

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 4

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DETALLADO DEL SECTOR :

MAL PASO - COPIAPO

DICIEMBRE - 1987

ALAMOS Y PERALTA INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

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

INDICE GENERAL DEL ESTUDIO

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

TOMO ANEXO Nº 4
ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DETALLADO DEL SECTOR
MALPASO - COPIAPO

INDICE

	Página
1. INTRODUCCION	1
2. OBJETO DEL ESTUDIO	2
3. GEOLOGIA	4
3.1 Geología de Superficie	4
3.2 Geología de Subsuperficie	7
4. CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DEL EMBALSE SUBTERRANEO	10
4.1 Antecedentes Empleados	10
4.2 Metodología de Análisis	11
4.3 Interpretación Hidrogeológica de los Resultados	12
5. CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DEL EMBALSE SUBTERRANEO	14
5.1 Antecedentes Empleados	14
5.2 Metodología de Análisis	14
5.3 Presentación de Resultados	16

INDICE

	Página
6. CARACTERISTICAS DE LA NAPA	18
6.1 Profundidad del Nivel Estáticos	18
6.1.1 Antecedentes Empleados	18
6.1.2 Metodología de Análisis	18
6.1.3 Presentación de Resultados	19
6.2 Superficie Piezométrica y Sentido de Esgurrimiento de las Aguas Subterráneas	20
6.2.1 Antecedentes Empleados	20
6.2.2 Metodología de Análisis	20
6.2.3 Presentación de Resultados	21
6.3 Variaciones del Nivel Estático	22
6.3.1 Antecedentes Empleados	22
6.3.2 Metodología de Análisis	22
6.3.3 Presentación de Resultados	22
6.4 Calidad Química	24
6.4.1 Antecedentes Empleados	24
6.4.2 Metodología de Análisis	24
6.4.3 Presentación de Resultados	26
6.4.4 Posibles Usos del Agua	28
7. FUNCIONAMIENTO DEL EMBALSE SUBTERRANEO	29
7.1 Entradas de Agua al Acuífero	29
7.2 Salidas de Agua desde el Acuífero	33
8. BALANCE HIDRICO DEL EMBALSE SUBTERRANEO	36
8.1 Entradas de Agua al Acuífero	36
8.2 Salidas de Agua desde el Acuífero	50
8.3 Balance Hídrico	59
8.4 Discusión de Resultados	61

INDICE

	Página
ANEXO 1 : Niveles Estáticos y Conductividades Medidos en Diciembre de 1986 y Enero de 1987	63
ANEXO 2 : Análisis Químicos Empleados en el Estudio de la Calidad del Agua	66
ANEXO 3 : Valores de Caudal Específico y Transmisividades	73

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 N° 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 Nº 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 Nº 24. J.Doorenbos y W.O.Pruitt, FAO - ONU, 1986.
26. Estudio Hidrogeológico del Valle del río Choapa. Sector Salamanca - Cuncumen. Informe Final. Anexo Nº 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 -

2. OBJETO DEL ESTUDIO

El objeto del estudio que sigue a continuación es analizar y evaluar en detalle los recursos hidrogeológicos del sector Mal Paso - Copiapó.

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 Mal Paso y Copiapó, 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 Ojo del Salado.

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 Mal Paso y la ciudad de Copiapó.

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 diferenciada, 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:

- Formaciones Abundancia y Nantoco, que corresponden a calizas y rocas clásticas. Aflora desde aguas arriba de Mal Paso hasta Tierra Amarilla.
- Formación Punta del Cobre, constituida por andesitas. Aflora en Tierra Amarilla.
- Rocas de metamorfismo de contacto, producto de intrusiones graníticas. Aflora entre Tierra Amarilla y Paipote.
- Granodiorita (principalmente) del Batolito Andino. Aflora en el flanco sur del valle de Copiapó, desde aproximadamente Paipote hasta el límite del sector estudiado y más allá. Desde la ciudad de Copiapó se le reconoce en ambos costados del valle.
- Formación Bandurrias, constituida por rocas volcánicas andesíticas. Aflora en el costado norte del valle, entre la quebrada de Paipote y la ciudad de 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. Resalta en el sector, especialmente en el flanco derecho del valle, depósitos sedimentarios antiguos. En lo que sigue, se describirá cada uno de estos sedimentos, señalando la nomenclatura utilizada en la cartografía en el Plano N° 2.

- Sedimentos Antiguos (SA): Corresponden a los remanentes de los que ha definido precedentemente como Gravas de Atacama. Afloran preferentemente en el flanco derecho del valle del Copiapó, siendo especialmente relevante las superficies aterrazadas que poseen como límite superior y que corresponden a antiguas superficies de erosión terciarias-cuaternarias. Se encuentran generalmente a una altura del orden de 50 a 100 metros por sobre el nivel actual del fondo del valle.

En algunos sectores, se aprecia la superficie de contacto entre este paquete sedimentario y la roca que le subyace. En otros, no es posible reconocer este contacto.

Hacia el este de la ciudad de Copiapó y hasta la quebrada de Paipote, resultan ser muy conspicuos los afloramientos de este tipo de sedimentos, tanto por su forma, como por su extensión y cota. Se muestran como pampas a cierta altura, del orden de 90 metros por sobre el nivel del valle.

Desde el punto de vista de su permeabilidad, pueden clasificarse como de media a baja, en atención al grado de diagénesis que poseen. Sin embargo, su permeabilidad es suficiente como para permitir la infiltración o percolación, de manera que contribuyan en alguna medida modesta a la recarga del sistema hidrogeológico.

- 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

- 6 -

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 tanto sobre las rocas fundamentales, como sobre los sedimentos antiguos (SA).

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 permeabilidades medias 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 los casos en que se han generado sobre los sedimentos antiguos. Tal es el caso, en el sector estudiado, de las quebradas de Meléndez, el Jilguero y los conos de deyección generados en los flancos de los cerros inmediatamente al norte de la ciudad de Copiapó, parte de la cual se ha fundado sobre este tipo de materiales.

- Escombros de Falda: En general, son poco frecuentes en este sector del valle. Adquieren alguna relevancia solo en la quebrada Las Cruces, al sur-este de la ciudad de Copiapó.

- 7 -

Su génesis está asociada directamente a la acción de la fuerza de gravedad, donde la incidencia del recurso agua es muy baja. Normalmente se adosan a los flancos de los cerros, donde estos poseen pendientes fuertes, generando en la transición hacia el valle de fondo plano, una superficie de menor pendiente que el cerro.

La granulometría es normalmente gruesa, con clastos muy angulosos, matriz relativamente gruesa y alta permeabilidad, con lo que favorecen la infiltración hacia el sistema hidrogeológico saturado.

- Llanura Aluvial: Es el rasgo mas relevante en este sector del valle, tanto por su extensión, como por su importancia hidrogeologica.

Corresponde al fondo relativamente plano del valle del río Copiapó y sus tributarios mas importantes; en el sector, la quebrada de Paipote.

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.

- Cauce Actual: En este sector ha sido posible diferenciar el cauce actual del río Copiapó, el que ha erodado formando un escarpe que se encuentra a 3 metros bajo el nivel de la terraza aluvial.

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.

- 8 -

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 geoelectrónicos en una primera aproximación y luego, en términos de la geología del área. Los SEV correspondientes a este sector del Valle del Copiapó son aquellos numerados desde el N° 111 al N° 145, es decir, 35 sondeos, distribuidos en 14 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 Mal Paso hasta Paipote, aumentando en el área de la ciudad de Copiapó.

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 de Paipote, la que habría generado un graben que correspondería a la mayor profundidad del área de Copiapó, y en el cual se habrían depositado los grandes espesores de sedimentos antiguos, que afloran en la actualidad en la confluencia de ambos valles.

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.

- 9 -




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

La cota del basamento en el sector de Mal Paso es del orden de 300 metros sobre el nivel del mar, siendo la cota del terreno de 500 m.s.n.m. Esto representa un espesor del relleno sedimentario del orden de 300 metros para el área entre Mal Paso y Paipote.

En Copiapó, la cota del basamento rocoso es de más de 100 metros bajo el nivel del mar, siendo la cota del terreno de 450 m.s.n.m. Ello implica la existencia de potencias importantes para el relleno sedimentario, puesto que se trataría de una cifra del orden de 550 metros.

La mayoría de los sondeos construidos 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	 /m
UNIDAD 2	100	a	200	 /m
ROCA			1000	 /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 Planos 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 sondajes mecánicos construidos en el área. Particular importancia poseen aquellos que fueron perforados hasta tocar la

roca fundamental. Esos sondeos son los siguientes:

TABLA N° 4.1

SONDAJES PERFORADOS HASTA LA
ROCA FUNDAMENTAL EN EL AREA DE ESTUDIO

COORDENADAS SONDAJE	UBICACION	PROFUNDIDAD ROCA (m)
27° 30' - 70° 10'	B-1 Qda. Cerrillos	122.50
27° 20' - 70° 10'	C-2 Paipote	154.00
27° 20' - 70° 10'	C-7 Paipote	90.80
27° 20' - 70° 10'	A-11 San Fernando	177.50

- 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 indicados en la Tabla N° 3.1. 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 Rocosos (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 existe en el valle del Copiapó desde Mal Paso hasta la ciudad de Copiapó, 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.
- 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 300 metros entre Mal Paso y Paipote, donde se presenta un umbral rocoso, que permite la existencia de sólo 180 metros de espesor.
- g) Entre Paipote y San Fernando, se aprecia la existencia del basamento a menor profundidad que hacia aguas arriba y hacia aguas abajo, con un espesor mínimo de menos de 100 metros. Este hecho ha permitido establecer la existencia de otro umbral rocoso, el que se encuentra entre dos fosas: una hacia aguas arriba en la confluencia de la quebrada de Paipote y otra en la ciudad de Copiapó. El espesor máximo en este umbral es del orden de 250

metros.

- h) El espesor mayor de sedimentos saturados se encuentra en la ciudad de Copiapó, con un valor del orden de 550 metros.

5. 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 Mal Paso y Copiapó se cuenta con diez pozos con pruebas de bombeo de caudal constante, de cuyo análisis se obtienen valores de los coeficientes de transmisividad y almacenamiento. El valor de transmisividad de cada uno de ellos se utilizó en la determinación de la relación Caudal Específico-Transmisividad, descrita en detalle en el Tomo II Capítulo Hidrogeología General del Valle. Además se tienen 16 pozos con el valor de su coeficiente de transmisividad determinado. Estos últimos en cambio, no se utilizaron en la determinación de la relación anterior debido a la inexistencia de los datos originales que los hagan más confiables.

Por otro lado, se ha dispuesto de las Curvas de Agotamiento y/o valores de caudal específico de 43 pozos, 12 en el sector de Tierra Amarilla - Paipote y 31 en el sector de San Fernando - Copiapó.

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 dos planos 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 esta 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 resultados 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 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, en las láminas N° 4a y 4b. En ellas se observa que, en general, los caudales específicos y transmisividades son más bien altos. En especial, en el sector de San Fernando en que se tiene transmisividades de hasta 15000 y 20000 ($m^3/día/m$). Además en las zonas de Tierra Amarilla y Paipote se tiene transmisividades de hasta 15000 ($m^3/día/m$). Por otro lado, las transmisividades de los sectores comprendidos entre Tierra Amarilla y Paipote son menores, con valores comprendidos entre 1000 y 5000 ($m^3/día/m$). En la ciudad de Copiapó en cambio, la transmisividad está comprendida entre 1000 y 10000 ($m^3/día/m$).

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

- 17 -

del acuífero, el que para este sector alcanza un valor de 7225 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 723 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 entre el 3 y 5 de Diciembre de 1986. En esta corrida se controló el nivel de 41 pozos y norias ubicados entre la bocatoma del Canal Malpaso y la ciudad de Copiapó. 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 isopropundidad 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, Láminas 4a y 4b, denominado Isoprofundidad del Nivel Estático. Allí se observa que, para Diciembre de 1986, los niveles del sector Malpaso - Copiapó se presentan entre 0 y 28 metros de profundidad. Analizado por sectores se tiene lo siguiente:

- En el sector de la bocatoma del canal Malpaso el nivel estático se ubica muy cercano a la superficie, presen-tándose zonas de vegas en las cercanías del río.
- Inmediatamente aguas abajo de este sector los niveles se profundizan, fluctuando entre 5 y 10 metros bajo la superficie. Esta situación se mantiene a lo largo de toda la zona de Tierra Amarilla hasta el Fundo Buitrón, unos 4 Km aguas arriba de Paipote.
- En la zona de Paipote los niveles rápidamente se profundizan, hasta llegar a 28 metros en el centro del valle frente a la Quebrada de Paipote. Luego, en la zona de San Fernando, los niveles van haciéndose lentamente más superficiales, hasta llegar a los 10 metros en el extremo oriente de la ciudad de Copiapó.
- Bajo la ciudad los niveles son extraordinariamente parejos, encontrándose a 7 metros de profundidad. Esta situación se mantiene hasta la zona poniente de Copiapó, donde rápidamente los niveles se profundizan hasta llegar a los 30 metros en el sector de La Chimba.
- Diferente es la situación en la caja del río donde, a partir de San Fernando, se empieza a profundizar la terraza del río respecto del valle. Esto se traduce en niveles aproximadamente 5 metros más superficiales en la caja del río que en el valle, lo que conduce a una amplia zona de vegas en las inmediaciones del río frente a la ciudad de Copiapó.

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 Diciembre de 1986, 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, Láminas 4a y 4b. En ellos 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:

- Entre la bocatoma del canal Malpaso y Paipote, el gradiente fluctúa entre 0,75 % y 1,2 % , dándose los valores más bajos en el sector de Tierra Amarilla y los más altos en las cercanías de Malpaso y de Paipote.

- Inmediatamente pasado Paipote el gradiente baja bruscamente a valores entre 0,5 y 0,6 % , situación que se mantiene en toda la zona de San Fernando y hasta llegar a la ciudad de Copiapó.

- Sobre la ciudad el gradiente va aumentando paulatinamente desde 0,8 % en su extremo oriente, hasta 2,5 % al llegar al angostamiento del valle que se produce entre la Punta Ojancos y el Cerro La Cruz, en la salida de Copiapó hacia Caldera.

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 Malpaso - Copiapó se cuenta actualmente con 21 sondeos piezométricos, que tienen registros de control de niveles en diferentes lapsos comprendidos entre 1961 y 1986. De ellos 9 se han medido desde 1974 a la fecha, con una interrupción entre Febrero de 1977 y Enero de 1979. El más largo de los registros en este sector es el del pozo clasificado como 2720 - 7010 A-8, ubicado en la zona de San Fernando, que abarca casi completo el período 1961 - 1986.

Aparte de los piezómetros que controla la DGA, se cuenta con una serie de registros de niveles de otros pozos que antiguamente controlaba CORFO. Estos registros cubren diversos períodos, pero ninguno de ellos tiene información posterior a 1974.

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, Láminas 4a y 4b. En él se observa lo siguiente:

- Prácticamente todos los niveles, dentro del sector considerado, presentan en fechas similares los máximos y mínimos observados. En general los máximos niveles se

- 23 -

han registrado en Febrero de 1985, mientras que los mínimos se han medido en los últimos meses de 1980.

La diferencia entre máximos y mínimos niveles fluctúa, en casi toda el área, entre 11,5 y 16,5 metros, con un valor medio cercano a los 14 metros. En cuanto a los niveles más profundos del área, que se dan en las cercanías de Paipote, han pasado de un nivel mínimo de 42 metros a uno máximo de sólo 26,5 metros.

Hay, sin embargo, algunos sectores que difieren del comportamiento antes señalado. Estos son la zona donde se ubica la bocatoma del Canal Malpaso y la ciudad de Copiapó.

Ambos coinciden con tener niveles poco profundos y una amplitud de variaciones bastante menor a la de otros sectores, que alcanza a los 7 metros en Malpaso y 5 metros en Copiapó. Los niveles máximos y mínimos, en cambio, se dan para las mismas épocas que el resto del área.

- En general la tendencia histórica de los niveles es un descenso sostenido entre 1966 y 1972, para luego recuperarse levemente durante los años 1973 y 1974 y volver a descender de 1976 a 1980. Posteriormente, entre 1980 y 1985, los niveles de la napa han subido en forma rápida y sostenida. En 1985 y 1986 han existido fluctuaciones pero siempre recuperándose los niveles a valores similares a los máximos de 1985.

- Dentro del sector Malpaso - Copiapó los niveles presentan escasa variación estacional, siendo irrelevantes y de una tendencia poco definida frente a las variaciones anuales. Sumado esto a las tendencias generales observadas, se descubre un carácter de regulador hiperanual del embalse subterráneo que, para el período en que se cuenta con mediciones de niveles estáticos, ha tenido dos épocas de niveles máximos separadas por un período de 19 años.

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. Los análisis se han hecho en forma esporádica y con las aguas de diferentes 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 % .

Los antecedentes ya señalados se han complementado con algunos análisis hechos por SENDOS de las aguas captadas en los pozos que emplea para el abastecimiento de agua potable.

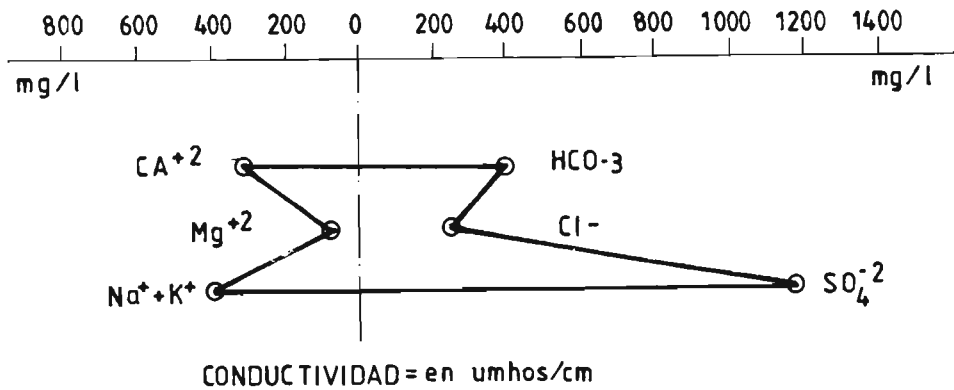
Junto a esto se ha realizado en Diciembre de 1986 una campaña en terreno, donde se ha medido la conductividad de las aguas en 21 pozos del sector Malpaso - Copiapó.

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 ($Na + K$), bicarbonatos (HCO_3^-), cloruros (Cl^-) y sulfatos (SO_4^{-2}). Además, para conocer la calidad del agua para regadío, se ha incluido la concentración del boro y la clasificación del USSS 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, cada uno contenido en dos láminas denominadas 4a y 4b, que contienen respectivamente los Diagramas de Stiff y los datos de Conductividades medidas en Diciembre de 1986.

El Plano de Conductividades muestra que en el sector Malpaso - Copiapó los valores más comunes se encuentran entre 900 y 1400 (umhos/cm), los que se distribuyen en forma prácticamente aleatoria en el área. Escapan a esta condición general sólo 3 pozos, dos de ellos ubicados bastante alejados del centro del valle, en el costado noreste (los pozos 2720-7010 A36 y A47), mientras que el tercero, clasificado como 2720-7010 A13, se encuentra bastante central, lo que hace suponer alguna contaminación local de sus aguas. Esta situación coincide relativamente bien con los datos para distintas fechas que se presenta, junto a los diagramas de Stiff, en el Plano N*11. Cabe agregar, eso sí, que en la zona de Placilla Sierralta, donde se capta el agua potable para la ciudad de Copiapó, se tiene un área de conductividades un poco superiores al resto del sector, presentándose valores que van entre 1500 y 1800 (umhos/cm).

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

- El sulfato varía normalmente entre 250 y 500 (mg/l), con un valor medio cercano a los 400 (mg/l). Escapan a esta condición los pozos de Placilla Sierralta, que presentan concentraciones entre 500 y 900 (mg/l), y algunos pozos que se encuentran alejados del centro del valle hacia el nor-este, como los clasificados 2720-7010 A10, A12 y A36.

- El cloruro y magnesio fluctúan relativamente poco, el primero entre 50 y 80 (mg/l) con un valor medio cercano a los 65 (mg/l), mientras que el magnesio lo hace entre 40 y 80 (mg/l) con un promedio aproximado de 55 (mg/l). Como en el caso del sulfato, los pozos A10 y A12 se disparan con valores superiores a los 200 (mg/l) tanto para el cloruro como el magnesio. Por su parte los pozos de Placilla Sierralta también presentan concentraciones más altas que la generalidad con respecto al cloruro, con valores cercanos a los 90(mg/l), lo que no ocurre con el magnesio que se mantiene en

- 27 -

los 50 (mg/l).

- El bicarbonato presenta concentraciones variables entre 100 y 400 (mg/l), que se distribuye en forma relativamente aleatoria en el sector considerado.
- El calcio se encuentra en concentraciones que van entre 40 y 170 (mg/l). Esto ocurre para prácticamente todos los pozos del sector salvo los de Placilla Sierralta, que muestran valores entre 200 y 350 (mg/l). Esto se repite en el sondaje Maipú de SENDOS, clasificado como 2720-7010 A36.
- Las concentraciones de potasio son prácticamente despreciables, por lo que no se hará referencia de ellas. En cuanto al sodio, presenta valores entre 60 y 130 (mg/l), los que se elevan sobre 200 (mg/l) sólo en los pozos antes mencionados A10, A12, A36 y ocasionalmente alguno del recinto Placilla Sierralta.

Respecto de las variaciones en el tiempo, pareciera existir una tendencia al aumento de la concentración de sulfatos hacia 1978 - 1979 para volver a disminuir en 1980. Este fenómeno estaría asociado a una disminución gradual de concentraciones de bicarbonato. Los demás iones, por su parte, parecieran no tener variaciones apreciables en el tiempo.

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 Malpaso - Copiapó presenta, normalmente, aguas clasificadas, según la nomenclatura del USSL, como C3-S1, es decir, con alto peligro de salinidad y bajo peligro de sodificación. Sólo las aguas de los pozos 2720-7010 A10 y A12 tienen otra categoría, señalada como C4-S1, que indica un muy alto peligro de salinidad. Estos pozos se ubican en el área de San Miguel, en el costado noreste del valle poco después de la llegada de la Quebrada de Paipote. Los contenidos de boro en el agua son bastante variables, encontrándose en el área cifras entre 1,3 y 3,0 (ppm) en el tramo Malpaso - Paipote y 1,8 a 4,3 (ppm) en San Fernando. Se exceptúa nuevamente el pozo 2720-7010 A10 con un contenido de boro de 6,1 (ppm) en 1978.

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 Malpaso - Copiapó se clasifican como altamente salinas, debido a que tienen valores de la conductividad entre 750 y 2250 (umhos/cm). Esto, según normas internacionales, significa que las aguas no pueden aplicarse en suelos de drenaje restringido; deben aplicarse sobre cultivos tolerantes a las sales y los suelos necesitan un control adecuado de la salinidad. Los bajos niveles de sodio, en cambio, 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.

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 del río Copiapó
- Infiltraciones directas de lluvias
- Infiltraciones por pérdidas de la red de Agua Potable.
- Infiltraciones de Riego

Más en detalle estos elementos se refieren a lo siguiente:

a) Recarga Lateral desde Acuíferos Vecinos

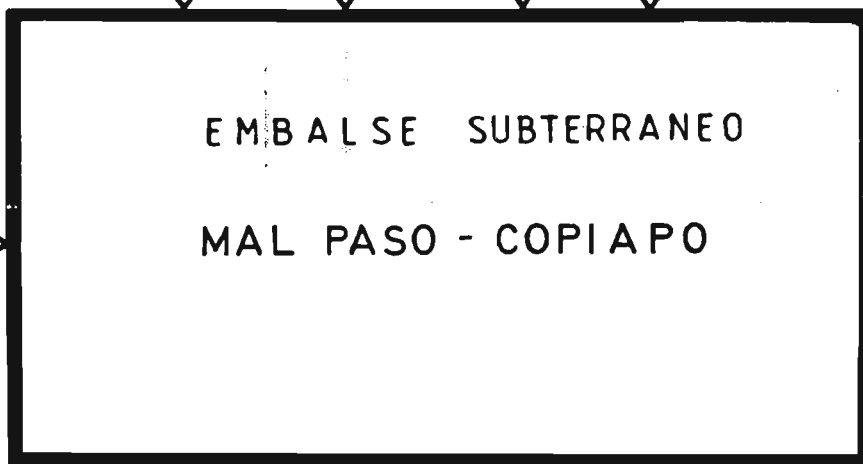
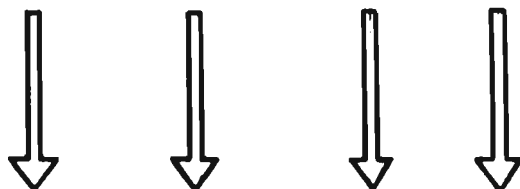
Estos se refieren a dos tipos de recarga lateral: la que proviene del escurrimiento subterráneo del acuífero aguas arriba del sector estudiado y aquella que entregan subterráneamente las quebradas que llegan al valle del río Copiapó.

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:

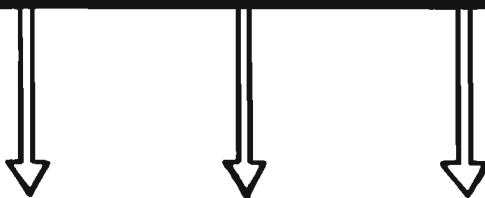
MAL PASO - COPIAPO

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



ENTRADAS
LATERALES

SALIDAS
LATERALES



BOMBEO

SALIDAS POR
VERTIENTES

EVAPORACION Y
EVAPOTRANSPIRACION

FIGURA 7.1

- 31 -

Las recargas subterráneas desde quebradas están muy influidas 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 Paipote, 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 que no estén revestidos como en toda la red de distribución secundaria. Es necesario señalar que en el área de estudio se ha revestido varios canales principales, pero todavía se puede esperar infiltraciones de la red secundaria y de los canales sin revestir, que son bastantes.

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, en su mayor parte 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 significan menores infiltraciones de riego, pero que, al mismo tiempo, demandan menos agua. Esto no es relevante, sin embargo, en el área de estudio, ya que en ella el riego por goteo no se ha desarrollado mayormente.

c) Infiltraciones del río Copiapó

Debido a la existencia del canal matriz Mal Paso, que capta las aguas del río y que es revestido, las infiltraciones del río se han reducido notablemente, produciéndose éstas sólo cuando el caudal del río excede la capacidad del canal. Tal como se expresara anteriormente, el río puede infiltrar prácticamente a lo largo de toda el 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. Por lo mismo se construyó el canal matriz, que redujo prácticamente a cero este tipo de infiltraciones.

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) Infiltraciones por Pérdidas de la Red de A.P.

Es un hecho que la mayoría de las redes de agua potable tienen un cierto porcentaje de pérdidas. Estas pérdidas se generan normalmente en fugas desde las redes de distribución, que son difícilmente detectables cuando los caudales perdidos son pequeños.

Se ha considerado importante incluir el aporte que estas pérdidas significan para el acuífero, ya que en el área de estudio se localizan los centros poblados más grandes del valle: Copiapó, Tierra Amarilla y el sector San Fernando.

No se ha estudiado en concreto las pérdidas en la zona de Copiapó, pero estadísticas actuales señalan para otras ciudades de Chile que un buen servicio de agua potable pierde por lo menos un 30% del agua producida.

En este caso se supondrá que un 15% del agua producida se infiltra hacia la napa, ya que parte del 30% señalado se pierde por otras causas.

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 existe actualmente un sector con niveles altos: la terraza del río frente a la ciudad de Copiapó. Este sector parece ser de niveles menos fluctuantes, ya que incluso presenta vertientes que no se han secado en los últimos años secos.

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 tres tipos diferentes de usuarios: el agua potable, industrial y minería y regadío agrícola. De estos tres, los dos primeros prácticamente suplen toda su demanda con el bombeo de aguas subterráneas. El regadío, en cambio, usa tanto recursos superficiales como subterráneos. En el área de estudio el bombeo de pozos para riego normalmente se usa para suplir la escasez de aguas superficiales, lo que se traduce en que casi no se usen estos pozos en años húmedos como han sido los del período 1981-1986.

d) Descarga por vertientes

En el área de estudio existen vertientes permanentes en el río Copiapó frente a la ciudad. Estas vertientes se producen por el estrechamiento del valle en el sector del cerro La Cruz, en la salida de Copiapó hacia la costa, que obliga a la napa a subir sus niveles estáticos. Estas vertientes aparentemente no varían mucho su caudal de año en año, y sirven para abastecer de aguas los canales de regadío La Chimba y Carrozzini.

- 35 -

4000 (m³/día/m), equivalentes a 0,0463 (m³/s/m). Tomando un valor de T = 0.046 (m³/s/m), se llega a:

$$Q = 0.046 \cdot \frac{1,25}{100} \cdot 470 = 0.27 \text{ (m}^3\text{/s)}$$

equivalente a un volumen anual de 8.52 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. de 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 ha 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.

El área de estudio pertenece al denominado sector de los Distritos de Riego, abarcando desde el 7° al 9° distrito íntegramente. Allí el riego se efectúa a

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 de 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 por pérdidas de la red de Agua Potable

a) Recarga Lateral desde Acuíferos Vecinos

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

Para cuantificarla se ha empleado la relación:

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

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

i = gradiente hidráulico de la napa ($^\circ/\text{l}$)

L = ancho del valle (m)

En este caso la fórmula se ha evaluado para la zona de Mal Paso, en la sección donde se ubica el pozo 27°30' - 70°10' - A4. Aquí el ancho del valle es 470 metros aproximadamente, el gradiente hidráulico de 1,25% y la transmisividad de

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 que administra la Junta de Vigilancia.

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 secundaria.

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 hortalizas, las cuales son regadas por medio de surcos. Además existen algunas hectáreas con parronales regados por goteo o surcos, pero, debido a su pequeña cantidad, no son de importancia frente a los primeros.

- 38 -

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 los Planos de Uso Actual de la Tierra que se presentan en el Tomo Anexo N° 6 desarrollado para el presente estudio. En éste se observa que la mayoría de éstos corresponden a Hortalizas y Vides, existiendo además algunas hectáreas con frutales: Las superficies ocupadas por cada uno de estos rubros de cultivos se entrega en el cuadro adjunto N° 8.1.

CUADRO N° 8.1DISTRIBUCION DE CULTIVOS DEL SECTOR MAL PASO - COPIAPO

TIPO DE CULTIVO	SUPERFICIE (Há)
Hortalizas	1600.7
Vides	102.9
Frutales	20.0
Praderas	7.7
T O T A L	1731.3

Como puede apreciarse, del total de 1731.3 há's cultivadas en el área de estudio un 92.5% corresponde a Hortalizas y un 5.9% a Vides.

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).

- 40 -

CUADRO N° 8.2DOTACIONES POR CULTIVOS (m³/Há/año)

TIPO DE CULTIVO	ETr
Hortalizas	6.092
Vides	6.887
Frutales	11.114
Praderas	13.352

Con respecto a las eficiencias de riego se considera que los cultivos de vides son regados en un 80% con sistema 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

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 MAL PASO - COPIAPO

TIPO DE CULTIVO	E_{Tr} (m ³ /Há/año)	T_r (m ³ /Há/año)	P (m ³ /Há/año)	S (Há)	P_t (Mm ³ /año)
Hortalizas	6.092	12.184	3.046	1.600,7	4,876
Vides	6.887	9.687	2.089	102,9	0,215
Frutales	11.114	24.698	6.792	20,0	0,136
Praderas	13.352	29.671	8.159,5	7,7	0,063
T O T A L					5,3

Según los resultados obtenidos en el cuadro anterior, en el sector Mal Paso-Copiapó se tiene una entrada de 5.3 Mm³/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. TRAMO (m)	Q (l/s)		Infiltraciones	
			Entrada	Salida	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	1325	174	122	52	22.6
Perales	11.12.86	1510	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, basados 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 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.

- 43 -

CUADRO N° 8.6TASAS DE INFILTRACION
DETERMINADAS SEGUN MORITZ

CANAL	PERDIDAS POR INFILTRACION %/km.
San Román	7.3
Cancha Carrera	7.4
Escorial	1.1
Palermo	1.1
Pedregal	4.5
Bellavista	6.2
Las Rojas	6.7
Los Patos	7.4
Ronsecco	1.5
Zavala	5.0
Alto Meléndez	5.7
Alcaparosa	11.2
Buitrón	5.3
La Florida	5.8
Viñitas	11.1
Punta Negra	2.3
San Fernando	7.5
Ciudad de Copiapó	9.4
Las Arañas	10.9
Mal Paso	2.2

PROMEDIO 6.0

- 45 -

Además de los resultados expuestos anteriormente se considerará estudios anteriores realizados en los valles del Elqui y del Choapa, con canales de similares características, cuyos resultados se entregan a continuación.

Estudios realizados por nuestra empresa en el valle del río Choapa durante el año 1982 REF. 26. 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.

Por otro lado, 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 el caso anterior, 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 al canal Matriz Mal Paso 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 Mal Paso-Copiapó, 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 o cada canal basandose en los antecedentes entregados por Queirolo, (Ref.7). Según el cual, los derechos de cada canal son

- 45 -

los entregados en el cuadro N° 8.7.

CUADRO N° 8.7

DERECHOS DE AGUA DE LOS CANALES

DEL SECTOR MAL PASO-COPIAPO

EXPRESADO COMO CAUDAL CONTINUO

CANAL	CAUDAL lt/s
San Román	17.05
Cancha Carrera	1.35
Escorial	16,23
Palermo	35.91
Pedregal	19.66
Bellavista	40.38
Las Rojas	38.48
Los Patos	3.93
Ronsecco	11.73
Zavala	22.01
Alto Meléndez	5.71
Alcaparroza	10.82
Buitrón	21.66
La Florida	32.48
Viñitas	67.56
Punta Negra	67.56
Ciudad de Copiapó	22.55
Las Arañas	17.05
Mal Paso	20.89
San Fernando	306.99

- 46 -

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 a un año seco. En cambio, para este balance se considera el año 1986, que corresponde a un año de humedad media. Por esto, el caudal captado por la totalidad de los canales del sector estudiado aumentaría de 514,61 l/s en 1977 a 780 l/s en 1986. Este último valor corresponde al caudal 50% del río Copiapó en Mal Paso y fue obtenido del informe de Uri Hammer Ref. 6)

De esta manera, se tiene que el caudal infiltrado por cada canal y el total infiltrado en el sector, Mal Paso-Copiapó es el calculado en el cuadro N° 8.8. En éste se entrega además las longitudes y caudales de cada canal.

CUADRO N° 8.8CAUDAL INFILTRADO EN CANALES DEL
SECTOR MAL PASO-COPIAPO

CANAL	LONGITUD (Km)	CAUDAL (lt/s)	INFILTRACION (lt/s)
San Román	1.24	17.05	1.06
Cancha Carrera	1.25	1.35	0.09
Escorial } Palermo }	0.31	16.23	0.09
		35.91	0.36
Pedregal	1.67	19.66	1.64
Bellavista	2.32	40.38	4.7
Las Rojas	2.52	38.48	4.85
Los Patos	1.24	3.93	0.24
Ronsecco	0.52	11.73	0.30
Zavala	1.90	22.01	2.09
Alto Meléndez	1.08	5.71	0.30
Alcaparroza	2.10	10.82	1.12
Buitrón	2.45	21.66	2.67
La Florida	3.46	32.48	5.61
Viñitas	9.38	67.56	31.68
Punta Negra	2.37	67.56	8.00
Ciudad de Copiapó	3.37	22.55	3.79
Las Arañas	1.75	17.05	1.49
Mal Paso	1.95	20.89	2.03
San Fernando	6.3	306.99	96.70

168.81 lts/seg.

5.32 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 $5.1 \text{ Mm}^3/\text{año}$ 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 $15.72 \text{ Mm}^3/\text{año}$, que se desglosa como sigue:

Infiltración en canales matrices	$5.32 \text{ Mm}^3/\text{año}$
Infiltración en canales secundarios	$5.1 \text{ Mm}^3/\text{año}$
Infiltración por regadío predial	$5.3 \text{ Mm}^3/\text{año}$
T O T A L	$15.72 \text{ Mm}^3/\text{año}$

c) Infiltraciones del río Copiapó

Sobre las infiltraciones del río Copiapó ya se ha hablado en otros capítulos, especialmente en el tomo N° 3 "Infraestructura de Riego".

Tal como se dice en este último, la construcción del canal matriz Mal Paso redujo las infiltraciones del río virtualmente a cero. Para caudales mayores que la capacidad del canal matriz ($3.0 \text{ m}^3/\text{s}$) se debería tener infiltraciones, debido a que los excedentes escurren por el río.

Debido a que este balance se realiza para el período Enero-Diciembre de 1986, en que el caudal del río en Mal Paso no superó los $3,0 \text{ m}^3/\text{s}$, se considera que el caudal infiltrado desde el río Copiapó es nulo.

d) Infiltraciones Directas de Lluvias

Por lo esporádicas y escasas que son las lluvias que caen sobre el área en estudio, se desestimarán sus infiltraciones como fuente de recarga de la napa.

e) Infiltraciones por Pérdidas de la Red de Agua Potable

La producción de agua potable en el área de estudio en la actualidad es la que se muestra en el Cuadro 12-3, el que se ha obtenido de antecedentes facilitados por SENDOS.

CUADRO 8.9

PRODUCCION ACTUAL DE AGUA POTABLE EN EL

SECTOR NANTOCO-COPIAPO

Recinto A.P.	Caudal Expl. (l/s)	Horas Diarias Bombeo (Hr)	Vol. Anual (Mm ³)
Nantoco	45	24	1.42
(2 Pozos)	18	18	0.43
Placilla Sierralta (4 pozos)	240	24	7.57
Rosario (1 pozo)	18	10	0.24
Vol. Total Mm ³			9.65

La infiltración hacia la napa de un 15 % del volumen total producido significa un valor anual de 1.45 Mm^3 .

8.2. Salidas de Agua desde el Acuífero

Como se ha dicho antes estas se producen por los siguientes factores:

- Descarga lateral hacia acuíferos vecinos
- Descarga por evaporación y evapotranspiración en zonas de nivel estático alto.
- Descarga por vertientes
- Descarga por bombeo

a) Descarga Lateral hacia Acuíferos 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.

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

Por el sector de la angostura del Cerro La Cruz el gradiente de la napa llega a $i = 1,3\%$, el ancho del valle alcanza $L = 700$ metros y la transmisividad bordea los $T = 5.000 \text{ (m}^3/\text{día/m)}$, equivalentes a $T = 0,058 \text{ (m}^3/\text{s/m)}$. Estos valores dan un caudal subterráneo saliente de:

$$Q = 0,058 \cdot \frac{1.3}{100} \cdot 700 = 0,528 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

Este resultado tiene una gran sensibilidad al valor de T empleado. Si realmente la transmisividad fuera solamente $T = 3.000 \text{ (m}^3/\text{día/m)}$ se tendría un caudal.

$$Q = 0,035 \cdot \frac{1.3}{100} \cdot 700 = 0,319 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

equivalentes a un volumen anual de:

$$10.1 - 16.6 \text{ Mm}^3$$

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 no 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.

Debido a la falta de evaporímetros de bandeja en el sector de estudio, la evapotranspiración potencial en éste se estudió basándose en la información de los sectores altos del valle que ha sido medida en bandejas ubicadas en los sectores de Lautaro y Los Loros.

La relación entre la evapotranspiración potencial (ET_p) de ambos sectores se ha obtenido de la evapotranspiración real (ET_r) determinada en el capítulo de demandas de agua para el área Lautaro-Los Loros y Mal Paso-Copiapó.

Partiendo de una evapotranspiración potencial del sector alto de 26.769 ($m^3/Há/año$) y evapotranspiraciones reales para un mismo cultivo de 7.991 ($m^3/Há/año$) y 6.887 ($m^3/Há/año$), en los sectores alto y Mal Paso-Copiapó respectivamente, se llega a una evapotranspiración potencial de 23.071 ($m^3/Há/año$) para el sector que se analiza.

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., tipo B, con profundidades de la napa comprendidas entre 1 y 2.5 mts., y tipo C, con profundidades entre 2.5 y 5.0 mts. La determinación de las superficies abarcadas por ca-

da sector se realizó basándose en el plano de isoprofundidad de Diciembre 1986, cuyos resultados se entregan en el Cuadro N° 8.10. Ahora bien, en el sector de Copiapó, que se encuentra las zonas de nivel estático alto, sólo existen vegas del tipo A. Esto sucede porque éstas están limitadas por barrancos que aumentan bruscamente la profundidad del nivel estático o más de 5 metros.

Por último, en el 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° 8.10

SUPERFICIES Y EVAPOTRANSPIRACION DE VEGAS

EN EL SECTOR MAL PASO-COPIAPO

Vega Tipo	Vegetación Típica	Superficie (Há)	Coef. de Cultivo	Evapotranspiración (Mm ³ /año)
A	Totorales y Sue- los Húmedos	65.4	1.0	1.5
B	Matorrales y Suelos Secos	0	0.7	0
C	Matorral ralo	0	0.5	0
TOTAL				1.5

c) Descarga por Vertientes

En el sector Mal Paso-Copiapó hay sólo una zona de afloramiento claro de la napa. Este es el río Copiapó frente a la ciudad, donde aparecen las vertientes que alimentan los canales Carrozzini y La Chimba que riegan el sector La Chimba, aguas abajo de Copiapó.

En el estudio de Queirolo se presenta un resumen de los promedios anuales de una serie de aforos realizados en estos canales entre 1968 y 1977.

CUADRO N° 8.11

DESCARGA POR VERTIENTES EN EL SECTOR..

MAL PASO-COPIAPO

Recarga por Vertientes	Año									
	1968	69	70	71	72	73	74	75	76	77
Canal Carrozzini (l/s)	43,4	27	27	-	-	-	-	-	25	25
Canal La Chimba (l/s)	320	229	205	170	128	191	201	225	159	142
Caudal Total (l/s)	363,4	256	232	190	148	211	221	245	184	167
Volumen (Mm ³)	11,5	8,1	7,3	6,0	4,7	6,7	7,0	7,7	5,8	5,3

(-): Sin aforos. Se ha supuesto para este período un caudal de 20 (l/s)

Por otro lado, aforos realizados por la D.G.A. durante 1986 en el canal La Chimba entregan un caudal medio de 173 l/s. Para el canal Carrozzini se adopta un valor de 25 l/s., lo que generaría un total anual descargado por vertientes de 6.24 Mm³.

d) Descarga por Bombeo

Como se ha dicho antes, las demandas abastecidas por el bombeo son de tres tipos: Agua Potable, Industria y Minería y Riego.

En el área de estudio los bombeos para Agua Potable e Industria y Minería son relativamente constantes durante el año y levemente crecientes a lo largo de los años.

El riego en cambio emplea el embalse subterráneo sólo en la medida que el recurso superficial escasea. Esto es así en el área de estudio y difícilmente cambiará dado el reducido tamaño de la propiedad agrícola en el sector Mal Paso-Copiapó. En efecto, ya que en otras áreas del valle de Copiapó, de propiedades agrícolas de mayor extensión, se están plantando grandes extensiones de parronales regadas con aguas subterráneas. Por el monto de la inversión que significa cultivos de esta naturaleza, en buena parte debido al riego altamente tecnificado que ocupan, no parece que el sector Mal Paso-Copiapó, de pequeños propietarios en su mayoría, pueda incrementar en el corto y mediano plazo el uso que actualmente le da al embalse subterráneo.

Para establecer la magnitud de los volúmenes bombeados de la napa se realizó una encuesta en terreno en Diciembre de 1986. Esta información se ha complementado con la de estudios anteriores para dar origen a las cifras que se presentan en los Cuadros 8-12, 8-13 y 8-14 a continuación. Allí se presenta la situación actual, para las condiciones de 1986.

- 55 -

CUADRO N° 8-12VOLUMENES BOMBEADOS PARA AGUA POTABLEEN EL SECTOR MAL PASO-COPIAPO

Pozo	Recinto A.P.	Vol. Bombeado (Mm ³ /año)
27°30' - 70°10' A-6	Nantoco	0.42
27°30' - 70°10' A-9	Nantoco	1.40
27°20' - 70°10' A-19	Plazuela Sierralta	1.875
27°20' - 70°10' A-37	Plazuela Sierralta	1.875
27°20' - 70°10' A-38	Plazuela Sierralta	1.875
27°20' - 70°10' A-39	Plazuela Sierralta	1.875
27°20' - 70°10' A-24	Panamericana Sur	0.24
TOTAL		9.56

- 56 -

CUADRO N° 8-13VOLUMENES BOMBEADOS PARA INDUSTRIA Y
MINERIA EN EL SECTOR MAL PASO-COPIAPO

POZO	INDUSTRIA	VOL. BOMBEADO (Mm ³ /año)
27°20' - 70°10' C-4	Cía. Min. Ojos del Salado	0.1
27°20' - 70°10' C-10	Com. Nac. de Sequía	0.3
27°20' - 70°10' C-13	Planta P. Aguirre Cerda	0.5
27°20' - 70°10' C-14	ENAMI P. Cop. 30	1.0
27°20' - 70°10' C-18	Cía. Minera San José	0.9
27°20' - 70°10' A-21	ENAMI	0.27
27°20' - 70°10' A-22	ENAMI	0.27
27°20' - 70°10' A-27	A. Versalovic	0.14
27°20' - 70°10' A-32	Jorge Farah	0.2
27°20' - 70°10' A-40	Soc. Minera Indiana	0.04
27°20' - 70°10' A-48	Planta Castellón	0.05
27°20' - 70°10' B-9	Planta Ojarco	1.30
TOTAL		5.07

CUADRO N°8-14VOLUMENES BOMBEADOS PARA REGADIOEN EL SECTOR MAL PASO-COPIAPO

POZO	VOLUMEN BOMBEADO (Mm ³ /año)
27°20 - 70°10' A-26	0.35
27°30 - 70°10' A-13	0.14

T O T A L 0.49

Los demás pozos destinados a riego que existen en el sector no fueron usados durante 1986 y su uso se restringe a suplir los déficit del río en los años secos, aportando agua al río mismo o a los canales directamente.

En los cuadros anteriores se ha presentado sólo el bombeo actual para Agua Potable e Industria y Minería, ya que sus valores no dependen del año hidrológico sino de factores de demanda de crecimiento lento y uniforme.

El riego, en cambio, depende directamente del tipo de año hidrológico que se tenga.

En el Cuadro N° 8-15 se presenta una comparación entre los volúmenes bombeados y el caudal del río Copiapó en La Puerta. También se indica la probabilidad de excedencia del caudal del río, valor que se ha obtenido del Balance Hídrico de las regiones III y IV.

CUADRO N° 8-15VOLUMENES BOMBEADOS PARA RIEGOY CAUDAL DEL RIO COPIAPO EN LA PUERTA

Período	Volumen Bombeado m ³	Caudal medio río Copiapó en La Puerta (m ³ /s)	Probabilidad de excedencia (%)
Abr. 76	7.265.650	1,25	73
Mar. 77			
Ago. 80	3.243.796	0,95	90
Jul. 79			
Abr. 85	490.000	-	-
Mar. 86			

En este caso no resulta claro por qué en 1978/79 se bombeó menos que en 1976/77, que fue un año más húmedo. De todas maneras sí debe quedar en claro, que estos años de altos volúmenes de bombeo para riego han sido años hidrológicamente secos.

El resumen de los volúmenes bombeados por cada tipo de demanda y el total bombeado en el sector Mal Paso-Copiapó se entrega en el Cuadro N° 8.16.

CUADRO N° 8-16VOLUMENES TOTALES BOMBEADOS ENEL SECTOR MAL PASO-COPIAPO

TIPO DE DEMANDA	VOL. BOMBEADO Mm ³ /año
Agua Potable	9.56
Industria y Minería	5.07
Riego	0.49

T O T A L 15.12

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° 8.17 se presenta los resultados del Balance Hídrico.

CUADRO N° 8-17BALANCE HIDRICO ANUAL PARA EL EMBALSE SUBTERRANEO
DEL SECTOR COPIAPO-PIEDRA COLGADA

FACTOR	VOLUMEN (Mm ³)
<u>Entradas</u>	
Recarga Lateral	8.52 (270 l/s)
Inf. Canales Matrices	5.32
Inf. Canales Secundarios	5.1
Inf. Riego	5.3
Inf. Pérdidas A. Potable	1.45
TOTAL	25.69
<u>Salidas</u>	
Descarga Lateral	16.6
Evaporación y Evapotranspiración	1.5
Vertientes	6.24
Bombeo A.P.	9.56
Bombeo Industrial	5.07
Bombeo Riego	0.49
T O T A L	39.46
<u>Variación de Almacenamiento</u>	
Calculada	- 13.77
Observada (aprox.)	0.0

8.4. Discusión de los Resultados

Como se ve, existe una diferencia entre las variaciones de almacenamiento observada y calculada. Esto significa que uno o varios factores de recarga y descarga están mal estimados.

Ahora bien, se debe tener en cuenta el grado de precisión con que se trabajó para obtener el volumen correspondiente a cada factor, precisión que al final se ha traducido en un error en el cálculo de la variación de almacenamiento.

A continuación se discute los resultados obtenidos para cada uno de los factores que integran este balance, observando especialmente su incidencia en el resultado de éste.

En el cálculo de las entradas y salidas laterales el valor adoptado para la transmisividad es de gran incidencia en el resultado obtenido, es así como si en el cálculo de la descarga lateral se hubiera utilizado un valor de $T = 3000 \text{ m}^3/\text{día}/\text{m}$, el resultado de ésta habría disminuído de 16.6 a $10.1 \text{ Mm}^3/\text{año}$, disminuyendo la variación de almacenamiento de -17.77 a -7.27 Mm^3 .

Con respecto a las entradas laterales se debe hacer notar que sólo se cuantificó la entrada de aguas subterráneas por el valle de Copiapó desde el acuífero ubicado inmediatamente hacia aguas arriba. No considerándose el aporte de las quebradas laterales, en especial el de la quebrada de Paipote. Esta no fue cuantificada por falta de información y de hacerlo disminuiría la diferencia existente entre las variaciones de almacenamiento observadas y calculadas. En todo caso, basándose en las variaciones de la calidad química de las aguas subterráneas, este aporte se puede estimar, en $1,0 \text{ Mm}^3/\text{año}$.

Respecto a la infiltración desde canales matrices y red secundaria se debe tener en cuenta el grado de precisión con que se estimaron estos valores, especialmente en el caso de la red secundaria en que la información al respecto es muy escasa. Por último, se supone que el cálculo de la infiltración del riego está bien calculado, o por lo menos, la precisión con que se calculó es mejor que la de los otros términos.

- 62 -

Por otro lado, respecto a las salidas, ya se discutió el caso de las descargas laterales, y se considera que los volúmenes bombeados están bien calculados. Podría afinarse entonces mediante una disminución de las vertientes y/o evaporación y evapotranspiración.

Se debe tener en cuenta que en ambos valores pueden estar sobrevalorados. En especial si se considera que la descarga por vertientes se determinó basado en unos pocos aforos ^y tienen un error implícito. Por último en la determinación de la evaporación y evapotranspiración, los coeficientes de cultivos aplicados y las superficies ocupadas por cada tipo de vega pueden afinarse de manera de disminuir la diferencia obtenida en el resultado del balance.

ANEXO N°1

NIVELES ESTATICOS Y CONDUCTIVIDADES MEDIDOS EN DICIEMBRE DE 1986

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. CONDUCT.		C. TERRENO C. PIEZOM.	
				(m.)	(umhos/cm)	m.s.n.m.	m.s.n.m.
ZONA TIERRA AMARILLA - PAIPOTE							
2720-7010	C-1	Fund. Paipote P4	ENAMI N. 4			444.0	
	C-2	Fund. Paipote Florida	ENAMI Pozo Corfo	23.29		446.0	422.7
	C-3	Fund. Paipote Florida	ENAMI N. 3	22.44	1490.0	444.0	421.6
	C-4	Planta P. Aguirre Cerda	Cia. Min. Ojos del Salado	12.50		504.0	N.D.
	C-5	Fund. Paipote P1	ENAMI N.1 (Cop 26)			446.0	
	C-6	Chacra Alcaparrosa	Patricio Ascui	4.34	1360.0	479.0	474.7
	C-7	Fund. Paipote	ENAMI N.5	22.39		442.0	419.6
	C-8	Fdo. El Buitron	Belinop Sfeir	7.90	1380.0	468.0	460.1
	C-9	Fdo. Palermo	DGA - Obs.	8.47	900.0	496.0	487.5
	C-10	Tierra Amarilla A -Parque	Com. Nac. Sequia	8.35		496.0	487.7
	C-11	Tierra Amarilla B -Teram.	Com. Nac. Sequia	5.69	880.0	488.0	482.3
	C-12	El Crucero	Com. Nac. Sequia	11.83	1160.0	461.0	449.2
	C-13	Ojos del Salado	Planta P. Aguirre Cerda			505.0	
	C-14	Paipote Enami	ENAMI P.Cop. 30			446.0	
	C-15	Paipote Enami	ENAMI P.Cop. 29			455.0	
	C-16	Punta Negra	DGA - Obs.	23.45		443.0	419.6
	C-17	Alcaparrosa	DGA - Obs.	7.95		468.0	460.1
	C-18	Parque Tierra Amarilla	Cia. Minera San Jose			495.0	
	C-19	Paipote Enami	ENAMI P.Cop. 28			455.0	
	C-20	Paipote Enami	ENAMI P.Cop. 24	23.57		445.0	421.4
	C-21	Fdo. Vinita	Coop. Minera Agustina				

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.	CONDUCT.	C. TERRENO	C. PIEZOM.
				(m.)	(umhos/cm)	m.s.n.m.	m.s.n.m.
ZONA SAN FERNANDO - COPIAPO							
2720-7010	A-1	Plazuela Sierralta	DOS 74				406.6
	A-2	Plazuela Sierralta	DOS 75				407.0
	A-3	Plazuela Sierralta	DOS 202				404.5
	A-4	Plazuela Sierralta	DOS 203				405.0
	A-5	Plazuela Sierralta	DOS 285				
	A-6	Pueblo S. Fernando	Comunidad San Fernando	23.91			427.0 403.1
	A-7	Pueblo S. Fernando	Comunidad San Fernando	24.01	1380.0		427.0 403.0
	A-8	Coop. Agr. S. Fdo.	DGA - Obs.	25.39			429.0 403.6
	A-9	Fdo. Vinita S. Fdo.	Angel Revello	16.00	1320.0		419.0 403.0
	A-10	Chacra Villa Angela	Oswaldo Pellegrini	24.02			427.0 403.0
	A-11	Pueblo S. Fernando	Comunidad San Fernando	21.44			425.0 403.6
	A-12	Parcela S. Miguel	Victorio Ghiglino	15.21			428.0 412.8
	A-13	Parcela Sr. Newmann	Sr. Newmann	8.02	2800.0		398.0 390.0
	A-14	Parque El Pretil	Municip. de Copiapo				404.0
	A-15	Plazuela Sierralta	DOS 743	10.09			406.5 396.4
	A-16	Plazuela Sierralta	DOS 744				
	A-17	Pueblo S. Fernando	DGA - Obs.	27.70			435.0 407.0
	A-18	Pueblo S. Fernando	DGA - Obs.	18.89			421.0 402.1
	A-19	Plazuela Sierralta	DOS 745				405.0
	A-20	Plazuela Puren	Martin Romero				431.0
	A-21	Qda. Paipote	ENAMI Cop 31				440.0
	A-22	Qda. Paipote	ENAMI Cop 32				439.0
	A-23	Qda. Paipote	ENAMI Cop 33				435.0
	A-24	Panamericana Sur	SENDOS - Rec. A.P. Rosario				388.0
	A-25	Cruce Paipote	Pascual Ghiglino				439.0
	A-26	Fdo. Santa Isabel	M. Vergara y P. Bustamante				443.0
	A-27	Callejon El Inca	A. Versalovic				405.0
	A-28	Fdo. Vinita Blanca	Coop. Minera Agustina	21.76			428.0 406.2
	A-29	Prop. Versalovic	Com. San Fernando				415.0
	A-30	Vinita Azul	Juan Callegari	12.60	1050.0		407.0 394.4
	A-31	Vinita Azul	Juan Marco	9.58	1320.0		402.0 392.4
	A-32	Vinita Azul	Jorge Farah	9.07	1460.0		398.0 388.9
	A-33	Vinita Blanca	Hector R. Vallejos	15.30			416.0 400.7
	A-34	Recinto Militar	Regimiento Inf. N.23				
	A-35	Vinita Azul	Cesar Miranda	10.28	1960.0		402.0 391.7
	A-36	Copiapo - Calle Maipu	SENDOS	7.04	2200.0		382.0 375.0
	A-37	Placilla Sierralta	SENDOS N.6				405.0
	A-38	Placilla Sierralta	SENDOS N.746				405.0
	A-39	Placilla Sierralta	SENDOS N.1515				404.0
	A-40	Callejon Ricardo Vallejo	Soc. Minera Indiana	13.85	1010.0		415.0 401.2
	A-41	Vinita El Datil	Octavio Vallejos	8.82	2170.0		409.0 N.D.
	A-42	Rec. A.P. Vicuna	SENDOS N.1793				395.0
	A-43	Rec. A.P. Vicuna	SENDOS N.1794	-0.33			386.0 386.3
	A-44	Rec. A.P. Vicuna	SENDOS N.1795	8.16			394.0 385.8
	A-45	Rec. A.P. Vicuna	SENDOS N.1796				386.0

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.
A-46	Rec. A.P. Vicuna	SENDOS N.1797				393.0	
A-47	Parcela 121 San Fernando	Mario Godoy		15.46	3500.0	419.0	403.5
A-48	Planta Castellon	Marcelo Castellon		10.87	1900.0	396.0	N.D.

ANEXO N*2

ANALISIS QUIMICOS EMPLEADOS EN EL ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA

BOMA: NANTOCO

POZO: 27°20' - 70°10' A-9

FECHA	CONDUCTIVIDAD	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ ⁻² (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	CO ₂ (mg/l)
16.6.69	1478	224,40	67,71	357,82	184,77	41,71	6,26	104,37	0,00

BOMA: TIERRA AMARILLA

POZO: 27°20' - 70°10' C-4

FECHA	CONDUCTIVIDAD	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ ⁻² (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	CO ₂ (mg/l)
16.5.69	1534	413,10	69,48	385,20	175,18	54,96	6,47	116,79	0,00
11.9.71	1437	146,84	69,48	499,51	161,10	58,37	2,52	88,06	38,10
6.7.78	1295	85,42	67,34	499,61	63,13	67,12	4,69	124,15	0,00

BOMA: TIERRA AMARILLA

POZO: 27°20' - 70°10' C-B

FECHA	CONDUCTIVIDAD	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ ⁻² (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	CO ₂ (mg/l)
21.6.69	1283	345,98	57,43	277,61	162,91	53,02	3,91	101,62	0,00
14.9.71	1218	220,93	59,20	465,89	162,72	38,67	4,69	89,66	0,00
10.7.78	1275	103,73	64,16	540,33	56,11	82,05	4,69	117,71	0,00

ALAMOS Y PERALTA

INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

Proyectista:	Fecha	Hoja 1 de 7
Obra:	Proyecto	Número
Materia:	Control	

ZONA: TIERRA AMARILLA

POSO: 27° 20' - 70° W' C-10

FECHA	CONDUCTIVIDAD	HCO ₃ (ug/l)	Cl (ug/l)	SO ₄ (ug/l)	Ca (ug/l)	Mg (ug/l)	K (ug/l)	Na (ug/l)	CO ₃ (ug/l)
11.9.71	1280	129,97	55,66	437,07	153,31	46,94	3,13	68,97	51,00
22.3.73	1310	221,50	62,39	417,86	131,06	40,49	3,52	60,85	0,00
7.12.78	1096	105,43	57,43	445,24	60,72	53,63	3,91	114,95	0,00

ZONA: TIERRA AMARILLA

POSO: 27° 20' - 70° W' C-11

FECHA	CONDUCTIVIDAD	HCO ₃ (ug/l)	Cl (ug/l)	SO ₄ (ug/l)	Ca (ug/l)	Mg (ug/l)	K (ug/l)	Na (ug/l)	CO ₃ (ug/l)
11.6.70	1220	258,12	65,58	367,43	136,07	46,45	6,65	56,56	0,00
15.5.78	1237	122,04	59,20	460,52	41,48	90,84	3,52	109,83	12,00

ZONA: TIERRA AMARILLA

POSO: 27° 20' - 70° W' C-12

FECHA	CONDUCTIVIDAD	HCO ₃ (ug/l)	Cl (ug/l)	SO ₄ (ug/l)	Ca (ug/l)	Mg (ug/l)	K (ug/l)	Na (ug/l)	CO ₃ (ug/l)
12.5.78	1292	146,45	69,54	490,39	66,53	68,93	3,52	126,45	0,00

ALAMOS Y PERALTA

INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

Proyectista:	Fecha	Hoja 2 de 7
Obra:	Proyecto	Número
Materia:	Control	

ZONA: TIERRA AMARILLA

POB: 27°20' - 70°40' C-14

FECHA	CONDUCTIVIDAD	HCO ₃ (ug/l)	Cl (ug/l)	SO ₄ (ug/l)	Ca (ug/l)	Mg (ug/l)	K (ug/l)	Na (ug/l)	CO ₃ (ug/l)
16.5.69	1339	369,17	60,97	261,20	129,26	59,34	5,47	106,90	0,00
11.9.71	1260	93,97	34,74	499,51	131,46	44,38	3,13	87,36	38,10
12.5.78	1305	280,70	82,00	500,50	170,30	32,00	3,52	133,50	0,00

ZONA: TIERRA AMARILLA

POB: 27°20' - 70°40' C-20

FECHA	CONDUCTIVIDAD	HCO ₃ (ug/l)	Cl (ug/l)	SO ₄ (ug/l)	Ca (ug/l)	Mg (ug/l)	K (ug/l)	Na (ug/l)	CO ₃ (ug/l)
6.2.69	1890	265,44	60,62	334,77	168,74	41,59	5,47	98,86	0,00

ALAMOS Y PERALTA

INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

Proyectista:	Fecha	Hoja 3 de 7
Obra:	Proyecto	Número
Materia:	Control	

ZONA: SAN FERNANDO
POZO: 27°20' - 70°10' A-5

FECHA	CONDUCTIVIDAD	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ ⁻² (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	CO ₂ (mg/l)
29.5.73	1512	186,72	116,28	533,13	141,28	53,63	3,91	139,55	0,00
15.5.78	1736	97,63	92,17	720,45	149,70	65,54	3,91	159,78	0,40
9.12.80	1830	244,08	94,30	520,25	158,32	57,03	8,99	111,72	0,00

ZONA: SAN FERNANDO
POZO: 27°20' - 70°10' A-6

FECHA	CONDUCTIVIDAD	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ ⁻² (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	CO ₂ (mg/l)
22.5.69	1311	376,88	62,39	403,45	156,11	71,38	3,91	103,90	0,00
22.3.73	1282	189,77	58,85	384,24	120,24	21,89	3,52	97,71	0,00
12.5.78	1296	170,86	72,67	500,97	66,53	68,83	4,30	126,45	0,00
11.1.79	1229	116,94	62,39	435,53	50,10	83,78	4,69	128,97	0,00
10.9.80	1321	79,23	55,66	490,38	82,56	58,49	8,99	73,11	0,00

ZONA: SAN FERNANDO
POZO: 27°20' - 70°10' A-24

FECHA	CONDUCTIVIDAD	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ ⁻² (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	CO ₂ (mg/l)
3.5.82	1444	290,46	53,88	447,64	147,09	43,29	3,91	102,54	0,00

ALAMOS Y PERALTA

INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

Proyectista:	Fecha	Hoja 4 de 7
Obra:	Proyecto	Número
Materia:	Control	

ZONA: SAN FERNANDO
 POZO: 27°20' - 70°00' A-13

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)
15.5.78	3464	97,63	171,68	1840,99	166,13	240,77	7,43	395,43	6,00

ZONA: SAN FERNANDO
 POZO: 27°20' - 70°00' A-19

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)
16.5.69	1618	419,82	83,31	635,53	175,35	63,02	6,47	142,08	0,00
14.9.71	1717	136,87	90,04	614,78	354,98	60,69	4,69	137,94	0,00
20.7.82	SIX	260,00	147,00	950,00	313,00	41,80	7,75	220,25	0,00

ZONA: SAN FERNANDO
 POZO: 28°20' - 70°00' A-26

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)
27.9.79.	9550	457,65	1465,86	2352,01	264,53	602,26	46,09	1446,37	0,00

ALAMOS Y PERALTA

INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

Proyectista:	Fecha	Hoja 6 de 7
Obra:	Proyecto	Número
Materia:	Control	

ZONA: SAN FERNANDO
 POZO: 29°20' - 70°W1 A-36

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)
23.7.82	S/I	276,00	101,00	800,00	229,00	56,20	3,15	200,85	0,00

ZONA: SAN FERNANDO
 POZO: 29°20' - 70°W1 A-38

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)
19.7.82	S/I	260,00	81,80	660,00	201,00	49,40	2,20	167,80	0,00

ZONA: SAN FERNANDO
 POZO: 27°20' - 70°W1 A-39

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)
19.7.82	S/I	220,00	170,00	940,00	296,00	60,20	5,00	220,00	0,00

ALAMOS Y PERALTA

INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

Proyectista:	Fecha	Hoja 7 de 7
Obra:	Proyecto	Número
Materia:	Control	

ANEXO 3: VALORES DE CAUDAL ESPECIFICO Y TRANSMISIVIDADES.

CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DEL EMBALSE SUBTERRANEO

COORDENADA	Nº	PREDIO	CAUD.ESP. (l/s/m)	CAUDAL BOMBEO (l/s)	HABILIT. HASTA (m)	ESP.TOTAL ACUIFERO (m)	ESP.SAT POZO (m)	ESP.SAT ACUIFERO (m)	TRANSMISIVIDAD ADOPTADA (m ³ /dia/m)
SECTOR MALPASO - COPIAPO									
ZONA TIERRA AMARILLA - PAIPOTE									
2720-7010	C-1	Fund. Paipote P4	3.8	29.2	36.3	190.0	9.3	163.0	6.800
	C-2	Fund. Paipote Florida		25.0	40.4	180.0	14.7	154.3	
	C-3	Fund. Paipote Florida	25.0	50.0	41.8	180.0	18.8	157.0	20.000
	C-4	Planta P. Aguirre Cerda	35.2	13.0	34.4	180.0	19.9	165.5	10.500
	C-5	Fund. Paipote P1	7.7	45.0	45.8	180.0	16.9	151.1	7.000
	C-6	Chacra Alcaparrosa				280.0		280.0	
	C-7	Fund. Paipote	4.9	47.0	60.2	180.0	18.3	138.1	4.400
	C-8	Fdo. El Buitron	16.0	80.0	42.9	290.0	31.2	278.3	14.400
	C-9	Fdo. Palermo			16.1	200.0	7.3	191.2	
	C-10	Tierra Amarilla (Parque)	12.6	108.0	46.5	300.0	34.5	288.0	11.300
	C-11	Tierra Amarilla(Teravaki)	12.5	108.0	53.0	240.0	41.0	228.0	9.400
	C-12	El Crucero	3.3	50.0	50.0	260.0	36.0	246.0	2.900
	C-13	Ojos del Salado				150.0		150.0	
	C-14	Paipote Enami	13.9	30.0	48.0	150.0	14.2	116.2	13.900
	C-15	Paipote Enami	2.4	17.0	65.0	180.0	17.2	132.2	2.500
	C-16	Punta Negra			42.5	180.0	12.5	150.0	
	C-17	Alcaparrosa			25.0	280.0	11.1	266.1	
	C-18	Parque Tierra Amarilla	7.4	20.0	50.0	310.0	29.5	289.5	8.200
	C-19	Paipote Enami				180.0		180.0	
	C-20	Paipote Enami				180.0		180.0	
	C-21	Fdo. Vinita				210.0		210.0	

CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DEL EMBALSE SUBTERRANEO

COORDENADA	Nº	PREDIO	CAUD.ESP. (l/s/m)	CAUDAL BOMBEO (l/s)	HABILIT. HASTA (m)	ESP.TOTAL ACUIFERO (m)	ESP.SAT POZO (m)	ESP.SAT ACUIFERO (m)	TRANSMISIVIDAD ADOPTADA (m ³ /dia/m)
ZONA SAN FERNANDO - COPIAPO									
2720-7010	A-1	Plazuela Sierralta	7.0	18.0	33.5	480.0	24.0	470.5	13.100
	A-2	Plazuela Sierralta	6.8	13.7	44.5	520.0	35.2	510.7	11.100
	A-3	Plazuela Sierralta	3.7	40.0	38.0	480.0	27.4	469.4	10.500
	A-4	Plazuela Sierralta	1.6	17.0	39.4	480.0	29.5	470.1	3.000
	A-5	Plazuela Sierralta	0.5	8.0	32.8	520.0	22.4	509.6	1.350
	A-6	Pueblo S. Fernando	43.7	105.0	70.0	290.0	42.1	262.1	12.000
	A-7	Pueblo S. Fernando			35.4	280.0	7.5	252.1	
	A-8	Coop. Agr. S. Fdo.	7.3	58.0	78.0	280.0	48.5	250.5	5.200
	A-9	Fdo. Vinita S. Fdo.	5.2	40.0	35.0	300.0	14.4	279.4	10.400
	A-10	Chacra Villa Angela	18.3	55.0	51.0	240.0	24.0	213.0	17.500
	A-11	Pueblo S. Fernando	60.6	105.0	64.8	290.0	39.6	264.8	16.500
	A-12	Parcela S. Miquel	4.9	47.0	48.0	90.0	17.3	59.3	3.000
	A-13	Parcela Sr. Newmann				440.0		440.0	
	A-14	Parque El Pretel	27.2	60.0	37.0	520.0	30.7	513.7	20.000?
	A-15	Plazuela Sierralta	6.0	110.0	100.0	480.0	88.5	468.5	4.200
	A-16	Plazuela Sierralta			103.2	480.0		480.0	
	A-17	Pueblo S. Fernando			47.5	240.0	18.1	210.6	
	A-18	Pueblo S. Fernando			28.8	380.0	8.4	359.6	
	A-19	Plazuela Sierralta	47.0	70.0	104.4	480.0	84.5	460.1	10.500
	A-20	Plazuela Puren				100.0		100.0	
	A-21	Qda. Paipote	56.0	65.0	70.0	220.0	27.6	177.6	15.000
	A-22	Qda. Paipote	23.8	66.0	71.0	220.0	30.0	179.0	6.400
	A-23	Qda. Paipote	40.5	60.0	71.0	220.0	34.5	183.5	10.800
	A-24	Panamericana Sur				390.0		390.0	
	A-25	Cruce Paipote				230.0		230.0	
	A-26	Fdo. Santa Isabel	20.5	70.0	74.0	210.0	33.4	169.4	5.500
	A-27	Callejon El Inca				240.0		240.0	
	A-28	Fdo. Vinita Blanca				230.0		230.0	
	A-29	Prop. Versalovic	10.2	52.0	41.4	550.0	17.1	525.7	20.000?
	A-30	Vinita Azul	19.4	70.0	60.0	550.0	37.1	527.1	20.000?
	A-31	Vinita Azul				490.0		490.0	
	A-32	Vinita Azul				480.0		480.0	
	A-33	Vinita Blanca	2.1	40.0	70.0	400.0	42.0	372.0	2.400
	A-34	Recinto Militar	1.1	22.0	42.0	230.0	31.5	219.5	1.000
	A-35	Vinita Azul				540.0		540.0	
	A-36	Copiapo - Calle Maipu	1.1	32.0	60.0	150.0	52.0	142.0	600
	A-37	Placilla Sierralta	12.7	77.0	56.5	480.0	40.0	463.5	16.200
	A-38	Placilla Sierralta	16.7	60.0	37.6	480.0	17.6	460.0	20.000?
	A-39	Placilla Sierralta	7.8	70.0	85.0	480.0	66.5	461.5	5.700
	A-40	Callejon Ricardo Vallejo				360.0		360.0	
	A-41	Vinita El Datil				470.0		470.0	
	A-42	Rec. A.P. Vicuna	9.2	70.0	70.0	450.0	62.1	442.1	8.800
	A-43	Rec. A.P. Vicuna				440.0		440.0	
	A-44	Rec. A.P. Vicuna	4.9	60.0	70.0	440.0	60.7	430.7	4.500

CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DEL EMBALSE SUBTERRANEO

COORDENADA	N*	PREDIO	CAUD.ESP. (l/s/m)	CAUDAL BOMBEO (l/s)	HABILIT. HASTA (m)	ESP.TOTAL ACUIFERO (m)	ESP.SAT POZO (m)	ESP.SAT ACUIFERO (m)	TRANSMISIVIDAD ADOPTADA (m ³ /dia/m)
A-45	Rec. A.P.	Vicuna	20.2	70.0	60.0	440.0	59.3	439.3	6.000
A-46	Rec. A.P.	Vicuna	10.1	50.0	66.5	430.0	58.2	421.7	9.000
A-47	Parcela 121	San Fernando				290.0		290.0	
A-48	Planta	Casteillon	7.4	17.0		440.0		429.5	
A-49	Villa La Selva					340.0		340.0	