL	VALLE DE AZAPA	0,8	68	1.261,8	ND-1-1-157	23/03/94	ARICA	ALDO R. LOMBARDI, FIORA DEL FABRO	EN TRAMITE
61	7.952.384	373,220		ALTO RAMIREZ, KM 9 VALLE DE AZAPA	VALLE DE AZAPA	27,0	2.333	1.288,8	ND-1-1-158	23/03/94	ARICA	ALDO R. LOMBARDI, FIORA DEL FABRO	EN TRAMITE
62	7.958.608	362,563	N-128	POZO 128	VALLE DE AZAPA	1,5	130	1.290,3	NR-1-1-161	09/06/94	ARICA	RICARDO MUJIB DECONA	SE ENVIO A CORTE DE APELACIONES ARICA. ORD. 302 DE 24/10/95
63	7.958.655	362,576	N-129	POZO 129	VALLE DE AZAPA	1,5	130	1.291,8	NR-1-1-161	09/06/94	ARICA	RICARDO MUJIB DECONA	SE ENVIO A CORTE DE APELACIONES ARICA. ORD. 302 DE 24/10/95
64	7.956.692	362,591	N-130	POZO 130	VALLE DE AZAPA	1,5	130	1.293,3	NR-1-1-161	09/06/94	ARICA	RICARDO MUJIB DECONA	SE ENVIO A CORTE DE APELACIONES ARICA. ORD. 302 DE 24/10/95
72	7.951.971	375,024	N-113		VALLE DE AZAPA	30,0	2.592	1.323,3	ND-1-1-171	04/03/95	ARICA	PANINACOTA	EN TRAMITE (DERECHO CONSUNTIVO DE EJERCICIO PERMANENTE Y CONTINUO)
73	7.952.360	372,800		LAS MAITAS	VALLE DE AZAPA	25,0	2.160	1.348,3	NR-1-1-173	07/04/95	ARICA	GLADYS N. LAY SAN RAMON	EN TRAMITE
75	7.954.720	367,020	N-246	PARCELA 17, LOTJE ALGODONAL	VALLE DE AZAPA	1,5	130	1.349,8	NR-1-1-175	25/07/95	ARICA	ALDO LOMBARDI LOMBARDI	SOLICITA FONDOS. ORD. 83 DE 28/02/96. SE ENVIA A CORTE DE APELACIONES DE ARICA. ORD. 85 DE 28/02/96
76			S-306	POZO 1, PREDIO "SAVONA" A 100 M AL S DEL RIO SAN JOSE Y A 200 M AL O DE DESLIND E		20,0	1.728	1.369,8	NR-1-1-177	28/07/95	ARICA	SUCESION ARMANDO LOMBARDI G.	SE SOLICITO FONDOS ORD. 82 DE 28/02/96. SE ENVIO A CORTE DE APELACIONES ARICA. ORD. 86 DE 28/02/96
77			S-306	POZO 2, PREDIO "EL OLIVO" A 10 M AL O DE DESLIND E		42,0	3.629	1.411,8	NR-1-1-177	28/07/95	ARICA	SUCESION ARMANDO LOMBARDI G.	SE SOLICITO FONDOS ORD. 82 DE 28/02/96. SE ENVIO A CORTE DE APELACIONES ARICA. ORD. 86 DE 28/02/96
78			S-306	POZO 3, PREDIO "EL OLIVO" A 80 M AL N DE CAMINO PUBLICO KM 17 Y A 30 M AL O DE DESLIND E DE VALLE DE AZAPA		10,0	864	1.421,8	NR-1-1-177	28/07/95	ARICA	SUCESION ARMANDO LOMBARDI G.	SE SOLICITO FONDOS ORD. 82 DE 28/02/96. SE ENVIO A CORTE DE APELACIONES ARICA. ORD. 86 DE 28/02/96
79				POZO 1, PREDIO "SAN IGNACIO" A 30 M AL N DE RIO SAN JOSE Y A 8 M AL O. DESLIND E	VALLE DE AZAPA	10,0	864	1.431,8	NR-1-1-178	28/07/95	ARICA	OSCAR ASTRAIN MATORANA	SE SOLICITO FONDOS POR ORD. 81, 28/02/96
80				POZO 2, PREDIO "SAN IGNACIO" A 40 M AL N DE CAMINO PUBLICO KM 17 A 15 M AL O DE DESLIND E VALLE DE AZAPA	VALLE DE AZAPA	15,0	1.296	1.446,8	NR-1-1-178	28/07/95	ARICA	OSCAR ASTRAIN MATORANA	SE ENVIO A CORTE DE APELACIONES ARICA. ORD. 87, 28/02/96
81			N-125	POZO EN PARCELA Nº1, COLONIA JUAN NOE A 700 M AL S DE CAMINO PUBLICO AZAPA Y A 500 M AL E DE DESLIND E O. VALLE AZAPA	VALLE DE AZAPA	20,0	1.728	1.466,8	NR-1-1-179	28/07/95	ARICA	NELLY SOTO ESPINOZA	
82			N-137	POZO PARCELA "OCURICA Y LEONOR" LATITUD 18°29' LONGITUD 70°29'54"	VALLE DE AZAPA	10,0	864	1.476,8	NR-1-1-180	28/07/95	ARICA	JUAN E. OHACO MONTIER	EN TRAMITE
83			S-306	POZO EN PARCELA "SAVONA" A 60 M AL S DE RIO SAN JOSE Y A 80 M AL E DEL CAMINO PUBLICO KM 12	VALLE DE AZAPA	45,0	3.888	1.521,8	ND-1-1-181	28/07/95	ARICA	SUCESION ARMANDO LOMBARDI G.	EN TRAMITE
84				POZO EN PARCELACION "SAN JUAN DE OCURICA" A 80 M AL S DE CAMINO PUBLICO AZAPA Y A 8 M O DEL CAMINO VECINAL	VALLE DE AZAPA	10,0	864	1.531,8	ND-1-1-182	28/07/95	ARICA	MARKO GARDJIC BALANIN Y OTROS	EN TRAMITE
85			S-109	PARCELA "LAS MERCEDÉS" A 174 M AL N CAMINO PUBLICO VALLE DE AZAPA KM 7,5	VALLE DE AZAPA	20,0	1.728	1.551,8	NR-1-1-183	28/07/95	ARICA	ALFREDO GARDJIC GOMEZ	EN TRAMITE

**CUADRO 7.3.2-2  
DERECHOS EN TRAMITE (AGUAS SUBTERRANEAS)  
COMUNA DE ARICA**

N°	COORDENADAS UTM		FUENTE ASOCIADA CATASTRO	UBICACION	SECTOR	CAUDAL TRAMITE			EXPEDIENTE		COMUNA	SOLICITANTE	OBSERVACIONES
	NORTE	ESTE				SOLICITADO (l/s)	ACUMULADO (m <sup>3</sup> /día)	ACUMULADO (l/s)	N°	FECHA INGRESO			
86			N-65 & N-192	PREDIO "CERRO MORENO" A 200 M AL N DE RIO SAN JOSE Y A 300 M AL O DE CANAL LAUCA	VALLE DE AZAPA	10.0	864	1.561.8	NR-1-1-184	28/07/95	ARICA	DANAE C. SOMAHOD LOMBARDI	EN TRAMITE
87				POZO 1. PREDIO "LA HUERTA" A 180 M AL N DEL CAMINO PUBLICO DE AZAPA Y A 40 M AL O DE DESLINDE E	VALLE DE AZAPA	35.0	3.024	1.596.8	ND-1-1-185	28/07/95	ARICA	MARKO GARDLICIC BALAVIN Y OTROS	EN TRAMITE
88				POZO 2. PREDIO "SACRAMENTO" A 520 M AL N DEL CAMINO PUBLICO Y A 100 M AL O DE DESLINDE E. VALLE AZAPA	VALLE DE AZAPA	30.0	2.592	1.626.8	ND-1-1-185	28/07/95	ARICA	MARKO GARDLICIC BALAVIN Y OTROS	EN TRAMITE
89			N-386	PREDIO "SOBRAYA" A 1165 M AL S DE CANAL LAUCA Y A 3 M AL O DE DESLINDE DE E VALLE AZAPA	VALLE DE AZAPA	10.0	864	1.636.8	NR-1-1-186	28/07/95	ARICA	SOC. AGRICOLA Y COM. PABLO LAGOS	EN TRAMITE
90			N-176	PREDIO "SANTA GENIMA" A 500 M AL N DEL RIO SAN JOSE Y A 3 M AL O DE DESLINDE E	VALLE DE AZAPA	30.0	2.592	1.666.8	NR-1-1-187	28/07/95	ARICA	IGNACIO MIRANDA RAMIREZ	EN TRAMITE
91				PARCELA 5. PAGO DE GOMEZ A 82 M AL S DE CAMINO PUBLICO AZAPA A 13 M O DE DESLINDE E		1.5	130	1.668.0	NR-1-1-188	28/07/95	ARICA	VERÓNICA REY MAS	EN TRAMITE
92				PARCELA "KVAYAC" A 120 M AL S DE RIO SAN JOSE Y A 4 M AL O DE DESLINDE E. VALLE DE AZAPA	VALLE DE AZAPA	25.0	2.160	1.693.3	NR-1-1-189	28/07/95	ARICA	CHONG LAY EVARISTO Y OTROS	SE SOLICITÓ FONDOS ORD. N°80, 28/02/96 SE ENVIO A LA CORTÉ DE APELACIONES ARICA ORD. 88, 28/02/96
93				PREDIO PARCELA 3. PROYECTO 18 DE SEPTIEMBRE A 30 M AL O DE DESLINDE E CON PARCELA 2 Y A 500 M AL S DE CAMINO PUBLICO AZAPA		25.0	2.160	1.718.3	NR-1-1-190	28/07/95	ARICA	HECTOR M GONZALEZ CASTRO	EN TRAMITE
94				POZO 1 A 460 M AL N DE CAMINO PUBLICO AZAPA Y A 40 M AL O DE DESLINDE E		30.0	2.592	1.748.3	NR-1-1-191	28/07/95	ARICA	MARKO GARDLICIC BALAVIN Y OTROS	EN TRAMITE
95				POZO 2 A 150 M AL S DE RIO SAN JOSE A 7 M A'E DESLINDE O		20.0	1.728	1.768.3	NR-1-1-191	28/07/95	ARICA	MARKO GARDLICIC BALAVIN Y OTROS	EN TRAMITE
96				POZO 3 A 700 M AL N DE CAMINO PUBLICO AZAPA Y A 12 M AL O DE DESLINDE E		35.0	3.024	1.803.3	NR-1-1-191	28/07/95	ARICA	MARKO GARDLICIC BALAVIN Y OTROS	EN TRAMITE
97				PREDIO LOTE 1 A 14 M AL O DE DESLINDE E. CON LOTE 3 Y A 7 M AL NO DE DESLINDE S	CAMPO VERDE	10.0	864	1.813.3	ND-1-1-192	28/07/95	ARICA	GUILLERMO F. NIEDMANN ESPINOZA	EN TRAMITE
98			S-195	POZO 1. AL N DE CAMINO VECINAL ALTO RAMIREZ Y A 550 M AL O DEL CALLEJON LA CUCUÑA		20.0	1.728	1.833.3	ND-1-1-193	28/07/95	ARICA	RICARDO FERNANDEZ QUINTANA	EN TRAMITE
99			S-195	POZO 2. AL S DEL CANAL LA MITACION Y A 7 M AL O DEL CALLEJON LA CUCUÑA		22.0	1.901	1.855.3	ND-1-1-193	28/07/95	ARICA	RICARDO FERNANDEZ QUINTANA	EN TRAMITE
100			N-220	POZO 1. AL S DEL CANAL PAGO DE GOMEZ N Y A 200 M AL O DE DESLINDE E. UBICADO EN HACIENDA "EL SAUCE"		15.0	1.296	1.870.3	NR-1-1-194	28/07/95	ARICA	JAMIE CESPEDES RODRIGUEZ	EN TRAMITE
101			N-357	POZO 2. PREDIO "COMBARBALA" PARCELA 21 AL N DE CAMINO PUBLICO AZAPA Y A 50 M AL E DE DESLINDE O		8.0	691	1.878.3	NR-1-1-194	28/07/95	ARICA	JAMIE CESPEDES RODRIGUEZ	EN TRAMITE
102			N-52	HACIENDA "EL SAUCE" A 225 M AL S DE CANAL PAGO DE GOMEZ Y A 220 M AL O DE DESLINDE E		20.0	1.728	1.898.3	ND-1-1-195	28/07/95	ARICA	JAMIE CESPEDES RODRIGUEZ	EN TRAMITE
103			(N-196)	POZO 1. PREDIO "OLIVAR WAGUELIN" A 100 M AL N DE CAMINO PUBLICO AZAPA Y A 100 M AL O DE DESLINDE E		25.0	2.160	1.923.3	NR-1-1-196	28/07/95	ARICA	HUGO F. MOZO WAGUELIN	EN TRAMITE
104			(N-247)	POZO 2. PREDIO "OLIVAR WAGUELIN" A 300 M AL N DEL CAMINO PUBLICO AZAPA KM 4 Y A 5 M AL O DE DESLINDE ORIENTE		50.0	4.320	1.973.3	NR-1-1-196	28/07/95	ARICA	HUGO F. MOZO WAGUELIN	EN TRAMITE
105			(S-354)	POZO 3. PREDIO "CINCO OLIVOS" A 165 M AL N DE CANAL PAGO DE GOMEZ SUR Y A 10 M AL O DE DESLINDE E. CON CAMINO VECINAL		19.0	1.642	1.992.3	NR-1-1-196	28/07/95	ARICA	HUGO F. MOZO WAGUELIN	EN TRAMITE
106			(N-363)	POZO 4 A 140 M AL N DE CANAL PAGO DE GOMEZ S Y A 100 M AL E DE DESLINDE O CON CAMINO VECINAL		25.0	2.160	2.017.3	NR-1-1-196	28/07/95	ARICA	HUGO F. MOZO WAGUELIN	EN TRAMITE
107			(S-364)	PARCELA 43 A 200 M AL S DE RIO SAN JOSE Y A 50 M AL O DE DESLINDE E AZAPA		18.0	1.555	2.035.3	ND-1-1-197	28/07/95	ARICA	AUGUSTO CANPA GUTIERREZ	EN TRAMITE
108			(S-237 & S-238)	CUENCA DE RIO SAN JOSE EN LA HACIENDA SAN FERNANDO A 105 M AL N DE DESLINDE S CON CANAL LAUCA Y A 15 M AL O DE DESLINDE E		17.0	1.469	2.052.3	NR-1-1-198	28/07/95	ARICA	NIKA BESMALNOVIC JANCOVIC	EN TRAMITE
109			N-210	PREDIO PARCELA 2 A 50 M AL S DE CARRETERA AZAPA Y A 50 M AL E DE DESLINDE O CON PARCELA 1		10.0	864	2.062.3	ND-1-1-199	28/07/95	ARICA	JUAN VEGA VALIENTE	EN TRAMITE
110			(N-84)	PREDIO "LA YARA" A 30 M AL S DE CAMINO PUBLICO AZAPA Y A 100 M AL O DE DESLINDE E		8.0	691	2.070.3	NR-1-1-200	28/07/95	ARICA	JULIO A. SANTA MARIA DEVICEN	EN TRAMITE
111				POZO 1. PREDIO SN RICARDO A 15 M AL O DE DESLINDE E Y A 60 M AL S DE DESLINDE N	ALTO RAMIREZ	5.0	432	2.075.3	ND-1-1-201	28/07/95	ARICA	RHYNA BLAMEY ROJAS	EN TRAMITE
112				POZO 2 PREDIO SN CARLOS A 300 M AL N DEL EJE DE RIO SAN JOSE Y A 600 M AL O DE DESLINDE E	ALTO RAMIREZ	6.8	570	2.081.3	ND-1-1-201	28/07/95	ARICA	RHYNA BLAMEY ROJAS	EN TRAMITE
113				POZO SN RICARDO A 40 M AL O DE DESLINDE E Y A 40 M AL NORTE	ALTO RAMIREZ	4.0	346	2.085.3	NR-1-1-202	28/07/95	ARICA	RHYNA BLAMEY ROJAS	EN TRAMITE
114				PREDIO SAN CAYETANO A 12 M AL O DE DESLINDE E Y A 250 M AL N DEL CAMINO PUBLICO AZAPA, KM 18.5		8.0	691	2.093.3	NR-1-1-203	28/07/95	ARICA	MAXIMO C KARL SALAS	EN TRAMITE
115				POZO 1 A 400 M AL N DE RIO SAN JOSE Y A 5 M AL O DE DESLINDE E. KM 17 AZAPA		27.5	2.376	2.121.4	NR-1-1-204	28/07/95	ARICA	AGRICOLA LOMBARDI S A.	EN TRAMITE
116				POZO 2 A 100 M AL S DEL CANAL MA DEL LAUCA Y A 50 M AL O DE DESLINDE E		15.0	1.296	2.136.4	NR-1-1-204	28/07/95	ARICA	AGRICOLA LOMBARDI S A.	EN TRAMITE
117				POZO 1 EN PREDIO PARCELA 52 A 28 M AL O DE DESLINDE E Y A 500 M AL S DE RIO SAN JOSE		15.0	1.296	2.151.4	ND-1-1-205	28/07/95	ARICA	JUAN L. SANTOS YUGRA	EN TRAMITE
118				POZO 2 PREDIO PARCELA 20 AL O DEL CAMINO ARICA CERRO SOMBRERO AZAPA		5.0	432	2.156.4	ND-1-1-205	28/07/95	ARICA	JUAN L. SANTOS YUGRA	EN TRAMITE
119				POZO 3. PREDIO JACINTA AL O DE DESLINDE E		5.0	432	2.161.4	ND-1-1-205	28/07/95	ARICA	JUAN L. SANTOS YUGRA	EN TRAMITE
120			N-221	POZO 1. AL N DE DESLINDE S		15.0	1.296	2.176.4	ND-1-1-206	28/07/95	ARICA	CECILIA CESPEDES RODRIGUEZ	EN TRAMITE
121			S-359	POZO 2. AL N DE DESLINDE S		20.0	1.728	2.196.4	ND-1-1-206	28/07/95	ARICA	CECILIA CESPEDES RODRIGUEZ	EN TRAMITE
122				PREDIO CERRO MORENO A 300 M AL N DE RIO SAN JOSE Y A 10 M AL O DE DESLINDE E		48.0	3.456	2.236.4	NR-1-1-207	28/07/95	ARICA	HUMBERTO S ROJAS MARASSO	EN TRAMITE
123			(S-364)	PREDIO PARCELA 39 A 200 M AL S DE RIO SAN JOSE Y A 10 M AL O DE DESLINDE E CON PARCELA 28. KM 7. AZAPA		20.0	1.728	2.254.4	NR-1-1-208	28/07/95	ARICA	AUGUSTO CANPA GUTIERREZ	EN TRAMITE
124			S-332	POZO 1 PREDIO 20. ALTO RAMIREZ A 18.3 M AL S DE DESLINDE N Y A 107 M AL O DE CAMINO ARICA-CERRO SOMBRERO				2.254.4	NR-1-1-209	28/07/95	ARICA	IGNACIO MIRANDA RAMIREZ	



CUADRO 7.3.2-2  
DERECHOS EN TRAMITE (AGUAS SUBTERRANEAS)  
COMUNA DE ARICA

Nº	COORDENADAS UTM		FUENTE ASOCIADA CATASTRO	UBICACION	SECTOR	CAUDAL TRAMITE			EXPEDIENTE		COMUNA	SOLICITANTE	OBSERVACIONES
	NORTE	ESTE				SOLICITADO (l/s)	(m3/dia)	ACUMULADO (l/s)	Nº	FECHA INGRESO			
125			S-333	POZO 2 PREDIO JACINTA A 25 M AL S DEL RIO SAN JOSE Y A 24 M AL O DESLINDE E			2.256,4	NR-1-1-209	28/07/95	ARICA	IGNACIO MIRANDA RAMIREZ		
126			(S-164)	POZO VALLE AZAPA, HOTEL AZAPA, CALLE GUILLERMO SANCHEZ 660		10,2	881	2.266,6	NR-1-1-212	14/08/95	ARICA	RICHARD R. PRICE ROJAS	SE ENVIÓ A CORTE DE APELACIONES ARICA, ORD. 84, 28/02/96
127	7.953.093	373.605				4,0	346	2.270,6	NR-1-1-213	21/08/95	ARICA	ADA J. VEAS PENALILLO	EN TRAMITE
128				PREDIO EL VERDUGO, LAS MAITAS, UBICADO A 120 M AL N DE CAMINO PUBLICO LAS MAITAS Y A 50 M AL O DEL CALLEJON PUBLICO		15,0	1.296	2.285,6	NR-1-1-214	14/09/95	ARICA	CONSTANTINO F. FUMEY CORDOVA	EN TRAMITE
129			N-126	PREDIO CERRO MORENO LOTE A, UBICADO A 50 M AL N DE CAMINO PUBLICO AZAPA Y A 60 M AL O DE PIE DEL CERRO		12,0	1.037	2.297,6	NR-1-1-215	14/09/95	ARICA	EDA M. CARBONE ROCCO	EN TRAMITE
130			S-115	PREDIO "CERRO MORENO B" A 70 M AL S DE CAMINO PUBLICO AZAPA Y A 80 M AL E DE CANAL LAUCA		40,0	3.456	2.337,6	NR-1-1-216	14/09/95	ARICA	AMADEO DINO CARBONE HENRY	EN TRAMITE
131			S-115	PREDIO "CERRO MORENO D" A 90 M AL S DE CAMINO PUBLICO AZAPA Y A 8 M AL O DE DESLINDE E		40,0	3.456	2.377,6	NR-1-1-217	14/09/95	ARICA	AMADEO DINO CARBONE HENRY	EN TRAMITE
132			N-321	PREDIO "S/A. ROSA" A 207,75 M AL S DE CANAL "LOS ALBARRACINES" Y A 111 M AL E DE DESLINDE O		12,0	1.037	2.369,6	ND-1-1-218	14/09/95	ARICA	HAROLD H. CORNILS EIKHOF G.	EN TRAMITE
133				POZO 1, A 150 M AL N DE RIO SAN JOSE Y A 3 M AL O DE DESLINDE E CON CAMINO VECINAL		18,0	1.555	2.407,6	NR-1-1-219	14/09/95	ARICA	AQUILES R. ORDONEZ VALENZUELA	EN TRAMITE
134				A 230 M AL N DE RIO SAN JOSE Y A 3 M AL O DE DESLINDE E CON CAMINO VECINAL		15,0	1.296	2.422,6	NR-1-1-219	14/09/95	ARICA	AQUILES R. ORDONEZ VALENZUELA	EN TRAMITE
135			N-329	PREDIO "BUEN RETIRO" A 5 M AL O DE DESLINDE E Y A 225 M AL S DE RIO SAN JOSE		20,0	1.728	2.442,6	NR-1-1-220	14/09/95	ARICA	MARIA CALLE SOLIZ	EN TRAMITE
136			N-74	PREDIO "LA TARA", KM 17 A 260 M AL N DE RIO SAN JOSE Y A 6 M AL O DE DESLINDE E		30,0	2.592	2.472,6	NR-1-1-221	14/09/95	ARICA	ANTONIA ESTORAICA ALBARRACIN	EN TRAMITE
137				PREDIO "LA HUERTECITA 3" A 8 M AL O DE DESLINDE E Y A 90 M AL N DE CARRETERA AZAPA		30,0	2.592	2.502,6	NR-1-1-222	14/09/95	ARICA	MLOVLAV GARDILIC BOCK	EN TRAMITE
138				PREDIO "CAMPO LINDO" LOTE 3 SITIO B1 A 30 M AL S DE RIO SAN JOSE Y A 8 M AL O DE DESLINDE E DE LA PROPIEDAD		7,0	605	2.509,6	NR-1-1-223	14/09/95	ARICA	RAUL J. BUNEDER BUNEDER	EN TRAMITE
139				PREDIO "SAN JUAN DE OCURICA" A 250 M AL S DE CARRETERA AZAPA Y A 15 M AL O DEL DESLINDE E		20,0	1.728	2.529,6	NR-1-1-224	14/09/95	ARICA	ANTONIO F. GARDILIC BOERO	EN TRAMITE
140				PREDIO "ALTO ALBARRACIN" A 25 M AL S DE CARRETERA AZAPA Y A 10 M AL O DE DESLINDE E		20,0	1.728	2.549,6	NR-1-1-225	14/09/95	ARICA	ROXANA A. GARDILIC BOERO	EN TRAMITE
141			(S-322)	PREDIO "IDA. SAN JUAN DE OCURICA" A 3 M AL N DEL CAMINO VECINAL Y A 180 M AL O DE DESLINDE E		15,0	1.296	2.564,6	NR-1-1-226	14/09/95	ARICA	CARLOS E. BUNEDER BUNEDER	EN TRAMITE
142	7.954.705	367.988	(S-154 ó S-155)	SONDIAJE DC-3		10,0	864	2.574,6	NR-1-1-227	10/06/95	ARICA	EID KHALIL KHARRAT	EN TRAMITE
143	7.954.295	368.705	S-357	POZO 54	VALLE DE AZAPA	20,0	1.728	2.594,6	NR-1-1-228	20/10/95	ARICA	FILIBERTO J. FERNANDEZ GONZALEZ	EN TRAMITE
144	7.954.360	368.905	S-358	HACIENDA LAUREL	VALLE DE AZAPA	20,0	1.728	2.614,6	NR-1-1-229	20/10/95	ARICA	OLGA L. MATYA PACHECO	EN TRAMITE
145	7.954.760	366.620	N-157	POZO 157	VALLE DE AZAPA	1,0	86	2.615,6	NR-1-1-230	20/10/95	ARICA	MARIO G. PEREZ CARRERO	EN TRAMITE
146				LOTE 19 MAZ J., PROYECTO CHINCHORRO BAJO		35,0	3.024	2.650,6	ND-1-1-240	11/09/95	ARICA	AGUACOR S.A.	EN TRAMITE
	7.960.307	363.312	N-229	POZO NORTE					ND-1-1-240	11/09/95	ARICA	AGUACOR S.A.	EN TRAMITE
	7.960.262	363.312	N-229	POZO CENTRAL					ND-1-1-240	11/09/95	ARICA	AGUACOR S.A.	EN TRAMITE
	7.960.226	363.316	N-229	POZO SUR					ND-1-1-249	29/12/95	ARICA	ZOFRI S.A., LUIS V. UNANUE VERDUGO	EN TRAMITE
	7.973.597	360.354		POZO 2		18,0	1.555	2.668,6	NR-1-1-253	22/01/96	ARICA	ORLANDO PINO BORGUEZ	EN TRAMITE. SOLICITA PRUEBA DE BOMBEO, 28/02/96
150	7.954.973	366.653		RIO SAN JOSE	VALLE DE AZAPA	0,1	10	2.668,7	NR-1-1-253	22/01/96	ARICA	ORLANDO PINO BORGUEZ	EN TRAMITE. SOLICITA PRUEBA DE BOMBEO, 28/02/96

COMUNA DE PARINACOTA

53	7.972.134.31	456.928.19		POZO 4	PUTRE	45,0	3.888	45,0	ND-1-2-152	27/10/93	PARINACOTA	ESSAT S.A.	EN TRAMITE
54	7.972.251.16	462.519.42		POZO 5	PUTRE	43,0	3.715	88,0	ND-1-2-152	27/10/93	PARINACOTA	ESSAT S.A.	EN TRAMITE
55	7.980.170.67	464.104.0		POZO 6	PUTRE	45,0	3.888	133,0	ND-1-2-152	27/10/93	PARINACOTA	ESSAT S.A.	EN TRAMITE
56	7.975.080.56	463.673.83		POZO 7	PUTRE	60,0	5.184	193,0	ND-1-2-152	27/10/93	PARINACOTA	ESSAT S.A.	EN TRAMITE
57	7.979.849.71	464.105.54		POZO 8	PUTRE	75,0	6.480	268,0	ND-1-2-152	27/10/93	PARINACOTA	ESSAT S.A.	EN TRAMITE
58	7.972.635.29	462.812.25		POZO 9	PUTRE	65,0	5.616	333,0	ND-1-2-152	27/10/93	PARINACOTA	ESSAT S.A.	EN TRAMITE
59	7.974.738.10	463.610.55		POZO 10	PUTRE	9,0	778	342,0	ND-1-2-152	27/10/93	PARINACOTA	ESSAT S.A.	EN TRAMITE
65	7.972.700	458.000		POZO 4	PUTRE	29,0	2.506	371,0	ND-1-2-170	17/03/95	PARINACOTA	DIRECCION DE RIEGO-JUAN LOBOS DIAZ	EN TRAMITE. FALTAN PUBLICACIONES
66	7.972.250	462.500		POZO 5	PUTRE	35,0	3.024	406,0	ND-1-2-170		PARINACOTA	DIRECCION DE RIEGO-JUAN LOBOS DIAZ	EN TRAMITE. FALTAN PUBLICACIONES
67	7.980.600	464.400		POZO 6	PUTRE	38,0	3.283	444,0	ND-1-2-170		PARINACOTA	DIRECCION DE RIEGO-JUAN LOBOS DIAZ	EN TRAMITE. FALTAN PUBLICACIONES
68	7.975.100	463.700		POZO 7	PUTRE	50,0	4.320	494,0	ND-1-2-170		PARINACOTA	DIRECCION DE RIEGO-JUAN LOBOS DIAZ	EN TRAMITE. FALTAN PUBLICACIONES
69	7.980.300	464.300		POZO 8	PUTRE	60,0	5.184	554,0	ND-1-2-170		PARINACOTA	DIRECCION DE RIEGO-JUAN LOBOS DIAZ	EN TRAMITE. FALTAN PUBLICACIONES
70	7.972.450	462.650		POZO 9	PUTRE	55,0	4.752	609,0	ND-1-2-170		PARINACOTA	DIRECCION DE RIEGO-JUAN LOBOS DIAZ	EN TRAMITE. FALTAN PUBLICACIONES
71	7.974.850	463.600		POZO 10	PUTRE	7,5	648	616,5	ND-1-2-170		PARINACOTA	DIRECCION DE RIEGO-JUAN LOBOS DIAZ	EN TRAMITE. FALTAN PUBLICACIONES
74				VERTIENTE TAIPICAGUA	PUTRE	131 ACC.		616,5	NC-1-2-174	06/12/95	PARINACOTA	COMUNIDAD DE AGUAS CUBRIMANI	TRASLADA NIVEL CENTRAL ORD. 152 DE 17/07/95

FUERA DEL AREA DEL MODELO

21			N-257	VILLA FRONTERA		0,3	22	0,3	NR-1-1-87	20/03/92	ARICA	DONALD ERSKINE MOLINA	SE ENVIÓ A CORTE DE APELACIONES ARICA, ORD. 177 DE 06/08/92
22				VALLE DE LLUYA		2,0	173	2,3	ND-1-1-88	24/03/92	ARICA	ANGEL E. LEIVA AGUIRRE	EN TRAMITE
24	7.965.750	360.500	N-258	VILLA FRONTERA		10,0	864	12,3	NR-1-1-102	18/05/92	ARICA	ROSA ARAYA BARCHIC	SOLICITO PRUEBA DE BOMBEO Y PUBLICACIONES ORD. 73, 26/02/96
39	7.954.790	461.250	S-300	VILLA LA FRONTERA		15,0	1.296	27,3	ND-1-1-133	19/05/93	ARICA	EUGENIO DONOSO RAMIREZ	PROPONE CONSTITUIR DERECHO ORD. 232 DE 30/08/95

### 7.3.3 Discusión de Resultados

Para facilitar el análisis de los resultados de los distintos casos, se dividió el valle en 5 sectores que se muestran en la Figura 7.3.3-1, y que corresponden a la siguiente división desde aguas arriba hacia aguas abajo:

SECTOR 1: CHUVAL-CABUZA-CASA GRANDE

pozos de obs.: 225, 283, 284, obs-CB

SECTOR 2: SAN MIGUEL-LAS RIVERAS

pozos de obs.: 101, 102, 115

SECTOR 3: LAS ÁNIMAS-LAS MAITAS

pozos de obs.: 103, 104, 123

SECTOR 4: SAUCACHE-PAGO DE GÓMEZ

pozos de obs.: 269, 271, 109, 110

SECTOR 5: ARICA

pozos de obs.: 143, 142, 147, 141

Se ha mantenido la ubicación de los pozos de observación considerados en la calibración, para mostrar los descensos del nivel del agua subterránea (ver Figura 7.3.3-1).

En Anexo 7.3-1 se entregan los gráficos de variación del nivel de agua subterráneo para todos los pozos de observación y para los cuatro casos considerados. De igual forma en el Anexo 7.3-2 se entregan los gráficos con las depresiones simuladas respecto del año de partida de las simulaciones (año 1988).

En el Anexo 7.3-3 se entregan figuras que muestran las distribuciones espaciales de las depresiones correspondientes al último año de simulación (2005) en tres zonas del valle (Arica, Pago de Gómez y Las Maitas) y para los casos extremos A y D. Las zonas mostradas son las más afectadas por la explotación del acuífero. En dichas figuras, se muestran en gris las celdas que son afectadas por la sobreexplotación del acuífero (se secan en el modelo) y que dan una idea del grado de compromiso o “colapso” que experimenta el acuífero.

En el Cuadro 7.3.3-1 se entregan los balances hídricos, de acuerdo con las simulaciones realizadas, para los años 1995 y 2005 y para cada caso estudiado.

En el Cuadro 7.3.3-2 se muestra una comparación de los descensos medios determinados para los distintos sectores del valle y para cada caso simulado. El descenso se establece como la diferencia entre el nivel actual simulado (1996) y el del período final de la simulación (2005).

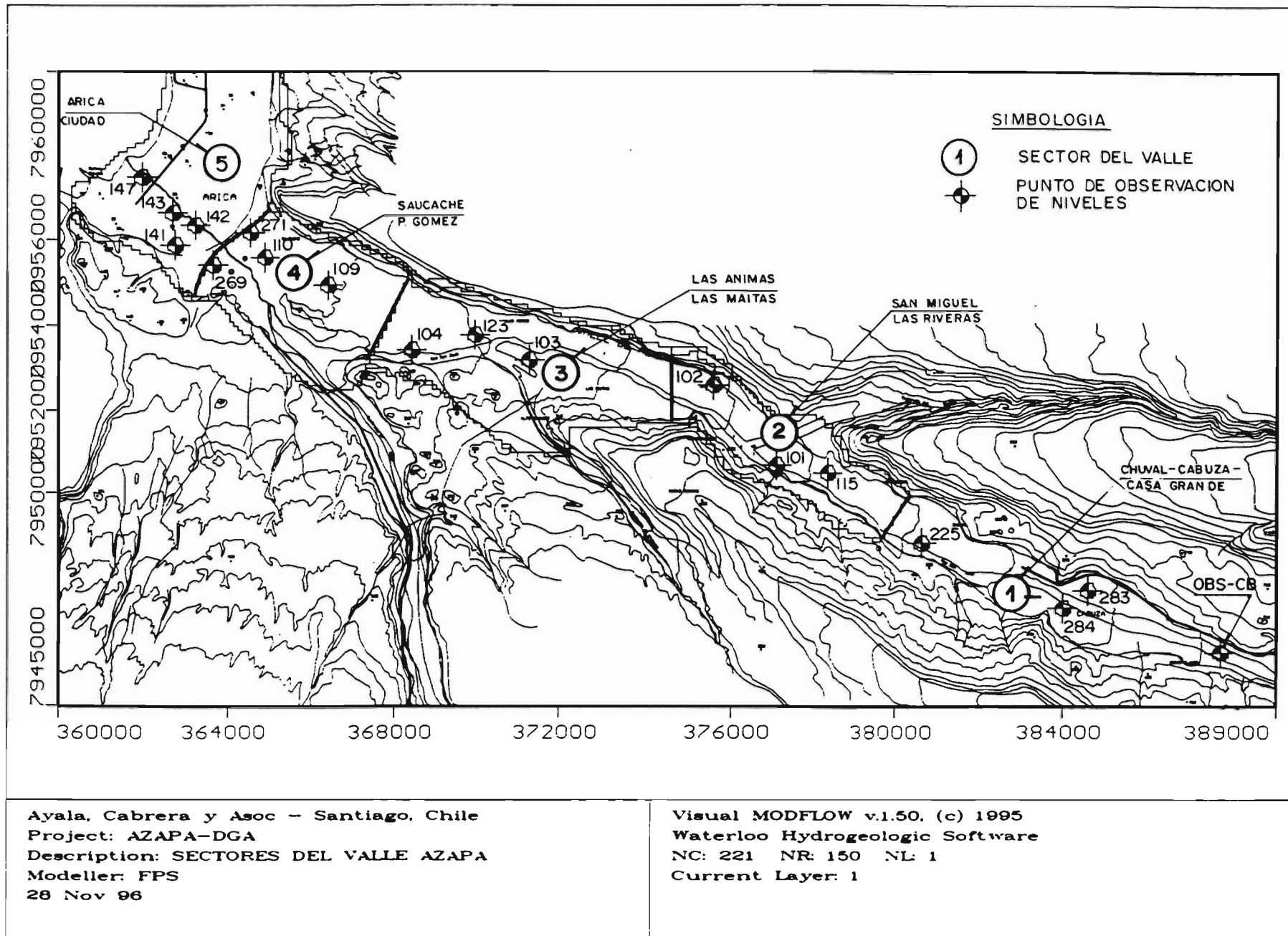


FIGURA 7.3.3-1: SECTORES DEL VALLE DE AZAPA

**CUADRO 7.3.3-1**  
**BALANCES HÍDRICOS PARA CADA CASO (1995 Y 2005)**

ANO	ENTRADA SUBT.	RECARGA	BOMBEO	DEFICIT(*)
	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)
<b>CASO A</b>				
1995	92	210	809	507
2005	91	200	644	353
<b>CASO B</b>				
1995	91	210	812	511
2005	91	195	671	385
<b>CASO C</b>				
1995	90	209	792	493
2005	82	202	432	148
<b>CASO D</b>				
1995	90	209	788	489
2005	82	193	423	148

Nota (\*): el déficit es tomado desde el almacenamiento, y es lo que genera los descensos del nivel.

**CUADRO 7.3.3-2**  
**DESCENSOS PROMEDIO POR SECTOR PARA EL LAPSO ENTRE 1996 Y 2005**  
**DESCENSOS (m)**

SECTOR	CASO A	CASO B	CASO C	CASO D
5 ARICA	50	80-100 (143-147)	60	60
4 SAUCACHE	20-30 (109-269)	45->50 (109-269)	10-30 (109-269)	10-40 (109-269)
3 LAS MAITAS	20	40-55 (103-123)	20-40 (103-123)	50-70 (103-123)
2 SAN MIGUEL	10-15 (202-115)	15-20 (102-115)	0-<5 (102-115)	15->50 (101-102)
1 CABUZA	10-20 (283-225)	10-20 (283-225)	0-30 (283-225)	0-30 (283-225)

Nota: entre paréntesis se señalan los pozos que registran el descenso puntual extremo.

En términos del balance hídrico, no se aprecian diferencias apreciables entre los tres casos, puesto que en todos ellos el sistema se comporta como una situación impermanente de desequilibrio debido a la gran explotación. La disminución observada en los bombeos del último período se debe a que el descenso de niveles es de tal magnitud, que el nivel saturado alcanza el fondo del acuífero (definido aproximadamente para el modelo) y las celdas se secan dejando de bombear. Lo anterior es un indicador cualitativo del grado en que la intensa explotación afectaría al acuífero.

Los descensos representativos de cada sector del valle sí muestran diferencias apreciables entre cada caso y cada sector.

Para el caso A, los mayores descensos se producen en el sector de Arica y alcanzan valores de hasta 50 m respecto del presente año. En el resto del valle serían de entre 20 y 30 m al cabo de 10 años.

El caso B es el que corresponde a la mayor explotación, puesto que se superponen los derechos legalmente constituidos con la explotación real actual. En este caso, para la zona de Arica el descenso llega a los 100 m en el área Centro y Suroriente. Los pozos que eventualmente colapsarían (secándose las celdas) alcanzan a un 13% del total (se secan 40 pozos de un total de 299). Descensos importantes de hasta 50 m se producen en el valle de Azapa, entre Saucache y Las Maitas.

Para el caso C, que corresponde al bombeo a partir de 1996 de los pozos que tienen derechos constituidos, se observa en general un menor descenso que para el caso anterior. En el sector de Las Maitas los descensos, de hasta 40 m, sí son apreciables y comparables con la situación B. En el sector de Arica se produciría un descenso del orden de 60 m, ligeramente superior al que se produciría de mantenerse la actual explotación.

En el caso D, para el cual se superponen a los derechos actualmente constituidos un total de 525 l/s pendientes correspondientes al 20% del caudal total solicitado a la fecha, se producen fuertes descensos entre Las Maitas y San Miguel, con 70 m y 50 m respectivamente. Lo anterior se debe a que casi un 60% del caudal pendiente incorporado en la simulación se extraería desde el sector de San Miguel. En Arica el impacto es comparable al caso anterior.

Una importante conclusión de carácter general y común a todos los casos estudiados, es que el efecto de sobreexplotación no alcanza al límite o borde de aguas arriba del modelo, es decir a la zona entre Cabuza y Casa Grande. Por ello, el flujo subterráneo entrante a la zona modelada no se modifica. Cuando el efecto se haga sentir en el mencionado límite, se induciría un mayor gradiente del flujo con el consiguiente aumento del caudal entrante.

## 7.4 CONCLUSIONES

El presente estudio ha consistido en la elaboración de una herramienta computacional orientada a la evaluación de los recursos hídricos para la cuenca del río San José. Esta herramienta se materializó en variadas simulaciones matemáticas que representan a los principales sistemas hídricos de esta hoya. De este modo, se han implementado modelos de operación superficial, de pronóstico, hidrogeológicos y de calidad de aguas subterráneas.

El modelo de los recursos superficiales, que simula el sistema Lauca Azapa incluyendo la regulación de la laguna Cotacotani ubicada en la cuenca del río Lauca, se procesó para el período histórico de los años hidrológicos 1967/68 a 1993/94 con el objeto de conocer el comportamiento de este sistema para las condiciones actuales de infraestructura y demandas de riego del área abastecida por el canal de Azapa. Para una determinada demanda de riego del área abastecida por este canal, el modelo permite conocer la operación resultante de la laguna Cotacotani, caracterizada por sus afluentes, evaporaciones, entregas efectuadas, vertimientos y estados finales, además de los caudales captados por el canal Lauca, el caudal sobrante del río Lauca en la bocatoma de este canal, los caudales con que contaría el canal de Azapa junto con el porcentaje de satisfacción de su demanda y el caudal sobrante del río San José en la bocatoma del canal. Asimismo, parte de la información generada por este desarrollo en relación a las percolaciones, constituyen datos de entrada del modelo hidrogeológico del acuífero del valle de Azapa.

Los modelos de pronóstico desarrollados se basan en métodos estadísticos convencionales de pronóstico de escorrentía en función de correlaciones entre volúmenes estacionales y caudales medios mensuales con variables tales como precipitación, caudales antecedentes y otras variables explicativas disponibles. Los pronósticos se realizaron para estimar los recursos a partir del comienzo de la temporada de riego, estimando el volumen de escorrentía total y los caudales medios mensuales de dicha temporada, con la posibilidad de ir actualizándose mensualmente a medida que se recopila mayor información. Además, también para fines de pronóstico, se intentó como alternativa metodológica la utilización de modelos de simulación hidrológica para cuencas pluviales y/o nivopluviales a escala mensual, con los que no se obtuvieron resultados aceptables.

Por otra parte, se investigó la existencia de alguna correlación o relaciones causa-efecto entre fenómenos climatológicos a macroescala tales como la denominada Oscilación del Sur y la Corriente del Niño (ENOS), con el régimen pluviométrico del sector altiplánico. Los resultados no fueron satisfactorios, desechándose la posibilidad de utilizar variables ENOS para pronósticos de caudales en el altiplano de la zona de estudio.

Los acuíferos del valle de Azapa y parte de la planicie del río Lauca, fueron modelados con el software Visual-Modflow. La construcción de estos modelos ha requerido de una completa caracterización de las zonas analizadas, labor que se desarrolló en las etapas iniciales del estudio a través de recopilación de información en estudios previos y exhaustivas campañas de terreno con lo que se logró definir el área de interés en relación a aspectos geológicos, hidrogeológicos e hidrológicos.

Una vez caracterizado el sector en estudio se consideró toda la información disponible para reproducir las extracciones históricas de agua subterránea que permitieran la elaboración de un patrón de ajuste para la calibración del modelo. Así, se determinó para el caso del valle de Azapa la evolución del sistema por un período de 8 años, y por medio de

ajustes sucesivos en el modelo se consiguió su representación de una manera razonable. El modelo del sector del Lauca, por su parte, fue calibrado en régimen permanente y validado para un año de bombeo en los pozos construidos por la Dirección de Riego, por comparación con los resultados de pruebas de bombeo realizadas en ellos.

En relación al modelo de calidad de aguas, éste se ha desarrollado como una herramienta sencilla con carácter preliminar (modelo de balances por dilución) con el objetivo de representar los fenómenos de incremento de la salinidad de los recursos subterráneos, tanto espacial como temporal. El tramo del valle del río San José constituyente del modelo, incorpora aproximadamente los últimos 40 kilómetros de la cuenca y está comprendido entre el sector de Pampa Grande y la desembocadura en la ciudad de Arica.

Dado el diferente enfoque conceptual y de aproximación entre el modelo de calidad del agua y el hidrogeológico de simulación (este último es una representación espacial y temporal mucho más fina), la comunicación entre ambos es principalmente vía el flujo de entrada por aguas arriba y los bombeos totales agrupados por sectores en que se dividió el valle.

No fue posible calibrar acabadamente el modelo de calidad debido a la falta y continuidad de la información. De los nueve sectores en que se dividió el valle para ser modelado, los cinco ubicados aguas abajo de San Miguel, cuentan con información y ésta es de carácter puntual. Para el inicio del período de calibración casi no existe información por lo que tuvo que ser estimada. Pese a lo anterior, el modelo es capaz de dar cuenta de tendencias en las variaciones de la calidad de los recursos subterráneos en el valle.

En general el modelo permite constatar un fenómeno de salinización paulatina de las aguas subterráneas del valle de Azapa debido principalmente al uso y reuso de dichas aguas (junto con la lixiviación de sales asociada a la percolación de riego) y al descenso sostenido de los niveles en los últimos años. Es decir, se trataría de una contaminación difusa de las aguas subterráneas del valle.

El modelo hidrogeológico del valle de Azapa y Arica ha sido utilizado para evaluar el comportamiento futuro de los niveles de la napa sometida a diferentes escenarios o casos que incluyeron distintas condicionantes externas en lo relativo a las extracciones generadas en el mismo. A este respecto, ha sido posible determinar que las variaciones dentro del rango definido para el comportamiento más probable de las condiciones hidrológicas en el valle no influyen sobre las depresiones del acuífero de una manera importante en relación a los efectos producidos por la variación de las magnitudes de extracción de agua desde el sistema.

Sobre la base de los casos analizados ha sido posible confirmar la sobreexplotación en la que se encuentra este sector del valle de Azapa, con lo que resulta

directo prever que los continuos descensos en los niveles del agua del subsuelo continuarán en forma sostenida en el futuro al mantenerse las explotaciones actuales del recurso, a no ser que algún evento hidrológico extremo tienda a revertir en parte las condiciones que imperan, lo que en todo caso no mejoraría las tendencias actuales. Por otra parte, en virtud del comportamiento del sistema frente a la incorporación de nuevos derechos, es decir, de las disminuciones de los caudales actuales debido a la interferencia entre los propios pozos y al agotamiento del acuífero en algunos sectores, se estima que no resulta conveniente realizar nuevas perforaciones en el mismo acuífero, por cuanto los aumentos netos en la disponibilidad de agua alcanzarán pequeñas magnitudes y períodos de seguridad reducidos.

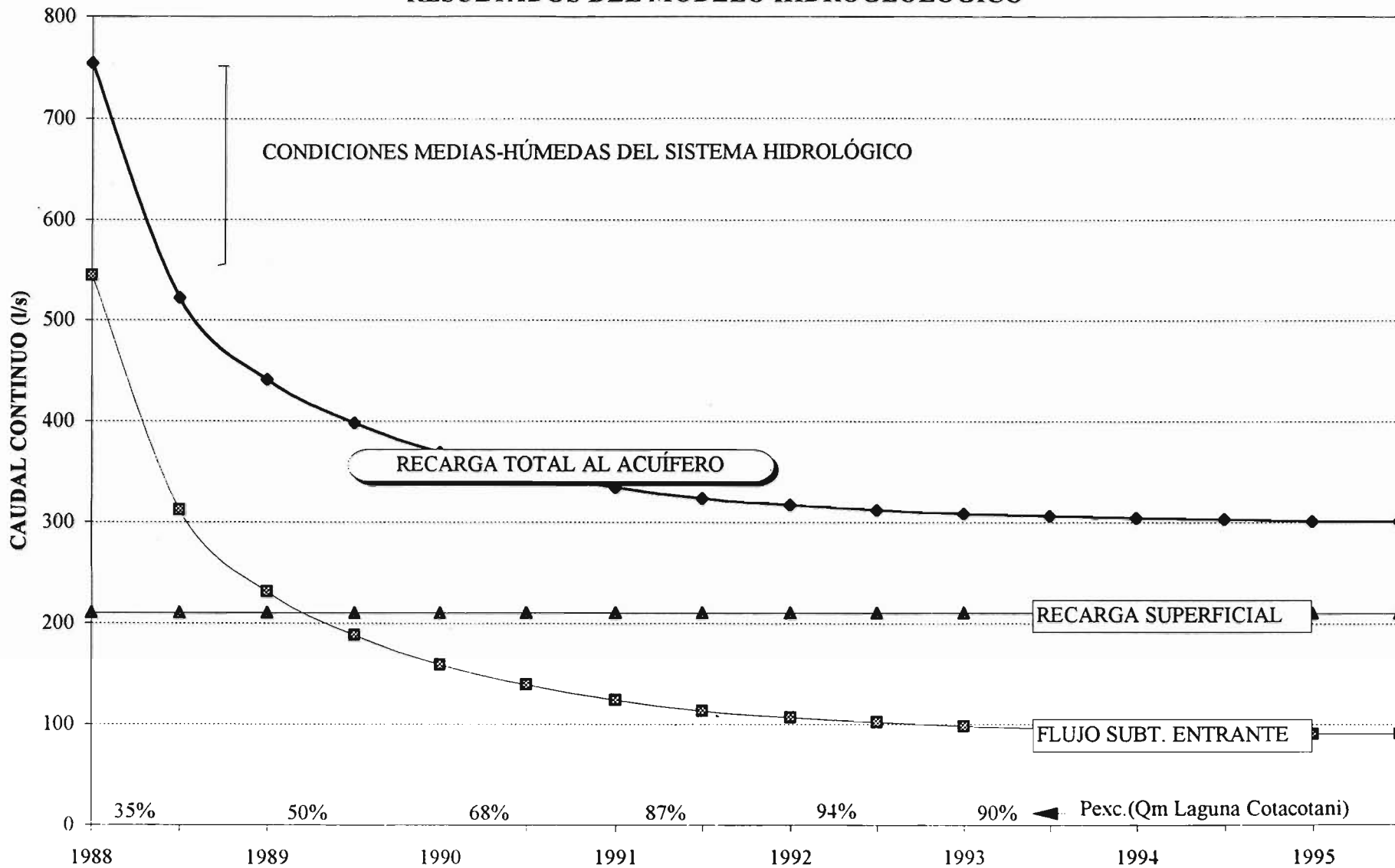
En ese sentido se recomienda mantener el área de prohibición para nuevas explotaciones dictada recientemente, hasta que no se estudien detenidamente todas las solicitudes pendientes.

Finalmente, se efectuó una estimación de la recarga del acuífero para otro período que no sea el de los últimos años, afectados fuertemente por una sequía en la parte alta de la cuenca del río San José y en la cuenca del río Lauca. En el Cuadro 7.2-1 se entregaron las probabilidades de excedencia del caudal medio anual afluente a la laguna Cotacotani, representativo en cierta forma de las características hidrológicas de la cuenca del río San José. En los años anteriores a 1988, la probabilidad de excedencia asociada fue de menos de 50%, lo que significa que existían condiciones medias a húmedas.

Por otro lado, con el modelo se obtuvo el flujo de recarga total que entra al sistema acuífero del valle de Azapa para los años de la calibración (1988-1995). En la Figura 7.4-1 se muestran los resultados. Es de interés el valor a comienzos de dicho período, que llega a ser del orden de los 750 l/s (210 l/s de recarga superficial total y 540 l/s por el flujo entrante subterráneo), cifra que se considera como una estimación de la recarga representativa de condiciones medias a húmedas ocurridas antes de 1988 por los cursos superficiales. Esta magnitud denota una marcada diferencia en relación a la recarga en condiciones de severa sequía, a partir de 1993 caracterizada como de 90% de probabilidad de excedencia según la serie de caudales medios anuales de Cotacotani. La recarga total al sistema Azapa se ve así reducida hasta menos de 400 l/s como lo señalan los resultados del modelo.



**FIGURA 7.4-1**  
**RECARGA TOTAL AL VALLE DE AZAPA (l/s)**  
**RESULTADOS DEL MODELO HIDROGEOLÓGICO**



# PLANOS