

**EMPRESA DE SERVICIOS SANITARIOS DE
TARAPACA S.A.
FILIAL CORFO**

MONITOREO CUENCA VALLE DE AZAPA - ARICA

INFORME FINAL

NOVIEMBRE 1995

**AYALA, CABRERA Y ASOCIADOS LTDA.
AC INGENIEROS CONSULTORES
PRESIDENTE JUAN ANTONIO RÍOS 58-PISOS 3 Y 6-SANTIAGO**

INDICE

1	INTRODUCCION	1
2	DESARROLLO DEL MONITOREO	2
2.1	Catastro de Sondajes, Norias y Vertientes	2
2.2	Puntos de Control	3
2.3	Programa de Monitoreo	3
2.4	Sectorización de la Zona de Estudio	4
3	ANÁLISIS DE LAS RECARGAS AL ACUÍFERO DEL VALLE DE AZAPA	5
4	VERTIENTES	9
4.1	Características de las Vertientes	9
5	NIVELES DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	15
6	CURVAS ISOFRÉATICAS Y PLANOS	22
7	CALIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	22
7.1	Conductividad	22
7.2	Contenido de Cloruros	26
8	CALIDAD DE AGUAS DEL RÍO SAN JOSÉ	31
9	ANÁLISIS DE TENDENCIAS DE PARÁMETROS MEDIDOS POR SECTORES	31
9.1	Sector 1, Cabuza	31
9.2	Sector 2, Chuval	33
9.3	Sector 3, Las Riveras	33
9.4	Sector 4, San Miguel	36
9.5	Sector 5, Las Maitas	36
9.6	Sector 6, Las Animas	39
9.7	Sector 7, Planta Azapa	39
9.8	Sector 8, Saucache	39
9.9	Sector 9, Arica Oriente	43
9.10	Sector 10, Arica Sur	43
9.11	Sector 11, Arica Norte	43
9.12	Sector 12, Arica Costa	47
10	SITUACIÓN GLOBAL Y COMENTARIOS GENERALES	49

PLANOS

- PLANO N° 1 : MEDICIONES EN CAPTACIONES. OCTUBRE 1995
PLANO N° 2 : CURVAS ISOFRÉATICAS. OCTUBRE 1995
PLANO N° 3 : COMPARACIÓN HISTÓRICA DE CURVAS ISOFRÉATICAS

INTRODUCCION

Debido a la excesiva explotación de los recursos de agua subterránea en la cuenca del río San José en el Valle de Azapa, se han venido originando descensos sostenidos en la napa freática, lo que sumado al peligroso problema de la intrusión salina, podría provocar la inhabilitación de una parte importante de los pozos del sector. Esta situación tiene su origen en la escasa disponibilidad de agua en una zona en la que los recursos superficiales son prácticamente inexistentes, ya que provienen de esporádicas crecidas provocadas por el llamado Invierno Boliviano, con lo que las demandas de agua subterránea, especialmente para uso potable, han registrado importantes aumentos en los últimos años. Lo anterior conduce a pensar que esta situación se podría agravar en el futuro próximo, ante el creciente nivel de demanda del sector.

La ciudad de Arica, con una población censada en Abril de 1992, de 164.500 habitantes en el área urbana, es la que se ve más afectada por este problema. Su abastecimiento de agua potable se obtiene de fuentes subterráneas ubicadas en el Valle de Azapa y en la desembocadura del Río San José.

Por otro lado, en el Valle de Azapa se encuentra prácticamente la totalidad de la superficie agrícola de la zona, agrupada en pequeños y medianos agricultores y algunas comunidades rurales. Estos agricultores se abastecen fundamentalmente de pozos propios ubicados en sus respectivos predios y de las aguas del Canal Azapa.

Para cuantificar los efectos de la explotación de agua subterránea en el valle, se desarrolló un programa de monitoreo de niveles, caudales de extracción y calidad de aguas, a nivel mensual. Este programa fue puesto en marcha a partir del mes de Noviembre de 1993, y se finalizó en Octubre de 1995, completando 24 meses de información, período total considerado en el proyecto definido al inicio del estudio.

2 DESARROLLO DEL MONITOREO

El acuífero del Valle de Azapa está siendo explotado, en forma creciente, desde hace dos décadas. Estudios realizados anteriormente, han recomendado explotar el acuífero en forma controlada.

Con el fin de planificar el aprovechamiento de los recursos hídricos y de conocer la situación real de la napa subterránea se ha desarrollado un programa de vigilancia permanente del acuífero, de modo de tener un elemento de juicio adecuado para tal efecto. Este programa se ha materializado a través de una red de monitoreo constituida por vertientes, norias y sondajes ubicados a lo largo del valle del río San José y que han sido escogidos con el beneplácito de sus correspondientes dueños para facilitar las labores de medición. La zona definida para el estudio comprende desde la desembocadura del río San José en Arica, hasta el sector de Cabuza, a la altura del kilómetro 22.

2.1 Catastro de Sondajes, Norias y Vertientes

Para la actualización del catastro de pozos y norias existentes en la zona se utilizó la información contenida en el estudio Modelo de Simulación de las Aguas Subterráneas del Valle de Azapa, realizado por AC Ingenieros Consultores para la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas, en 1988.

El catastro actualizado incluye los nuevos sondajes y norias que se pudieron identificar y medir en las campañas de terreno. Esta labor ha resultado bastante complicada debido a la negativa de algunos agricultores a proporcionar información y de permitir el ingreso a sus predios.

En cuanto a las vertientes, éstas corresponden a afloramientos que tienen lugar en puntos específicos, o bien dentro del cauce del río San José o en sus cercanías, en lumbres o alumbramientos efectuados por agricultores para su mejor aprovechamiento. En general, los caudales posibles de aprovechar en cada vertiente no afloran en forma puntual sino a lo largo de una faja hasta constituir una corriente.

Se han identificado todas las vertientes de la zona, preparando con ello un catastro con toda la información que las caracteriza (ubicación, tipo, uso, estado, etc.). De éstas, sólo ha sido posible aforar cuatro, dado que las restantes se encuentran en la actualidad agotadas o en parcelas cuyos dueños no autorizaron el ingreso para realizar las observaciones. Las cuatro vertientes controladas están ubicadas en la zona baja del sector denominado Las Riveras. Sin embargo, a lo largo del estudio ha sido posible constatar la paulatina reducción de los caudales respectivos, llegando a anularse el flujo en todas ellas.

2.2 Puntos de Control

El programa inicialmente definido consideraba una red constituida por 100 sondajes y 40 norias, distribuidas a lo largo y ancho de la zona estudiada para efectuar las mediciones de niveles estáticos y dinámicos, contenido de cloruros, caudales bombeados y conductividad eléctrica. A lo anterior, debía sumarse la totalidad de las vertientes. Sin embargo, al no poder conseguir la autorización por parte de un gran número de agricultores y algunas industrias, especialmente en la zona baja del valle, la cantidad de puntos muestrados ha sido menor.

En todo caso, la selección de los puntos de control que forman parte de la red de monitoreo utilizada ha considerado los siguientes aspectos:

- La red de monitoreo y control cuenta con un número de pozos que permite obtener información suficiente como para considerarla representativa del sistema en general y de cada zona en particular.
- Los puntos que forman dicha red se ubican cubriendo toda la zona de estudio.
- Los pozos de la red de control aseguran un fácil acceso a ellos y una medición rápida y confiable.
- En sectores de alta explotación, donde los caudales extraídos son importantes, existen suficientes pozos de control.
- En el área cercana a la desembocadura del río San José, en la ciudad misma de Arica, existen suficientes puntos de control, especialmente para el análisis de cloruros.
- Los pozos que pertenecen a la red de monitoreo, poseen registros históricos que permiten comparar y analizar las fluctuaciones de nivel a través del tiempo.

De este modo, la totalidad de los puntos que conforman la red de monitoreo asciende a 118, de los cuales 47 corresponden a norias, 67 a sondajes y 4 a vertientes o afloramientos.

2.3 Programa de Monitoreo

El programa de monitoreo consideró una campaña de terreno mensual en cada una de las cuales se visitaron todos los pozos, norias y vertientes que fueron seleccionados.

Para cada punto de la red de monitoreo se midieron los parámetros con la frecuencia que se indica en el Cuadro 2.3-1.

CUADRO 2.3-1
PROGRAMA DE MONITOREO

PARAMETRO	FRECUENCIA
Nivel Estático o Dinámico	Mensual
Caudales de Extracción en Pozos	Mensual
Caudales de las Vertientes	Mensual
Conductividad	Mensual
Contenidos de Cloruros	Trimestral

2.4 Sectorización de la Zona de Estudio

Como fue mencionado anteriormente, el programa de monitoreo abarca la superficie del valle del río San José comprendida entre el kilómetro 22 y la desembocadura.

Con el objeto de facilitar el análisis de las variaciones de los parámetros controlados, esta zona ha sido dividida en 12 sectores, 8 de los cuales corresponden al Valle de Azapa y 4 a la ciudad de Arica. Los primeros fueron definidos de modo que representaran áreas semejantes, y los segundos, según los puntos cardinales de la capital provincial. En el plano N°2 es posible visualizar estas subzonas que se describen a continuación, ordenadas de oriente a poniente.

- 1) Sector 1, Cabuza: Corresponde a la zona entre el kilómetro 20 y el 22 de la carretera A-27 que recorre el Valle de Azapa.
- 2) Sector 2, Chuval: Incluye la zona entre los kilómetros 16,5 y 20 de la mencionada ruta.
- 3) Sector 3, Las Riveras: Incorpora el área entre el kilómetro 14 y el 16,5.
- 4) Sector 4, San Miguel: Entre el kilómetro 11 y el 14.
- 5) Sector 5, Las Maitas: Incluye la zona entre el Km 8 y el Km 11, además del poblado homónimo.
- 6) Sector 6, Las Animas: Desde el Km 5,5 hasta el 8.
- 7) Sector 7, Planta Azapa: Zona comprendida entre los Km 1,5 y 5,5.

- 8) Sector 8, Saucache: Incluye el área entre el Km 0 y el 1,5.
- 9) Sector 9, Arica Oriente: Comprende la zona oriente de la ciudad hasta el Km 0.
- 10) Sector 10, Arica Sur: Incluye la ciudad de Arica desde la Av. Diego Portales al sur.
- 11) Sector 11, Arica Norte: Corresponde a la zona al norte de la Av. Diego Portales.
- 12) Sector 12, Arica Costa: Corresponde toda la zona costera de la ciudad.

3

ANÁLISIS DE LAS RECARGAS AL ACUÍFERO DEL VALLE DE AZAPA

Las recargas producidas en los diferentes sectores del valle por efecto de la infiltración con ocasión de las crecidas en el río San José, las cuales se originan por las precipitaciones ocurridas en el altiplano, constituyen la fuente de alimentación de mayor importancia de las napas subterráneas del valle.

De acuerdo a la caracterización climática de la zona, aproximadamente a los 2.000 m.s.n.m. se producen lluvias ocasionales que son intensas y de corta duración. Entre esta cota y la 3.500 m.s.n.m., se produce una importante variación en la magnitud y distribución de las lluvias, provocada por la influencia de las masas de aire de origen ecuatorial continental que originan el llamado invierno boliviano. Las lluvias anuales alcanzan en la parte alta del orden de los 200 mm.

Sobre los 3.500 m.s.n.m., ocurren precipitaciones en forma regular y de mayor magnitud pero siempre producidas por el invierno boliviano. Sobre los 4.500 m.s.n.m. la precipitación es de tipo nival, con valores anuales del orden de los 500 mm.

El río San José drena una cuenca hidrográfica de aproximadamente 3.200 Km², y colinda con la hoyada altiplánica del río Lauca.

El río propiamente tal se forma por la confluencia de los ríos Tignamar y Seco, aproximadamente a 100 Km de la ciudad de Arica, teniendo allí una hoyada de sólo 870 Km², de la que provienen los aportes efectivos de agua. Esta cuenca drena el flanco occidental de la cordillera central que alcanza a más de 5.000 m.s.n.m. en las cumbres de Belén y Chapiquiña.

En el estudio "Modelo de Simulación de las Aguas Subterráneas del Valle de Azapa" realizado por este Consultor para la Dirección de Aguas del MOP se desarrolló una metodología para determinar el efecto de las crecidas del río San José en la recarga de las formaciones acuíferas.

En primer lugar se determinó una relación que permitiera generar los caudales en el río San José antes de la bocatoma del canal Azapa, considerando como variables dependientes los caudales en la estación fluviométrica Central Chapiquiña, los que dependen directamente de la precipitación en esa zona, y las precipitaciones en la estación pluviométrica de Belén, localizada en el sector alto de la cuenca del río San José.

Las regresiones adoptadas para los meses de Mayo a Noviembre son del tipo:

$$Q_{SJAB} = - A + B * Q_{CHAP}$$

Para los meses de Diciembre a Abril la relación es:

$$Q_{SJAB} = - C + D * Q_{CHAP} + E * P_{BL}$$

donde:

Q_{SJAB} : Caudal río San José antes bocatoma Azapa (m^3/s)

Q_{CHAP} : Caudal Central Chapiquiña (m^3/s)

P_{BL} : Precipitaciones en Belén (mm)

Posteriormente, para cuantificar el efecto de las crecidas ocurridas en el río San José como recarga a las napas se relacionó los caudales, de aforos aislados efectuados simultáneamente en la estación San José antes de la bocatoma Azapa y en San José en Puente Saucache, resultando ésta del tipo:

$$Q_{SJPS} = F + G * Q_{SJAB}$$

donde:

Q_{SJPS} : Caudal en el río San José en Puente Saucache (m^3/s)

Q_{SJAB} : Caudal en el río San José antes bocatoma Azapa (m^3/s)

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

Para poder comprender cuál es el origen de los descensos de los niveles producidos en los últimos años se analizará las estadísticas de precipitaciones medias mensuales de las estaciones Central Chapiquiña y Belén, cuyos aportes son los que originan los caudales observados en el río San José antes de la bocatoma Azapa.

En los Cuadros 3-1 y 3-2 se consignan las estadísticas de precipitaciones medias mensuales de las estaciones Central Chapiquiña y Belén, respectivamente.

CUADRO 3-1
PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES CENTRAL CHAPIQUINA

CUADRO 3-2
PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES BELÉN

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
	0.0	-	-	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
1938	0.0	-	-	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1939	-	0.0	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1940	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-	0.0
1941	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1942	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1943	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
1944	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
1945	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
1946	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1947	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
1948	-	-	-	0.0	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
1949	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
1950	0.0	-	-	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
1951	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1952	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1953	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
1962	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0	0.0
1963	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-	0.0
1964	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0	-	0.0
1965	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-	0.0
1966	0.0	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	0.0
1967	0.0	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0
1968	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0
1975	51.7	90.5	97.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	57.5	297.0
1976	161.6	40.1	52.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	253.7
1977	37.8	62.9	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	150.7
1978	41.8	8.0	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	62.8
1979	-	0.0	5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34.3	40.0
1980	8.0	19.8	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	45.8
1981	32.0	79.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	54.0
1982	11.0	21.0	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0	12.0
1983	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	16.0
1984	86.0	97.0	48.0	0.0	0.0	21.0	0.0	11.0	0.0	27.0	0.0	0.0	290.0
1985	13.0	105.0	52.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	42.0	219.0
1986	85.1	6.5	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	13.0	0.0	0.0	3.0	51.0	161.1
1987	86.0	28.0	0.0	0.0	3.0	2.0	8.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	132.0
1988	88.0	0.0	32.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	0.0	0.0	14.0	136.2
1989	41.0	143.0	21.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	208.0
1990	7.0	21.0	29.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	54.0	115.0
1991	14.5	0.5	17.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.8
1992	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	59.0
1993	93.0	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.0	0.0	0.0	0.0	0.0	153.0
MEDIA	39.4	34.4	16.6	0.0	0.1	0.7	0.2	1.6	0.1	1.1	0.3	11.7	60.6
D. EST.	38.9	38.7	20.9	0.0	0.5	3.4	1.2	6.6	0.5	4.4	1.2	17.9	89.0
MAX.	161.6	143.0	97.3	0.0	3.0	21.0	8.0	40.0	2.2	27.0	7.0	57.5	297.0
MIN.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

El período de análisis utilizado en el estudio de modelación del Valle de Azapa comprende desde 1965 a 1984. Considerando la estadística incluida en los cuadros anteriores, se compararán los promedios mensuales de las precipitaciones para los períodos 1965-1988 y 1989-1993, los cuales se incluyen en los Cuadros 3-3 y 3-4 para las estaciones Chapiquiña y Belén, respectivamente.

CUADRO 3-3
PROMEDIO DE PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES (mm)
CENTRAL CHAPIQUIÑA

PERIODO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
1965-1988	65.2	54.0	23.3	1.0	0.5	2.5	0.2	2.8	2.3	2.2	1.3	17.8	139.0
1989-1993	45.4	30.2	13.0	0.1	0.1	1.9	0.0	0.6	0.0	0.1	0.3	32.1	129.2

CUADRO 3-4
PROMEDIO DE PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES (mm)
BELÉN

PERIODO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
1965-1988	46.8	39.8	24.5	0.0	0.2	1.4	0.5	1.4	0.3	2.6	0.7	16.4	110.0
1988-1993	33.1	32.9	17.6	0.0	0.0	1.0	0.0	8.0	0.0	0.0	0.4	20.6	113.6

Tal como puede apreciarse en los cuadros anteriores, las precipitaciones anuales de ambos períodos son prácticamente iguales para las estaciones consideradas. En efecto, para la estación Central Chapiquiña las precipitaciones del último período son un 7% menor que en el primero y para el caso de la estación Belén, se aprecia que en el último período la precipitación anual es superior en casi un 3% respecto al anterior.

Basado en lo anteriormente expuesto, y considerando que las estadísticas de las precipitaciones de ambas estaciones pluviométricas no presentan valores extremos, se puede concluir que en ambos períodos el régimen de las precipitaciones es semejante, por lo tanto, no se dan condiciones extremas de sequía en el último tiempo que induzcan a pensar que los descensos de los niveles de las aguas subterráneas en el valle se deban a este factor.

4 VERTIENTES

4.1 Características de las Vertientes

Las vertientes del Valle de Azapa constituyeron inicialmente la fuente de recursos que dio origen a la agricultura primitiva del Valle.

Estas vertientes 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 desarrollados por el hombre para su mejor aprovechamiento.

El área 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 de vertientes se distinguen dos grupos: el primero está ubicado en el sector Las Riveras y es motivado por una cierta interrupción del acuífero, provocada por los acarreos 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 acarreos de la quebrada de Las Llosyas.

En el primer grupo existen o existieron 14 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 4.1-1, se presentan las características y ubicación de todas las vertientes.

CUADRO 4.1-1 : CARACTERÍSTICAS DE LAS VERTIENTES Y DRENES

GRUPO 1

Nº	VERTIENTE	UBICACIÓN
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.

CARACTERÍSTICAS DE LOS DRENES

Nº	DREN	UBICACIÓN
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

Nº	VERTIENTE	UBICACIÓN
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.

4.2 Caudales Históricos

En los últimos años, a medida que los recursos hídricos escasean, 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 estas vertientes 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 se observa en la actualidad en este punto corresponde 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 precipitaciones en la zona alta de la hoyada 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 las vertientes mediante aforos mensuales, se observa que los caudales totales de las vertientes del primer grupo varían de 70 l/s en el año 1966 a 440 l/s en 1976 y los del segundo grupo que prácticamente se secaron en 1966 llegaron a 150 l/s en 1976.

Lo anterior 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 4.2-1 se muestra un resumen de los caudales medios anuales de las vertientes para el período comprendido entre 1964 y 1986.

CUADRO 4.2-1
CAUDALES MEDIOS ANUALES HISTÓRICOS DE VERTIENTES

AÑO	LA NORIA	LA CONCEPCION	SAN MIGUEL	DREN EL 5°	MATAVACA	PEJERREY	CONCHA-LIQUE	DREN COMUNIDAD	CANAL ALBARRACINES	MAMA LORENZA	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			150.0
1971		0.9	15.1						31.3			11.1	10.8	20.5			111.4
1972		7.8	35.6						32.1			44.5	39.8	39.0			232.4
1973		32.8	71.9						45.4			71.1	66.0	57.0			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		1.2				75.0	6.3	19.3	92.3	90.7	70.3		8.8	570.5
1976	9.0	77.3	145.9		10.7	0.1	10.3		88.2	8.0	27.7	87.3	88.6	69.5		15.2	637.8
1977	13.6	20.6	153.6		9.4	7.4	13.3		100.5	6.2	30.0	78.6	81.9	66.9		8.3	640.3
1978	9.2	61.9	157.6		8.3	15.9	15.5		111.4	1.0	25.8	67.6	72.1	60.6		0.2	607.1
1979	10.0	51.4	153.5		17.6	19.7	15.9		120.8		15.2	54.7	59.3	58.9			577.0
1980	5.4	32.7	118.6		15.5	17.8	14.6		104.2		5.8	20.8	36.2	44.1			415.9
1981	4.4	13.6	78.1		10.8	11.8	12.0		66.6		2.5	0.0	8.4	18.1			226.3
1982	1.4	4.1	38.8		7.1	10.2	9.4		40.6		4.3	0.0	0.0	1.0			116.9
1983	0.3	1.3	13.2		4.2	5.9	8.5	18.3	35.4		1.3	0.0	0.0	0.0			88.4
1984	0.0	1.5	23.6	5.8	2.4	2.9	8.3	32.2	41.9		0.0	0.0	0.0	0.0			118.6
1985	0.0	14.3	71.9	9.5	1.4	9.1	10.3	30.4	58.3		4.8	1.1	0.0	3.9			215.0
1986	0.0	35.3	121.9	10.8	3.3	12.9	12.3	74.2	85.1		10.7	26.4	0.9	20.0			413.8

(1) : Canal Albarracines incluye vertientes Matavaca, Pejerrey, Conchalique y Dren Comunidad.

4.3 Situación Actual de Vertientes

Al inicio de este plan de monitoreo se constató la presencia de 4 afloramientos ubicados en el sector de Las Riveras, procediendo a incluirlas en la red de observación. Estas corresponden a las siguientes:

- S1 : Vertiente La Concepción antes de la Vertiente San Miguel.
- S2 : Vertiente San Miguel en Cabecera.
- S3 : Dren Comunidad antes de su Confluencia con el río San José.
- S4 : Afloramientos y derrames río San José antes de su confluencia con el Dren Comunidad.

A lo largo de los 2 años 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 S1, en Enero de 1995 en S2, en Junio de 1995 en S3 y en Noviembre de 1994 en la vertiente S4. En el caso de la vertiente S3, 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 encuentran directamente relacionados con la infiltración del riego en la zona y no corresponde completamente al flujo subterráneo considerado en un principio.

En el Cuadro 4.3-1 se presenta la información de todos los aforos de las vertientes durante todo el período de monitoreo, el Cuadro 4.3-2 incluye la información mensual de las mediciones de conductividad eléctrica realizadas a la fecha, y finalmente, en el Cuadro 4.3-3, se consigna la información trimestral del contenido de cloruros de estas vertientes.

CUADRO 4.3-1
RESUMEN DE AFOROS DE LAS VERTIENTES

NOMBRE Y LUGAR DEL AFORO	CAUDALES (l/s)											
	MES 1 26/11/93	MES 2 19/12/93	MES 3 23/01/94	MES 4 27/02/94	MES 5 27/03/94	MES 6 24/04/94	MES 7 24/05/94	MES 8 26/06/94	MES 9 21/07/94	MES 10 21/08/94	MES 11 26/09/94	MES 12 23/10/94
S1: Vertiente La Concepción antes Vertiente San Miguel	0.06	0.19	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S2: San Miguel en Cabecera	6.53	5.19	3.58	7.15	3.03	2.00	4.29	1.96	1.29	1.27	0.29	0.27
S3: Dren Comunidad antes junta río San José	5.06	5.19	6.91	8.38	5.31	6.55	4.87	4.29	4.29	3.90	3.32	3.15
S4:Afloramientos y derrames Río San José antes Junta Dren Comunidad	1.24	3.10	(*)	0.71	0.22	0.03	0.90	0.64	0.58	0.34	0.21	0.05

CUADRO 4.3-1
RESUMEN DE AFOROS DE LAS VERTIENTES (Continuación)

NOMBRE Y LUGAR DEL AFORO	CAUDALES (l/s)											
	MES 13 03/11/94	MES 14 03/01/95	MES 15 25/01/95	MES 16 03/03/95	MES 17 26/03/95	MES 18 23/04/95	MES 19 30/05/95	MES 20 24/06/95	MES 21 24/07/95	MES 22 26/08/95	MES 23 30/09/95	MES 24 23/12/95
S1: Vertiente La Concepción antes Vertiente San Miguel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S2: San Miguel en Cabecera	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S3: Dren Comunidad antes junta río San José	1.77	1.48	1.50	0.65	0.25	0.10	0.03	0.77	0.29	0.21	0.02	0.00
S4:Afloramientos y derrames Río San José antes Junta Dren Comunidad	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

(*): Flujo en el lecho del río San José posterior a la crecida del río, su caudal se estimó en 5 m³/s.

CUADRO 4.3-2
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE LAS VERTIENTES

NOMBRE Y LUGAR DE LA MUESTRA	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (μmho/cm)											
	MES 1 26/11/93	MES 2 19/12/93	MES 3 23/01/94	MES 4 27/02/94	MES 5 27/03/94	MES 6 24/04/94	MES 7 24/05/94	MES 8 26/06/94	MES 9 21/07/94	MES 10 21/08/94	MES 11 26/09/94	MES 12 23/10/94
S1: Vertiente La Concepción antes Vertiente San Miguel		2 150	seca		seca	seca	seca	seca	seca	seca	seca	seca
S2: San Miguel en Cabecera		2 100	2 200	2 040	2 200	2 110	2 060	2 160	2 130	2 180	2 290	2 030
S1+S2: La Concepción más San Miguel	2 000	2 200	2 200		2 200	2 110	2 060	2 160	2 130	2 180	2 290	2 030
S3: Dren Comunidad antes junta río San José	2 200	2 200	2 150	2 030	2 100	2 110	2 100	2 150	2 110	2 170	2 130	2 060
S4:Afloramientos y derrames Río San José antes Junta Dren Comunidad		2 150	(*) 485	1 852	2 200	2 140	2 130	2 180	2 060	2 130	2 150	2 030
S3+S4:Dren comunidad más derrames río San José		2 200	(*) 485		2 100	2 110						

CUADRO 4.3-2
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE LAS VERTIENTES (Continuación)

NOMBRE Y LUGAR DE LA MUESTRA	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA ($\mu\text{mho/cm}$)											
	MES 13 03/11/94	MES 14 03/01/95	MES 15 25/01/95	MES 16 13/03/95	MES 17 26/03/95	MES 18 23/04/95	MES 19 30/05/95	MES 20 24/06/95	MES 21 24/07/95	MES 22 26/08/95	MES 23 30/09/95	MES 24 23/12/95
S1: Vertiente La Concepción antes Vertiente San Miguel	seca	seca	seca	seca	seca	seca	seca	seca	seca	seca	seca	seca
S2: San Miguel en Cabecera	2 100	seca										
S1+S2: La Concepción más San Miguel	2 100	seca										
S3: Dren Comunidad antes junta río San José	2 040	2 130	2 180	2 130	2 080	2 060	2 140	2 190	2 150	2 100	2 210	seca
S4:Afloramientos y derrames Río San José antes Junta Dren Comunidad	seca	seca	seca	seca	seca	seca	seca	seca	seca	seca	seca	seca
S3+S4:Dren comunidad más derrames río San José												

(*): Corresponde al flujo del río San José.

CUADRO 4.3-3
CONTENIDO DE CLORUROS DE LAS VERTIENTES

VERTIENTE	NOMBRE Y LUGAR DE LA MUESTRA	CONTENIDO DE CLORUROS (mg/l Cl)							
		MES 1	MES 4	MES 7	MES 10	MES 13	MES 16	MES 19	MES 22
S1	Vertiente La Concepción antes Vertiente San Miguel								
S2	San Miguel en Cabecera	419	384	380	422	404			
S3	Dren Comunidad antes junta río San José	424	386	389	415	409	400	437	396
S4	Afloramientos y derrames río San José antes Junta Dren Comunidad		342	396	430				

5

NIVELES DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Tal como se indicó con anterioridad, el registro de niveles estáticos o dinámicos de pozos y norias se realiza a mensualmente. En los Cuadros 5-1 y 5-2 se presenta un resumen de las mediciones de niveles de sondajes y norias, respectivamente, para los 24 meses que constituyen la totalidad del período proyectado para el monitoreo en el valle de Azapa. Las letras "E", "D" y "R" junto a las profundidades indican la condición de nivel estático, dinámico o en recuperación en forma respectiva, según la situación en la que se encontraba cada fuente al momento de la medición.

6

CURVAS ISOFREÁTICAS Y PLANOS

Con la información de niveles estáticos obtenidos en terreno se han confeccionado, a lo largo de este estudio, planos bimensuales de la curvas isofreáticas del acuífero del valle de Azapa.

El presente informe incluye 3 planos escala 1:20.000; en el Plano N°1 se resume la información de caudales de explotación, cotas de nivel dinámico o estático y conductividad correspondientes a la última campaña de terreno correspondiente al mes de Abril de 1995. En el Plano N°2 se muestra la sectorización del valle de Azapa y las curvas isofreáticas cada 20 m, de Octubre de 1995, correspondientes al último mes del monitoreo en curso. Finalmente, en el Plano N°3 se presentan las curvas isofreáticas cada 100 m de los meses de Octubre de 1993, 1994 y 1995, correspondientes a los meses 2, 12 y 24 del programa de monitoreo. Además, se han incluido las mismas curvas del año 1988 procedentes del estudio "Modelo de Simulación de las Aguas Subterráneas del Valle de Azapa", al que ya se hizo referencia con anterioridad, con el objeto de visualizar las diferencias de los niveles de la napa.

En este plano se puede advertir que en todo el sector en estudio se han producido notorios desplazamientos de las isofreáticas, con la sola excepción de la zona de Cabuza. En esta parte la curva de los 400 m.s.n.m. ha sufrido modificaciones de forma pero no de posición. Hacia aguas abajo se puede apreciar la progresiva reubicación de las curvas, siendo particularmente notoria la diferencia entre las isofreáticas actuales y las del año 1988, que en los sectores Planta Azapa, Saucache y Arica Oriente han manifestado importantes variaciones.

7

CALIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

7.1

Conductividad

De acuerdo a la programación de las actividades de terreno se ha medido, a nivel mensual, la conductividad eléctrica en todos los puntos de la red de monitoreo.

En los Cuadros 7.1-1 y 7.1-2 se presenta la información relativa a este parámetro eléctrico de las aguas subterráneas de sondajes y norias, respectivamente.

7.2

Contenido de Cloruros

Las tomas de muestras para análisis de cloruros se han realizado trimestralmente a partir de Noviembre de 1993, primer mes de monitoreo del valle.

En los Cuadros 7.2-1 y 7.2-2 se presenta la información relativa al contenido de cloruros de las muestras de aguas subterráneas de las campañas 1, 4, 7, 10, 13, 16, 19 y 22 para las captaciones tipo sondajes y norias, respectivamente.

En los cuadros precedentes se puede observar que en general no se ha producido a lo largo del monitoreo una tendencia marcada ascendente o descendente, sino que el contenido de cloruros en cada punto oscila en torno a valores relativamente constantes. Se advierte también una cierta influencia de las crecidas del río San José, en términos de que éstas mejoran la calidad de las aguas subterráneas debido a la infiltración de recursos de mejor calidad. Al transcurrir los meses, se puede apreciar que este efecto va disminuyendo, retornando la calidad de las aguas a su condición de relativo equilibrio.

En relación a la norma para Fuentes de Agua Potable, ésta sólo clasifica la calidad del recurso en cuanto a su contenido de cloruros, de acuerdo a lo indicado en el Cuadro 7.2-3.

Según la clasificación anterior y con los datos promedio de los Cuadros 7.2-1 y 7.2-2 se ha confeccionado el Cuadro 7.2-4, donde se presentan los valores de contenido de cloruros extremos por sector, obtenidos como promedio de los 8 trimestres del estudio. Además se incluye los porcentajes de captaciones según las calidades definidas en el Cuadro 7.2-3.

CUADRO 7.2-4
VALORES EXTREMOS DE CLORUROS POR SECTORES

SECTOR	CONTENIDO DE		PORCENTAJE DE CAPTACIONES		
	MÍNIMO	MÁXIMO	BUENA	ACEPT.	DEFIC.
1 Cabuza	119	467	0	22	78
2 Chuval	196	440	0	8	92
3 Las Riveras	147	447	0	8	92
4 San Miguel	211	881	0	14	86
5 Las Maitas	128	423	0	13	87
6 Las Animas	161	776	0	14	86
7 Planta Azapa	162	2.920	0	25	75
8 Saucache	257	1.403	0	0	100
9 Arica Oriente	234	448	0	14	86
10 Arica Sur	189	536	0	30	70
11 Arica Norte	304	908	0	0	100
12 Zona Costa	563	2.157	0	0	100

Como se puede apreciar en el Cuadro 7.2-4, en los sectores Saucache (8), Arica Norte (11) y Arica Costa (12), del 100% de las captaciones se extrae agua con calidad deficiente, según el contenido de cloruros.

De acuerdo a los valores extremos, los niveles de mejor calidad según el contenido de cloruros corresponden a las captaciones de los sectores Cabuza, Las Riveras y Las Maitas, siendo los más deficientes los de los sectores Saucache, Planta Azapa y Arica Costa. En los dos primeros casos esta situación puede atribuirse al permanente bombeo para agua potable, mientras que en la zona Arica Costa el deterioro se debe a la exposición de las fuentes al efecto de la intrusión salina, situación que no habría aumentado durante el período de monitoreo.

Debe hacerse notar que a lo largo de todo el monitoreo en ninguno de los sectores se apreciaron captaciones de buena calidad, sino sólo aceptable y deficiente, situación propia de la mayor parte de los recursos del Norte Grande, y no exclusivamente de los de esta cuenca.

8

CALIDAD DE AGUAS DEL RÍO SAN JOSÉ

Durante el desarrollo del programa de monitoreo se han observado tres crecidas del río San José. En esas oportunidades se tomaron muestras de las aguas del río y se sometieron al análisis para la determinación de conductividad eléctrica y contenido de cloruros.

En el Cuadro 8-1 se consignan los resultados de estos análisis de calidad de las aguas del río.

CUADRO 8-1
ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUAS RÍO SAN JOSÉ

FECHA	MUESTRA	CONDUCTIVIDAD ($\mu\text{mho/cm}$)	CLORUROS (mg/l)
23/01/94	RÍO SAN JOSÉ: Km 13,5	485	24
10/02/94	RÍO SAN JOSÉ: Km 14,0 RÍO SAN JOSÉ: Km 13,9 RÍO SAN JOSÉ: PTE. SAUCACHE	493 497 656	29 29 37
29/01/95	RÍO SAN JOSÉ: Km 22,0	850	78

En este cuadro se puede observar que el agua proveniente de las crecidas del río San José posee una mejor calidad con respecto al recurso subterráneo en cuanto a los parámetros medidos. Esto concuerda con lo que se observó en los meses posteriores a las crecidas, en los que la calidad del agua subterránea tiende a mejorar por efecto de los flujos infiltrados desde la superficie.

9

ANÁLISIS DE TENDENCIAS DE PARÁMETROS MEDIDOS POR SECTORES

9.1

Sector 1, Cabuza

Como se puede apreciar en la Figura 9.1-1, los niveles estáticos en este sector no han experimentado variaciones importantes tras concluir los dos años de mediciones. El efecto de los pozos bombeados en forma permanente en esta zona no ha tenido una incidencia notoria en los pozos cercanos.

No obstante, en relación a los caudales específicos, sí se ha podido observar una disminución del rendimiento del acuífero, de acuerdo a los puntos graficados en la Figura 9.1-2. En los dos pozos representados se advierten deterioros lineales en los rendimientos de las fuentes, que se manifiestan en la disminución en aproximadamente un 50% del valor inicial en cada caso.

FIGURA 9.1-1 NIVELES ESTATICOS
SECTOR 1 : CABUZA

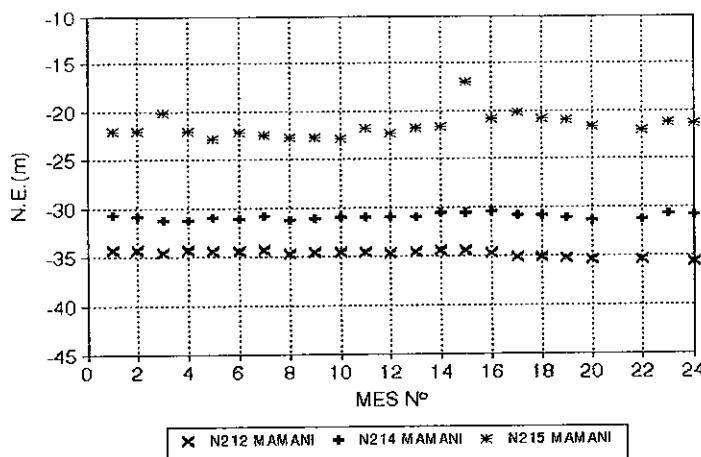


FIGURA 9.1-2 CAUDALES ESPECIFICOS
SECTOR 1: CABUZA

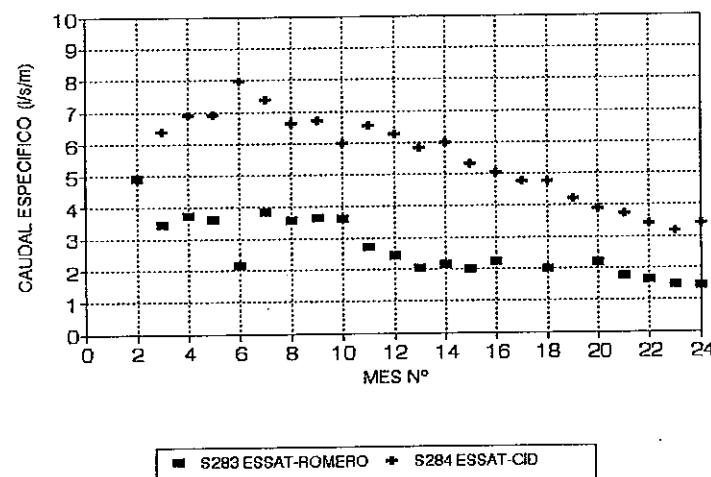
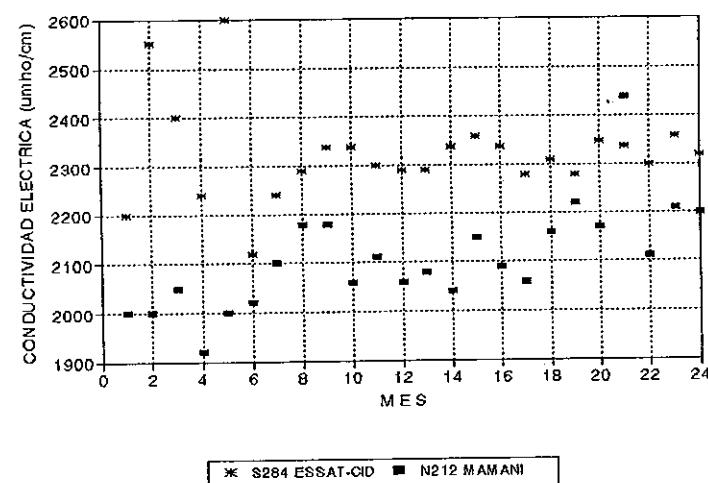


FIGURA 9.1-3 CONDUCTIVIDAD ELECTRICA
SECTOR 1 : CABUZA



En cuanto a la conductividad eléctrica de las fuentes del sector Cabuza (Figura 9.1-3), este parámetro vislumbra un leve aumento a lo largo del tiempo con una tendencia cíclica.

9.2 Sector 2, Chuval

Observando los datos graficados en la Figura 9.2-1, se puede apreciar que los niveles estáticos han experimentado, a lo largo del período de monitoreo, una leve tendencia al descenso. Se puede advertir además, en los meses 4 y 15 un ascenso provocado por la infiltración desde el río San José durante las crecidas. Las variaciones netas observadas luego de los 24 meses de estudio se ubican entre 1,5 y 3,0 m, resultando mayores hacia la zona más cercana al lecho del río San José.

En cuanto a la conductividad eléctrica, en la Figura 9.2-2 se observa que los puntos de control mantuvieron sus valores en torno a un nivel relativamente estable durante los 3 primeros semestres del estudio. A partir del mes 18 y hasta el final del monitoreo se ha podido constatar un aumento del orden de 10%.

En relación al rendimiento de las fuentes, en esta zona no se dispone de información para visualizar el comportamiento de los niveles dinámicos dado que no existen pozos con bombeo permanente, razón por la cual no se ha realizado el análisis de caudales específicos.

9.3 Sector 3, Las Riveras

En el sector Las Riveras se ha podido observar una clara tendencia al descenso de los niveles estáticos, de acuerdo a la Figura 9.3-1, en que se han graficado los datos de los pozos S101 Comca y N205 Madrid. Estas fuentes han experimentado disminuciones de 4 y 7 m respectivamente, a lo largo de los 24 meses de información generada en este estudio, con lo que la tasa media de variación para este sector resulta ser del orden de 25 cm/mes. Estos descensos pueden ser atribuidos a los bombeos continuados de los sondajes S112 Essat D.R. y S287 Essat Carbone, ubicados a unos 500 m al norte de los anteriores. A su vez, estos últimos, han experimentado sendas disminuciones paulatinas de sus respectivos rendimientos, según se observa en la Figura 9.3-2. En ambos casos la variación se produjo a una tasa aproximada de 3% mensual, con lo que las diferencias totales alcanzaron órdenes entre 60% y 70%.

La conductividad eléctrica en la zona, por su parte, no vislumbra una tendencia definida, sino solamente variaciones cíclicas con algunos valores extremos puntuales (Figura 9.3-3)

FIGURA 9.2-1 NIVELES ESTATICOS
SECTOR 2 : CHUVAL

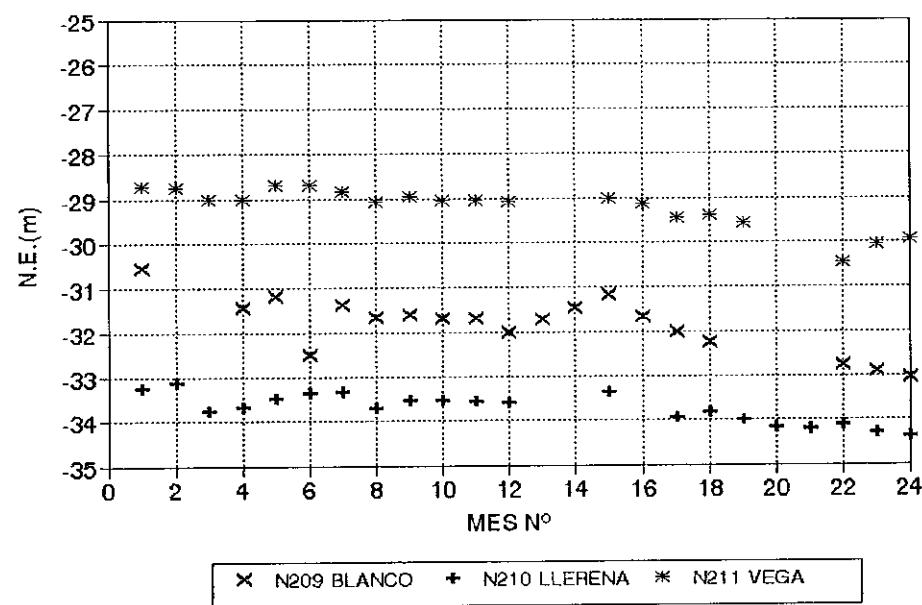


FIGURA 9.2-2 CONDUCTIVIDAD ELECTRICA
SECTOR 2 : CHUVAL

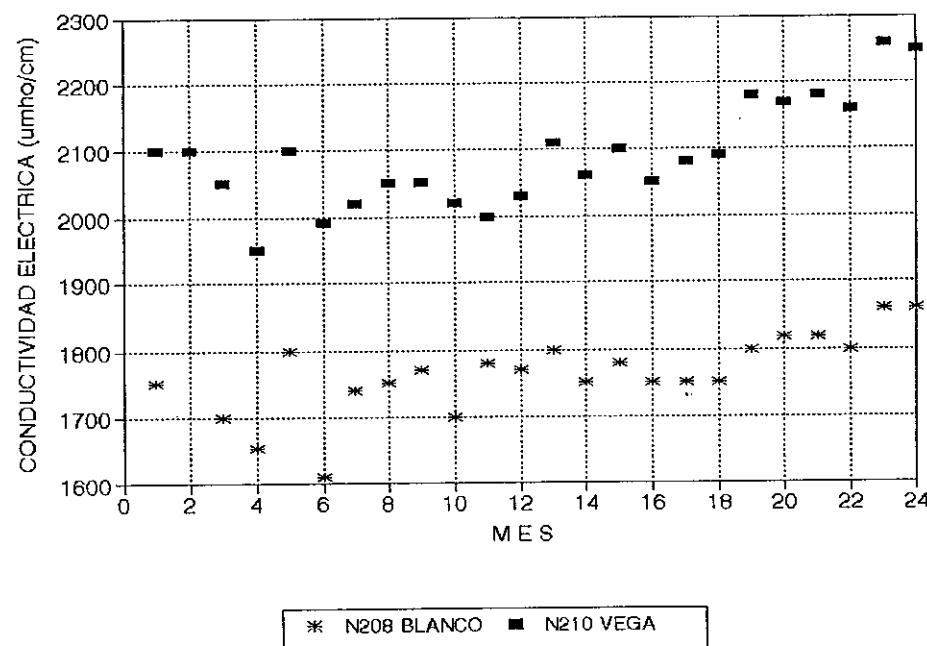


FIGURA 9.3-1 NIVELES ESTATICOS
SECTOR 3 : LAS RIVERAS

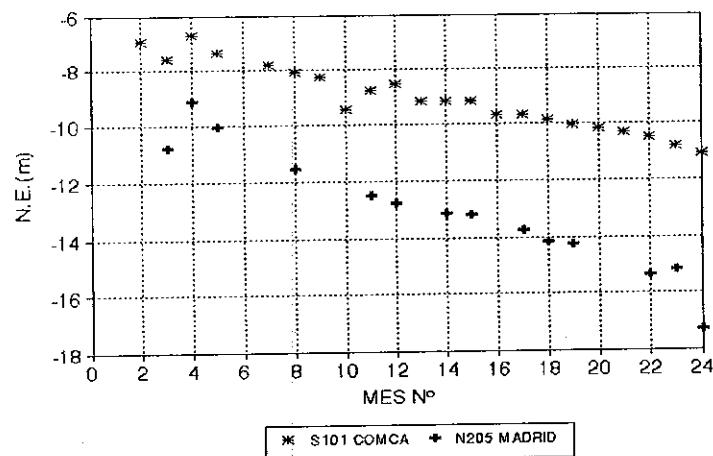


FIGURA 9.3-2 CAUDALES ESPECIFICOS
SECTOR 3: LAS RIVERAS

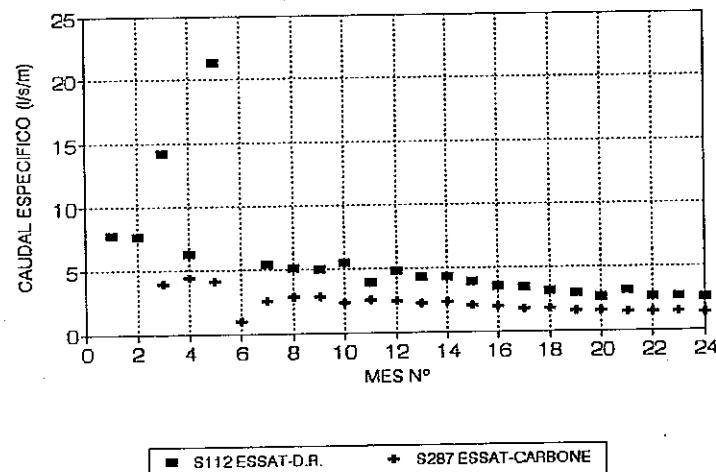
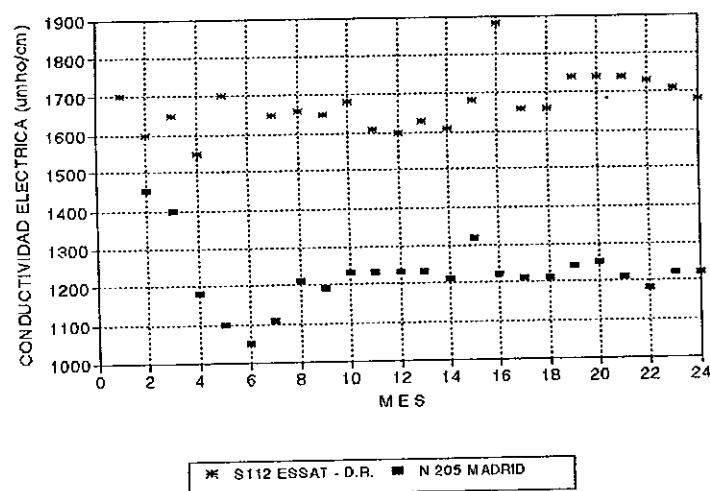


FIGURA 9.3-3 CONDUCTIVIDAD ELECTRICA
SECTOR 3 : LAS RIVERAS



9.4 Sector 4, San Miguel

En el sector 4, se puede apreciar un descenso de los niveles estáticos, según se puede constatar con los datos de la noria N123 Baluarte, en donde la disminución alcanzó aproximadamente a 2,0 m desde iniciado el monitoreo hasta el mes 18 (Abril de 1995). Desde esta fecha en adelante se observa que los valores tendieron a la estabilización en torno a 9,2 m de profundidad.

Las extracciones de mayor importancia en el sector las constituyen los sondajes Essat San Miguel (Norte y Sur), los cuales según se aprecia en la Figura 9.4-2, experimentaron sendos deterioros, sobre todo en el sondaje sur. En este punto se advierte una variación lineal en el primer año de estudio a una tasa mensual de 0,1 l/s/m. En la segunda mitad del plan de monitoreo esta razón disminuyó aproximadamente en un 80%, observándose en el último mes un caudal específico de 0,26 l/s/m.

En el caso del sondaje Essat San Miguel Norte, ocurrió un suceso semejante, pero con una variación neta menor que en el caso anterior, observándose una disminución desde 1,4 l/s/m hasta 0,8 l/s/m a lo largo del estudio.

En cuanto a la conductividad eléctrica, al igual que en los sectores anteriores, ésta no manifiesta una tendencia claramente definida, sino sólo variaciones estacionales.

9.5 Sector 5, Las Maitas

En este sector se han escogido los puntos N118 Ishihara y N207 Ortuño para realizar el análisis de los niveles estáticos. En el primero de ellos sólo se dispone de datos al inicio y al final del período de monitoreo, con los que es posible advertir una disminución del orden de 3,0 m en los niveles. En el caso de la segunda noria graficada, la variación es mayor, apreciándose una diferencia de 5,0 m en los 24 meses de observación.

Estas mismas norias han sido utilizadas para apreciar las variaciones de la conductividad eléctrica en la Figura 9.5-2. Aquí se advierten valores semejantes para este parámetro, sin observarse tendencias definidas, salvo casos puntuales. En el caso de la noria N118, el valor medio resulta ser de 2.050 $\mu\text{mhos/cm}$, mientras que en la noria N207 este valor bordea los 2.200 $\mu\text{mhos/cm}$.

En relación a los caudales específicos, no se ha realizado el análisis correspondiente, debido a que las extracciones del sector no son de carácter permanente.

FIGURA 9.4-1 NIVELES ESTATICOS
SECTOR 4 : SAN MIGUEL

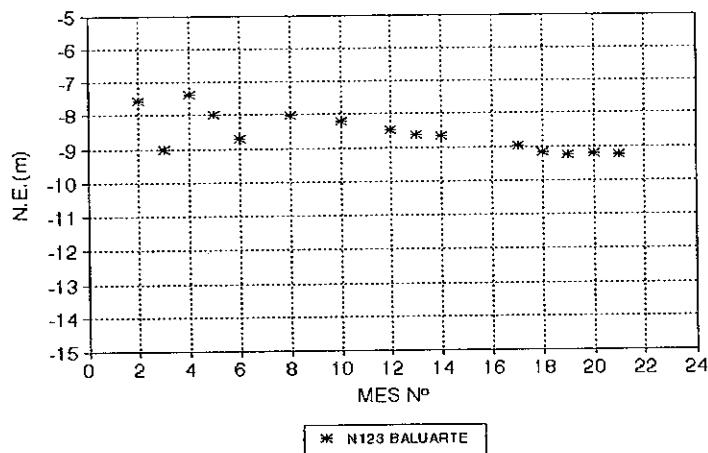


FIGURA 9.4-2 CAUDALES ESPECIFICOS
SECTOR 4: SAN MIGUEL

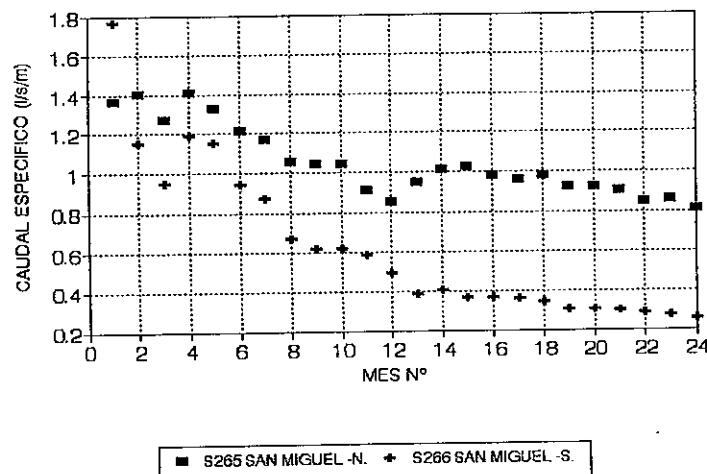


FIGURA 9.4-3 CONDUCTIVIDAD ELECTRICA
SECTOR 4 : SAN MIGUEL

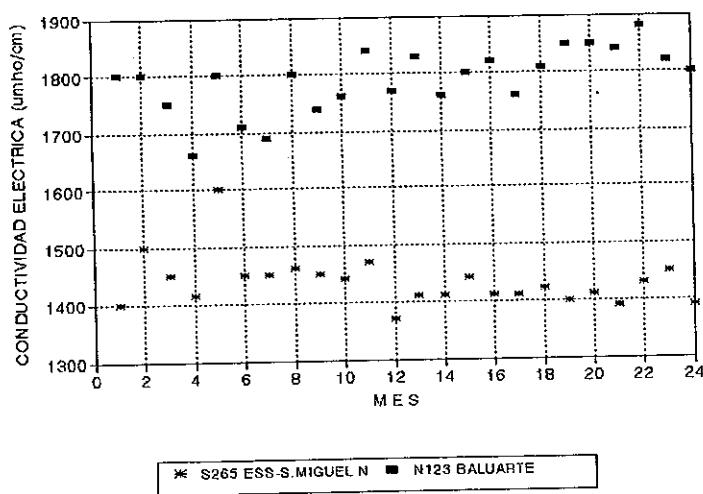


FIGURA 9.5-1 NIVELES ESTATICOS
SECTOR 5 : LAS MAITAS

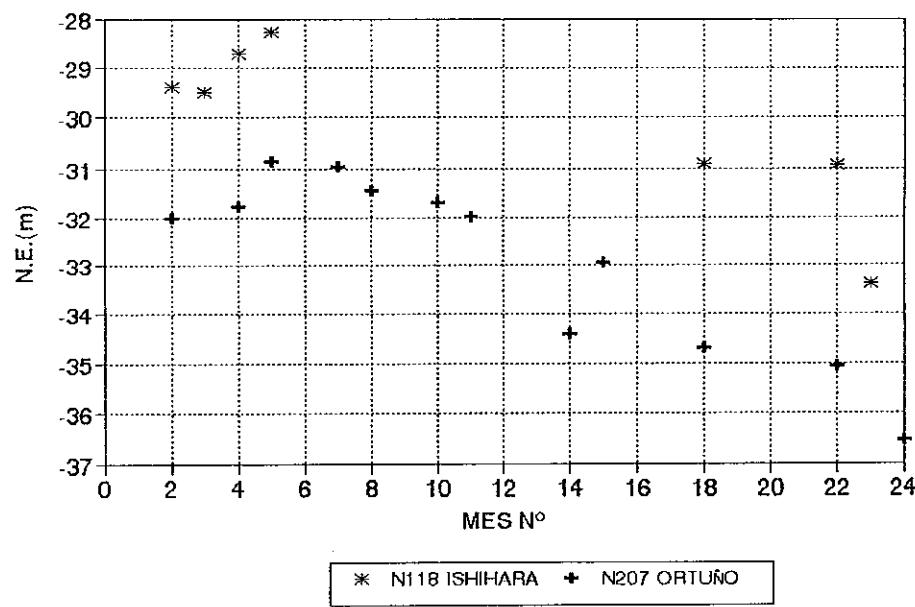
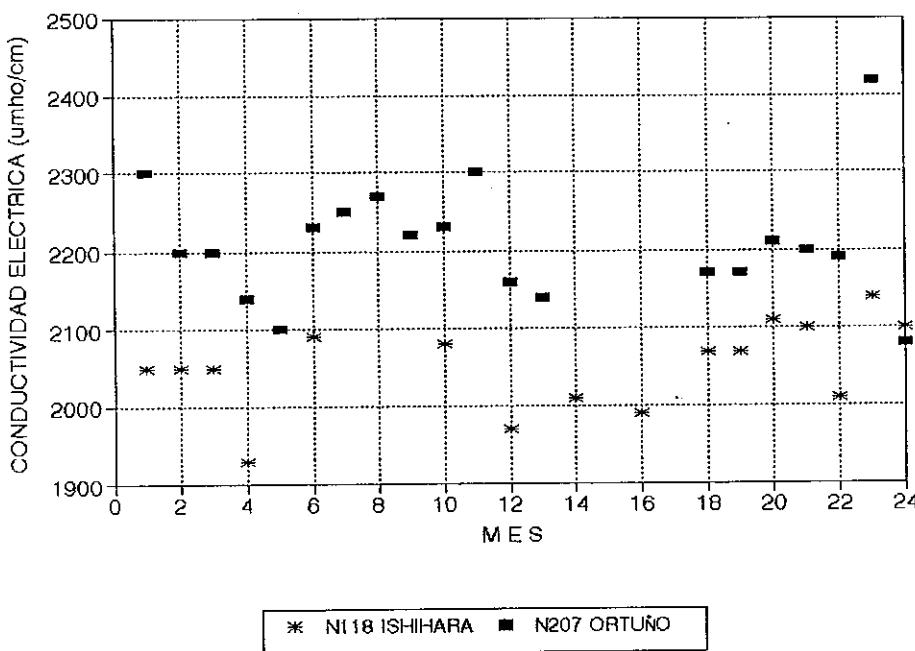


FIGURA 9.5-2 CONDUCTIVIDAD ELECTRICA
SECTOR 5 : LAS MAITAS



9.6

Sector 6, Las Animas

Se ha graficado para este sector los valores de la noria N223 Antum (Figura 9.6-1), y a través de ella es posible apreciar un marcado descenso a partir del mes 10 (Agosto de 1994), siendo esta variación hasta el último mes de monitoreo, del orden de 4,2 m.

El rendimiento de acuífero, por su parte, también se ha deteriorado a lo largo del tiempo, de acuerdo a lo que se puede apreciar en la Figura 9.6-2. Esta situación resulta más marcada en las fuentes ubicadas más hacia el sur, lo que probablemente se deba a la presencia de los sondajes de la planta Pago de Gómez.

La conductividad no ha manifestado variaciones importantes en esta zona (Figura 9.6-3), observándose valores entre 1.500 y 1.800 $\mu\text{mho}/\text{cm}$. No obstante, en el punto N223, a partir del mes 19 se puede advertir un leve aumento de carácter estacional.

9.7

Sector 7, Planta Azapa

En esta zona es posible apreciar un descenso general de los niveles estáticos, siendo a la altura de la noria N220 del orden de 3,5 m, según la Figura 9.7-1. Al igual que el caso del sector 6, esta variación se manifiesta a partir del décimo mes de monitoreo, correspondiente a Agosto de 1994.

Por otra parte, los caudales específicos han evidenciado importantes descensos, siendo los más notorios en el sondaje S230 Azapa 491S, punto en que la reducción alcanza aproximadamente a un 55%.

En cuanto a la conductividad, en esta zona se han analizado 2 puntos con comportamientos disímiles (Figura 9.7-3). Mientras en la noria N220 este parámetro se ha mantenido constante en un valor representativo de 2.500 $\mu\text{mhos}/\text{cm}$, en el sondaje S160 se advierte un importante aumento que tendió a estabilizarse entre los meses 13 y 19, pero que a continuación siguió aumentando a lo largo del tiempo. Los valores extremos resultaron ser de 2.700 $\mu\text{mhos}/\text{cm}$ y 5.600 $\mu\text{mhos}/\text{cm}$, con lo que la variación neta alcanzó a un 107%.

9.8

Sector 8, Saucache

En este sector no existen datos suficientes de pozos como para observar las variaciones del nivel estático de la napa y de su rendimiento. Por esta razón se ha elaborado solamente el gráfico de la Figura 9.8-1 relacionado con la conductividad del acuífero. En esta figura es posible apreciar un mejoramiento leve de la calidad del agua muestreada en el punto S252 Chang, mientras que en el pozo S288 Essat Devotto 1, se observó valores estables en torno a 1.800 $\mu\text{mhos}/\text{cm}$.

FIGURA 9.6-1 NIVELES ESTATICOS
SECTOR 6 : LAS ANIMAS

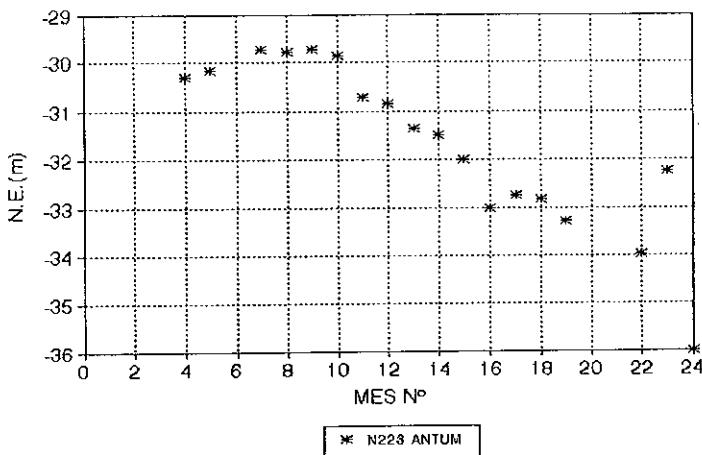


FIGURA 9.6-2 CAUDALES ESPECIFICOS
SECTOR 6: LAS ANIMAS

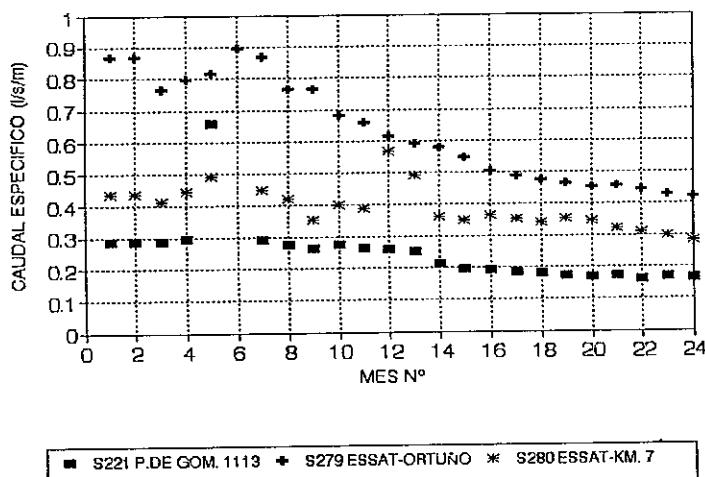


FIGURA 9.6-3 CONDUCTIVIDAD ELECTRICA
SECTOR 6 : LAS ANIMAS

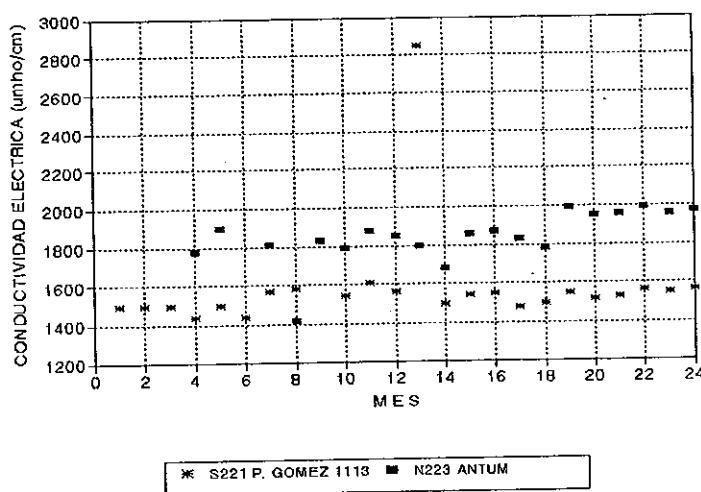


FIGURA 9.7-1 NIVELES ESTATICOS
SECTOR 7 : PLANTA AZAPA

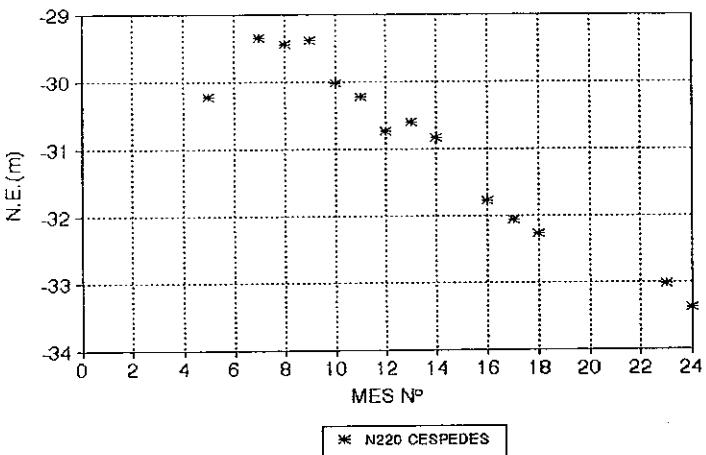


FIGURA 9.7-2 CAUDALES ESPECIFICOS
SECTOR 7: PLANTA AZAPA

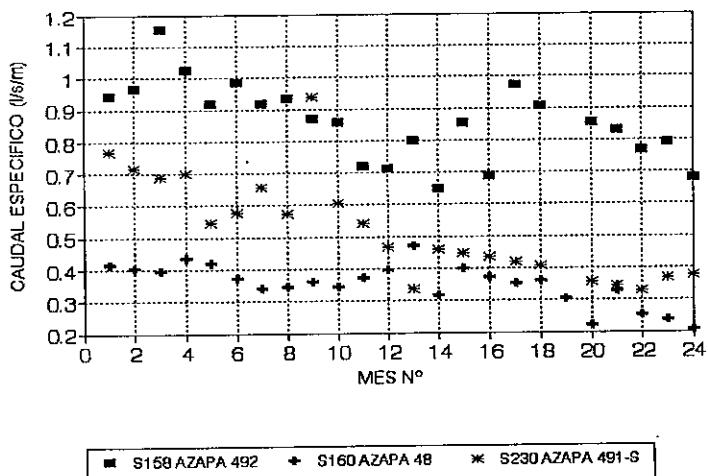


FIGURA 9.7-3 CONDUCTIVIDAD ELECTRICA
SECTOR 7 : PLANTA AZAPA

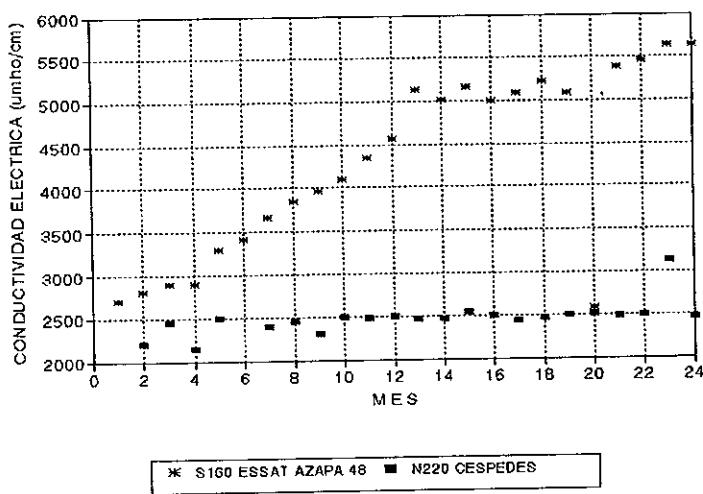


FIGURA 9.8-1 CONDUCTIVIDAD ELECTRICA
SECTOR 8 : SAUCACHE

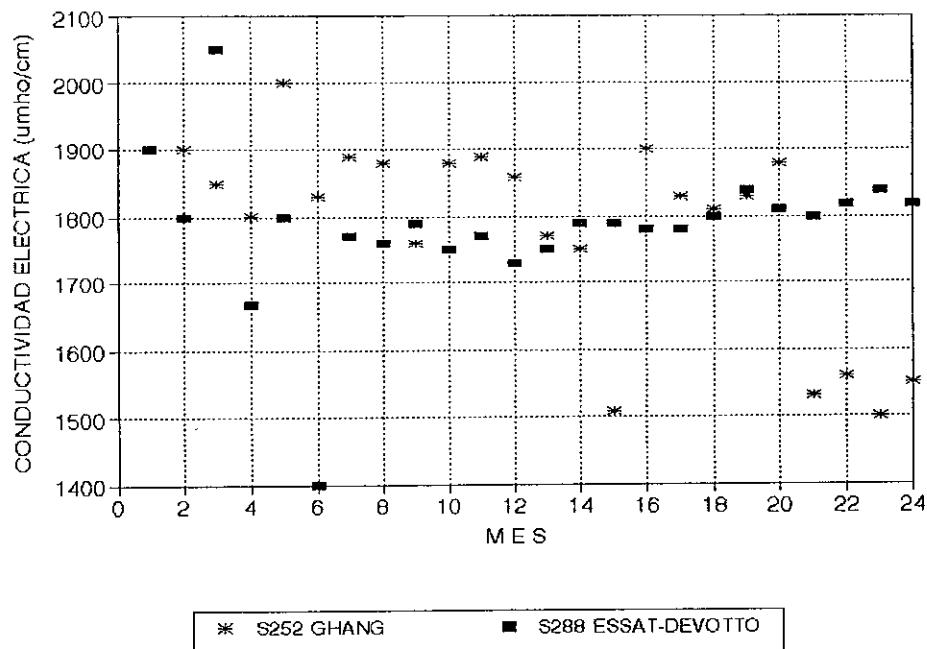
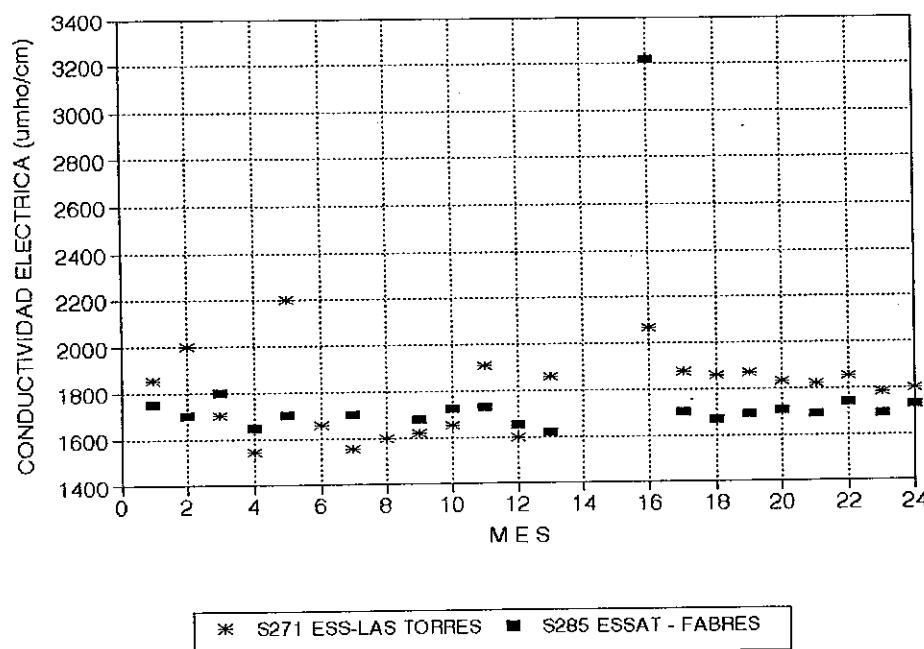


FIGURA 9.9-1 CONDUCTIVIDAD ELECTRICA
SECTOR 9 : ARICA ORIENTE



9.9 Sector 9, Arica Oriente

Al igual que en el sector anterior, en esta parte sólo se ha analizado la conductividad del recurso explotado. Se han escogido para este caso los sondajes S271 y S285, en los cuales es posible observar un comportamiento estable en torno a los $1.700 \mu\text{mho/cm}$ en ambos casos sin advertirse tendencias marcadas a lo largo de todo el período del plan de monitoreo.

9.10 Sector 10, Arica Sur

Se ha escogido en este sector el sondaje S128 Soca Sobraya, para analizar el nivel estático en este caso. En la Figura 9.10-1 se puede apreciar un aumento en el nivel entre el mes 8 y el mes 13, para luego descender hacia el mes 18 hasta valores inferiores a los iniciales. De este modo, la variación neta medida alcanzó a lo largo del estudio a 1,5 m aproximadamente.

Con respecto a los caudales específicos, se puede apreciar diferentes comportamientos en distintos puntos de observación. En el sondaje S140 Essat Estadio, se ha producido una disminución del rendimiento hasta el mes 8, para luego mejorararlo hasta el mes 15, correspondiente a Enero de 1995. De aquí en adelante se mantuvo un equilibrio en los valores de la producción en torno a $2,0 \text{ l/s/m}$.

En el sondaje S139 Essat Copaja, por su parte, la tendencia se mantuvo hacia el descenso leve a partir del sexto mes de observación hasta el final del monitoreo.

En cuanto a la conductividad, en los sondajes graficados en la Figura 9.10-3 se puede apreciar un comportamiento oscilatorio en torno a valores promedios de $2.100 \mu\text{mhos/cm}$ y $1.700 \mu\text{mhos/cm}$ en los sondajes S130 Soca Sobraya y S139 Essat Copaja, respectivamente.

9.11 Sector 11, Arica Norte

En este sector, en que se tiene información continua de niveles estáticos a partir de mes 7, se han registrado aumentos en algunos puntos y descensos en otros. El primero es el caso de la noria N44 YPFB en la que el ascenso alcanzó órdenes de 30 cm, con una cierta disminución en el último mes de monitoreo. El segundo caso tiene su ejemplo en la noria N9 Cormetar, en donde las disminuciones bordean los 120 cm, llegando el nivel en el último mes a 21,75 m medidos desde la superficie.

La conductividad, por su parte, se ha mantenido relativamente estable en valores diferentes para cada punto, variando éstos entre 2.500 y $3.500 \mu\text{mhos/cm}$, salvo en el sondaje S286 Essat Loa, en donde entre los meses 18 y 23 se observó agua de mejor calidad que en los meses anteriores. Sin embargo, en el último mes se volvieron a apreciar las características de las medidas iniciales.

FIGURA 9.10-1 NIVELES ESTATICOS
SECTOR 10 : ARICA SUR

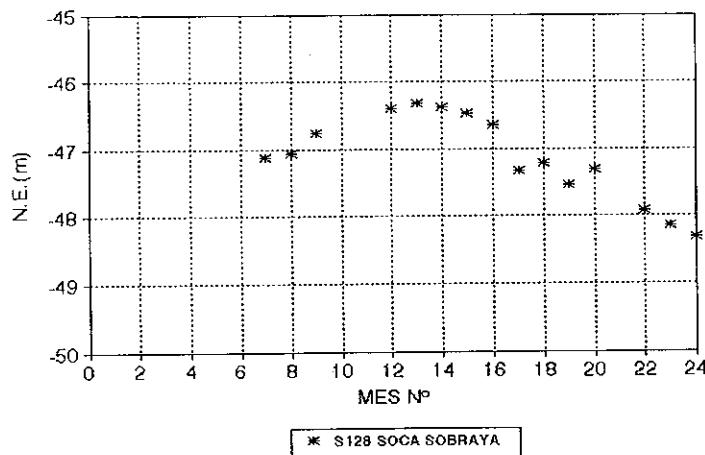


FIGURA 9.10-2 CAUDALES ESPECIFICOS
SECTOR 10: ARICA SUR

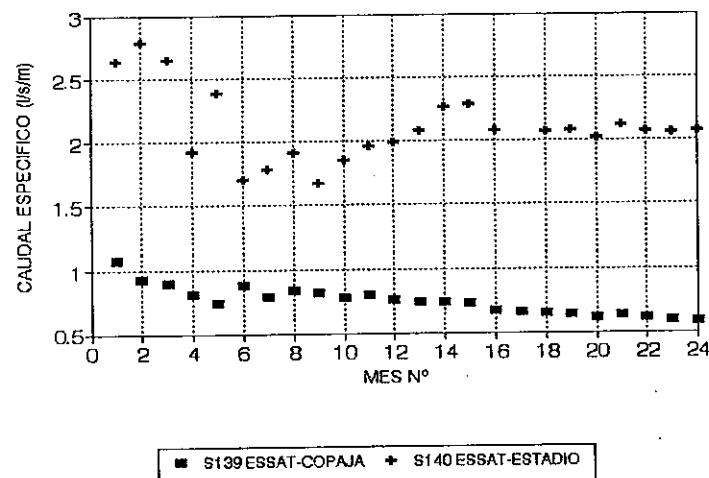


FIGURA 9.10-3 CONDUCTIVIDAD ELECTRICA
SECTOR 10 : ARICA SUR

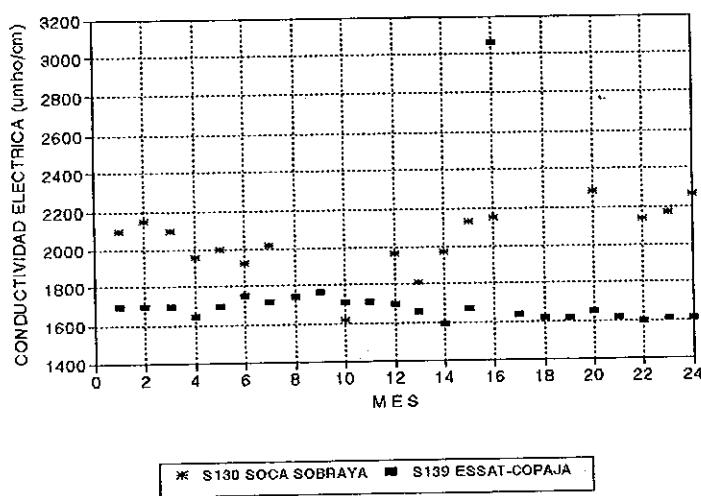


FIGURA 9.11-1 NIVELES ESTATICOS
SECTOR 11 : ARICA NORTE

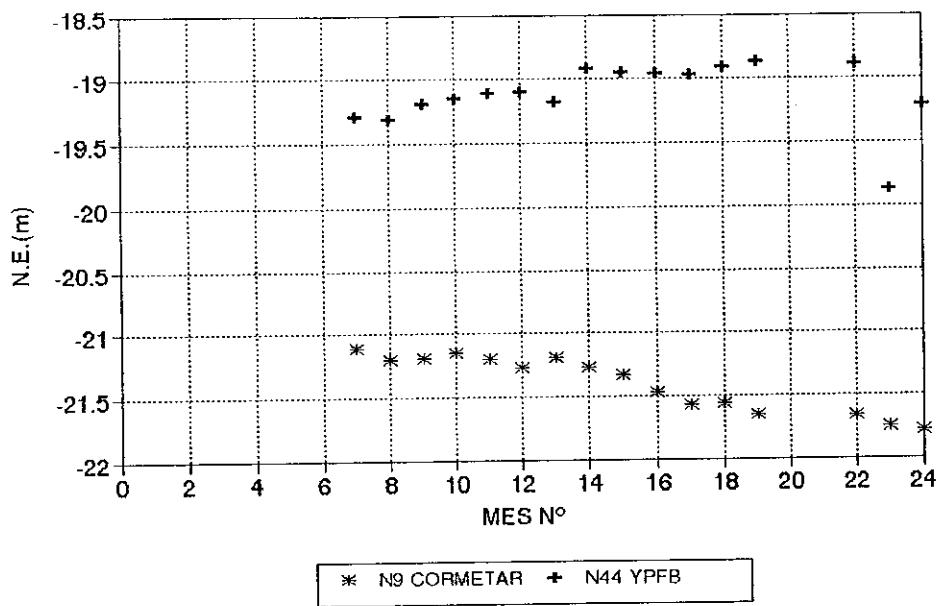
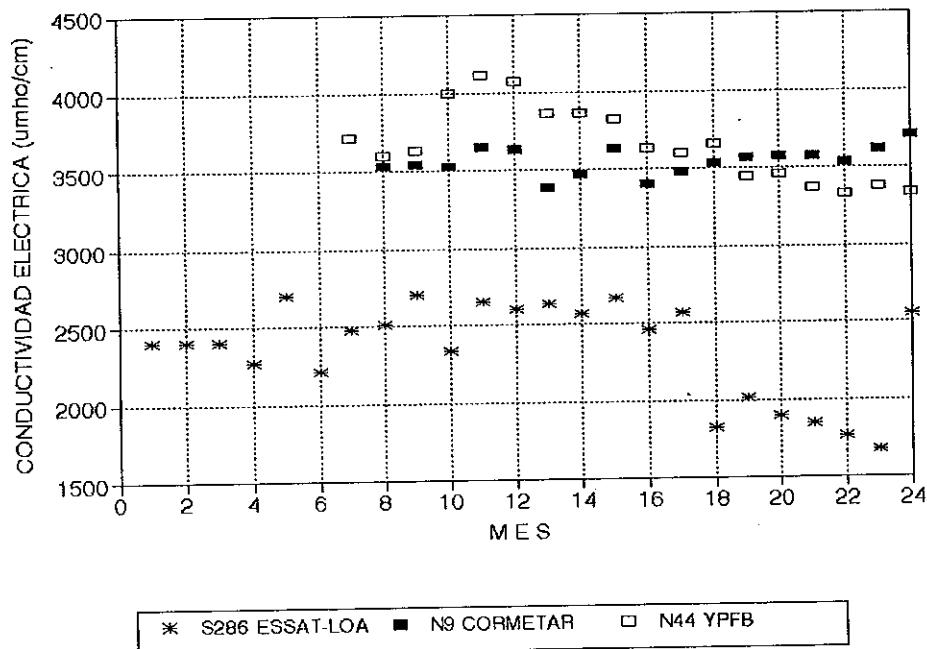


FIGURA 9.11-2 CONDUCTIVIDAD ELECTRICA
SECTOR 11 : ARICA NORTE



9.12 Sector 12, Arica Costa

Este sector, por ser de menor explotación, y por encontrarse junto al mar, no ha sufrido variaciones importantes de los niveles estáticos, según se puede observar en la Figura 9.12-1.

Por su parte, la conductividad eléctrica manifiesta una leve alza en la noria N206 Casino Parque Brasil producida probablemente por la cercanía del litoral. Lo propio ocurre en la noria N224 Parque Centenario Sur, en donde los elevados valores registrados tendrían su origen en la intrusión salina que experimenta el acuífero en el sector. En este punto, según se aprecia en la Figura 9.12-2, en varios meses se superaron los 10.000 $\mu\text{mhos/cm}$, valores que corresponden a los más altos observados en todo el programa de la red de monitoreo.

FIGURA 9.12-1 NIVELES ESTATICOS
SECTOR 12 : ARICA COSTA

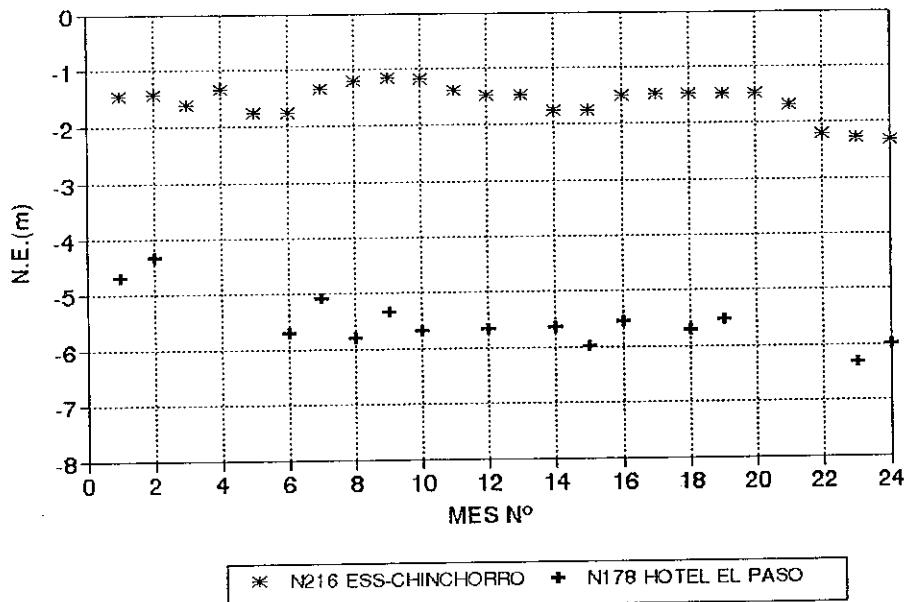
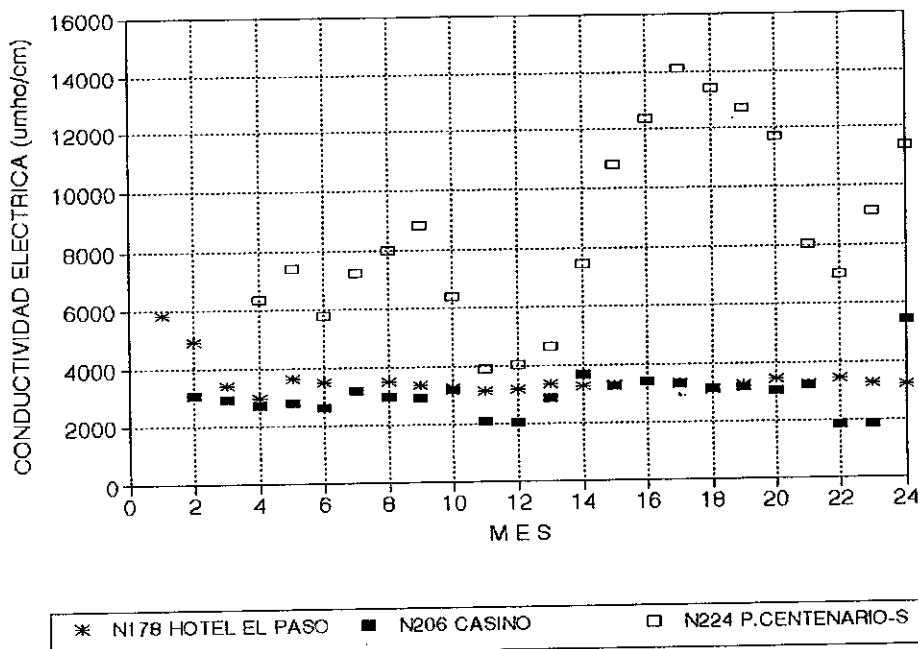


FIGURA 9.12-2 CONDUCTIVIDAD ELECTRICA
SECTOR 12 : ARICA COSTA



10

SITUACIÓN GLOBAL Y COMENTARIOS GENERALES

En el mes de Noviembre de 1993 se dio inicio a un programa de monitoreo de aguas subterráneas en el valle de Azapa con el objeto de analizar las variaciones en relación a la cantidad y a la calidad del recurso del sector. Este programa, proyectado con un período de 24 meses de duración, fue implementado en una red de puntos conformados por sondajes, norias y vertientes escogidos y distribuidos de manera tal que permitieran generar información suficiente y representativa de toda el área definida.

Los parámetros utilizados para los análisis correspondieron a los niveles estáticos y dinámicos de las fuentes, los caudales extraídos, la conductividad y el contenido de cloruros del recurso subterráneo.

La comparación de los valores observados en forma sistemática fue realizada en base a una sectorización orientada a desagregar el área de estudio para una mejor comprensión de la dinámica del sistema. Se definieron así 12 sectores de los cuales 8 correspondieron al valle de Azapa propiamente tal y 4 a la ciudad de Arica.

Al completar los dos años de mediciones en terreno, es posible señalar lo siguiente:

- 10.1 A lo largo de todo el valle se ha observado progresivos descensos en los niveles estáticos. Estos han resultado menos notorios en los extremos del área de estudio y más importantes en la zona central. De este modo, se ha podido apreciar pequeñas variaciones a los sectores Cabuza y Chuval en el Oriente y en Arica Norte y Arica Costa en el Poniente, mientras que en Las Riveras y Planta Azapa los descensos de los niveles han manifestado francos deterioros.
- 10.2 Por medio de los caudales bombeados en forma permanente y los niveles dinámicos observados, ha sido posible detectar importantes disminuciones en los rendimientos de las fuentes. Las variaciones de los caudales específicos, parámetro que permite estimar las extracciones desde una fuente en función del descenso experimentado, indican que para mantener la producción en valores relativamente constantes, ha sido necesario producir incrementos de más del 40% en las depresiones en todos los sectores analizados.
- 10.3 En relación a la conductividad eléctrica se ha observado en general variaciones cíclicas en torno a valores medios que coinciden a grandes rasgos con las crecidas en el río San José, en todos los sectores en que fue dividida el área de estudio. Puntualmente se han encontrado pozos en

los que se ha advertido aumentos paulatinos de este parámetro, no siendo este fenómeno atribuible a la extracción generalizada desde el acuífero del valle.

- 10.4 Con respecto al contenido de cloruros de los recursos subterráneos, se puede concluir que en toda la zona se extrae mayoritariamente agua con clasificación deficiente según la norma para Fuentes de Agua Potable, situación que es generalizada para toda la región. Lo anterior se manifiesta en la tendencia del agua a mantener características incrustantes, sin presentar otros efectos negativos para el consumo.

Sin embargo, ha sido posible apreciar que no existe una variación progresiva en el tiempo de este parámetro, por lo que se puede concluir que las extracciones desarrolladas en el valle no estarían relacionadas con esta variable de calidad.

- 10.5 En cuanto a la calidad del agua superficial del río San José, en los períodos de las crecidas se logró observar, tanto en conductividad como en contenido de cloruros, que esta presenta mejores características que el recurso subterráneo. Lo anterior concuerda con las variaciones observadas en pozos y norias que mejoran los valores de sus parámetros en estos períodos debido a la infiltración desde el lecho del río.
- 10.6 La observación de las vertientes incorporadas a la red de monitoreo ha corroborado la situación de los descensos de la napa freática en el sector en que estas se encuentran (Las Riveras), al constatar la disminución de sus caudales hasta llegar el cese de sus flujos. Por otra parte, la calidad de estos recursos ha resultado comparable con la observada en las fuentes subterráneas, lo que viene a confirmar la correspondencia con el mismo acuífero.

PLANOS