

REPUBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION GENERAL DE AGUAS
DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA

ANALISIS Y EVALUACION DE LOS RECURSOS HIDROGEOLOGICOS

VALLE DEL RIO COPIAPO - III REGION

MODELACION DE LOS RECURSOS HIDRICOS

TOMO ANEXO 6

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DETALLADO DEL SECTOR :

EMBALSE LAUTARO - LA PUERTA

DICIEMBRE - 1987

ALAMOS Y PERALTA INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

CON LA ASESORIA DE : IPLA LTDA. E HIDRELEC LTDA.

INDICE GENERAL DEL ESTUDIO

TOMO I	MODELO DE RECURSOS HIDRICOS : CONSTRUCCION, AJUSTE Y OPERACION DEL MODELO
TOMO II	ESTUDIOS BASICOS : HIDROLOGIA DEMANDAS DE AGUA HIDROGEOLOGIA GENERAL DEL VALLE
TOMO ANEXO 1	Estadísticas Hidrológicas Infraestructura de Riego Planos de Uso Actual y Potencial del Suelo
TOMO ANEXO 2	Estudio Hidrogeológico Detallado del Sector Piedra Colgada - Angostura
TOMO ANEXO 3	Estudio Hidrogeológico Detallado del Sector Copiapó - Piedra Colgada
TOMO ANEXO 4	Estudio Hidrogeológico Detallado del Sector Malpaso - Copiapó
TOMO ANEXO 5	Estudio Hidrogeológico Detallado del Sector La Puerta - Malpaso
TOMO ANEXO 6	Estudio Hidrogeológico Detallado del Sector Embalse Lautaro - La Puerta
TOMO ANEXO 7	Estudio Hidrogeológico Detallado del Sector Manflas, Jorquera y Pulido
TOMO ANEXO 8	Modelo de Recursos Hídricos : Listados de los Modelos Resultados de las Pasadas de Ajuste

TOMO ANEXO Nº 6

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DETALLADO DEL SECTOR

EMBALSE LAUTARO - LA PUERTA

INDICE

	Página
1. INTRODUCCION	1
2. OBJETO DEL ESTUDIO	2
3. GEOLOGIA	3
3.1 Geología de Superficie	4
3.2 Geología de Subsuperficie	6
4. CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DEL EMBALSE SUBTERRANEO	9
4.1 Antecedentes Empleados	9
4.2 Metodología de Análisis	10
4.3 Interpretación Hidrogeológica de los Resultados	10
5. CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DEL EMBALSE SUBTERRANEO	12
5.1 Antecedentes Empleados	12
5.2 Metodología de Análisis	12
5.3 Presentación de Resultados	14

INDICE

	Página
6. CARACTERISTICAS DE LA NAPA	15
6.1 Profundidad del Nivel Estáticos	15
6.1.1 Antecedentes Empleados	15
6.1.2 Metodología de Análisis	15
6.1.3 Presentación de Resultados	16
6.2 Superficie Piezométrica y Sentido de Esgurrimiento de las Aguas Subterráneas	16
6.2.1 Antecedentes Empleados	16
6.2.2 Metodología de Análisis	17
6.2.3 Presentación de Resultados	17
6.3 Variaciones del Nivel Estático	18
6.3.1 Antecedentes Empleados	18
6.3.2 Metodología de Análisis	18
6.3.3 Presentación de Resultados	19
6.4 Calidad Química	20
6.4.1 Antecedentes Empleados	20
6.4.2 Metodología de Análisis	20
6.4.3 Presentación de Resultados	21
6.4.4 Posibles Usos del Agua	22
7. FUNCIONAMIENTO DEL EMBALSE SUBTERRANEO	25
7.1 Entradas de Agua al Acuífero	25
7.2 Salidas de Agua desde el Acuífero	25
8. BALANCE HIDRICO DEL EMBALSE SUBTERRANEO	31
8.1 Entradas de Agua al Acuífero	31
8.2 Salidas de Agua desde el Acuífero	45
8.3 Balance Hídrico	50
8.4 Discusión de Resultados	51

INDICE

	Página
ANEXO 1 : Niveles Estáticos y Conductividades Medidos en Diciembre de 1986 y Enero de 1987	53
ANEXO 2 : Análisis Químicos Empleados en el Estudio de la Calidad del Agua	55

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Estudio Hidrogeológico del Sector Nantoco - Copiapó para el Mejoramiento Integral del Servicio de Agua Potable de Copiapó, ALAMOS Y PERALTA Ingenieros Consultores Ltda., ISAMU KODAMA Ingenieros Civiles Consultores - SENDOS, Junio 1986.
2. Informe Hidrológico e Hidrogeológico de la Hoya del río Manflas del Copiapó, Estancia Hacienda Manflas, INYGE, Diciembre 1985.
3. Catastro de Derechos de Aprovechamiento de Aguas Subterráneas Concedidas, en Trámite y sin Solicitar en la Hoya Hidrográfica del río Copiapó. Dirección General de Aguas - M.O.P., Agosto 1985.
4. Balance Hídrico Nacional, Regiones III y IV. IPLA, Dirección General de Aguas - M.O.P., 1984.
5. Catastro de Pozos de la Región de Atacama. Dirección General de Aguas - M.O.P., Mayo 1983.
6. Plan Maestro de Acción Inmediata para el Desarrollo de los Recursos de Agua y Suelo de Valle de Copiapó. Región de Atacama. Uri Hammer y Asociados, Dirección de Riego - M.O.P., 1980.
7. Tasa de Riego de Uso Racional y Beneficioso y Rol de Regantes del Valle de Copiapó. Domingo Queirolo Díaz, Dirección General de Aguas - M.O.P., Diciembre 1977.
8. Proyecto Mejoramiento Servicio de Agua Potable de Copiapó. Factibilidad. Tomo I. J.V.C., SENDOS - M.O.P, Noviembre 1979.
9. Estadísticas de Análisis Químicos y de Sedimentos 3a. Región. Dirección General de Aguas - M.O.P., Julio 1978.
10. Catastro de Pozos al 31 de Mayo de 1971. Hoya Nº 302 Copiapó. Departamento de Recursos Hidráulicos - CORFO, 1971.
11. Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos en el Valle de Copiapó. Gastón Mahave y otros - Dirección de Riego - M.O.P, Julio 1969.
12. Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos en el Valle de Copiapó. Relación General, 2 Tomos, ITALCONSULT Argentina, CORFO, Diciembre 1963.
13. Recursos de Agua del Valle de Copiapó. P. Kleiman y J. Torres, CORFO, Marzo 1962.

14. Antecedentes Generales sobre la Evolución del Litoral de Chile del Norte durante el Plioceno y el Cuaternario. R. Pascoff, Universidad de Chile, 1967.
15. Los Cambios Climáticos Plio-Cuaternarios en la Franja Costera de Chile Semi-árido. R. Pascoff, Universidad de Chile, 1967.
16. Geología de las Hojas Copiapó y Ojos del Salado. K. Segerstrom, IIG - Boletín N° 24, 1968.
17. Le Chili Semi-aride. R. Pascoff, Bordeaux - Francia, 1970.
18. Cordillera de la Costa entre Chañaral y Caldera. Carta Geológica de Chile Escala 1:100.000. M. Mercado, IIG, 1978.
19. Evolución Geomorfológica del Desierto de Atacama entre los 26° y 33° de Latitud Sur. Revisión Cronológica. J.Naranjo y R.Pascoff, Revista Geológica de Chile, 1980.
20. Hojas Vallenar y parte Norte de La Serena. Carta Geológica de Chile Escala 1:250.000. R.Moscoso, P.Nasi, P.Salinas, SERNAGEOMIN, 1982.
21. Hojas Taltal y Chañaral. Carta Geológica de Chile Escala 1:250.000. J.Naranjo y A.Puig, SERNAGEOMIN.
22. Norma Chilena de Agua Potable NCh 409/1 Of.84.
23. Water Quality Sourcebook. A Guide to Water Quality Parameters. R.N.McNeely, V.P.Neimanis and L.Dwyer, Water Quality Branch, Minister of Supply and Services Canada, Ottawa, Canada, 1979.
24. Calidad Química de las Aguas de la IV Región. Proyecto CHI-535, Investigación de Recursos Hidráulicos en la IV Región, SERPLAC - DGA - ONU - CORFO, Abril 1979.
25. Las Necesidades de Agua de los Cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje N° 24. J.Doorenbos y W.O.Pruitt, FAO - ONU, 1986.
26. Estudio Hidrogeológico del Valle del río Choapa. Sector Salamanca - Cuncumen. Informe Final. Anexo N° 3 de 4. Análisis y Resultados de las Infiltraciones por Regadío. ALAMOS Y PERALTA Ingenieros Consultores Ltda., ANACONDA CHILE S.A., Noviembre 1982.
27. Antecedentes del Catastro Vitivinícola y Declaraciones al 31 de Diciembre de 1985. Valle de Copiapó. Uva Vinífera y Uva de Mesa. Sin autor, sin fecha.

1. INTRODUCCION

El valle del río Copiapó ha sufrido en los últimos 6 años un drástico cambio en su agricultura, transformándose en un importante productor de uva de exportación.

Hoy en día se estima en 4500 las hectáreas de parronales plantados, de las cuales unas 3000 hectáreas se riegan con aguas subterráneas. Para regar estos parronales, que en general emplean el método del goteo, se ha construido una gran cantidad de nuevos pozos y solicitado para ellos las mercedes de aprovechamiento correspondientes. Hasta Febrero de 1987, de acuerdo a los antecedentes de la DGA, se había otorgado concesión sobre el uso de 142 pozos en el valle entero, para caudales que en total suman casi 9000 (l/s). No obstante, según las informaciones recopiladas durante la elaboración del presente estudio, hoy existen en el valle de Copiapó 290 pozos, de los cuales se ocupan sólo 107.

A la luz de las cifras anteriores se ve la necesidad de contar con un estudio acabado respecto de los recursos hídricos del valle, y, en particular, un análisis y evaluación de los recursos hidrogeológicos, que son los que aparentemente han empezado a explotarse en forma más intensa en los últimos años.

2. OBJETO DEL ESTUDIO

El objeto del estudio que sigue a continuación es analizar y evaluar en detalle los recursos hidrogeológicos del sector Embalse Lautaro - La Puerta.

En particular se pretende caracterizar hidrogeológicamente el embalse subterráneo del sector y conseguir el conocimiento necesario para implementar un modelo matemático que permita simular su funcionamiento.

El estudio hidrogeológico que se ha desarrollado se compone de las siguientes partes:

- Geología superficial y subsuperficial del sector.
- Características geométricas del embalse subterráneo, que vienen dadas por la ubicación del basamento rocoso, del nivel estático y la identificación de los estratos más representativos del relleno.
- Características de las napas representadas por la profundidad del nivel estático, la superficie piezométrica, las variaciones del nivel estático y la calidad química de las aguas subterráneas.
- Funcionamiento del embalse subterráneo, donde se indica las distintas fuentes de recarga y descarga del embalse subterráneo.
- Balance, donde se evalúa los volúmenes de recarga y descarga identificados en el funcionamiento del embalse subterráneo.

Junto al texto, donde se describe lo anterior, se presenta un conjunto de 12 planos que ilustran las características hidrogeológicas del embalse subterráneo. Adicionalmente se presenta una serie de anexos, con los datos originales de terreno recopilados en el presente estudio y la parte más relevante de la información extraída de estudios anteriores.

3. GEOLOGIA

En este capítulo se describe las características geológicas existentes en el sector del valle del río Copiapó comprendido entre el embalse Lautaro y La Puerta, de manera de conocer su relación con la existencia de unidades hidrogeológicas capaces de almacenar y transmitir el agua subterránea, es decir, constituir acuíferos de importancia en el área.

Para este estudio geológico, se ha tenido presente todos los antecedentes recopilados y que dicen relación con las características geológicas del área. Estos antecedentes han sido mencionados en el Tomo II en la Hidrogeología General del Valle. En todo caso, para el sector del valle que se analiza ha sido particularmente importante la "Geología de las Hojas Copiapó y Ojos del Salado" (Ref 16).

Por otra parte, se ha realizado un levantamiento fotogeológico para definir unidades en términos hidrogeológicos, a partir de fotografías aéreas verticales a escala 1:60.000 del Servicio Aerofotogramétrico de la Fuerza Aérea de Chile (SAF).

Este estudio fotogeológico fue controlado en el terreno, con lo que se ha obtenido un buen conocimiento del valle del río Copiapó, especialmente en lo relativo al contacto entre la roca fundamental y el relleno sedimentario.

Con ello, ha sido posible conocer los tipos litológicos que afloran en el sector, así como sus características de permeabilidad, su espesor y principalmente los límites del embalse subterráneo del valle de Copiapó, entre el embalse Lautaro y La Puerta.

Lo que se expone a continuación, comprende las características geológicas que existen en la superficie del terreno y sobre ella, así como las condiciones que se encuentran bajo la superficie del terreno. Ello se entrega en lo que se denomina Geología de Superficie, por una parte, y Geología de Subsuperficie, por otra.

3.1. Geología de Superficie

En relación con las características geológicas existentes en la superficie del terreno, puede distinguirse en este sector del valle del río Copiapó, dos grandes unidades: roca fundamental y sedimentos..

3.1.1. Roca Fundamental

La roca fundamental se presenta en el Plano N° 2, como roca fundamental indiferenciada, situación relevante desde el punto de vista hidrogeológico. Sin embargo, sobre la base de la información existente, es posible diferenciar esta roca fundamental en las siguientes unidades litológicas que afloran en este sector estudiado, desde aguas arriba hacia aguas abajo:

- Formación Lautaro, que corresponden a volcanitas y sedimentitas hacia la base; areniscas fosilíferas rojas pardo amarillentas con intercalaciones de caliza, conglomerado, fisible y andesitas en la parte mediana lava andesítica con intercalaciones de brecha, conglomerado tobáceo y escasas capas de arenisca fosilífera, en la parte superior. Aflora desde aguas arriba del embalse Lautaro, hasta la localidad de Goyo Díaz.
- Formación Cerrillos, de litología conglomerádica con algunas intercalaciones de areniscas en la mitad inferior; la parte superior está compuesta por lava andesítica, tobas y brechas. Aflora desde Goyo Díaz hasta prácticamente La Puerta.
- Granodiorita (principalmente) del Batolito Andino. Aflora en el las proximidades de La Puerta, en el extremo inferior de este sector del valle del Copiapó.

Para los efectos del presente estudio hidrogeológico, estas rocas reseñadas serán consideradas impermeables y constituirán en consecuencia, los límites del reservorio de agua subterránea.

3.1.2. Sedimentos

En este sector del valle del Copiapó, se ha reconocido depósitos sedimentarios de variadas génesis y de edades distintas. En lo que sigue, se describirá cada uno de estos sedimentos, señalando la nomenclatura utilizada en la cartografía en el Plano N° 2.

Cabe señalar que en este tramo del valle del río Copiapó no afloran los sedimentos antiguos que corresponden a los remanentes de los que ha definido precedentemente como Gravas de Atacama y que afloran hacia aguas abajo de este sector Lautaro - La Puerta del valle del Copiapó.

- Conos de Deyección (CD): Este tipo de depósitos sedimentarios se encuentran siempre asociados a los flancos de los valles. En el sector estudiado, se han generado por erosión de rocas y/o sedimentos preexistentes.

Su característica morfológica más relevante consiste en su alta pendiente y en presentar forma de abanico con un extremo superior (parte apical) y un extremo inferior (parte distal) con la forma de un abanico. A veces su extremo inferior es disectado por el curso actual del Copiapó.

En su génesis interviene principalmente la fuerza de gravedad, que con la ayuda de las esporádicas precipitaciones que caen en el área, generan corrientes de barro o avenida, denominadas localmente "bajadas de las quebradas". Por ello, su granulometría se caracteriza principalmente por presentar clastos angulosos a subangulosos, una matriz fina y un grado de heterogeneidad muy alto.

Estos conos de deyección se han generado sobre las rocas fundamentales, por erosión. Por otra parte, se interdigitan en su extremo distal con los sedimentos que se depositan en la llanura aluvial del río Copiapó.

Desde el punto de vista hidrogeológico, poseen permeabilidad media y son importantes en cuanto a que colectan la escorrentía de las quebradas, parte de la cual se infiltra a través de ellos.

Cabe señalar la importancia que revisten como unidad geomórfica estos conos de deyección, en algunos casos, como es en la quebrada Calquis, donde además se han generado conos de deyección laterales sobre el cono de deyección que conforma la quebrada Calquis en si misma.

- Escombros de Falda (EF): En general, son poco frecuentes en este sector del valle, de forma que no han podido ser representados en la escala de trabajo de la cartografía.

- Terraza Aluvial (T): Es el rasgo más relevante en este sector del valle, tanto por su extensión, como por su importancia hidrogeológica.

Corresponde al fondo relativamente plano del valle del río Copiapó. Su génesis está asociada directamente a la capacidad de transporte, arrastre y depositación que ha tenido el río Copiapó en épocas pretéritas y aún en la actualidad.

Su granulometría es variable desde bloques chicos hasta limos y arcillas. La condición media es de ripios y gravas con matriz arenosa-limosa. Poseen una permeabilidad media a alta.

3.2. Geología de Subsuperficie

La geología de subsuperficie se refiere al conocimiento de las características geológicas que existen en los sedimentos depositados en el valle del río Copiapó, los que han sido descritos según se han reconocido en superficie.

Este conocimiento se refiere principalmente a las características de espesor y por lo tanto, profundidad a que se encuentra el basamento rocoso en el sector estudiado. Ello, ha sido posible principalmente sobre la base de los Sondeos Eléctricos Verticales realizados en el sector, así como de los sondeos mecánicos existentes.

Los SEV se realizaron configurando perfiles, los que fueron interpretados en términos geoeléctricos en una primera aproximación y luego, en términos de la geología del área. Los SEV correspondientes a este sector del Valle de Copiapó son aquellos numerados desde el N° 35 al N° 60, es decir, 26 sondeos, distribuidos

en 11 perfiles.

Con estos antecedentes, se ha confeccionado los planos siguientes:

PLANO N° 3 : Profundidad del basamento rocoso

PLANO N° 4 : Perfiles transversales

PLANO N° 5 : Isoespesor de sedimentos

De las curvas de profundidad del basamento rocoso referida al nivel del mar, se advierte claramente la existencia de ciertas estructuras de gran relevancia para los efectos hidrogeológicos, ya que estarían indicando la existencia de grandes espesores de sedimentos.

Se aprecia claramente una profundidad relativamente homogénea desde San Antonio hasta La Puerta. Hacia aguas arriba, especialmente en el sector desde Quebrada El Sauce hasta Amolanas, existe una gran fosa de probable origen tectónico.

El fondo del valle visto en el perfil longitudinal del Plano N° 4, muestra la existencia de una falla probable en el sector de la quebrada Amolanas, inmediatamente aguas abajo del embalse Lautaro, la que habría generado un graben que correspondería a la mayor profundidad de este sector y en el cual se habrían depositados los grandes espesores de sedimentos que tipican este sector del valle.

De igual forma, se advierte en los perfiles transversales, que en general existiría una mayor profundidad de basamento rocoso en la margen izquierda del valle.

Debe tenerse presente, por otra parte, que existe una profundidad importante del basamento rocoso también en la quebrada Calquis, situación que se visualiza claramente en los planos indicados.

La cota del basamento en el sector de Los Loros es del orden de 850 metros sobre el nivel del mar, siendo la cota del terreno de 950 m.s.n.m. Esto representa un espesor del relleno sedimentario del orden de 100 metros para el área entre La Puerta y San Antonio.

Desde esta última localidad, la cota del basamento disminuye a un valor máximo en las cercanías del embalse Lautaro, en Amolanas, del orden de 600 metros sobre el nivel del mar, siendo la cota del terreno de más o menos 1.100 m.s.n.m. por la que el espesor de sedimentos aumenta sustancialmente.

La mayoría de los sondeos construídos en el sector, permiten reconocer la existencia de una interestratificación de sedimentos gruesos del tipo bolones, ripios y gravas, con estratos donde la proporción de finos es mayor. A través de los SEV ha sido posible, en general, distinguir dos grandes unidades sedimentarias constitutivas del relleno del valle del Copiapó. Una unidad que se encuentra parcialmente saturada, cuyo techo es la superficie del terreno y cuya base es el techo de una segunda unidad que se encuentra completamente saturada. La base de esta segunda unidad sería el basamento rocoso.

Las conductividades de estas unidades son las siguientes:

UNIDAD 1	50	a	100	Ω /m
UNIDAD 2	100	a	200	Ω /m
ROCA			1000	Ω /m

Las curvas trazadas en los Planos N° 3 y 5, así como el Plano N° 4 que contiene perfiles, no reflejan la existencia de roca fundamental que pudiere encontrarse a poca profundidad. Por el contrario, muestran un paleorelieve muy uniforme, de gran profundidad y extensión.

4. CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DEL EMBALSE SUBTERRANEO

El término de geometría o características geométricas del embalse subterráneo se refiere a los límites o bordes impermeables que posee un sistema hidrogeológico o acuífero.

En el presente caso, las condiciones de borde están dadas por las rocas fundamentales que se ha descrito en capítulos precedentes y que afloran en los costados del valle del Copiapó.

Los límites en superficie se encuentran representados en el Plano N° 2, donde se ha trazado el contacto en superficie entre la roca fundamental o basamento impermeable y unidades sedimentarias de distintas génesis, según se ha explicado en el correspondiente capítulo de geología.

El límite o condiciones de borde bajo la superficie del terreno se han representado en los Plano N° 3, 4 y 5. En ellos se ha trazado curvas que representan igual profundidad del basamento referido al nivel del mar y curvas que representan igual espesor de sedimentos depositados sobre la roca fundamental. Además, se ha trazado perfiles geológicos que representan claramente las características geométricas del embalse subterráneo.

4.1. Antecedentes Empleados

Para obtener los planos y perfiles señalados se ha contado con los siguientes elementos adicionales:

- Plano topográfico del sector a escala 1:25.000, del Instituto Geográfico Militar.
- Plano topográfico del área del riego en el sector, a escala 1:10.000 de la Dirección de Riego del Ministerio de Obras Públicas.
- Estratigrafía de una serie de sondeos mecánicos contruídos en el área. Particular importancia posee el hecho de que ninguno de los sondeos perforados en este sector del valle del Copiapó ha llegado hasta la roca fundamental. La profundidad máxima alcanzada por estos es en torno a los 80 metros.

- Campaña geofísica de resistividad eléctrica, desarrollada a través de sondeos eléctricos verticales, localizados a perfiles transversales al valle.

4.2. Metodología de Análisis

Sobre la base de los antecedentes que entregan estos sondeos existentes en el valle y principalmente de la información aportada por los resultados y posterior interpretación geológica de los Sondeos Eléctricos Verticales, se ha trazado las curvas de Isoprofundidad del Basamento Rocoso (Plano N° 3), como también las curvas Isópacas (Plano N° 5). Estas curvas permiten en conjunto con los perfiles geológicos entregados en el Plano N° 4, establecer las características geométricas del embalse subterráneo en este sector del valle del río Copiapó.

4.3. Interpretación Hidrogeológica de los Resultados

Las conclusiones hidrogeológicas más importantes que se puede obtener de las características geométricas del embalse subterráneo que existen en el valle del Copiapó desde el Embalse Lautaro hasta La Puerta, son las siguientes:

- a) Existe un importante embalse subterráneo, en atención a la alta potencia o espesor que poseen los sedimentos depositados en el fondo del valle.
- b) La profundidad alcanzada por los sondeos perforados en este sector del valle, es relativamente reducida en comparación con el espesor de sedimentos medido a través del método geoeléctrico.
- c) La profundidad habilitada en los sondeos por debajo del nivel estático es baja; sin embargo los sondeos entregan caudales importantes.
- d) Por encontrarse saturado todo el paquete sedimentario, resulta importante concluir que es posible obtener un volumen adicional de agua subterránea.

- 11 -

- e) Los espesores máximos de relleno sedimentario se encuentran de preferencia en el centro del valle y los espesores menores, hacia las márgenes.
- f) El espesor máximo reconocido en la parte alta de este sector del valle del río Copiapó, es de más de 400 metros entre el Embalse Lautaro y la Quebrada Calquis.
- g) Entre San Antonio y La Puerta, se aprecia la existencia del basamento a menor profundidad que hacia aguas arriba, con un espesor mínimo de menos de 100 metros en La Puerta, este hecho ha permitido establecer la existencia de otro umbral rocoso.
- h) El espesor mayor de sedimentos saturados se encuentra en las proximidades de la confluencia de la quebrada Amolanas con el valle del Copiapó, con un valor del orden de 480 metros.
- i) El espesor mínimo se encontraría en La Puerta, donde aflora en ambos costados del valle la roca fundamental impermeable y donde se infiere un espesor inferior a 100 metros.

CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DEL EMBALSE SUBTERRANEO

Por características hidráulicas del embalse subterráneo se entiende su capacidad de transmitir y almacenar agua. Estas capacidades se reflejan en los valores de los coeficientes de transmisividad y de almacenamiento, y sólo es posible conocerlos mediante ensayos de terreno.

En lo que sigue se analiza, para el sector estudiado, los valores de estos parámetros y su significado.

5.1. Antecedentes Empleados

En el sector comprendido entre el embalse Lautaro y La Puerta no se cuenta con ningún pozo con pruebas de bombeo de caudal constante, de cuyo análisis se obtienen valores de los coeficientes de transmisividad y almacenamiento. Sólo se tienen valores de transmisividad en tres pozos del sector, los cuales no se consideraron en la determinación de la relación Caudal Específico - Transmisividad dada la falta de confiabilidad de ellos por la inexistencia de los datos originales.

Por otro lado, se ha dispuesto de las Curvas de Agotamiento de 21 pozos, 2 en el sector ubicado aguas arriba del Embalse Lautaro, 8 en el sector de Amolanas y Quebrada Calquis, 5 en el sector de San Antonio y 6 en el sector de Los Loros.

5.2. Metodología de Análisis

En primer lugar se ha calculado el caudal específico para cada pozo con curva de agotamiento. Este es un parámetro que se calcula como el caudal máximo bombeado, expresado en litros por segundo (l/s), dividido por la depresión de niveles, en metros, que ese bombeo genera en el pozo. Luego se ha puesto los valores obtenidos en un plano escala 1:10.000, con la ubicación de pozos.

A continuación se ha estimado el coeficiente de transmisividad a partir del caudal específico, a través del siguiente procedimiento.

a) Se ha relacionado el caudal específico con la transmisividad, para los pozos del valle que cuentan con pruebas de caudal variable y constante. En general es ta situación se da en los pozos más antiguos del valle, perforados casi todos en el sector Mal Paso - Copiapó. No obstante se considera extrapolable los resulta dos obtenidos a otros sectores del valle, dada la homogeneidad hidrogeológica de los embalses subterráneos y similitud en las características constructivas y de habilitación de los distintos pozos.

La relación obtenida es:

$$T = 300 * (Q/d)$$

donde T = Transmisividad ($m^3/día/m$)

(Q/d) = Caudal Específico (l/s/m)

Una discusión detallada de cómo se obtuvo esta relación se presenta en el Tomo 4, con la Hidrogeología General del Valle.

b) La transmisividad obtenida de acuerdo con lo anterior se ha corregido, para considerar el efecto de penetración parcial del pozo en el acuífero. La corrección se ha hecho a través de:

$$T_c = T * (1 + 1/3 * E_i/E_s)$$

con T_c = Transmisividad corregida ($m^3/día/m$)

E_i = Espesor del acuífero inferior (m)

E_s = Espesor del acuífero superior (m)

T = Transmisividad calculada a través de las pruebas de bombeo hechas en el pozo (directamente o mediante el caudal específico) ($m^3/día/m$).

Igualmente que en la primera relación, una discusión detallada de cómo se obtuvo esta relación se presenta en el Tomo II, en el capítulo Hidrogeología General del Valle.

En cuanto al coeficiente de almacenamiento se ha adoptado un valor de 10% que corresponde a acuíferos libres similares a los encontrados a lo largo del valle. Este valor se basa en los datos obtenidos de unas pocas pruebas de bombeo cuyos resultados están comprendidos entre 0.16 y 11%. La presentación de estos valores se encuentra en el Tomo II capítulo Hidrogeología General del Valle.

5.3. Presentación de los Resultados

Los resultados se presentan en los Planos N° 9 y 10, lámina N° 2. En ambos se observa que, en general, los caudales específicos y transmisividades son más bien altos. En especial, en el sector comprendido entre el Embalse Lautaro y la zona de Valle Hermoso se tiene transmisividades de hasta 15000 y 20000 ($m^3/día/m$). Por otro lado, las transmisividades del sector comprendido entre San Antonio y La Puerta son menores, con valores comprendidos entre 1000 y 5000 ($m^3/día/m$).

En el plano 9 se ha trazado curvas de isotransmisividad basándose por un lado en los datos obtenidos de los caudales específicos y las relaciones anteriormente expuestas, y por el otro, en los planos con curvas isopacas. Los datos considerados tienen una distribución espacial aceptable para el grado de precisión con que se trabaja en el trazado de curvas.

En el Anexo 4 se presenta un listado con los caudales específicos y transmisividades calculadas para cada pozo.

Volumen Embalsado

Basándose en el plano de isopacas se ha determinado el volumen total de relleno del acuífero, el que para este sector alcanza un valor de $2653 Mm^3$. Ahora bien, debido a que el coeficiente de almacenamiento se ha determinado en un 10%, el volumen total embalsado en este sector es de $265 Mm^3$.

6. CARACTERISTICAS DE LA NAPA

Las características de la napa quedan representadas por la profundidad del nivel estático, su variación estacional, el sentido de escurrimiento de las aguas subterráneas y su calidad química. Cada uno de estos aspectos se analiza a continuación por separado.

6.1 Profundidad del Nivel Estático

6.1.1 Antecedentes Empleados

Para conocer la profundidad del nivel estático se realizó una corrida de mediciones en terreno en Enero de 1987. En esta corrida se controló el nivel de 30 pozos y norias ubicados entre el embalse Lautaro y la estación fluviométrica de La Puerta. En el Anexo 1 se adjunta un listado de los niveles medidos en terreno.

6.1.2 Metodología de Análisis

Los niveles estáticos medidos se han referido al nivel del terreno, restándoles la altura del punto de medida al terreno. Estos valores se han puesto en planos escala 1:10000 con la ubicación de pozos, para luego trazar sobre ellos las curvas de isoprofundidad del nivel estático.

Es necesario destacar que se ha empleado el criterio hidrogeológico en el trazado de las curvas para inferir lo que ocurre en zonas con poca información. En estos casos la profundidad del nivel estático se ha obtenido de superponer a la topografía del terreno la superficie piezométrica representada en el plano de Isopiezas.

6.1.3 Presentación de los Resultados

Los resultados obtenidos se presentan en el Plano N°6, Lámina 2, denominado Isoprofundidad del Nivel Estático. Allí se observa que, para Enero de 1987, los niveles del sector Embalse Lautaro - La Puerta se presentan entre 0,4 metros sobre el nivel del terreno y 30 metros de profundidad. Analizado por sectores se tiene lo siguiente:

- Hay, primeramente, una extraordinaria similitud de niveles en todo el sector considerado.

- En la terraza del valle, los niveles se encuentran normalmente entre 5 y 10 metros, tomando un valor medio cercano a los 8 metros.

- En la caja del río, que se ubica en general varios metros bajo la terraza del valle, los niveles son superficiales desde la localidad de San Antonio hasta La Puerta. En esta zona se desarrollan abundantes vegas y afloran una serie de vertientes.

- Niveles más profundos que 15 metros se encuentran sólo en los faldeos de las quebradas importantes que llegan al valle, tales como la Quebrada Calquis, en la zona de Amolanas, y la Quebrada Los Loros, que cae al pueblo de Los Loros.

6.2 Superficie Piezométrica y Sentido de Esguerrimiento de las Aguas Subterráneas

6.2.1 Antecedentes Empleados

Se denomina superficie piezométrica a la superficie de la napa subterránea, que se obtiene dando cota respecto de una referencia única al nivel del agua medido dentro de pozos y norias.

Los antecedentes empleados para conocer la superficie piezométrica son los

niveles estáticos medidos en una corrida de mediciones hecha en Enero de 1987, la misma que se usó para conocer la profundidad del nivel estático, y la cota de terreno de cada pozo, extraída de los planos escala 1:5000 con la ubicación de los pozos.

6.2.2 Metodología de Análisis

partiendo de los antecedentes antes mencionados se ha calculado la cota piezométrica de cada pozo, como la diferencia entre su cota de terreno y la profundidad medida del nivel estático respecto del terreno.

Cabe señalar que no se comete un error apreciable al extraer las cotas de terreno de los pozos de los planos escala 1:5000, ya que en este caso se tiene una napa con un fuerte gradiente hidráulico y la forma de la superficie piezométrica por lo tanto no se ve influida por el error de más menos 50 centímetros con que se puede obtener la cota de terreno.

Las cotas piezométricas así determinadas se han puesto en planos escala 1:10000 y por interpolación entre puntos se ha obtenido las curvas isopiezas, que son las que representan la superficie piezométrica. En el trazado de las isopiezas se ha respetado la perpendicularidad al contacto roca - acuífero, para cumplir con la teoría del flujo subterráneo que señala que las isopiezas son perpendiculares a las líneas de flujo y que el borde impermeable es la línea de flujo nulo.

6.2.3 Presentación de los Resultados

Los resultados obtenidos se presentan en el Plano N°7, Lámina 2. En él se observa que, en líneas generales, las isopiezas se disponen perpendiculares al eje longitudinal del valle, lo que significa que el escurrimiento subterráneo es fundamentalmente paralelo al eje del valle.

Respecto del gradiente hidráulico de la napa, la situación por sectores es la siguiente:

- En el todo el tramo Lautaro - La Puerta, el gradiente fluctúa entre 0,5 y

1,4 % .

- Desde el embalse Lautaro hasta San Antonio el gradiente es bastante parejo, variando entre 0,7 y 1,1 % .

- Aguas abajo de la Quebrada 1 iro, luego de San Antonio, el gradiente sube a 1,25 % , para luego disminuir hasta 0,5 % en la zona de Apachetas y volver a subir a 1,25 % en Los Loros.

- Entre Los Loros y La Puerta se tiene un gradiente de 1,4 % .

6.3 Variaciones del Nivel Estático

6.3.1 Antecedentes Empleados

Para conocer las variaciones del nivel estático de la napa, la Dirección General de Aguas (DGA) controla, desde hace varios años, una amplia red de piezómetros, en los cuales mide mes a mes el nivel estático.

En el sector Embalse Lautaro - La Puerta se controla hoy en día 6 de estos piezómetros. Dos de ellos tienen datos desde fines de 1980, uno desde fines de 1978 y 3 desde 1971 con una interrupción entre principios de 1977 y fines de 1978. Adicionalmente se cuenta con un registro de un pozo en La Puerta que se midió entre 1974 y 1980, con la misma interrupción señalada anteriormente.

6.3.2 Metodología de Análisis

La información proveniente de todas las fuentes citadas se ha graficado en limnigramas, donde se ha incluido la totalidad de antecedentes disponibles. Luego se ha ubicado los gráficos en planos escala 1:10000, identificando en ellos los pozos correspondientes a los distintos limnigramas.

6.3.3 Presentación de los resultados

Las variaciones del nivel estático se presentan en el Plano N°8, Lámina 2. En él se observa lo siguiente:

- La tendencia general es similar para todos los piezómetros del sector, presentándose, para el período 1979 - 1986, los máximos niveles en 1984 y los mínimos en 1980. La amplitud de las fluctuaciones es también similar y se acerca a los 5 metros.

- Se exceptúa de esta tendencia un pozo de observación ubicado justo aguas arriba del muro del embalse Lautaro, que claramente tiene sus niveles influenciados por el volumen almacenado en el embalse. Así se tiene que desde fines de 1981 a principios de 1983, cuando el embalse acumuló en promedio sólo 2,9 millones de metros cúbicos, los niveles del piezómetro bajaron hasta 14 metros de profundidad. Luego, en 1983, el embalse empezó a llenarse, e inmediatamente los niveles del piezómetro subieron casi hasta la superficie del terreno, donde se han mantenido hasta hoy. Como dato adicional, en Octubre de 1986 el embalse tenía almacenados 18 millones de metros cúbicos.

- La influencia del embalse que se ha señalado no parece ser determinante en la variación de niveles de los demás piezómetros del sector en análisis.

- Los mínimos niveles históricos que se haya registrado se dan para mediados de 1972. Estos niveles llegan a 23 metros frente a la Quebrada Calquis, comparado con un nivel máximo de 13 metros, y a 7 metros en El Giro, en la zona de San Antonio, cifra cercana a los 5 metros que se han registrado como nivel

máximo.

- Desde San Antonio hasta La Puerta se observa cierta fluctuación anual, lo que no ocurre aguas arriba de este tramo. Como explicación se aventura la hipótesis de una relación con la condición de zona de descarga del acuífero del tramo mencionado, lo que se evidencia en las vegas y vertientes que allí aparecen.

6.4 Calidad Química

6.4.1 Antecedentes Empleados

Para el estudio de la calidad química de las aguas subterráneas se ha contado con un conjunto de análisis químicos, realizados por la DGA en la zona ubicada entre el embalse Lautaro y La Puerta. Los análisis se han hecho en forma esporádica y con las aguas de 7 pozos, sin que exista un programa de control de calidad química.

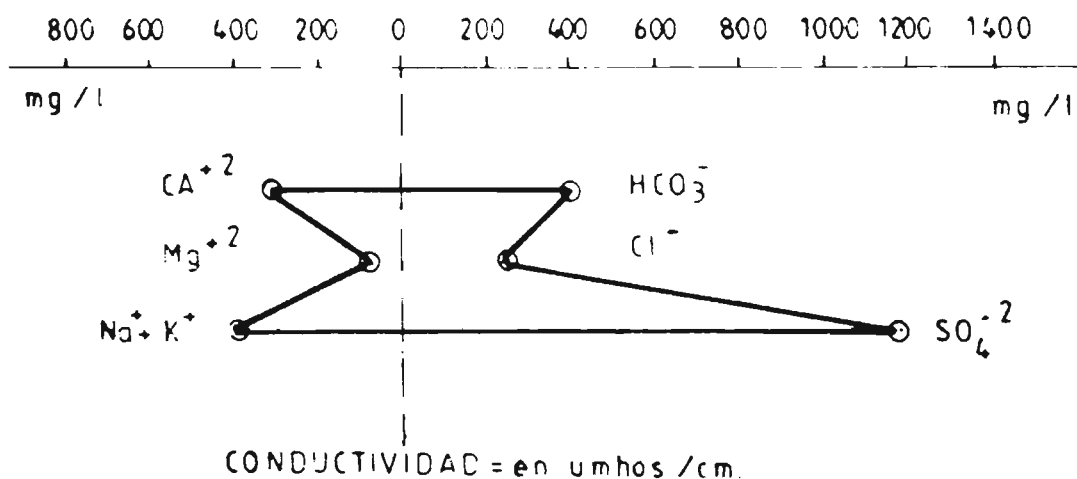
La información disponible se agrupa fundamentalmente entre los años 1969 - 1972 y 1978 - 1981, siendo el mes de Mayo de 1978 la fecha con mayor abundancia de datos. De ellos, los análisis más confiables son los del período 1978 - 1981. Esto se descubre en la diferencia porcentual de la suma de aniones y cationes, expresados en miliequivalentes por litro, que en este período no supera en promedio el 5 %, valor bastante razonable. Los análisis de los años 1969 a 1972 presentan en cambio una confiabilidad menor, ya que la cifra anterior se eleva a un 20 %, descubriéndose en 1969 diferencias puntuales de hasta un 80 %. No obstante, en 1971 - 1972, hay casos en que este parámetro no pasa del 5 %.

Esta información se ha complementado con una campaña de terreno donde se midió la conductividad eléctrica de las aguas de

6.4.2 Metodología de Análisis

Los antecedentes antes señalados primeramente se han expresado en unidades homogéneas para las concentraciones de los distintos iones. Se ha elegido los miligramos por litro (mg/l) por ser la unidad más conocida y aquella que es más frecuente de encontrar en las normas de calidad de agua. Posteriormente se ha seleccionado los parámetros más interesantes de analizar para reflejar adecuadamente las características químicas del agua. Los parámetros elegidos han sido la Conductividad, que se expresa en micromhos/cm, y las concentraciones de los iones calcio (Ca^{+2}), magnesio (Mg^{+2}), sodio más potasio ($\text{Na} + \text{K}$), bicarbonato (HCO_3^-), cloruro (Cl^-) y sulfato (SO_4^{-2}). Además, para conocer la calidad del agua para regadío, se ha incluido la concentración del boro y la clasificación del USSL de las aguas para cultivo, que se basa en los valores que el agua presenta para la conductividad y el SAR, un parámetro denominado Razón de Absorción de Sodio.

Los parámetros anteriores se han expresado en forma gráfica, para la totalidad de la información disponible, a través de un Diagrama de Stiff modificado como el que se muestra a continuación.



Una vez dibujados los Diagramas de Stiff, se han puesto en planos escala

1:10000 con la ubicación de los pozos correspondientes. Este esquema permite visualizar con claridad, mediante los cambios de forma del diagrama, las variaciones espaciales y temporales de los distintos parámetros analizados.

6.4.3 Presentación de los Resultados

Los resultados obtenidos se presentan en los Planos N°11 y N°12, Lámina 2, que contienen respectivamente los Diagramas de Stiff y los datos de conductividades medidas en Enero de 1987.

El Plano de Conductividades muestra que en el sector Embalse Lautaro-La Puerta los valores extremos son 560 (umhos/cm), en la zona de Amolanas, y 1340 (umhos/cm), este último valor medido en un pozo de Los Loros. Los valores de la conductividad se distribuyen en forma prácticamente aleatoria en el área con valores que normalmente fluctúan entre 600 y 800 (umhos/cm), mostrando una tendencia creciente desde el embalse Lautaro hasta la localidad de Los Loros. De la misma forma ocurre con la concentración de las distintas especies iónicas.

Los mayores valores de conductividad se observan en las cercanías de Los Loros con cifras cercanas a los 1200 (umhos/cm).

En cuanto a la situación de iones específicos, el Plano N°11 indica lo siguiente:

- El sulfato varía normalmente entre 250 y 300 (mg/l), con un valor medio cercano a los 280 (mg/l), y valores extremos de 228 y 370 (mg/l). Es importante destacar el hecho de que todos los pozos de la zona exceden, sin excepción, la norma de potabilidad, en lo que respecta al sulfato.

- El cloruro y magnesio fluctúan relativamente poco, el primero con un valor medio cercano a los 50 (mg/l), y el magnesio con un promedio aproximado de 40 (mg/l). Los valores extremos son 26 y 75 (mg/l), y 21 y 41 (mg/l) respectivamente.

- 23 -

- El bicarbonato presenta concentraciones variables entre 87 y 213 (mg/l), y en general se encuentra en cantidades próximas a los 100 (mg/l).

- El calcio se encuentra en concentraciones que van entre 58 y 144 (mg/l). Dichos valores no exceden la norma de potabilidad.

- El potasio no será considerado en la descripción de la calidad química del valle, por presentar concentraciones que habitualmente no superan la decena de (mg/l). En cuanto al sodio, presenta valores entre 40 y 72 (mg/l), con un promedio cercano a los 60 (mg/l).

Respecto de las variaciones temporales, debe decirse que los iones considerados parecen no tener variaciones importantes de la concentración.

Finalmente cabe analizar los parámetros que caracterizan la calidad de las aguas para regadío. En este caso los resultados se presentan en los cuadros del Anexo N°1.

El sector Lautaro-La Puerta presenta, normalmente, aguas clasificadas, según la nomenclatura del USSL, como C3-S1, es decir, con alto peligro de salinidad y bajo peligro de sodificación. Pese a ello hay zonas que caen dentro de la clasificación C2-S1, situadas en las cercanías del tranque Lautaro, y otras que se han clasificado C4-S1, localizadas en las proximidades de Los Loros y de la hacienda La Capilla. Los contenidos de boro en el agua son bastante variables, ya que la concentración oscila entre 1.12 y 5.50 (ppm). Los contenidos más bajos se producen en las aguas de los pozos del sector del embalse Lautaro, en tanto los más altos en sectores aledaños a los pozos 2750-7000 B-5 y 2740-7000 C-1, ubicados en San Antonio y Los Loros respectivamente.

6.4.4 Posibles Usos del Agua

Comparando los resultados obtenidos con las normas existentes para el uso del agua, se puede establecer lo siguiente.

a) Calidad para Agua Potable

Solamente el sulfato estaría excediendo las normas de agua potable. La Norma Chilena Nch 409/1 Of.84 señala que el límite máximo admisible es una concentración de 250 (mg/l), lo que significa que todas las aguas subterráneas del sector estarían fuera de norma. Esto podría incidir en aguas de mal sabor, que también pueden tener efectos laxantes en gente no acostumbrada a su consumo. Estos problemas aparentemente no se dan, aún cuando el agua consumida por los habitantes de las localidades urbanas del sector proviene de pozos perforados en el área.

b) Calidad para Regadío

Más que normas de calidad existen en este caso recomendaciones de diversos organismos respecto del agua apta para regar, debido a que hay una serie de factores ajenos a la calidad química misma del agua como son la permeabilidad y calidad del suelo, tipo de cultivo, sistema de riego, clima y otros. Teniendo esto presente se puede decir que las aguas subterráneas del sector Lautaro-La Puer ta se clasifican entre medio y altamente salinas, debido a que tienen, en general, valores de la conductividad entre 600 y 800 (umhos/cm). Esto, según normas internacionales, significa que plantas moderadamente tolerantes a las sales pueden lograr un buen desarrollo sin mayores necesidades de prácticas especiales de control de salinidad. Los bajos niveles de sodio, por su parte, permiten usar las aguas con bajo peligro de alcanzar niveles importantes de sodio intercambiable. Por último, las concentraciones de boro detectadas clasifican estas aguas como posibles de emplear sólo en cultivos semi - tolerantes y tolerantes al boro. Pese a ello, las zonas más altas del valle presentan una baja concentración de dicho ión.

7. FUNCIONAMIENTO DEL EMBALSE SUBTERRANEO

En los capítulos precedentes se ha descrito e ilustrado el comportamiento del embalse subterráneo a través de las variables que lo caracterizan. Corresponde ahora integrar todos estos elementos para conocer cómo funciona el acuífero y poder definir la mejor forma de explotarlo.

A continuación se describe las fuentes de recarga y descarga, o entradas y salidas, del acuífero, las que luego se cuantificarán en la medida de lo posible, en el capítulo del Balance Hídrico del Embalse Subterráneo. En la figura 7.1 se presenta un esquema de funcionamiento del acuífero.

7.1. Entradas de Agua al Acuífero

Estas se producen básicamente por cinco conceptos que son:

- Recarga Lateral desde Acuíferos Vecinos
- Infiltraciones de Riego
- Infiltraciones del Río Copiapó
- Infiltraciones Directas de Lluvias
- Infiltraciones del Embalse Lautaro

Más en detalle estos elementos se refieren a lo siguiente:

a) Recarga Lateral desde Acuíferos Vecinos

Estos se refieren a dos tipos de recarga lateral: la que proviene del escurrimiento subterráneo del acuífero aguas arriba del sector estudiado y aquella que entregan subterráneamente las quebradas que llegan al valle del río Copiapó.

La primera, que es la más importante de las dos, depende de la situación del embalse subterráneo de aguas arriba. Normalmente su valor es relativamente constante, tanto mensual como anualmente, variando lentamente frente a los cambios de la hidrología superficial debido a la inercia que tienen los embalses subterráneos.

ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO
DEL EMBALSE SUBTERRANEO DE:

EMBALSE LAUTARO - LA PUERTA

I. LLUVIA I. DESDE EL RIO I. RIEGO I. CANALES I. EMBALSE LAUTARO

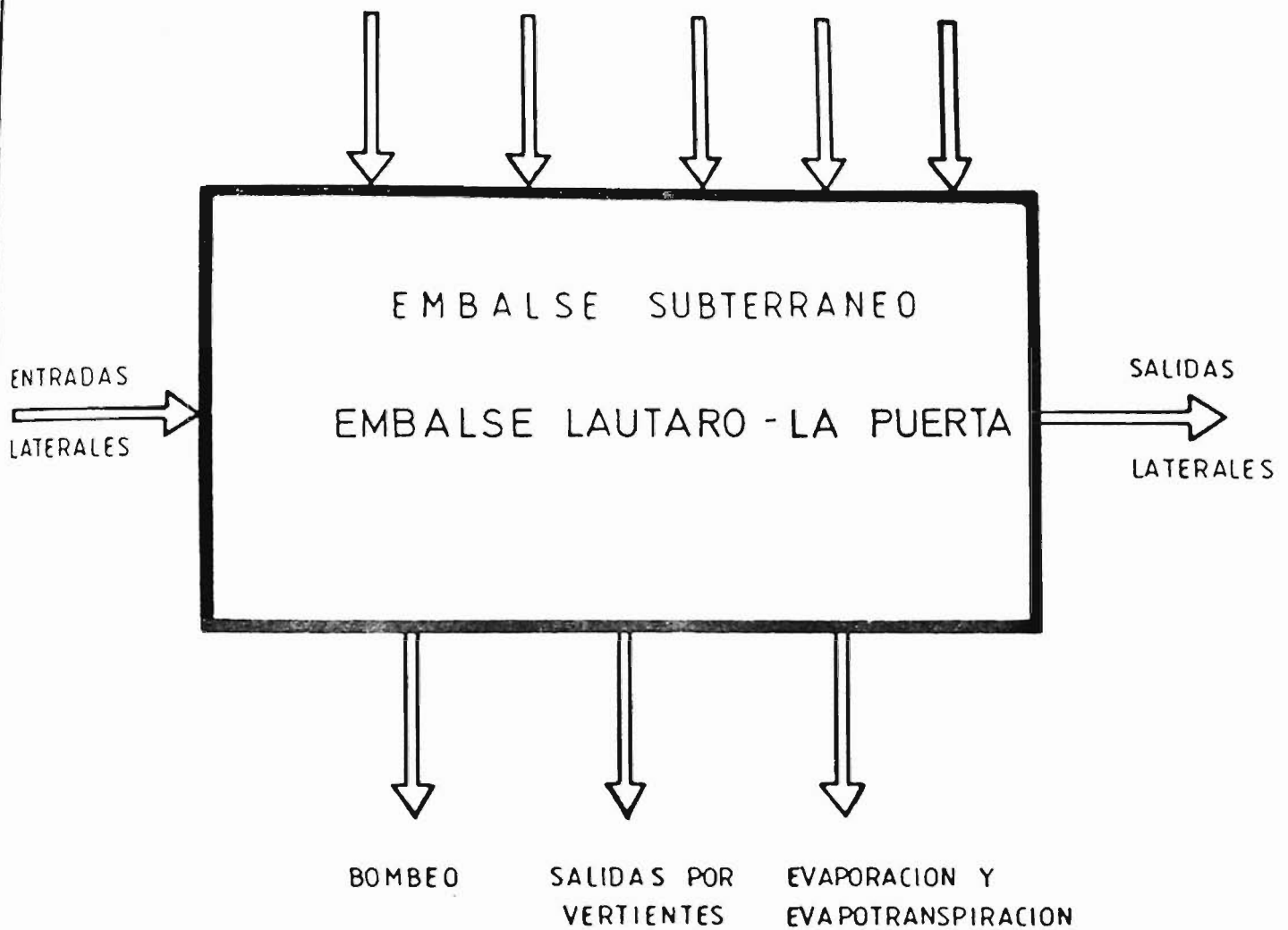


FIGURA 7.1

Las recargas subterráneas desde quebradas están muy influenciadas por el régimen de lluvias, y corresponden al drenaje de las aguas lluvias que se infiltran en el relleno permeable bajo sus cauces. Por su origen, esta recarga es tan esporádica como las lluvias que las provocan. Quizás la única de estas recargas más o menos constante es la de la Quebrada de Calqui, la que debería aportar un caudal relativamente pequeño.

b) Infiltraciones Riego

Corresponde a uno de los factores de recarga más importantes en el área y puede dividirse en dos según la etapa del regadío en que se produce la infiltración.

En primer lugar se tiene las infiltraciones provenientes por pérdidas en canales, tanto en los principales como en toda la red de distribución secundaria.

El otro tipo de infiltraciones son aquellas que ocurran a nivel predial, por la percolación profunda de parte del exceso de agua aplicada al riego. Este tipo de infiltraciones depende de la textura del suelo, el método de riego y su eficiencia. En el valle del río Copiapó la eficiencia del regadío de tipo tradicional en el área de estudio, es superior al de otras zonas del país con mayor abundancia de agua.

Por otra parte se ha introducido en los últimos años el riego tecnificado de alta eficiencia, particularmente el riego por goteo, que significa menores infiltraciones de riego pero que, al mismo tiempo, demanda menos agua. Esto es muy relevante en el área de estudio, ya que en ella el riego por goteo se ha desarrollado en forma muy importante.

c) Infiltraciones del río Copiapó

Constituyen, junto con las infiltraciones de regadío, la principal fuente de recarga del acuífero.

Tal como se expresara anteriormente, el río puede infiltrar prácticamente a lo largo de toda la mitad superior del área en estudio, debido tanto a los niveles de la napa más profundos que el agua en el río como a la limpieza del cauce y sus aguas, que producen una buena comunicación hidráulica del río con el acuífero.

d) Infiltraciones Directas de Lluvias

En el área de estudio las lluvias son tremendamente esporádicas y escasas. Por esto se ha considerado irrelevante su aporte al acuífero, particularmente por su irregularidad en el tiempo.

e) Infiltración del Embalse Lautaro

Otro de los factores importantes en el proceso de recarga del acuífero es el de infiltración desde el Embalse Lautaro. Debido a la posición del embalse dentro del área estudiada y dada la magnitud de éstas condiciona las variaciones de niveles dentro del sector, y a la vez aumenta las posibilidades de explotación del embalse subterráneo en el sector Lautaro-La Puerta.

7.2

Salidas de Agua desde el Acuífero

Las descargas del acuífero son las siguientes:

- Descarga Lateral hacia Acuíferos Vecinos
- Descarga por Evaporación y Evapotranspiración en zonas de nivel estático alto.
- Descarga por Bombeo
- Descarga por Vertientes.

Su significado se explica a continuación.

a) Descarga Lateral hacia Acuíferos Vecinos

En forma análoga a las entradas laterales, las descargas laterales son los caudales subterráneos que el embalse subterráneo entrega a los acuíferos que se hallan aguas abajo de él.

En este caso la única descarga lateral viene dada por el escurrimiento subterráneo desde el acuífero estudiado hacia el embalse subterráneo vecino hacia aguas abajo.

b) Descarga por Evaporación y Evapotranspiración

Donde la napa presenta altos niveles estáticos, se producen descargas tanto por evaporación directa como evapotranspiración de la vegetación natural que se alimenta con las aguas del acuífero (llamados freatófitos).

En el área de estudio se tienen niveles estáticos que posibilitan este tipo de descarga en toda la mitad inferior, manteniéndose con niveles constantes el sector más cercano a La Puerta, y aumentando la variación de éstos a medida que se sube por el valle en dirección al embalse Lautaro.

La cuantificación de los volúmenes descargados por este concepto es muy difícil, aunque en estudios anteriores se ha hecho diversas aproximaciones que se analizará en el capítulo del Balance Hídrico.

c) Descarga por Bombeo

Como se sabe, el agua subterránea representa una importantísima fuente de abastecimiento en el valle del río Copiapó.

En el área estudiada se bombea desde el embalse subterráneo para el abastecimiento de dos tipos diferentes de usuarios: el agua potable y regadío agrícola. De estos dos el primero prácticamente suple toda su demanda con el bombeo de aguas subterráneas. El regadío, en cambio, usa tanto recursos superficiales como subterráneos.

Los recursos subterráneos se utilizan para suplir la escasez de aguas superficiales de los sectores con derechos a ésta. Y para proveer de agua a los terrenos sin derechos a aguas superficiales. Esto se traduce en que sólo algunos pozos se utilicen durante los años húmedos manteniéndose como reserva los demás.

d) Descarga por Vertientes

En el área de estudio existen vertientes permanentes en el río Copiapó en el sector de La Puerta. Estas vertientes se producen por el estrechamiento del valle en este sector, lo que obliga a la napa a subir sus niveles estáticos.

Ahora bien, en este sector existe poca variación de los niveles estáticos entre los años húmedos y secos. Por esto, durante los años secos estas vertientes disminuyen su caudal, sin llegar a secarse, recuperándose nuevamente durante los años húmedos.

8. BALANCE HIDRICO DEL EMBALSE SUBTERRANEO

Por Balance Hídrico se entiende la cuantificación de las diferentes entradas y salidas de agua hacia y desde el embalse subterráneo.

Su evaluación se ha hecho en base a la información disponible, que es limitada. Por esto el grado de precisión de las cifras que se presenta queda restringido a la calidad de los antecedentes empleados.

8.1. Entradas por Agua al Acuífero

Como se ha dicho en el capítulo anterior, corresponden a:

- Recarga Lateral desde Acuíferos Vecinos
- Infiltraciones de Riego
- Infiltraciones del Río Copiapó
- Infiltraciones Directas de Lluvias
- Infiltraciones del Embalse Lautaro

a) Recarga Lateral desde Acuíferos Vecinos

La principal entrada lateral es la del acuífero del valle del Copiapó aguas arriba del área en estudio.

Para cuantificarla se ha empleado la relación:

$$Q = T \cdot i \cdot L \text{ (m}^3\text{/s)}$$

con T = Transmisividad del relleno ($\text{m}^3\text{/s/m}$)

i = Gradiente Hidráulico de la Napa ($^\circ/1$)

L = Ancho del Valle (m)

En este caso la fórmula se ha evaluado para la zona de Algarrobo La Virgen en el valle del río Copiapó. Aquí el ancho del valle es 680 metros aproximadamente, la transmisividad bordea los 4200 ($\text{m}^3\text{/día/m}$) equivalente a 0.0486 ($\text{m}^3\text{/s/m}$) y el

gradiente hidráulico es de 0.68%, con lo que se obtiene los siguientes resultados:

$$Q = 0.0436 \times \frac{0.68}{100} \times 680 = 0.225 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

equivalentes a un volumen anual de 7,1 Mm³.

Debe quedar en claro que esta cifra es aproximada, por la estimación que se ha hecho de los valores de transmisividad en especial. Además se ha calculado para el gradiente hidráulico generado por los niveles de Dic. 1986, aunque la situación no debiera ser muy diferente para otros niveles.

b) Infiltraciones de Riego

Evaluar las infiltraciones de riego es una labor realmente compleja por la gran cantidad de factores involucrados.

Un conocimiento acabado del fenómeno involucra un extenso trabajo de terreno, con aforos diferenciales en canales y a la entrada y salida de predios seleccionados para conocer los volúmenes infiltrados.

Es por esto que se han realizado corridas de aforos diferenciales en algunos canales del sector, las que junto a un estudio sobre tasas de riego y superficies cultivadas realizado para este informe, permitirán calcular las infiltraciones del riego con la precisión requerida.

Es necesario aclarar previamente que, por sus excelentes condiciones climáticas, el valle de Copiapó se cultiva todo el año, variando levemente las superficies cultivadas mes a mes. Esta regularidad de cultivos no se debe sólo al clima favorable, sino también al régimen bastante parejo a lo largo del año del río Copiapó, y en especial se cumple en este sector debido a la gran cantidad de parrronales que existen.

El área de estudio pertenece al denominado sector de los Distritos de Riego, abarcando desde el 1° al 3° distrito íntegramente. Allí el riego de los terrenos

con derechos de agua superficial se efectúa a través de una extensa red de canales, que se reparten el agua del río de acuerdo a los derechos de cada canal según un sistema de repartición horaria de caudales expresados en litros por segundo. Cuando el río trae mayores recursos que los derechos establecidos, se aumenta proporcionalmente el agua repartida. En cambio, cuando trae menos, el déficit se cubre con el bombeo de aguas subterráneas desde un conjunto de pozos.

Por otro lado, los terrenos sin derechos a aguas superficiales son regados con aguas subterráneas extraídas por medio de pozos profundos. En general, estas aguas son utilizadas para abastecer sistemas de riego por goteo, utilizado en la mayoría de los parronales del sector.

El cálculo del volumen anual infiltrado por concepto de riego se ha realizado dividiéndolo en tres temas:

- Infiltraciones por Regadío Predial
- Infiltraciones desde Canales Matrices
- Infiltraciones desde la red de Canales Secundarios.

Cada uno de los cuales se ha basado en estudios realizados en terreno y en informes relacionados que se habían desarrollado con anterioridad al presente estudio.

Infiltración por Regadío Predial

El caudal de agua que ingresa al acuífero depende de los siguientes factores principales:

- Características de Capacidad de Infiltración del Suelo en que se efectúa el Regadío.
- Tipo de Cultivo y Dotaciones de éste.
- Eficiencia de Riego a Nivel Predial.

Para el primer aspecto, basado en las observaciones de terreno y de fotos aéreas se considera que los suelos cultivados en el área de estudio tienen una capacidad de infiltración homogénea.

por otro lado, el tipo de cultivo que predomina en el sector es el de vides, las cuales son regadas por medio de goteo. Además existen algunas hectáreas con cultivos de hortalizas, frutales y praderas, las que son regadas con los sistemas tradicionales; surcos y tendido. Estas últimas, debido a su pequeña cantidad, no son de importancia frente a las primeras.

Ahora bien, para los sectores regados por medio de goteo se considerará que todo exceso de agua aplicado al cultivo percola, no produciéndose escorrentía superficial. Para el riego por surcos en cambio, se considerará en una primera aproximación que el exceso de agua aplicada a los cultivos se divide en partes iguales entre escurrimiento superficial y percolación. Lo anteriormente expuesto se resume en las siguientes relaciones:

Riego por Goteo:

$$P = Tr - ETr$$

Riego por Surcos:

$$P = 0,5 \times (Tr - ETr)$$

en que: P = Percolación

Tr = Tasa de Riego

ETr = Evapotranspiración real del cultivo

El valor del 50% de infiltración obedece a una consideración de orden práctico, en que se asume que para el total del sector esto puede ser cierto. No obstante, existirán grandes diferencias a nivel predial entre uno y otro predio y para diferentes cultivos. De tal manera que en un sector amplio como el que nos ocupa, esta cifra representa un valor medio de los diferentes predios, el cual se encuentra avalado por estudios y mediciones efectuados en otros valles de similares características.

Los cultivos a que se dedican los suelos del área de estudio se encuentran definidos en el Mapa de Uso Actual de la Tierra, desarrollado para el presente estudio. En éste se observa que la mayoría de éstos corresponden a Vides, existiendo además algunas hectáreas con frutales, hortalizas y praderas. Las superfi-

cies ocupadas por cada uno de estos rubros de cultivos se entrega en el cuadro adjunto N° 8.1.

CUADRO N° 8.1

DISTRIBUCION DE CULTIVOS DEL SECTOR LAUTARO-LA PUERTA

TIPO DE CULTIVO	SUPERFICIE (Há)
Vides	1430.5
Hortalizas	120
Praderas	62
Frutales	13
TOTAL	1625.5

Como puede apreciarse, del total de 1625.5 Há cultivadas en el área de estudio un 88% corresponde a vides, un 0,8% a frutales, un 3,8 a praderas y un 7,4% a Hortalizas.

En relación con la dotación, debido a que la finalidad de este capítulo es obtener un balance a nivel anual, no se incluye la distribución mensual de las demandas de agua de cada cultivo, entregándose solamente los valores anuales de los requerimientos reales del cultivo.

En el Cuadro N° 8.2 adjunto, se entrega para cada tipo de cultivo, la evapotranspiración real (ETr).

CUADRO N° 8.2.DOTACIONES POR CULTIVOS (m^3 /Há/año)

TIPO DE CULTIVO	ETr
Vides	7.991
Hortalizas	7.421
Praderas	15.799
Frutales	13.227

Con respecto a las eficiencias de riego, se considera que los cultivos de vides son regados en un 80% con sistemas por goteo, en un 17% por surcos y un 3% por tendido, porcentajes similares al promedio del valle, y que las eficiencias de cada uno de estos métodos es la siguiente:

CUADRO N° 8.3EFICIENCIAS DE RIEGO

SISTEMA	EFICIENCIA %
Goteo	80
Surcos	50
Tendido	45

- 37 -

Para la determinación de la tasa de riego se considera que los Frutales se riegan en un 50% por medio de surcos y un 50% por medio de bordes, las Hortalizas se riegan en un 100% por medio de surcos y las Praderas en un 100% por medio de bordes.

Basado en las consideraciones expuestas anteriormente con respecto a dotaciones, sistemas de riego, eficiencias, superficies cultivadas y porcentajes de infiltración según el método de riego, se confecciona el cuadro adjunto que resume los datos anteriores y entrega como resultado el total infiltrado en el área de estudio.

CUADRO N° 8.4

INFILTRACION EN EL SECTOR LAUTARO-LA PUERTA

TIPO DE CULTIVO	E_{Tr} (m^3 /Há/año)	Tr (m^3 /Há/año)	P (m^3 /Há/año)	S Há	Pt (Mm^3 /año)
Vides	7.991	11.240.7	3.249.7	1.430.5	4.65
Hortalizas	7.421	14.842.0	3.710.5	120	0.45
Frutales	13.227	27.923.7	7.348.4	13	0.10
Praderas	15.799	35.108.9	9.655.0	62	0.60
T O T A L					5.8

Según los resultados obtenidos en el cuadro anterior, en el sector Lautaro-La Puerta se tiene una entrada de $5.8 Mm^3$ /año por concepto de infiltración por riego a nivel predial, valor que deberá verse aumentado por las infiltraciones de las redes primarias y secundarias de canales de riego.

Infiltraciones en Canales Matrices

Para el análisis de infiltración en canales matrices se han realizado algunas corridas de aforos en diversos canales del valle de Copiapó, las que se resumen en el Cuadro N° 8.5.

CUADRO N° 8.5TASAS DE INFILTRACION MEDIDAS EN CANALESAÑO 1986 VALLE DEL RIO COPIAPO

CANAL	FECHA	LONG. TRAM (m)	Q (l/s) Entrada	Q (l/s) Salida	Infiltraciones l/s %/Km	
Punta Negra	20.11.86	645	23	17	6	40.4
Hijuela Abello	01.12.86		93	96	-3	
El Arenal	27.11.86	670	78	83	-5	
El Arenal	01.12.86	670	89	87	2	3.4
El Buitrón	11.12.86	750	201	190	11	7.3
Bodega	29.11.86	883	341	339	2	0.7
Piedra Colgada 2	11.12.86	1.325	174	122	52	22.6
Perales	11.12.86	1.510	26	21	5	12.7

Se debe tener en cuenta la validez relativa de las medidas entregadas en el cuadro anterior, debido a que éstas son sólo puntuales y que en los casos de diferencias pequeñas entre los caudales entrantes y salientes, el error producido en cada aforo (realizado con molinete), puede no ser despreciable frente a las infiltraciones en el tramo.

Ahora bien, basándose en los datos del Cuadro N° 8.5 y en datos de aforos diferenciales realizados en estudios anteriores, se determinó la infiltración media de los canales del sector, la que se entrega en el Cuadro N° 8.6. La obtención de estos resultados se explica en detalle en el Tomo 3 "Infraestructura de Riego", y está basada en el método de Moritz.

CUADRO N° 8.6TASAS DE INFILTRACION DETERMINADASSEGUN EL METODO DE MORITZ

CANAL	PERDIDAS POR INFILTRACION %/Km.
Punta Negra	15.3
Amolana	12.2
Goyo Díaz	17.3
Hijuela Abello 1	8.4
Hijuela Abello 2	22.1
La Capilla	3.5
El Carmen	10.6
Palo Blanco	9.2
Santa Rosa	25.4
Apacheta	20.1
Los Loros	28.0
Bolsico	23.6
El Fuerte	11.6
La Puerta 1	15.2
La Puerta 2	16.1
PROMEDIO	15.9

Se considerará además estudios anteriores realizados en el valle y estudios realizados en los Valles del Elqui y del Choapa, (Ref.26), con canales de similares características, cuyos resultados se entregan a continuación.

En el valle de Copiapó se ha realizado experiencias de infiltración en canales ubicados en el sector Mal Paso-Copiapó, obteniéndose valores comprendidos entre 4,5 y 25%/Km. con una media del orden 10% (Tabla 4.4 Infiltración en Canales de Regadío. Plan maestro de acción inmediata para el desarrollo de los recursos de agua y suelo del valle de Copiapó 1980).

Estudios realizados por nuestra empresa en el valle del río Choapa durante el año 1982 incluyeron una serie de experiencias de pérdidas por infiltración en canales, las que dieron valores comprendidos entre 2% y 32% por kilómetro referido al caudal de entrada. Ello para canales en sectores similares a los que se encuentran los del valle de Copiapó. (Ref.6)

Por último, también hemos realizado experiencias similares en canales del sector Las Rojas-Punta de Piedra en el valle del Elqui, en los cuales se obtuvieron valores comprendidos entre 1,3% y 29%/Km con una media de 9,3 %/Km referido al caudal de entrada. Esto, al igual que en los casos anteriores, se realizó en canales que se encuentran en terrenos y sectores similares a los que se encuentran en el valle de Copiapó.

Se debe hacer notar que los derechos de aguas de los canales estudiados son expresados como caudal y no como porcentaje. Asegurándose éste por medio de pozos que descargan a cada canal en el caso de faltar recursos superficiales.

Ahora bien, los canales del sector no funcionan continuamente, puesto que mantienen un sistema de turnos para captar las aguas que trae el río, el cual consiste en un número de horas semanales de turno para cada canal.

Basado en los resultados y consideraciones anteriormente expuestas, parece aconsejable y hasta cierto punto de vista conservador emplear un valor de 5%/Km para cada canal en el sector Lautaro-La Puerta, valor que resume la infiltración potencial medida en canales similares y la intermitencia de su uso, y que desde el punto de vista de la recarga del acuífero es un valor conservador.

Por último, para determinar el caudal infiltrado por la red de canales matrices, se ha determinado el caudal de entrada a cada canal basándose en los antecedentes entregados por Queirolo (Ref.7) según el cual, los derechos de cada canal son los entregados en el Cuadro N° 8.7.

CUADRO N° 8.7

DERECHOS DE AGUA DE LOS CANALES
DEL SECTOR LAUTARO - LA PUERTA
EXPRESADO COMO CAUDAL CONTINUO

CANAL	CAUDAL (l/s)
Punta Negra	4.76
Amolana	25.0
Goyo Díaz	25.0
Hijuela Abello 1	13.09
Hijuela Abello 2	13.09
La Capilla	73.81
El Carmen	30.0
Palo Blanco	20.0
Santa Rosa	14.29
Apacheta	14.29
Los Loros	21.67
Bolsico	7.14
El Fuerte	18.57
La Puerta 1	4.76
La Puerta 2	4.76

T O T A L

290.23

Ahora bien, estos datos corresponden a los derechos de cada canal expresados en forma de caudal. Esta distribución se mantiene y respeta sólo cuando los recursos en el río son escasos. En cambio, en los años húmedos en que los recursos superficiales exceden los derechos de los canales del sector, el caudal sobrante es repartido en forma desconocida.

Para efecto de este estudio, se supondrá que este excedente se distribuye proporcionalmente según los derechos de cada canal.

Se debe tener en cuenta que el Cuadro N° 8.7 resume la situación de 1977, la cual corresponde aun año seco. En cambio, para este balance se considera el año 1986, que corresponde a un año de humedad media. Tal como se dice en el Tomo 1: "Recursos Hídricos", en el capítulo "Régimen del río Copiapó en La Puerta y aguas arriba del Embalse Lautaro". "De acuerdo con la información verbal proporcionada por el director de la D.G.A. de la III Región Sr. Nildo Pedemonte, comenzó a aplicarse en Enero de 1974 una nueva modalidad de turnos, por la cual se entrega un gasto continuo de 300 l/s hasta fines de 1983. Desde esta fecha hasta el presente se distribuye un caudal de 500 l/s a los tres distritos".

Como se ve, esta información se ve avalada por los datos de caudales entregados por Queirolo en 1977.

Para conocer los caudales escurrientes por cada canal durante 1986, se aumentará proporcionalmente a los caudales existentes en 1977 de manera de obtener un total de 500 l/s.

De esta manera se tiene que el caudal infiltrado por cada canal y el total infiltrado en el sector Lautaro-La Puerta es el calculado en el Cuadro N° 8.8. En éste se entrega además las longitudes y caudales de 1986 de cada canal.

CUADRO N° 8.8CAUDAL INFILTRADO EN CANALES DELSECTOR LAUTARO-LA PUERTA

CANAL	LONGITUD (km)	CAUDAL (l/s)	INFILTRACION (l/s)
Punta Negra	5.40	8.20	2.21
Amolana	4.58	43.07	9.86
Goyo Díaz	7.27	43.07	15.61
Hijuela Abello 1	4.45	22.55	5.02
Hijuela Abello 2	4.16	22.55	4.60
La Capilla	1.59	127.16	10.11
El Carmen	6.92	51.68	17.88
Palo Blanco	3.48	34.46	6.0
Santa Rosa	4.27	24.62	5.26
Apacheta	3.79	24.62	4.67
Los Loros	4.72	37.33	8.81
Bolsico	3.98	12.30	2.45
El Fuerte	1.96	31.99	3.14
La Puerta 1	2.87	8.20	1.18
La Puerta 2	2.71	8.20	1.11

98.00 l/s

= 3.09 Mm³/año

Infiltración en la Red Secundaria

Este es un tema de difícil cuantificación debido por una parte a la variabilidad de los caudales que circulan por los canales como también el hecho de que no es constante su funcionamiento.

Sobre la base de experiencias aisladas y teniendo presente que los trazados de estos canales van por lechos en general permeables, se puede adoptar una cifra similar a la infiltración por regadío predial de los sectores regados por medio de surcos o por bordes. Esto significa considerar un valor de $2.33 \text{ Mm}^3/\text{año}$ como infiltración en la red de canales secundaria.

En resumen, y de acuerdo con la discusión precedente, se obtiene un total de ingresos al acuífero como producto de infiltración por el sistema de riego ascendente a $10.72 \text{ Mm}^3/\text{año}$, que se desglosa como sigue:

Infiltración en Canales Matrices	$3.09 \text{ Mm}^3/\text{año}$
Infiltración en Canales Secundarios	$2.33 \text{ Mm}^3/\text{año}$
Infiltración por Regadío Predial	$5.8 \text{ Mm}^3/\text{año}$
T O T A L	$10.72 \text{ Mm}^3/\text{año}$

c) Infiltración desde el Río

En el área de estudio, el río Copiapó tiene comportamientos distintos a lo largo de su recorrido. Inicialmente, entre el embalse Lautaro y el sector de San Antonio se alterna las infiltraciones con las recuperaciones dependiendo de los caudales y los niveles de la napa. Luego, en el sector comprendido entre San Antonio y La Puerta se tienen afloramientos importantes, los que se deben esencialmente al umbral existente en La Puerta, el cual hace subir los niveles del agua subterránea.

Debido a la magnitud de las recuperaciones del último sector, se supondrá que las infiltraciones en el tramo Lautaro-La Puerta son nulas.

d) Infiltraciones Directas de Lluvia

En el área de estudio las lluvias son tremendamente esporádicas y escasas. Por esto se ha considerado irrelevante su aporte al acuífero, particularmente por su irregularidad en el tiempo.

e) Infiltraciones del Embalse Lautaro

En el Tomo 1 "Infraestructura de Riego" se estudia detalladamente el fenómeno de infiltración desde el Embalse Lautaro. Basándose en la estadística entregada se puede concluir que en el año 1986 el caudal continuo infiltrado es de $1.44 \text{ m}^3/\text{s}$, valor que corresponde al promedio de las infiltraciones de los 5 primeros meses del año. Este caudal corresponde a un volumen anual infiltrado de 45.41 Mm^3 .

8.2. Salidas de Aguas desde el Acuífero

Como se ha dicho antes, éstas se producen por los siguientes factores.

- Descarga Lateral hacia Acuíferos Vecinos
- Descarga por Evaporación y Evapotranspiración en Zonas de Nivel Estático Alto
- Descargas por Vertientes
- Descarga por Bombeo

a) Descarga Lateral hacia Acuífero Vecinos

La descarga lateral hacia el acuífero de aguas abajo, que es la única que se tiene, se ha calculado en forma análoga a través de la fórmula.

$$Q = T \cdot i \cdot L$$

En este caso la fórmula se ha evaluado para la zona de La Puerta, en la sección donde se ubica el pozo 27°40'-70°00' C4. Aquí el ancho del valle es 230 metros aproximadamente, el gradiente hidráulico 1,5% y la transmisividad entre 600 y 700 ($\text{m}^3/\text{día}/\text{m}$), equivalentes a 0,0069 y 0,0081 ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$) respectivamente. Tomando un valor medio de $T = 0,0075 \text{ (m}^3/\text{s}/\text{m})$, se llega a:

$$Q = 0.0075 \times \frac{1,5}{100} \times 230 = 0,026 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

equivalentes a un volumen anual de $0,82 \text{ Mm}^3$.

Debe quedar en claro que esta cifra es aproximada, por la estimación que se ha hecho de los valores de transmisividad en especial. Además se ha calculado para el gradiente hidráulico generado por los niveles de Diciembre de 1986, aunque la situación no debiera ser muy diferente para otros niveles.

b) Descargas por Evaporación y Evapotranspiración en Zonas de Nivel Estático

Alto

Las descargas por evaporación y evapotranspiración ocurren en sectores con niveles estáticos de la napa cercanos a la superficie. Naturalmente que este fenómeno es variable como lo son los niveles de la napa, de modo que no se puede dar un valor característico y único.

Pese a lo anterior, como la evaporación y evapotranspiración puede llegar a ser un factor importante en la descarga del acuífero, se evaluará su magnitud basándose en datos de la profundidad de la napa y la evapotranspiración real de la vegetación freatófita.

Teniendo en cuenta mediciones de evaporación en bandeja del sector estudiado se determina la evapotranspiración potencial la cual alcanza un valor de $26.769 \text{ (m}^3/\text{Há/año)}$.

Para la evaluación de la descarga por evapotranspiración se ha dividido según el tipo de vega que la genera. Se ha definido 3 tipos diferentes de vegas; las tipo A, donde la profundidad de la napa está comprendida entre 0 y 1 mt., las tipo B, con profundidades de la napa comprendidas entre 0 y 2.5 mts. y las tipo C, con profundidades de la napa comprendidas entre 2.5 y 5.0 mts.

La determinación de las superficies abarcadas por cada sector se realizó basándose en el plano de isoprofundidad de Diciembre de 1986, cuyos resultados se entregan en el Cuadro N° 8.8. Además, en este mismo cuadro se entregan los coeficientes de cultivo determinados para cada sector, usando como referencia los datos

entregados por la FAO en su publicación "Las Necesidades de Agua de los Cultivos".

CUADRO N° 8.8.

SUPERFICIES Y EVAPOTRANSPIRACION DE VEGAS

EN EL SECTOR LAUTARO-LA PUERTA

VEGA TIPO	VEGETACION TIPICA	SUPERFICIE (Há)	COEF. DE CULTIVO	EVAPOTRANSPIRACION (Mm ³ /año)
A	Totorales y suelos húmedos	140.9	1.0	3.77
B	Matorrales y suelos secos	127.7	0.7	2.39
C	Matorral Ralo	378.6	0.5	5.07

T O T A L

11.23

c) Descargas por Vertientes

En el área de estudio existen afloramientos de la napa a lo largo del recorrido del río en el tramo San Antonio - La Puerta.

Para determinar el caudal descargado se utilizó la estadística fluviométrica de varios puntos del río y canales del sector. Trabajo que se vió en detalle en el Tomo 3 "Infraestructura de Riego".

Según este estudio, la descarga por vetientes corresponde en promedio a un 50.5% del caudal en La Puerta. Por otro lado, según el tomo 1 "Recursos Hídricos", el caudal medio en La Puerta durante 1986 fue 2.73 m³/seg.

Lo anterior se traduce en que durante 1986 el volumen total descargado es de 43.48 Mm³.

d) Descargas por Bombeos

En el sector Lautaro-La Puerta las demandas abastecidas por el bombeo son de dos tipos: Agua Potable y Riego, siendo los últimos los predominantes. Estos son utilizados para regar viñas por medio de goteo, y su utilización varía a lo largo del año en proporción de la distribución de riegos.

Además de los pozos que se utilizan para regadío existen otros destinados a suplir la escasez de los recursos superficiales en los terrenos con derechos sobre ellos. En todo caso, durante 1986 estos pozos han estado sin uso.

Por otro lado, los pozos utilizados para Agua Potable sirven para abastecer las necesidades del pueblo Los Loros y de algunos fundos del sector. Debido a la pequeña magnitud de sus descargas, los pozos utilizados con este objeto no se consideran en el cálculo del volumen bombeado.

En el Cuadro 8.10 se entregan las superficies regadas y los volúmenes bombeados por cada pozo destinado a riego, así como el total bombeado en el sector.

CUADRO N° 8.10VOLUMENES BOMBEADOS PARA REGADIOEN EL SECTOR LAUTARO - LA PUERTA

POZO	SUP. REGADA (Há)	VOL. BOMBEADO (Mm ³ /año)
2750-7000 D-1	17.6	0.176
D-3	41.0	0.410
D-4	70.0	0.699
D-7	100	0.999
D-8	40	0.400
D-9	86.3	0.862
B-1	18.0	0.180
B-4	40	0.400
B-5	70	0.699
B-6	40	0.400
B-7	19	0.190
B-8	40	0.400
B-11	20.6	0.206
A-2	28	0.280
2740-7000 C-3	14	0.140
C-8	18.5	0.185
C-10	5.0	0.050
		5.68

8.3. Balance Hídrico

El Balance Hídrico corresponde a la integración de todos los factores de recarga y descarga cuantificados anteriormente, lo que se expresa en la relación.

$$\text{RECARGA} - \text{DESCARGA} = \text{VARIACION DE ALMACENAMIENTO}$$

Como naturalmente esta relación varía de un período a otro, se ha hecho el cálculo para la situación existente en el año 1986.

Se ha determinado que las variaciones de almacenamiento son nulas, debido a que los niveles controlados durante 1986 no presentan una variación significativa con respecto a los del año anterior.

En el Cuadro N° 8.11 se presenta los resultados del Balance Hídrico.

CUADRO N° 8.11

BALANCE HIDRICO ANUAL PARA EL EMBALSE SUBTERRANEO

<u>DEL SECTOR LAUTARO-LA PUERTA</u>	
FACTOR	VOLUMEN (Mm ³)
<u>Entradas</u>	
Recarga Lateral	7.1
Inf. Canales Matrices	3.09
Inf. Canales Secundarios	2.33
Inf. Riego	5.8
Inf. Embalse Lautaro	45.41
TOTAL	63.73

<u>Salidas</u>	
Descarga Lateral	0.82
Evaporación y Evapotranspiración	11.23
Vertientes	43.48
Bombeo Riego	5.68
TOTAL	61.21
<u>Variación de Almacenamiento</u>	
Calculada	2.52
Observada (aprox.)	0

8.4. DISCUSION DE LOS RESULTADOS.

Como se ve, la diferencia existente entre las variaciones de almacenamiento calculada y observada es pequeña, aproximadamente 5% de los valores de entrada o salidas del acuífero.

Este error se considera aceptable en este tipo de balances, en especial si se considera todas las suposiciones realizadas en cada cálculo.

Se debe tener en cuenta que el balance general está regido especialmente por dos factores. Por el lado de las entradas la infiltración desde el embalse Lautaro, y por el lado de las salidas, las descargas por vertientes. Ambos factores, debido a la magnitud de los volúmenes anuales en movimiento, controlan en gran parte el resultado del Balance.

Ahora bien, los datos con que estos fueron calculados y la metodología utilizada se encuentra en los Tomos 1 y 3 de este informe. Estos son de calidad suficiente como para realizar el presente balance, lo que se ve respaldado por los resultados obtenidos.

Respecto a los otros factores que componen el balance se puede decir que los que tienen mayores supuestos para su cálculo, como son las salidas laterales, son los que menos incidencia tienen en el resultado. En cambio factores como la infiltración de riego, volúmenes bombeados y evaporación desde vegas, que han sido calcu

ladas con una mayor precisión tienen una incidencia algo mayor en los resultados del balance.

Por último, el error obtenido en la variación de almacenamiento, se puede deber al cálculo de las entradas laterales o a la acumulación de los errores cometidos en cada cálculo, errores que están implícitos en cada supuesto que se realizó en cada uno de los cálculos realizados.

ANEXO N*1

NIVELES ESTATICOS Y CONDUCTIVIDADES MEDIDOS EN ENERO DE 1987

NIVELES ESTATICOS Y CONDUCTIVIDADES DE POZOS
Segun la Encuesta hecha en terreno en Diciembre de 1986 y Enero de 1987

COORDENADA N°	PREDIO	DUENO	NIV. EST. (m.)	CONDUCT. (umhos/cm)	C. TERRENO m.s.n.m.	C. PIEZOM. m.s.n.m.
ZONA LAUTARO - SAN ANTONIO						
2750-6950 C-1	Embalse Lautaro	DGA-Observacion	1.28	680.0	1110.5	1109.2
C-2	Embalse Lautaro	Alfonso Prohens	10.04		1148.0	1138.0
C-3	Embalse Lautaro	Alfonso Prohens			1135.5	
C-4	Embalse Lautaro	DGA - Obs.	1.07	400.0	1109.5	1108.4
2750-7000 D-1	Hacienda Amolanas	Comunidad Amolanas		600.0	1095.7	
D-2	Quebrada Calquis	Sucesion Grossi			1070.5	
D-3	Amolanas (Mallorca)	Alfonso Prohens	6.90	620.0	1085.0	1078.1
D-4	Quebrada Calquis	CODELPA	29.59	800.0	1081.5	N.D.
D-5	Quebrada Calquis	CODELPA	26.35		1086.0	1059.7
D-6	Amolanas	CORPORA - Pesenti	4.33	560.0	1089.2	1084.9
D-7	Amolanas	CODELPA	5.32	640.0	1086.8	N.D.
D-8	Amolanas	CODELPA		640.0	1110.5	
D-9	Amolanas	CORPORA	5.58	680.0	1097.2	1087.2
D-10	Amolanas (Mallorca)	Alfonso Prohens	2.82		1084.2	1081.4
D-11	Fundo Amolanas	CODELPA	4.66		1104.2	1099.5
D-12	Amolanas (Mallorca)	Alfonso Prohens	1.07		1080.3	1079.2
D-13	Amolanas (Mallorca)	Codelpa				
2750-7000 B-1	Vegas El Giro-Sn Antonio	Reid Dorn	8.93	820.0	988.0	N.D.
B-2	Pueblo San Antonio	Comision Sequia			1008.0	
B-3	Fundo La Capilla	Alfonso Kong	8.67		1008.2	999.5
B-4	Vina del Cerro	Hauva y Fernandez	9.66	800.0	1017.8	1008.1
B-5	Fundo El Carmen	Domingo Guggiana	8.33	670.0	1005.0	996.7
B-6	Fundo Santa Rosa	Reid Dorn Henderson	9.89	700.0	974.0	N.D.
B-7	Fundo Casa Rosada	Magalhaes y Prohens		640.0	962.5	
B-8	Fundo Palo Blanco	Sucesion Pessenti Hnos.	5.91		987.0	981.1
B-9	Fundo San Antonio	Domingo Guggiana		720.0	1002.5	
B-10	Hijuela La Capilla	Pedro Grossi	10.08		1013.0	1002.9
B-11	Valle Hermoso	CORPORA	8.88	700.0	1028.5	1019.6
B-12	Valle Hermoso	Exportadora Rio Blanco		790.0		
B-13	Vina del Cerro	Alfonso Kong	8.14		1014.4	1006.3
B-14	Vina del Cerro	Sergio Ruiz Tagle		700.0	1005.4	

NIVELES ESTATICOS Y CONDUCTIVIDADES DE POZOS
Segun la Encuesta hecha en terreno en Diciembre de 1986 y Enero de 1987

COORDENADA	Nº	PREDIO	DUENO	NIV. EST (m.)	CONDUCT. (umhos/cm)	C. TERRENO m.s.n.m.	C. PIEZOM. m.s.n.m.
ZONA LOS LOROS							
2750-7000	A-1	Los Perales - Apachetas	Antonio Jiron	1.00	1200.0	945.0	944.0
	A-2	Apachetas	Alfonso Prohens	13.12	680.0	956.4	943.3
2740-7000	C-1	Escuela Los Loros	Ministerio de Educacion	21.60	1100.0	954.5	932.9
	C-2	Hornitos	Manuel Jorquera	38.20		820.0	781.8
	C-3	Buen Retiro	Alfonso Prohens	19.6	790.0	905.0	N.D.
	C-4	Fundo La Puerta	Alfonso Prohens	-0.4	760.0	880.0	880.4
	C-5	Pueblo Los Loros	SENDOS			954.8	
	C-6	Pueblo Los Loros	Soc. Agricola Sacramento	24.27	1020.0	954.0	929.7
	C-7	Chacra San Francisco	Andreu Nicolas Patino			952.5	
	C-8	Fundo La Laguna	CORPORA		800.0	946.4	
	C-9	Fundo El Fuerte	Mario y Ciro Holvoet	8.54	950.0	935.0	926.5
	C-10	Parcela el Quinto	Carmen Olivares	7.88	1340.0	948.8	940.9

ANEXO N°2

ANALISIS QUIMICOS EMPLEADOS EN EL ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA

ZONA: MANTAS, TROQUELA, PUEBLO V. J. J. J. J.

PUNTO: 28°00' - 69°50' D-4

FECHA	CONDUCTIVIDAD	HCO ₃ (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	CO ₂ (mg/l)
20.5.79.	5300	121,47	630,50	2535,98	828,45	144,69	S/S	S/S	0,00

ZONA: SAN ANTONIO

PUNTO: 29°00' - 70°00' B-1

FECHA	CONDUCTIVIDAD	HCO ₃ (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	CO ₂ (mg/l)
18.6.80.	800	164,14	45,02	240,15	39,28	31,86	4,52	82,36	0,00
25.1.80.	994	120,21	43,96	282,92	88,18	37,45	4,69	74,26	0,00
29.9.81.	1101	226,99	46,89	330,45	117,23	36,99	3,91	66,65	0,00
30.7.82.	1047	240,42	68,78	361,19	126,25	20,10	6,08	62,05	0,00

ZONA: SAN ANTONIO

PUNTO: 29°50' - 70°00' B-5

FECHA	CONDUCTIVIDAD	HCO ₃ (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	CO ₂ (mg/l)
15.5.78	2557	97,63	197,81	1080,68	120,44	152,44	5,47	255,19	24,80

ALAMOS Y PERALTA

INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

Proyectista:

Fecha

Hoja 1 de 3

Obra:

Proyecto

Número

Materia:

Control

Control

ZONA : SAN ANTONIO

Pozo : 27°50' - 70°00' E-6

FECHA	CONDUCTIVIDAD	HCO ₃ (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	CO ₃ (mg/l)
25.1.80	824	108,62	36,87	274,73	70,94	33,08	5,91	61,15	0,00

ZONA : SAN ANTONIO

Pozo : 27°50' - 70°00' D-1

FECHA	CONDUCTIVIDAD	HCO ₃ (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	CO ₃ (mg/l)
12.6.78	850	158,68	11,07	270,41	58,12	41,71	2,74	62,03	0,00
18.4.85	830	162,70	26,20	228,10	103,60	21,00	4,50	41,90	0,00

ZONA : SAN ANTONIO

Pozo : 27°50' - 70°00' D-2

FECHA	CONDUCTIVIDAD	HCO ₃ (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	CO ₃ (mg/l)
8.12.78	869	97,63	51,05	290,10	76,75	24,20	2,35	70,81	0,00
27.12.79	762	85,26	39,35	263,20	67,74	32,48	3,91	52,42	0,00
18.4.85	1240	212,60	75,20	330,30	144,30	41,30	8,00	70,20	0,00

ALAMOS Y PERALTA

INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

Proyectista :

Fecha

Hoja 2 de 3

Obra :

Proyecto

Número

Materia :

Control

FECHA	CONDUCTIVIDAD	NaCO ₃ (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	CO ₂ (mg/l)
18.4.8E	1102	202,60	46,40	324,80	129,30	24,30	9,00	72,30	0,00

INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

Hoja 3 de 3

Número

Control

[illegible]