

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 5

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DETALLADO DEL SECTOR :

LA PUERTA MAL PASO

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 5
ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DETALLADO DEL SECTOR
LA PUERTA - MALPASO

INDICE

	Página
1. INTRODUCCION	1
2. OBJETO DEL ESTUDIO	2
3. GEOLOGIA	3
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 Escurrimiento 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	21
6.3.1 Antecedentes Empleados	21
6.3.2 Metodología de Análisis	22
6.3.3 Presentación de Resultados	22
6.4 Calidad Química	23
6.4.1 Antecedentes Empleados	23
6.4.2 Metodología de Análisis	23
6.4.3 Presentación de Resultados	24
6.4.4 Posibles Usos del Agua	26
7. FUNCIONAMIENTO DEL EMBALSE SUBTERRANEO	28
7.1 Entradas de Agua al Acuífero	28
7.2 Salidas de Agua desde el Acuífero	30
8. BALANCE HIDRICO DEL EMBALSE SUBTERRANEO	33
8.1 Entradas de Agua al Acuífero	33
8.2 Salidas de Agua desde el Acuífero	47
8.3 Balance Hídrico	53
8.4 Discusión de Resultados	55

INDICE

	Página
ANEXO 1 : Niveles Estáticos y Conductividades Medidos en Diciembre de 1986 y Enero de 1987	58
ANEXO 2 : Análisis Químicos Empleados en el Estudio de la Calidad del Agua	62
ANEXO 3 : Valores de Caudal Específico y Transmisividades	67

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

1. INTRODUCCION

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

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

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

2. OBJETO DEL ESTUDIO

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

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 La Puerta y Mal Paso, de manera de conocer su relación con la existencia de unidades hidrogeológicas capaces de almacenar y transmitir el agua subterránea y constituir acuíferos de importancia en el área.

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

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

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

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

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 Sedimentós.

3.1.1. Roca Fundamental

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

- Granodiorita (principalmente) del Batolito Andino. Aflora en el valle del Copiapó, en las cercanías del sector estudiado, en las proximidades de La Puerta.

- Formación Cerrillos, constituida por conglomerados, algunos con intercalaciones de arenisca en la mitad inferior. Aflora en dos franjas en este sector del valle de Copiapó, separadas éstas por las rocas de la Formación Hornitos.

- Formación Hornitos, compuesta por rocas tobaceas ignimbríticas, conglomerado arenoso con lentes de areniscas y yeso, flujos de ceniza silíceas y lavas. Aflora en la localidad de Hornitos.

Le sigue hacia aguas abajo, nuevamente rocas de la Formación Cerrillos.

En la localidad de Viñita y Potrero Seco, existe un pequeño afloramiento de la granodiorita del Batolito Andino.

- Formaciones Totoralillo y Pabellón, conformadas por limolitas calcáreas de grano fino y calizas. Afloran en las localidades de igual nombre.

Entre estas localidades indicadas, aflora en una corta distancia, a modo de una franja angosta, un pórfido granítico intrusivo.

- Formaciones Abundancia y Nantoco, que corresponden a calizas y rocas clásicas. Aflora desde poco aguas abajo de Totoralillo y hasta más abajo de Mal Paso hasta Tierra Amarilla.

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

3.1.2. Sedimentos

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

- Sedimentos Antiguos (SA): Corresponden a los remanentes de los que ha definido precedentemente como Gravas de Atacama. Afloran en este sector sólo en la parte baja, próximo a Mal Paso. Son especialmente relevantes 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. Se les ha denominado en la nomenclatura utilizada en el Plano N° 2 como TA.

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.

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.

- 6 -

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

Su característica morfológica mas 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, denominada 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). Son mayormente abundantes sobre la roca fundamental. Es la unidad sedimentaria que más se detecta en superficie, junto a la llanura aluvial.

Por otra parte, se interdigitan en su extremo distal con los sedimentos que se depositan en la llanura aluvial del río Copiapó.

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

- 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.

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.

- 7 -

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 más relevante en este sector del valle, tanto por su extensión, como por su importancia hidrogeológica.

Corresponde al fondo relativamente plano del valle del río Copiapó, y la quebrada de Nantoco, uno de los principales tributarios del Copiapó en el sector.

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 de 2 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.

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° 59 al N° 113, es decir, 54 sondeos, distribuidos en 26 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 La Puerta hasta Potrero Seco, aumentando en el área de Nantoco.

El fondo del valle visto en el perfil longitudinal del Plano N° 4, muestra la existencia de una falla probable en el sector poco aguas arriba de Hornitos, la que habría generado probablemente un graben que correspondería a la mayor profundidad del área 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.

Debe tenerse presente, por otra parte, que existe una profundidad importante del basamento rocoso también en el área de Nantoco.

La cota del basamento en el sector de Hornitos es de más de 450 metros sobre el nivel del mar, siendo la cota del terreno de 750 m.s.n.m. Esto representa un es

- 9 -

pesor del relleno sedimentario del orden de 300 metros para el área.

En Nantoco, la cota del basamento rocoso es de más de 170 metros sobre el nivel del mar, siendo la cota del terreno de 550 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 380 metros.

La mayoría de los sondeos construidos en el sector, permiten reconocer la existencia de una interestratificación de sedimentos gruesos del tipo bolones, riopios 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	μ/m
UNIDAD 2	100 a 200	μ/m
ROCA	1000	μ/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 pudiese 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 sondajes 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° 30'-70° 10' B-2	Qda. Cerrillos	63.50
27° 30'-70° 10' A-7	Cerrillos	83.00

- 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° 4.1. 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 Rocoso (Plano N° 3), como también las curvas Isópacas (Plano N° 5). Estas curvas permiten en conjunto con los perfiles geológicos entregados en el Plano N° 4, establecer las características geométricas del embalse subterráneo en este sector del valle del río Copiapó.

4.3. Interpretación Hidrogeológica de los Resultados

Las conclusiones hidrogeológicas más importantes que se puede obtener de las características geométricas del embalse subterráneo que existe en el valle del Copiapó desde La Puerta hasta Mal Paso, 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 Hornitos y Quebrada Buenos Aires y en Nantoco hasta Totoralillo. En Pabellón el espesor disminuye a poco más de 100 metros, generando un umbral rocoso.
- g) En La Puerta, límite superior de este sector del valle del Copiapó, se presenta el menor espesor de sedimentos en la llanura aluvial. Se advierte en ambos lados del valle la presencia de la roca del basamento impermeable y de acuerdo a las curvas de isoespesor de sedimentos o isópacas, el espesor en es

ta localidad sería inferior a los 100 metros.

-) El espesor mayor de sedimentos saturados se encuentra en la localidad de Hornitos, con un valor del orden de 520 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 conocer los 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 La Puerta y Mal Paso sólo se cuenta con tres 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 en la Hidrogeología General del Valle. Además se tiene 6 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 33 pozos, 11 en el sector de Elisa de Bordoso, 9 en el sector de Pa bellón, 5 en el sector de Quebrada Cerrillos y 10 en el sector de Nantoco.

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° 3a y 3b. En ellas se observa que, en general, los caudales específicos y transmisividades son más bien altos. En especial, en el sector comprendido entre el sector de Nantoco y la zona de Jotabeche se tiene transmisividades de hasta 15000 y 20000 ($m^3/día/m$). Esta misma situación se repite en la zona de Elisa de Bordos en la cual se tiene transmisividades de hasta 20000 ($m^3/día/m$). Por otro lado, las transmisividades de los sectores comprendidos entre los anteriormente nombrados son menores, con valores comprendidos entre 1000 y 5000 ($m^3/día/m$).

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

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

Volumen Embalsado

Basándose en el plano de isopacas se ha determinado el volumen total de relleno del acuífero, el que para este sector alcanza un valor de 4848 Mm³. Ahora bien,

debido a que el coeficiente de almacenamiento se ha determinado en un 10%, el volumen total embalsado en este sector es de 485 Mm³.

6. CARACTERISTICAS DE LA NAPA

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

6.1 Profundidad del Nivel Estático

6.1.1 Antecedentes Empleados

Para conocer la profundidad del nivel estático se realizó una corrida de mediciones en terreno en Enero de 1987. En esta corrida se controló el nivel de 25 pozos y norias ubicados entre la estación fluviométrica de La Puerta y la bocatoma del canal Malpaso. 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 3a y 3b, denominado Isopropundidad del Nivel Estático. Allí se observa que, para Enero de 1987, los niveles del sector La Puerta - Malpaso se presentan entre 0 y 40 metros de profundidad. Analizado por sectores se tiene lo siguiente:

- Aguas abajo de La Puerta, donde la napa subterránea está bastante superficial, los niveles se profundizan gradualmente hasta llegar a los 35 metros en la zona de Hornitos.
- Siguiendo el curso del río se llega a Elisa de Bordos, donde los niveles se hacen progresivamente más superficiales hasta llegar a 15 metros bajo el nivel de terreno. Luego sigue la zona de Villa María con una nueva profundización gradual hasta llegar a los 33 metros en el fundo Niágara, inmediatamente antes de la estación Pabellón.
- En Pabellón y Jotabeche los niveles se encuentran entre 25 y 30 metros de profundidad, los que se hacen bruscamente superficiales al llegar al fundo Alianza, aguas arriba de la Quebrada Cerrillos, donde se tiene la napa sólo entre 5 y 10 metros bajo el terreno.
- En la zona de Cerrillos, Nantoco y Malpaso se tiene niveles bastante superficiales, dándose 5 metros como el nivel más profundo. En este sector se desarrolla una amplia zona de vegas en las vecindades del río.

6.2 Superficie Piezométrica y Sentido de Escorrimento de las Aguas Subterráneas

6.2.1 Antecedentes Empleados

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

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

6.2.2 Metodología de Análisis

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

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

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

6.2.3 Presentación de los Resultados

Los resultados obtenidos se presentan en el Plano N°7, Láminas 3a y 3b. 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:

- Casi en todo el sector La Puerta - Malpaso se tiene un gradiente parejo entre 0,8 ‰ y 1,1 ‰ .

- Se exceptúan los tramos La Puerta - Hornitos con 1,7 ‰, la zona de Elisa de Bordos con 0,5 ‰ y el fundo Alianza con 0,2 ‰ .

- Cabe destacar la singularidad que se observa en el fundo Alianza, justo aguas arriba de la Quebrada Cerrillos, donde bruscamente se tiene un gradiente de sólo 0,2 ‰, luego de existir, aguas arriba de esta zona, un largo trecho con gradiente cercano al 1 ‰ .

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 La Puerta - Malpaso se cuenta actualmente con 6 de estos piezómetros, que se han medido desde 1974 hasta hoy, salvo entre Febrero de 1977 y Enero de 1979. Ocasionalmente se descubre algún punto de control con registros más amplios, como el del pozo clasificado por 2730 - 7010 A-1, ubicado en la zona de Nantoco, que abarca casi completo el período 1966 - 1986, y el del pozo 2730 - 7010 A3, junto a la bocatoma del canal Malpaso, que cubre el período 1970 - 1986.

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 3a y 3b. En él se observa lo siguiente:

- Los 4 piezómetros del tramo Hornitos - Pabellón reaccionan de manera similar, coincidiendo no sólo en las épocas en que se han dado los niveles extremos sino también en la forma de los limnigramas.

Los niveles máximos se dan entre fines de 1984 y mediados de 1985, mientras que los mínimos se presentan en 1980. Las amplitudes entre máximos y mínimos oscilan entre 30 y 35 metros.

Debe dejarse en claro que los comentarios anteriores son válidos sólo para el período en que se extienden estos registros, que parte en 1974.

- Los pozos que se controlan en la zona Nantoco - Malpaso tienen un comportamiento bastante diferente. No obstante también se cumple que los máximos niveles se dan en 1984 o 1985, en tanto que para los mínimos no hay suficiente información.

6.4 Calidad Química

6.4.1 Antecedentes Empleados

Para el estudio de la calidad química de las aguas subterráneas se ha contado con un conjunto de análisis químicos, realizados por la DGA en la zona ubicada entre La Puerta y Malpaso. Los análisis se han hecho en forma esporádica y con las aguas de 8 pozos, sin que exista un programa de control de calidad química.

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

Esta información se ha complementado con una campaña de terreno hecha en Enero de 1987 donde se ha medido la conductividad eléctrica de las aguas de 23 pozos.

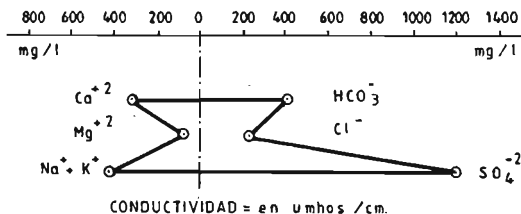
6.4.2 Metodología de Análisis

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

- 24 -

conocer la calidad del agua para regadío, se ha incluido la concentración del boro y la clasificación del USSL de las aguas para cultivo, que se basa en los valores que el agua presenta para la conductividad y el SAR, un parámetro denominado Razón de Absorción de Sodio.

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



Una vez dibujados los Diagramas de Stiff, se han puesto en planos escala 1:10000 con la ubicación de los pozos correspondientes. Este esquema permite visualizar con claridad, mediante los cambios de forma del diagrama, las variaciones espaciales y temporales de los distintos parámetros analizados.

6.4.3 Presentación de los Resultados

Los resultados obtenidos se presentan en los Planos N°11 y N°12, Láminas 3a y 3b, que contienen respectivamente los Diagramas de Stiff y los datos de Conductividades medidas en Enero de 1987. El Plano de Conductividades muestra que en el sector La Puerta-Mal Paso los valores más comunes se encuentran en el rango 700 - 1000 (umhos/cm), con un promedio cercano a los 900 (umhos/cm).

- 25 -

Algunas norias de la zona de Nantoco presentan conductividades extrañamente altas o bajas, que no se han considerado.

Los valores de la conductividad se distribuyen en forma bastante aleatoria en el área, aunque tienden a ser relativamente parejos. Esto ocurre en forma similar con la concentración de las distintas especies iónicas.

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

- El sulfato varía normalmente entre 300 y 600 (mg/l), con un valor medio cercano a los 500 (mg/l), y valores extremos de 257 y 852 (mg/l). Es importante destacar el hecho de que todos los pozos de la zona exceden, sin excepción, la norma de potabilidad, en lo que respecta al sulfato.

- El cloruro y magnesio fluctúan relativamente poco, el primero con un valor medio cercano a los 90 (mg/l), y el magnesio con un promedio aproximado de 80 (mg/l). Los valores extremos son 48 y 131 (mg/l), y 30 y 128 (mg/l) respectivamente.

- El bicarbonato presenta concentraciones variables entre 97 y 426 (mg/l), y en general se encuentra en cantidades próximas a los 250 (mg/l).

- El calcio se encuentra en concentraciones que van entre 29 y 448 (mg/l). Generalmente los valores son cercanos a los 100 o 200 (mg/l) y no exceden la norma de potabilidad. La excepción la constituye el pozo 2730-7010 A-6 cuyas aguas tienen un contenido de 448 (mg/l).

- El potasio no será considerado en la descripción de la calidad química del valle, por presentar concentraciones que habitualmente no superan la decena de (mg/l). En cuanto al sodio, presenta valores entre 82 y 200 (mg/l), con un promedio cercano a los 150 (mg/l).

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

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

El sector La Puerta-Mal Paso presenta, normalmente, aguas clasificadas, según la nomenclatura del USSL, como C3-S1, es decir, con alto peligro de salinidad y bajo peligro de sodificación. Los contenidos de boro en el agua son más o menos constantes, variando la concentración entre 2,32 y 3,46 (ppm). Los contenidos más bajos se producen en las aguas de los pozos del sector de Elisa de Bordos, en tanto los más altos en sectores aledaños a los pozos 2730-7010 A-1 y A-2 de Nantoco.

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 Riego

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 La Puerta-Mal Paso se clasifican como altamente salinas, debido a que tienen, en general, valores de la conductividad sobre 750 (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. No obstante las conductividades encontradas, en promedio cercanas a los 900 (umhos/cm), escasamente superan el límite inferior de clasificación de las aguas altamente salinas y se encuentran muy lejanas al límite superior de 2250 (umhos /cm). Esto autoriza a decir que la situación se parece más a la de aguas medianamente salinas, caso en el cual no son necesarias prácticas especiales para el control de la salinidad cuando los cultivos son moderadamente tolerantes a las sales. 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. Pese a ello, los cultivos tradicionalmente desarrollados en la zona, han demostrado ser aptos para ser regados con dichas aguas.

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 del Acuífero

Estas se producen básicamente por cinco conceptos; que son:

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

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:

LA PUERTA - MAL PASO

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

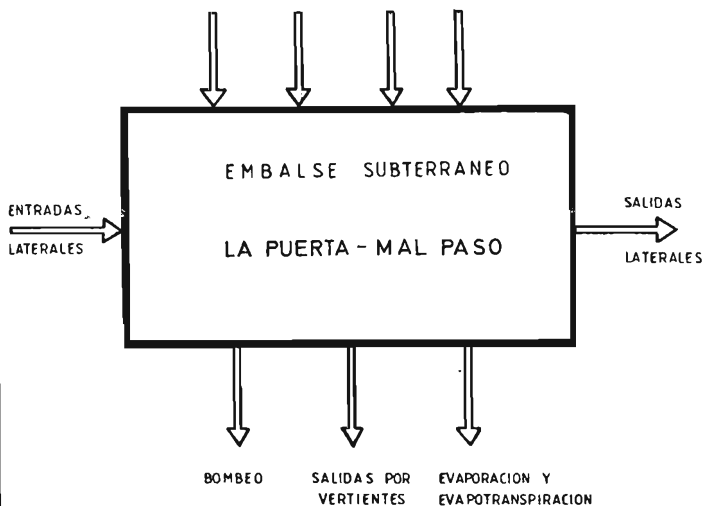


FIGURA 7.1

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 Cerrillos la que debería aportar un caudal relativamente pequeño.

b) Infiltraciones Riego

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

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

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

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

c) Infiltraciones del río Copiapó

Como se analizó en el capítulo anterior, constituyen, junto con las infiltraciones de regadío, la principal fuente de recarga del acuífero.

Tal como se expresara anteriormente, el río puede infiltrar prácticamente a lo

- 30 -

largo de todo el área en estudio, debido tanto a los niveles de la napa más profundas que el agua en el río como a la limpieza del cauce y sus aguas, que producen una buena comunicación hidráulica del río con el acuífero.

d) Infiltraciones Directas de Lluvias

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

1.2. 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, sólo el sector de Nantoco tiene niveles estáticos altos, los que varían significativamente en los años de sequía, llegando a desaparecer las zonas de vegas. Ahora bien, durante 1986 existe en el sector zonas de vegas, las que producen una evaporación y evapotranspiración considerable.

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

c) Descarga por Bombeo

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

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

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

d) Descarga por Vertientes

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

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

8. BALANCE HIDRICO DEL EMBALSE SUBTERRANEO

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

Su evaluación se ha hecho basada en 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 del Riego
- Infiltraciones del río Copiapó
- Infiltraciones directas de lluvias.

a) Recarga Lateral desde Acuíferos Vecinos

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

Para cuantificarla se ha empleado la relación:

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

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

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

L = Ancho del Valle

En este caso la fórmula se ha evaluado en la zona de La Puerta, en la sección donde se ubica el pozo 27°40 - 7000 - C4. Aquí el ancho del valle es 230 metros aproximadamente, el gradiente hidráulico 1,5 y la transmisividad entre 600 y 700 ($\text{m}^3/\text{día}/\text{m}$), equivalentes a 0,0069 y 0,0081 ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$) respectivamente. Tomando un valor medio de $T = 0,0075$ ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$), se llega a

- 34 -

$$Q = 0,0075 \cdot \frac{1,5}{100} \cdot 230 = 0,026 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

equivalente a un volumen anual de 0.82 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 Diciembre 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 valle, encontrándose entre ellos el canal Arena que corresponde al área estudiada. Basándose en los resultados de estos aforos y en los obtenidos en estudios anteriores, se calculó el caudal infiltrado por la red de canales del sector.

Por otro lado, un estudio sobre tasas de riego y superficies cultivadas, realizado para este informe, permitió 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.

- 35 -

El área de estudio está comprendida en el sector de los Distritos de Riego, abarcando desde el 3er. al 6° distrito. Allí el riego se efectúa utilizando aguas subterráneas y superficiales, siendo las primeras extraídas por medio de pozos profundos, y las segundas son conducidas por una extensa red de canales, que se reparten el agua del río de acuerdo a los derechos de cada canal.

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

- 36 -

Ahora bien, para los sectores regados por medio de goteo se considerará que todo el 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° 1 desarrollado para el presente estudio. En éste se observa que la mayoría de éstos corresponden a Vides, existiendo además algunas hectáreas con frutales y hortalizas. 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 LA PUERTA-MAL PASO

TIPO DE CULTIVO	SUPERFICIE (Há)
Vides	1.806.1
Hortalizas	66.3
Frutales	145.7
T O T A L	2.018.1

Como puede apreciarse, del total de 2.018.1 Há cultivadas en el área de estudio en 89.5% corresponde a vides y un 10.5% a Frutales y Hortalizas.

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

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

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

TIPO DE CULTIVO	ETr
Vides	6.887
Hortalizas	6.092
Frutales	11.114

Con respecto a las eficiencias de riego se considera que los cultivos de vides son regados en un 80% con sistema de 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° 8.3

EFICIENCIAS 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° 8.4INFILTRACION EN EL SECTOR LA PUERTA-MAL PASO

TIPO DE CULTIVO	E_{Tr} ($m^3/H\acute{a}/a\acute{n}o$)	T_r ($m^3/H\acute{a}/a\acute{n}o$)	P ($m^3/H\acute{a}/a\acute{n}o$)	S H\acute{a}	P_t ($Mm^3/a\acute{n}o$)
Vides	6.887	9.687	2.089	1.806.1	3.77
Hortalizas	6.092	12.184	3.046	66.3	0.20
Frutales	11.114	24.698	6.792	145.7	0.99
T O T A L					4.96

Según los resultados obtenidos en el cuadro anterior, en el sector La Puerta-Mal Paso se tiene una entrada de $4.96 Mm^3/a\acute{n}o$ 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) Entrada	Q (l/s) Salida	Infiltraciones l/s	%/Km
Punta Negra	20.11.86	645	23	17	6	40.4
Hijuela Abello	01.12.86		93	96	-3	
El Arenal	27.11.86	670	78	83	-5	
El Arenal	01.12.86	670	89	87	2	3.4
El Buitrón	11.12.86	750	201	190	11	7.3
Bodega	29.11.86	883	341	339	2	0.7
Piedra Colgada 2	11.12.86	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 N° 8.6. La obtención de estos resultados se explica en detalle en el tomo # 3 "Infraestructura de riego" y está basada en el método de Moritz.

CUADRO N° 8.6

TASAS DE INFILTRACION DETERMINADAS SEGUN
EL METODO DE MORITZ

CANAL	PERDIDAS POR INFILTRACION % / Km.
Compañía	10.2
Nantoco	13.8
Uribina	26.7
Cerrillos	12.4
Alianza	16.6
Jotabeche	26.9
Compuertas Negras	18.7
Jardín	31.3
Arena	46.1
Carrizo	12.9
El Sauce	38.2
El Naranja	16.9
La Pirca	15.5
PROMEDIO	22.0

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

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

de agua y suelo del valle de Copiapó 1980).(REP. 6)

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

Se debe hacer notar que los derechos de aguas de los canales estudiados son expresados como caudal y no como porcentaje. Captándose estos por medio de bocatomas y bombeos desde el río.

Junto a esto se debe considerar que 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.

En base a 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 La Puerta-Mal Paso, valor que resume la infiltración potencial medida en canales similares y la intermitencia de su uso, y que desde el punto de vista de la recarga del acuífero es un valor conservador.

Por último, para determinar el caudal infiltrado por la red de canales matrices, se ha determinado el caudal de entrada a cada canal basándose en los antecedentes entregados en estudios anteriores.

- 43 -

CUADRO N° 8.7DERECHOS DE AGUA DE LOS CANALESDEL SECTOR LA PUERTA-MAL PASO

CANAL	CAUDAL CONTINUO (lt/s)
Compañía	5.19
Nantoco	44.72
Urbina	30.63
Cerrillos	33.04
Alianza	60
Jotabeche	75
Compuertas Negras	135
Jardín	42.2
Arena	32.6
Carrizo	25.2
El Sauce	5.2
El Naranja	8.8
La Pirca	4.8
Niagara	15.0

El caudal de los canales Alianza y Jotabeche, que son derivados del canal Compuertas Negras, se ha determinado en proporción a los derechos en acciones de cada uno.

Por otro lado, el caudal de los canales Jardín, Arena, Carrizo, El Sauce y El Naranja se determinó como la división de 120 l/s continuos en proporción a las superficies cultivadas bajo cada canal.

Ahora bien, el caudal total captado por los canales del sector corresponde a 382.38 l/s, los que sumados a los 514,61 l/s captado por los canales del sector Mal Paso-Copiapó y a una infiltración estimada por Uri Hammeir (ref.1) de 400 l/s entrega un total de 1.297 l/s. valor que corresponde al caudal del río Copiapó en La Puerta si se considera que el río se seca en las proximidades de Copiapó.

Este valor para el caudal en La Puerta corresponde, según Uri Hammer, a un año con probabilidad de excedencia de un 85% aproximadamente. Seguridad con que, generalmente, se calculan los caudales correspondientes a los derechos sobre aguas superficiales.

Debido a que el balance que aquí se estudia corresponde al año 1986, se deben considerar los caudales medios captados por cada canal en dicho año. Por esto, el cuadro 8.8 entrega los caudales determinados para 1986, considerando que éste se comportó como un año con probabilidad de excedencia 50%.

En el mismo cuadro se entrega la longitud no revestida de cada canal y la infiltración de cada uno y del conjunto de canales del sector.

- 45 -

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

CANAL	LONGITUD (Km)	CAUDAL (l/s)	INFILTRACION (l/s)
Compañía	1.92	7.0	0.67
Nantoco	2.31	60.3	6.96
Urbina	4.77	41.3	9.85
Cerrillos	3.70	44.6	8.25
Alianza	3.13	81.0	12.68
Jotabeche	5.08	101.2	25.7
Compuertas Negras	6.05	182.2	55.12
Jardín	5.12	56.9	14.56
Arena	6.74	44.0	14.83
Carrizo	3.43	34.0	5.83
El Sauce	2.79	7.0	0.98
El Naranja	2.47	11.9	1.47
La Pirca	1.46	6.5	0.47
Niagara	5.3	20.2	5.35
T O T A L	58.67	698.1	162.7 l/s 5.1 Mm ³ /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 riego predial de los sectores regados por medio de surcos o por bordes. Esto significa considerar un valor de $1.3 \text{ Mm}^3/\text{año}$ 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 $11.36 \text{ Mm}^3/\text{año}$, que se desglosa como sigue:

Infiltración en canales matrices	5.1 $\text{Mm}^3/\text{año}$
Infiltración en canales secundarios	1.3 $\text{Mm}^3/\text{año}$
Infiltración por riego predial	4.96 $\text{Mm}^3/\text{año}$
T O T A L	11.36 $\text{Mm}^3/\text{año}$

c) Infiltraciones desde el Río

Siguiendo la metodología utilizada en el tomo 3 de este informe "Infraestructura de Riego", el caudal infiltrado en el tramo La Puerta-Mal Paso mantiene una correlación con el caudal del río Copiapó en La Puerta.

Esta relación queda definida por:

$$I = 0.3 Q_{1p}$$

Así, si consideramos que el año 1986 tiene un comportamiento similar al de un año con una probabilidad de excedencia de un 50%, es decir $Q_{1p} = 1750 \text{ (l/s)}$ se tiene una infiltración del tramo de 525 (l/s) , es decir $16.56 \text{ Mm}^3/\text{año}$.

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.

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 de Mal Paso el gradiente de la napa llega a $i = 1,25$ el ancho del valle alcanza $L = 470$ metros y la transmisividad bordea los $T = 4000$ ($m^3/día/m$), equivalentes a $T = 0,046$ ($m^3/s/m$). Estos valores dan un caudal subterráneo saliente de:

$$Q = 0.046 \cdot \frac{1,25}{100} \cdot 470 = 0,27 \text{ (m}^3\text{/s)}$$

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

$$Q = 0.035 \cdot \frac{1,25}{100} \cdot 470 = 0,206 \text{ (m}^3\text{/s)}$$

- 48 -

equivalentes a un volumen anual de:

8.52 a 6.49 Mm³.

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

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

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

Debido a la falta de evaporímetro de bandeja en el sector de estudio, la evapotranspiración potencial en éste se estudió basándose en la evaporación 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 La Puerta-Mal Paso.

Partiendo de una evapotranspiración potencial del sector alto de 26.769 (m³/Há/año) y evapotranspiraciones reales para un mismo cultivo de 7.991 (m³/Há/año) y 6.887 (m³/Há/año), en los sectores alto y La Puerta-Mal Paso respectivamente, se llega a una evapotranspiración potencial de 23.071 (m³/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 8 y 2.5-mts., y tipo C, con profundidades entre 2.5 y 5.0 mt.

La determinación de las superficies abarcadas por cada sector se realizó basándose en el plano de isoprofundidad de Diciembre de 1986, cuyos resultados se entregan en el cuadro 8.9. Además, en este mismo cuadro se entregan los coeficientes de cultivo determinados para cada sector, usando como referencia los datos entregados por la FAO en su publicación "Las Necesidades de Agua de los Cultivos". (Ref. 25)

CUADRO N°8.9

SUPERFICIES Y EVAPOTRANSPIRACION DE VEGASEN EL SECTOR LA PUERTA-MAL PASO

VEGA TIPO	VEGETACION TIPICA	SUPERFICIE (Há)	COEF. DE CULTIVO	EVAPOTRANSPIRACION (Mm ³ /Há/año)
A	Totorales y Suelos Húmedos	137.9	1.0	3.18
B	Matorrales y Suelos Secos	63.3	0.7	1.02
C	Matorral Ralo	339.4	0.5	3.92
T O T A L				8.12

c) Descarga por Vertientes

En el sector La Puerta-Mal Paso existe una relación permanente entre el río Copiapó y el embalse subterráneo. Inicialmente, en la zona alta del tramo, se tienen infiltraciones del río, cuya magnitud fue determinada en el punto correspondiente a infiltraciones del río. Luego, en el sector de Nantoco se tienen recuperaciones en el río debido a la existencia de vertientes.

El aporte de estas vertientes es variable con el tiempo, dependiendo de las variaciones de los niveles estáticos del sector. Estas variaciones son de importancia en la zona de Nantoco, lo que provoca intermitencia en la descarga de las vertientes.

Lo anterior es confirmado por los estudios de Uri Hammer (Ref. 6) y Queirolo (Ref. 7), los cuales fueron desarrollados en períodos de sequía. En ellos no se hace ninguna consideración de las descargas de estas vertientes, suponiéndose entonces que éstas estaban secas en ese momento.

Ahora bien, durante 1986 período para el que se hace este balance, las vertientes estudiadas han estado descargando el acuífero en forma continua. Descarga que no fue posible determinarla por medio de aforos diferenciales en el río, debido a las dificultades que impone el sector para realizar las mediciones (ver Tomo 3 "Infraestructura de Riego").

En todo caso, estas descargas se estiman en un caudal continuo de 30 l/s durante 1986, lo que generaría una descarga total anual de 0.95 Mm^3 .

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 riego son los predominantes. Estos son utilizados para regar viñas por medio de riego por goteo, y su utilización varía a lo largo del año en proporción de la distribución de riegos.

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

Por otro lado, los pozos utilizados para agua potable sirven para abastecer las necesidades de algunos fundos y mineras. Debido a la pequeña magnitud de sus descargas los pozos utilizados con este objeto se presentan junto a los pozos destinados a Industria y Minería en el cuadro N° 8.10.

En el cuadro 8.11 se entrega las superficies regadas y los volúmenes bombeados por cada pozo destinado a riego.

CUADRO N°8.10

VOLUMENES BOMBEADOS PARA AGUA POTABLE Y
MINERIA EN EL SECTOR LA PUERTA-MAL PASO

POZO	DUEÑO	VOL. BOMBEADO (Mm ³ /año)
27°40'-70°10' B-1	Cía. Minera San Andrés	0.072
27°40'-70°10' B-2	Cía. Minera San Andrés	0.072
27°40'-70°10' B-4	Soc. del Nte. Exp. Frutícola	0.0004
27°30'-70°10' A-7	COEMIN	0.74
T O T A L		0.88

- 52 -

CUADRO N° 8.11VOLUMENES BOMBADOS PARA REGADIO
EN EL SECTOR LA PUERTA-MAL PASO

POZO	SUP. REGADA (HÁ)	VOL. BOMBEADO Mm ³ /año
27°40'-70°10' B-5	35.2	0.303
27°40'-70°10' B-8	45.0	0.387
27°40'-70°10' B-9	12.0	0.103
27°40'-70°10' B-10	51	0.439
27°40'-70°10' B-14	51.7	0.445
27°40'-70°10' B-15	40.0	0.344
27°30'-70°10' D-2	45.0	0.387
27°30'-70°10' D-3	40.0	0.344
27°30'-70°10' D-4	56.6	0.487
27°30'-70°10' D-5	93.4	0.804
27°30'-70°10' D-7	60.0	0.517
27°30'-70°10' D-10	27.0	0.232
27°30'-70°10' D-14	50	0.430
27°30'-70°10' A-13	12.0	0.103

T O T A L 5.33

El resumen de los volúmenes bombeados por cada tipo de demanda y el total bombeado en el sector La Puerta-Mal Paso se entrega en el Cuadro N° 8.12

CUADRO N° 8.12VOLUMENES TOTALES BOMBEADOS EN
EL SECTOR LA PUERTA-MAL PASO

TIPO DE DEMANDA	VOL. BOMBEADO (Mm ³ /año)
Agua Potable, Industria y Minería.	0.88
Riego	5.33
TOTAL	6.21

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° 8.13 se presenta los resultados del Balance Hídrico.

CUADRO N° 8.13BALANCE HIDRICO ANUAL PARA EL EMBALSE SUBTERRANEO
DEL SECTOR LA PUERTA-MAL PASO

FACTOR	VOLUMEN (Mm ³)
<u>Entradas</u>	
Recarga Lateral	0.82
Inf. Canales Matrices	5.10
Inf. Canales Secundarios	1.30
Inf. Riego	4.96
Inf. Río	16.56
T O T A L	28.74
<u>Salidas</u>	
Descarga Lateral	8.52
Evaporación y Evapotranspiración	8.12
Vertientes	0.95
Bombeo	6.21
T O T A L	23.80
<u>Variación de Almacenamiento</u>	
Calculada	4.94
Observada	0.0

8.4 Discusión de los Resultados

Como se ve, existe una diferencia entre las variaciones de almacenamiento calculado y observado. 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 que es considerado aceptable para este tipo de estudios.

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.

Partiendo por las entradas o factores de recarga se tiene las entradas laterales. En este caso sólo se consideró el ingreso desde el acuífero ubicado inmediatamente hacia aguas arriba, dejándose de lado el aporte de la quebrada de Carrillos, la que por sus dimensiones no debería aportar un caudal relevante. Junto a esto, el cálculo del aporte desde arriba se desarrolló considerando una transmisividad de $650 \text{ m}^3/\text{día/m}$ se debe tener en cuenta que el variar el valor de la transmisividad variaría en forma proporcional el caudal aportado. En todo caso, las entradas por este concepto son pequeñas y una variación en éstas no alteraría mayormente el resultado del balance.

Por otro lado, las infiltraciones desde canales matrices fueron calculadas considerando una tasa de infiltración de $5\%/Km$. Este valor se empleó luego de estudiar los aforos diferenciales realizados en el sector y las consideraciones hechas en otros estudios. Si esta tasa se disminuyera a la mitad $2,5\%/Km$, que es un valor perfectamente aplicable a canales como los existentes en el área de estudio, el total infiltrado disminuiría en $2,55 \text{ Mm}^3/\text{año}$, dejando la variación de almacenamiento calculada en $2.39 \text{ Mm}^3/\text{año}$. En cuanto a las infiltraciones desde canales secundarios, en la estimación realizada se debe tener en cuenta el grado de precisión utilizado debido a la falta de información.

Las infiltraciones desde el riego se suponen bien calculadas, o por lo menos, la precisión con que se calculó es mejor que la de los otros términos.

Por último con respecto a las entradas, la infiltración desde el río se determinó a partir de la relación $I = 0.3 Q_{1p}$, la que se determinó empíricamente. Ahora bien, si el factor disminuyera en un 10%, lo que es perfectamente posible si se analizan los datos de base, la diferencia de la variación de almacenamiento disminuiría en $1.66 \text{ Mm}^3/\text{año}$.

Por otro lado, respecto a las salidas, la descarga lateral puede variar proporcionalmente a una variación de la transmisividad utilizada en el cálculo. Con respecto a los bombeos se puede considerar bien calculados debido a que estos fueron determinados a partir de una encuesta realizada en terreno.

Podría afinarse entonces mediante un estudio más acabado de las descargas por vertientes y evaporación y evapotranspiración desde vegas. En especial se debe considerar el caso de las primeras, en que el valor de la descarga fue estimado y podría mejorarse mediante nuevos aforos diferenciales del sector.

Por último, en la determinación de la evaporación y evapotranspiración, los coeficientes de cultivos aplicados pueden afinarse de manera de disminuir la diferencia obtenida en el resultado del balance.

ANEXO N°1

NIVELES ESTATICOS Y CONDUCTIVIDADES MEDIDOS EN ENERO DE 1987

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

COORDENADA	Nº	PREDIO	DUENO	NIV. EST (m.)	CONDUCT. (uños/cm)	C. TERRENO M.S.N.M.	C. PIEZOM. M.S.N.M.
ZONA ELISA DE BORDOS							
2740-7010	D-1	Hornitos	Guillermo Rojas				791.5
	D-2	Hornitos	Adolfo Munoz				
	D-3	Hornitos	Parceleros Hornitos				805.0
2740-7010	B-1	Elisa de Bordos	Cia. Minera San Andres	17.5	840.0	750.0	732.5
	B-2	Elisa de Bordos	Cia. Minera San Andres	14.2		751.5	N.D.
	B-3	Elisa de Bordos	Direccion de Riego	17.3	680.0	747.8	730.5
	B-4	Villa Maria - Hornitos	Soc. del Mte. Exp. Fruticola	25.17		712.3	687.1
	B-5	Villa Maria - Hornitos	Soc. del Mte. Exp. Fruticola		910.0	711.5	
	B-6	Parcela 17-B Hornitos	Soc. Agricola del Inca	23.16	900.0	779.5	N.D.
	B-7	Parcela 15 Hornitos	Guillermo Rojas	29.94		770.5	740.6
	B-8	Parcela 27 Hornitos	Isidoro Quiroga			748.8	
	B-9	Parcela 24 Hornitos	Peppi y Cabrini	22.82	890.0	754.0	731.2
	B-10	Hacienda Hornitos	Soc. del Mte. Exp. Fruticola		740.0	731.8	
	B-11	Parcela 23 Hornitos	Soc. Agricola del Inca			754.0	
	B-12	Parcela 18 Hornitos	Oscar Prohens			778.0	
	B-13	Parcela 22 Hornitos	Soc. Agr. El Sol de Copiapo	27.43		766.0	738.6
	B-14	Villa Maria - Hornitos	Soc. del Mte. Exp. Fruticola		990.0	709.6	
	B-15	Pabellon Alto	Manuel Jorquera		870.0	701.0	
	B-16	Hornitos	Abel Bouchon	17.5	980.0		

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	CONDUCT.	C. TERRENO	C. PIEZOM.
			(m.)	(umhos/cm)	m.s.n.m.	m.s.n.m.
ZONA PABELLON						
2730-7010 C-1	Jotabeche	Sergio Ruiz Tagle				
2730-7010 D-1	Pabellon	DGA-Observacion	25.59		651.5	625.9
D-2	Reser. Cora N°5 Pabellon	Juan Carlos Araya	12.02	940.0	666.0	654.0
D-3	Reser. Cora N°5 Pabellon	Juan Carlos Araya		960.0	658.6	
D-4	Jotabeche	Soc.del Mte.Exp.Fruticola		900.0	636.7	
D-5	Parcela 38 Jotabeche	FRUTANEX			615.3	
D-6	Totalalillo	Sergio Ruiz Tagle	23.6	920.0	619.0	595.4
D-7	Pabellon	Manuel Jorquera	39.45	920.0	697.0	657.6
D-8	Pabellon	Sucesion Morales	32.75	990.0	681.0	648.3
D-9	Jotabeche	FRUTANEX			633.1	
D-10	Jotabeche	FRUTANEX	30.33	920.0	625.7	595.4
D-11	Jotabeche-Gda.El Marmol	CODELPA			593.5	
D-12	Jotabeche	Cia.Minera El Bronce	11.42		603.7	592.3
D-13	Jotabeche	Cia Minera El Bronce	10.00		602.9	592.9
D-14	Fundo Alianza	Soc.Procesadora El Bronce	9.37	900.0	598.1	N.D.
D-15	Parcela 36 Jotabeche	M.Luisa Correa		920.0	615.3	
D-16	Fundo Alianza	Soc.Procesadora El Bronce	4.61	700.0	593.5	588.9
D-17	Fundo Alianza	Soc.Procesadora El Bronce	8.4	920.0	596.2	N.D.
ZONA QUEBRADA CERRILLOS						
2730-7010 B-1	Quebrada Cerrillos	Sucesion Ronseco	17.91	760.0	595.7	577.8
B-2	Quebrada Cerrillos	COEMIN	11.88	1070.0	596.0	584.1
B-3	Cerrillos	Soc.Agricola El Inca			593.3	
B-4	Quebrada Cerrillos	AGROFRIO LTDA.	24.8		600.0	575.2
B-5	Quebrada Cerrillos	AGROFRIO LTDA.	24.6	1010.0	600.0	575.4
B-6	Quebrada Cerrillos	AGROFRIO LTDA.	64.2			

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

COORDENADA N°	PREDIO	DUENO	NIV. EST. CONDUCT. C. TERRENO		C. PIEZOM.	
			(m.)	(uohos/cm)	m. s. n. m.	m. s. n. m.
ZONA MANTOCO						
2730-7010	A-1 Parcela N.8 Mantoco	Justino Castillo	3.48	500.0	548.8	545.3
	A-2 Parcela N.4 Mantoco Pach.	Com. Mac. Sequia	2.01	1180.0	535.5	533.5
	A-3 Canal Mal Paso	Com. Mac. Sequia	1.53	880.0	528.0	526.5
	A-4 Vivero Fiscal	Com. Mac. Sequia		1440.0	526.2	
	A-5 Parcela N.10 Mantoco	J. Manuel Quiroga	4.19	2160.0	555.7	551.5
	A-6 H. de Menores	SENDOS 976	10.13		525.0	N.D.
	A-7 Qda. Cerrillos	COEMIN			592.7	
	A-8 Cerrillos	Com. de Agua			565.5	
	A-9 H. de Menores	SENDOS 977			523.0	
	A-10 Parcela N.18 y 19 Mantoco	Theo Lingua	2.30	680.0	529.0	526.7
	A-11 Quebrada de Mantoco	CODELPA	0.37		544.5	544.1
	A-12 Punta Bateas	Cia. Minera Agustina			516.0	
	A-13 Parcela N.1 Mantoco	Humberto Labra	2.50		528.8	526.3
	A-14 Parcela N.5 Mantoco	Juan Fdo. Silva			538.0	
	A-15 Fdo. Sta. Laura Mantoco	Jose Piazzoli y Otros	4.23		557.0	552.8

ANEXO N°2

ANALISIS QUIMICOS EMPLEADOS EN EL ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA

zona: Los Lobos
 PISO: 27°40' - 70°00' C-1

Fecha	CONDUCTIVIDAD	HC0 ₃ (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	CO ₂ (mg/l)
12.5.78	1188	219,67	62,82	460,13	153,71	37,28	2,74	97,48	0,00
4.12.80	1359	209,34	57,07	480,21	155,11	30,40	9,78	108,28	0,00
4.6.81	2065	145,84	131,82	262,05	180,36	83,20	8,60	209,01	0,00
12.2.82	1478	150,11	82,95	480,30	136,02	51,19	2,52	92,42	6,40
28.6.83	1603	255,06	98,91	606,18	199,40	52,41	6,42	106,67	0,00

zona: Elisa de Barros
 PISO: 27°40' - 70°00' B-1

Fecha	CONDUCTIVIDAD	HC0 ₃ (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	CO ₂ (mg/l)
24.5.69	1200	247,13	69,48	252,44	140,08	48,03	5,42	92,57	0,00
11.9.71	1256	129,92	55,66	422,66	153,21	36,85	2,13	52,22	51,00

zona: Elisa de Barros
 PISO: 27°40' - 70°00' B-3

Fecha	CONDUCTIVIDAD	HC0 ₃ (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	CO ₂ (mg/l)
12.5.78	1390	164,75	75,86	569,61	166,13	46,69	2,13	129,45	24,00

ALAMOS Y PERALTA

INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

Proyectista:	Fecha	Hoja 1 de 5
Obra: LA PUERTA - MAL PASO	Proyecto	Número
Materia:	Control	

ZONA: ELISA DE ROSALES
 POZO: 27°40' - 70°40' B-4

FECHA	CONDUCTIVIDAD	HCO ₃ (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	CO ₂ (mg/l)
19.8.81	1483	285,06	45,02	441,88	132,67	43,98	4,20	89,66	0,00

ZONA: ELISA DE ROSALES
 POZO: 27°40' - 70°40' B-5

FECHA	CONDUCTIVIDAD	HCO ₃ (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	CO ₂ (mg/l)
16.2.82	1301	257,50	46,44	305,03	129,06	39,64	2,52	85,06	14,40
13.12.83	1306	252,62	56,01	491,63	150,70	42,23	6,26	87,36	0,00

ALAMOS Y PERALTA

INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

Proyectista:	Fecha	Hoja 2 de 5
Obra: LA PUERTA - HAI PASO	Proyecto	Número
Materis:	Control	

ZONA: GUACHALA CABEZILLOS
 POZO: 27°30' - 30°10' B-1

FECHA	CONDUCTIVIDAD	HCO ₃ (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	CO ₂ (mg/l)
11.5.70	1340	277,02	80,90	422,66	154,51	49,61	6,65	103,46	0,00
27.11.72	1324	240,42	58,85	408,26	135,27	34,17	3,52	92,71	0,00
10.9.80	1494	234,93	64,59	430,35	99,40	48,28	8,21	113,67	0,00

ZONA: NANTORO
 POZO: 27°30' - 30°10' A-1

FECHA	CONDUCTIVIDAD	HCO ₃ (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	CO ₂ (mg/l)
15.5.78	1381	103,73	62,75	530,25	29,06	105,67	2,52	88,51	0,00

ZONA: NANTORO
 POZO: 27°30' - 30°10' A-2

FECHA	CONDUCTIVIDAD	HCO ₃ (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	CO ₂ (mg/l)
20.5.70	1340	293,95	86,50	432,27	156,71	50,83	2,04	110,35	0,00
4.1.79	1130	201,27	48,21	420,26	121,44	40,25	3,13	90,81	0,00

ALAMOS Y PERALTA

INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

Proyectista:	Fecha	Hoja 3 de 5
Obra: LA PUERTA - MAL PASO	Proyecto	Número
Materia:	Control	

ZONA: NANTOCO

POSO: 29° 30' - 70° 40' A-G

Fecha	CONDICIONES	HCO ₃ (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	CO ₂ (mg/l)
14.7.79	1200	240,00	62,00	460,00	448,00	128,00	SI	SI	SI

ALAMOS Y PERALTA

INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

Proyectista:	Fecha	Hoja 5 de 5
Obra: LA PUERTA - MAL PASO	Proyecto	Número
Materia:	Control	

ANEXO 3: VALORES DE CAUDAL ESPECIFICO Y TRANSMISIVIDADES.

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)
SECTOR LA PUERTA - MALPASO									
ZONA ELISA DE BORDOS									
2740-7010	D-1	Hornitos				400.0		400.0	
	D-2	Hornitos				280.0		280.0	
	D-3	Hornitos	5.6	50.0	96.0	230.0	39.0	173.0	3.300
	D-4	Hornitos				170.0		170.0	
2740-7010	B-1	Elisa de Bordos	4.5	18.0	78.8	450.0	21.8	393.0	6.300
	B-2	Elisa de Bordos	15.0	30.0	81.0	450.0	15.5	384.5	20.000
	B-3	Elisa de Bordos				480.0		480.0	
	B-4	Villa Maria - Hornitos	0.1	2.2	73.5	170.0	50.7	147.2	100
	B-5	Villa Maria - Hornitos				170.0		170.0	
	B-6	Parcela 17-B Hornitos	11.4	100.0	60.0	300.0	31.8	271.8	7.700
	B-7	Parcela 15 Hornitos				340.0		340.0	
	B-8	Parcela 27 Hornitos				480.0		480.0	
	B-9	Parcela 24 Hornitos	33.3	70.0	75.0	400.0	24.1	349.1	20.000
	B-10	Hacienda Hornitos	16.3	83.0	75.0	230.0	66.1	221.1	9.000
	B-11	Parcela 23 Hornitos	57.1	100.0	60.0	400.0	41.8	381.8	17.000
	B-12	Parcela 18 Hornitos	5.0	50.0	80.0	310.0	51.8	281.8	3.900
	B-13	Parcela 22 Hornitos	15.7	70.0	79.0	350.0	57.0	328.0	13.200
	B-14	Villa Maria - Hornitos	7.5	105.0	75.0	140.0	53.0	118.0	4.500
	B-15	Pabellon Alto				150.0		150.0	

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 PABELLON									
2730-7010	D-1	Pabellon				160.0		160.0	
	D-2	Reser. Cora N°5 Pabellon				40.0		40.0	
	D-3	Reser. Cora N°5 Pabellon	6.7	60.0	100.0		53.6	100?	4.000
	D-4	Jotabeche	13.6	85.0	94.0	480.0	49.0	200.0	8.200
	D-5	Parcela 36 Jotabeche	4.3	80.0	80.0	130.0	43.8	93.8	2.600
	D-6	Totoralillo	37.1	52.0	60.0	240.0	36.4	160.4	20.000
	D-7	Pabellon				150.0		150.0	
	D-8	Pabellon	17.3	60.0	80.0	80.0	53.9	53.9	5.200
	D-9	Jotabeche				540.0		240.0	
	D-10	Parcela 38 Jotabeche	2.4	55.0	80.0	520.0	36.5	176.0	1.440
	D-11	Fundo Alianza				280.0		280.0	
	D-12	Fundo Alianza	11.5	70.0	70.0	220.0	63.1	213.1	7.000
	D-13	Fundo Alianza	13.5	70.0	60.0	220.0	54.0	214.0	7.800
	D-14	Fundo Alianza	2.1	100.0	80.0	270.0	76.9	266.9	1.300
	D-15	Fundo Alianza				280.0		280.0	
ZONA QUEBRADA CERRILLOS									
2730-7010	B-1	Quebrada Cerrillos	27.9	141.0	116.0	220.0	86.1	190.1	12.500
	B-2	Quebrada Cerrillos	15.0	75.0	65.6	210.0	49.6	194.0	8.100
	B-3	Cerrillos	28.2	60.0	60.2	250.0	58.3	248.1	
	B-4	Quebrada Cerrillos				210.0		210.0	
	B-5	Quebrada Cerrillos				210.0		210.0	
	B-6	Quebrada Cerrillos				210.0		210.0	

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)
ZONA NANTOCO								
2730-7010 A-1	Parcela N.8 Nantoco	14.8	34.0	32.0	240.0	25.9	233.9	14.800
A-2	Parcela N.4 Nantoco Pach.	2.8	55.0	47.4	120.0	43.1	115.7	1.700
A-3	Canal Mal Paso	11.7	77.5	50.0	260.0	44.7	254.7	7.700
A-4	Vivero Fiscal				290.0		290.0	
A-5	Parcela N.10 Nantoco			25.8	210.0	14.3	198.5	
A-6	H. de Menores	10.8	95.0	32.0	310.0	18.8	196.8	13.000
A-7	Qda. Cerrillos		6.5	77.0	300.0	47.4	270.4	
A-8	Cerrillos	4.6	84.0	49.0	160.0	35.6	146.6	4.000
A-9	H. de Menores	8.8	85.0	35.0	310.0	20.7	195.7	10.600
A-10	Parcela N.18 y 19 Nantoco	12.0	60.0	50.0	290.0	45.0	185.0	7.200
A-11	Quebrada de Nantoco	17.1	135.0	60.0	160.0	58.4	158.4	7.700
A-12	Punta Bateas	2.8	15.0	40.2	310.0	17.5	187.3	3.000
A-13	Parcela N.1 Nantoco	10.4	12.5		250.0		249.5	
A-14	Parcela N.5 Nantoco		12.5	11.5	130.0	11.0	129.5	
A-15	Fdo. Sta. Laura Nantoco				160.0		160.0	