

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 3

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DETALLADO DEL SECTOR :

COPIAPO - PIEDRA COLGADA

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 3

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DETALLADO DEL SECTOR

COPIAPO - PIEDRA COLGADA

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	11
4.1 Antecedentes Empleados	11
4.2 Metodología de Análisis	12
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	24
6.4.3 Presentación de Resultados	25
6.4.4 Posibles Usos del Agua	27
7. FUNCIONAMIENTO DEL EMBALSE SUBTERRANEO	30
7.1 Entradas de Agua al Acuífero	30
7.2 Salidas de Agua desde el Acuífero	33
8. BALANCE HIDRICO DEL EMBALSE SUBTERRANEO	36
8.1 Entradas de Agua al Acuífero	36
8.2 Salidas de Agua desde el Acuífero	49
8.3 Balance Hídrico	57

INDICE

	Página
ANEXO 1 : Niveles Estáticos y Conductividades Medidos en Diciembre de 1986 y Enero de 1987	61
ANEXO 2 : Análisis Químicos Empleados en el Estudio de la Calidad del Agua	64
ANEXO 3 : Aforos en el Valle del Río Copiapó	72
ANEXO 4 : Valores de Caudal Específico y Transmisividades	81

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 aca-bado 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.

En el sector de Copiapó-Piedra Colgada, motivo del presente informe, se riegan 1761 Hás, de las cuales 912 son de huerta, 834 de vides y 15 de Frutal. Existen además un total de 77 Hás. de vega y 626 Hás. de matorrales. De acuerdo con ello la superficie potencial de riego podría pasar de 1761 a 2464, sin contar con la posible expansión en las faldas de las quebradas. Todo ello hace suponer un incremento de la demanda de agua pasando de 23,5 Mm³/año en la actualidad a unos 30 Mm³/año en el futuro.

- 2 -

2. OBJETO DEL ESTUDIO

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

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, y poder así predecir con la debida antelación la política más acertada a aplicar para su mejor explotación.

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 Copiapó y Piedra Colgada, de manera de conocer su relación con la existencia de unidades hidrogeológicas capaces de almacenar y transmitir el agua subterránea, es decir, constituir acuíferos de importancia en el área.

Para este estudio geológico, se ha tenido presente todos los antecedentes recopilados y que dicen relación con las características geológicas del área. Estos antecedentes han sido mencionados en el Tomo II de 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, y además, el "Avance Geológico de la Hoja de Caldera.

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 ciudad de Copiapó y Piedra Colgada.

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

3.1. Geología de Superficie

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

3.1.1. Roca Fundamental

La roca fundamental se presentan en el Plano N° 2, como roca fundamental indferenciada, 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 desde la ciudad de Copiapó hacia aguas abajo, a ambos lados del valle, y prácticamente en toda la extensión hasta Piedra Colgada.

- Formación Bandurrias, constituida por rocas volcánicas andesíticas. Aflora en el costado norte y sur del valle, en una franja relativamente angosta en la longitud del Aeródromo de Chamonate.

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

3.1.2. Sedimentos

En este sector del valle del Copiapó, se ha reconocido depósitos sedimentarios de variadas génesis, y de edades distintas. Resalta en el sector, depósitos sedimentarios antiguos, sobre los cuales se ha sobreimpuesto por erosión, sedimentos aluviales y coluviales. En lo que sigue, se describirá cada uno de estos sedimentos, señalando la nomenclatura utilizada en la cartografía en el Plano N° 2.

- 5 -

- Sedimentos Antiguos (SA): Corresponden a los remanentes de los que ha definido precedentemente como Gravas de Atacama. En algunos sectores se aprecia la superficie de contacto entre este paquete sedimentario y la roca que le subyace. En otros, es posible reconocer este contacto con sedimentos más recientes.

Hacia el oeste de la ciudad de Copiapó y hasta Piedra Colgada resulta ser muy conspicua la existencia de amplias llanuras en ambos costados del valle del Copiapó, el que a la cuadra de Chamonate se ensancha notablemente, en comparación con el ancho que presenta hacia aguas arriba. Aquí se advierte una ampliación mayor aún. Debido a la existencia de estas llanuras, como es el caso de las quebradas de Monardes y la quebrada de Mina Cerro Imán.

Sobre estas llanuras, se advierte la presencia de remanentes de los sedimentos antiguos, que han sido erosionados en parte por el escurrimiento del agua superficial. 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 a la recarga del sistema hidrogeológico. Cabe señalar que por la extensión areal que poseen estas llanuras, resultarían eventualmente ser importantes para los efectos de posibles recargas.

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

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

En su génesis interviene principalmente la fuerza de gravedad, que con la ayu-

- 6 -

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

Estos conos de deyección se han generado tanto sobre las rocas fundamentales, como sobre los sedimentos antiguos (SA). En este último caso, se le ha designado con la nomenclatura CDA.

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

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

Cabe señalar la importancia que revisten como unidad geomórfica estos conos de deyección, en los casos en que se han generado sobre los sedimentos antiguos. Tal es el caso, en el sector estudiado, de las quebradas mencionadas anteriormente de Cerro Imán y Monardes.

- Escombros de Falda: En general, son poco frecuentes en este sector del valle. Adquieren alguna relevancia como bordes de estructuras mayores, como es el caso de los conos de deyección y especialmente abanicos aluviales.

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

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

- Terraza Aluvial: Es el rasgo mas relevante en este sector del valle, tanto por su extensión, como por su importancia hidrogeológica. Corresponde al fondo relativamente plano del valle del río Copiapó.

Su génesis está asociada directamente a la capacidad de transporte, arrastre y depositación que ha tenido el río Copiapó en épocas pretéritas, y aún en la actualidad.

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

- Abanico Aluvial: Corresponde a los depósitos sedimentarios de las quebradas tributarias del valle del Copiapó en este sector. Poseen como unidad geomorfológica la importancia que son el fondo plano de las amplias llanuras que en parte están conformadas por sedientos antiguos, y en proporción mayoritaria, al menos en superficie, por sedimentos modernos.

En los lugares en que se presentan como abanicos tributarios de las quebradas tributarias principales, se les ha designado como abanico aluvial lateral (AAL). Se encuentran bien representados en la quebrada de Monardes, al sur de Toledo.

- 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° 144 al N° 179, es decir, 36 sondeos, distribuidos en 12 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 del basamento relativamente homogénea desde la ciudad de Copiapó hasta Bodega y presenta una cota máxima poco más baja que el nivel del mar.

En el sector de Chamonate, se ha detectado la existencia de una gran fosa que se extiende hacia el norte, en la quebrada de Cerro Imán. Allí, la cota del basamento rocoso se encuentra a profundidades del orden de poco más de 400 metros bajo el nivel del mar.

Este hecho obliga a plantear la existencia muy probable de un gran control estructural del valle del Copiapó en este sector, especialmente en el sector de

Bodega a Estación Toledo y Chamonate - Cerro Imán.

El fondo del valle visto en el perfil longitudinal del Plano N° 4, muestra la existencia de una falla probable en el sector de la quebrada de Monardes, la que habría generado un graben que correspondería a la mayor profundidad del área de Chamonate y en el cual se habrían depositados los grandes espesores de sedimentos, parte de los cuales corresponderían a los sedimentos antiguos.

De igual forma, se advierte en los perfiles transversales, que en general existiría una mayor profundidad de basamento rocoso en este sector del valle de Copiapó.

La cota del basamento en el sector de Bodega es del orden de la cota del mar, siendo la cota del terreno de 350 m.s.n.m. Esto representa un espesor del relleno sedimentario del orden de 350 metros para el área entre Copiapó y Bodega.

En Chamonate, la cota del basamento rocoso es de más de 400 metros bajo el nivel del mar, siendo la cota del terreno de 325 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 725 metros.

La mayoría de los sondajes construídos 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	$\frac{r}{m}$
UNIDAD 2	100	a	200	$\frac{r}{m}$
ROCA	1000			$\frac{r}{m}$

Las curvas trazadas en los Planos N° 3 y 5, así como el Plano N° 4 que contiene perfiles, no reflejan la existencia de roca fundamental que pudiere encontrarse a poca profundidad. Por el contrario, muestran un paleorelieve cubierto de sedimentos, 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 poseen un sistema hidrológico 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 y sus tributarios.

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.

- 12 -

- Estratigrafía de una serie de sondajes mecánicos construídos en el área. Particular importancia posee el hecho que las profundidades de estos fluctúa entre 50 y 70 metros, por lo que no se tiene antecedentes de sondajes mecánicos que hayan llegado hasta la roca fundamental.

- Campaña geofísica de resistividad eléctrica, desarrollada a través de sondeos eléctricos verticales, localizados a perfiles transversales al valle. Estos antecedentes de profundidad y de macroestratigrafía han sido en este sector el antecedentes mas relevante y sobre el cual se ha basado la interpretación de la geología de subsuperficie.

4.2. Metodología de Análisis

Dado el hecho de que se tiene sondaje relativamente someros, comparados con las profundidades a que se encuentra el basamento, es que sobre la base 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 pueden obtener de las características geométricas del embalse subterráneo que existe en el valle del Copiapó desde la ciudad de Copiapó, hasta Piedra Colgada 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 sondajes perforados en este sector del va-

- 13 -

lle, es relativamente reducida en comparación con el espesor de sedimentos medido a través del método geoelectrico.

- 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 este sector del valle del río Copiapó, es de más de 600 metros en el sector de Chamonate.
- g) Entre Chamonate y Copiapó se aprecia que del basamento se encuentra a menor profundidad, situación similar hacia aguas abajo de Chamonate. Esto es así hasta la localidad de Piedra Colgada y El Carmen, donde el espesor de sedimentos disminuye hasta un valor del orden de poco más de 300 metros.
- h) En este sector del valle del Copiapó, entre la ciudad de Copiapó y Piedra Colgada, se encuentran los mayores espesores de sedimentos saturados, que pueden conformar acuíferos interesantes.

5. CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DEL EMBALSE SUBTERRANEO

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

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

5.1. Antecedentes Empleados

En el sector comprendido entre Copiapó y Piedra Colgada sólo se cuenta con un pozo con prueba de bombeo de caudal constante, de cuyo análisis se obtienen valores de los coeficientes de transmisividad y almacenamiento. El valor de transmisividad de éste se utilizó en la determinación de la relación Caudal Específico-Transmisividad, descrita en detalle en el Tomo II Capítulo Hidrogeología General del Valle.

Por otro lado, se ha dispuesto de las Curvas de Agotamiento y/o valores de caudal específico de 10 pozos, 7 en el sector La Chimba - Bodega, 1 en el sector Bodega Chamonate y 2 en el sector Chamonate-Piedra Colgada.

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 cau-

dal 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 la lámina N° 5. En ellas se observa que, en general los caudales específicos y transmisividades son más bien altos. En especial, en el sector de Bodega se tiene transmisividades de hasta 10000 y 15000 ($m^3/día/m$). Por otro lado, las transmisividades de los sectores La Chimba y Piedra Colgada son menores, con valores comprendidos entre 1000 y 5000 ($m^3/día/m$).

En el plano 9 se ha trazado curvas de isotransmisividad basándose, para el sector comprendido entre La Chimba y Bodega, 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. En cambio, para el sector comprendido entre Chamonate y Piedra Colgada se ha utilizado como referencia sólo el plano con curvas isopacas, para lo cual se ha considerado que el sector tiene una permeabilidad constante, y por lo tanto la transmisividad dependería solamente del espesor del acuífero. En el primer sector nombrado los datos de transmisividad 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.

- 17 -

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 15212 Mm^3 . Ahora bien, debido a que el coeficiente de almacenamiento se ha determinado en un 10%, el volumen total embalsado en este sector es de 1521 Mm^3 .

6. CARACTERISTICAS DE LA NAPA

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

6.1 Profundidad del Nivel Estático

6.1.1 Antecedentes Empleados

Para conocer la profundidad del nivel estático se realizó una corrida de mediciones en terreno entre el 13 y 17 de Diciembre de 1986. En esta corrida se controló el nivel de 35 pozos y norias ubicados entre La Chimba, en la salida hacia Caldera de la ciudad de Copiapó, y Piedra Colgada. 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 1:20000 con la ubicación de pozos, para luego trazar sobre ellos las curvas de isoprofundidad del nivel estático.

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

6.1.3 Presentación de los Resultados

Los resultados obtenidos se presentan en el Plano N*6, Lámina 5, denominado Isoprofundidad del Nivel Estático. Allí se observa que, para Diciembre de 1986, los niveles del sector Copiapó - Piedra Colgada se presentan entre 1 y 31,5 metros de profundidad. Analizado por sectores se tiene lo siguiente:

- Los niveles más profundos se encuentran en Bodega, inmediatamente aguas abajo de la ciudad de Copiapó. Aquí los niveles llegan a los 31 metros de profundidad, pero rápidamente se van haciendo más superficiales valle abajo, hacia la zona de Pichincha, donde llegan a sólo 17 metros de bajo el terreno.

- Aguas abajo de Pichincha, en la zona de Chamonate, los niveles se encuentran entre 8 y 14 metros de profundidad.

- En la medida que se avanza hacia Piedra Colgada los niveles son más superficiales, encontrándose entre 1 y 8 metros en el área Chamonate - Piedra Colgada. - Al llegar a Piedra Colgada se desarrolla en la caja del río, ubicada unos 4 metros bajo el nivel de la terraza del valle, una amplia zona de vegas. Estas son las que alimentan, junto con las aguas del río Copiapó que puedan eventualmente escurrir, los canales Piedra Colgada N*1 y N*2 y el canal San Pedro.

6.2 Superficie Piezométrica y Sentido de Escurrimiento de las Aguas Subterráneas

6.2.1 Antecedentes Empleados

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

Los antecedentes empleados para conocer la superficie piezométrica son los niveles estáticos medidos en una corrida de mediciones hecha en Diciembre de 1986, la misma que se usó para conocer la profundidad del nivel estático, y la cota de terreno de cada pozo, extraída de los planos escala 1:5000 con la ubicación de los pozos.

6.2.2 Metodología de Análisis

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

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

Las cotas piezométricas así determinadas se han puesto en planos escala 1:20000 y por interpolación entre puntos se ha obtenido las curvas isopiezas, que son las que representan la superficie piezométrica. En el trazado de las isopiezas se ha respetado la perpendicularidad al contacto roca - acuífero, para cumplir con la teoría del flujo subterráneo que señala que las isopiezas son perpendiculares a las líneas de flujo y que el borde impermeable es la línea de flujo nulo.

6.2.3 Presentación de los Resultados

Los resultados obtenidos se presentan en el Plano N°7, Lámina 5. 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:

- En la zona de La Chimba el gradiente es bastante alto, acercándose al 1,3 %

- Luego, al llegar a Bodega, el gradiente decrece bruscamente a 0,8 % , para luego seguir disminuyendo hasta alcanzar cerca de un 0,3 % en Pichincha, situación que se mantiene en el área de Chamonate.

- Aguas abajo del aeropuerto Chamonate el gradiente vuelve a crecer lentamente, hasta llegar al 0,6 % en la zona de las vegas de Piedra Colgada. Esta situación se mantiene así hasta la misma Punta de Piedra Colgada.

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 Copiapó - Piedra Colgada 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. Tres de estos piezómetros cuentan además con un registro bastante completo de mediciones previas a 1974, las que comienzan normalmente

en 1966.

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

6.3.2 Metodología de Análisis

La información proveniente de todas las fuentes citadas se ha graficado en limnigramas, donde se ha incluido la totalidad de antecedentes disponibles. Luego se ha ubicado los gráficos en planos escala 1:20000, identificando en ellos los pozos correspondientes a los distintos limnigramas.

6.3.3 Presentación de los resultados

Las variaciones del nivel estático se presentan en el Plano N°8, Lámina 5. En él se observa lo siguiente:

- Prácticamente todos los niveles, dentro del sector considerado, presentan en fechas similares los máximos y mínimos observados. En general los máximos niveles se han registrado en Julio o Septiembre de 1986, mientras que los mínimos se han medido en los últimos meses de 1980, para los pozos más cercanos a Copiapó, e inicios de 1983, en la zona de Chamonate. De todas formas en todo el sector Copiapó - Piedra Colgada los niveles se han mantenido bajos y prácticamente constantes entre 1980 y 1983, coincidiendo también en el período de recuperación, que se ha desarrollado entre 1983 y 1986.

La diferencia entre máximos y mínimos niveles fluctúa, en casi toda el área, entre 2,5 y 13,0 metros, con un valor medio cercano a los 10 metros. En cuanto a los niveles más profundos del área, que se dan en la zona de Bodega, han pasado de un nivel mínimo de 38 metros a uno máximo de sólo 27 metros.

Por su parte los niveles más superficiales se dan en la zona de Piedra Colgada, presentándose un nivel mínimo de 7,5 metros y uno máximo de 4 metros.

- En general la tendencia histórica de los niveles es un descenso sostenido entre 1961 y 1980, para mantenerse prácticamente invariables entre 1980 y 1983. Posteriormente, entre 1982 y 1985, los niveles de la napa han subido en forma rápida y sostenida. En 1985 y 1986 han existido fluctuaciones pero siempre recuperándose los niveles a valores similares a los máximos de 1985.

- Dentro del sector Copiapó - Piedra Colgada los niveles presentan escasa variación estacional, siendo irrelevantes y de una tendencia poco definida frente a las variaciones anuales. Sumado esto a las tendencias generales observadas, se descubre un carácter de regulador hiperanual del embalse subterráneo.

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 situada entre Copiapó y Piedra Colgada. Los análisis se han hecho en forma esporádica y con las aguas de 20 pozos, sin que exista un programa de control de calidad química.

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

Los antecedentes ya señalados se han complementado con algunos análisis hechos

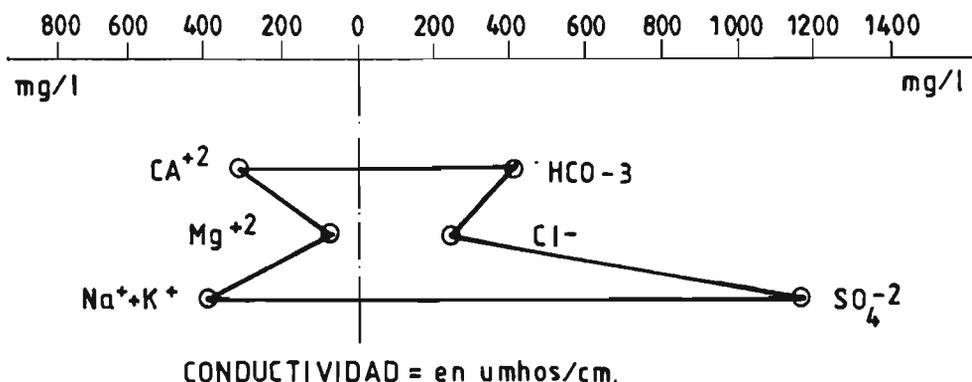
por SENDOS de las aguas captadas en los pozos que emplea para el abastecimiento de agua potable.

Junto a esto se ha realizado en Diciembre de 1986 una campaña en terreno, donde se ha medido la conductividad de las aguas en 28 pozos del sector Copiapó - Piedra Colgada.

6.4.2 Metodología de Análisis

Los antecedentes antes señalados primeramente se han expresado en unidades homogéneas para las concentraciones de los distintos iones. Se ha elegido los miligramos por litro (mg/l) por ser la unidad más conocida y aquella que es más frecuente de encontrar en las normas de calidad de agua. Posteriormente se ha seleccionado los parámetros más interesantes de analizar para reflejar adecuadamente las características químicas del agua. Los parámetros elegidos han sido la Conductividad, que se expresa en micromhos/cm, y las concentraciones de los iones calcio (Ca^{+2}), magnesio (Mg^{+2}), sodio más potasio ($Na + K$), bicarbonato (HCO_3^-), cloruro (Cl^-) y sulfato (SO_4^{2-}). Además, para conocer la calidad del agua para riego, 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 1:20000 con la ubicación de los pozos correspondientes. Este esquema permite visualizar con claridad, mediante los cambios de forma del diagrama, las variaciones espaciales y temporales de los distintos parámetros analizados.

6.4.3 Presentación de los Resultados

Los resultados obtenidos se presentan en los Planos N*11 y N*12, Lámina 5, que contienen respectivamente los Diagramas de Stiff y los datos de Conductividades medidas en Diciembre de 1986.

El Plano de Conductividades muestra que en el sector Copiapó -Piedra Colgada los valores extremos son 1180 (umhos/cm), en La Chimba, y 2810 (umhos/cm), en La Hacienda San Francisco. Entre estos límites los valores de la conductividad se distribuyen en forma prácticamente aleatoria en el área, aunque se descubre una tendencia a aumentar aguas abajo de La Chimba y desde el valle hacia los cerros. De la misma forma ocurre 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 600 y 1200 (mg/l), con un valor medio cercano a los 800 (mg/l), y valores extremos de 520 y 1175 (mg/l). Rara vez ocurre que se exceden los 900 (mg/l) en la zona de Bodega y en las proximidades del lecho del río Copiapó. Los valores entre 1000 y 2000 (mg/l) generalmente se

- 26 -

alcanzan en las proximidades de Chamonate.

- El cloruro y magnesio fluctúan relativamente poco, el primero con un valor medio cercano a los 100 (mg/l), y el magnesio con un promedio aproximado de 80 (mg/l). Las desviaciones de dicho promedio son de 20 (mg/l) como máximo, con excepción de los pozos 2720-7020 C-2, C-6, C-15 y C-16 de Piedra Colgada, cuyos valores exceden en 70 u 80 (mg/l) al promedio.

- El bicarbonato presenta concentraciones variables entre 90 y 480 (mg/l), valores que se distribuyen en forma relativamente aleatoria en el sector considerado. En la zona de Bodega se encuentran cifras de 100 a 180 (mg/l), y tan sólo hacia los cerros de Chamonate es que se han encontrado concentraciones cercanas a los 400 (mg/l).

- El calcio se encuentra en concentraciones que van entre 150 y 220 (mg/l). Aún así los valores extremos son 99 y 704 (mg/l), este último en el pozo 2710-7020 B-1, del Recinto de Agua Potable Cancha Rayada.

- 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 90 y 270 (mg/l).

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

Finalmente cabe analizar los parámetros que caracterizan la calidad de las aguas para regadío. En este caso los resultados se presentan en los cuadros del Anexo N°2.

El sector Copiapó - Piedra Colgada presenta, normalmente, aguas clasificadas, según la nomenclatura del USSL, como C3-S1, es decir, con alto peligro de salinidad y bajo peligro de sodificación. Pese a ello las aguas de los pozos 2710-7020 D-1, D-2, C-2, C-3, C-5 y C-6 están clasificadas C4-S1, lo que indica un

muy alto peligro de salinidad. Estos pozos se ubican las cercanías de los cerros de la hacienda Chamonate . Los contenidos de boro en el agua son bastante variables, encontrándose en el área cifras entre 0.17 y 5.41 (ppm). Las zonas que presentan una mayor concentración de boro son los cerros de la hacienda Chamonate y aquellas cercanas al fundo Los Angeles.

6.4.4 Posibles Usos del Agua

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

a) Calidad para Agua Potable

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

b) Calidad para Regadío

Más que normas de calidad existen en este caso recomendaciones de diversos organismos respecto del agua apta para regar, debido a que hay una serie de factores ajenos a la calidad química misma del agua como son la permeabilidad y calidad del suelo, tipo de cultivo, sistema de riego, clima y otros. Teniendo esto presente se puede decir que las aguas subterráneas del sector Copiapó - Piedra Colgada se clasifican como altamente salinas, debido a que tienen

- 28 -

valores de la conductividad entre 750 y 2250 (umhos/cm). Esto, según normas internacionales, significa que las aguas no pueden aplicarse en suelos de drenaje restringido; deben aplicarse sobre cultivos tolerantes a las sales y los suelos necesitan un control adecuado de la salinidad. Los bajos niveles de sodio, en cambio, permiten usar las aguas con bajo peligro de alcanzar niveles importantes de sodio intercambiable. Por último, las concentraciones de boro detectadas clasifican estas aguas como posibles de emplear sólo en cultivos semi-tolerantes y tolerantes al boro. Pese a ello los cultivos tradicionalmente desarrollados en la zona, han demostrado ser aptos para ser regados con dichas aguas.

Es necesario destacar que el análisis realizado no tiene en cuenta la variación de la calidad con la profundidad, ya que los pozos de donde se han obtenido las muestras normalmente están habilitados a partir de los estratos más superficiales.

La campaña de geofísica realizada en esta zona, ha puesto de manifiesto la posible existencia de un acuífero de aguas con menor contenido salino, bajo los 20 metros de profundidad. Esta hipótesis es plausible y debería ser comprobada mediante la construcción de sondajes de reconocimiento, habilitados de forma de aislar las aguas de los estratos acuíferos superiores.

- 29 -

tradicionalmente desarrollados en la zona, han demostrado ser aptos para ser regados con dichas aguas.

El Análisis realizado, no ha podido tener en cuenta la variación de la calidad química con la profundidad. La campaña de geofísica realizada ha señalado la existencia de un acuífero de gran potencia con aguas no salinas. De acuerdo con ello se considera altamente recomendable la prospección de este acuífero, mediante sondeos profundos de manera de comprobar la hipótesis planteada.

7. FUNCIONAMIENTO DEL EMBALSE SUBTERRANEO

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

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

7.1 Entradas de Agua al Acuífero

Estas se producen básicamente por cuatro 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:
COPIAPO - PIEDRA COLGADA

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

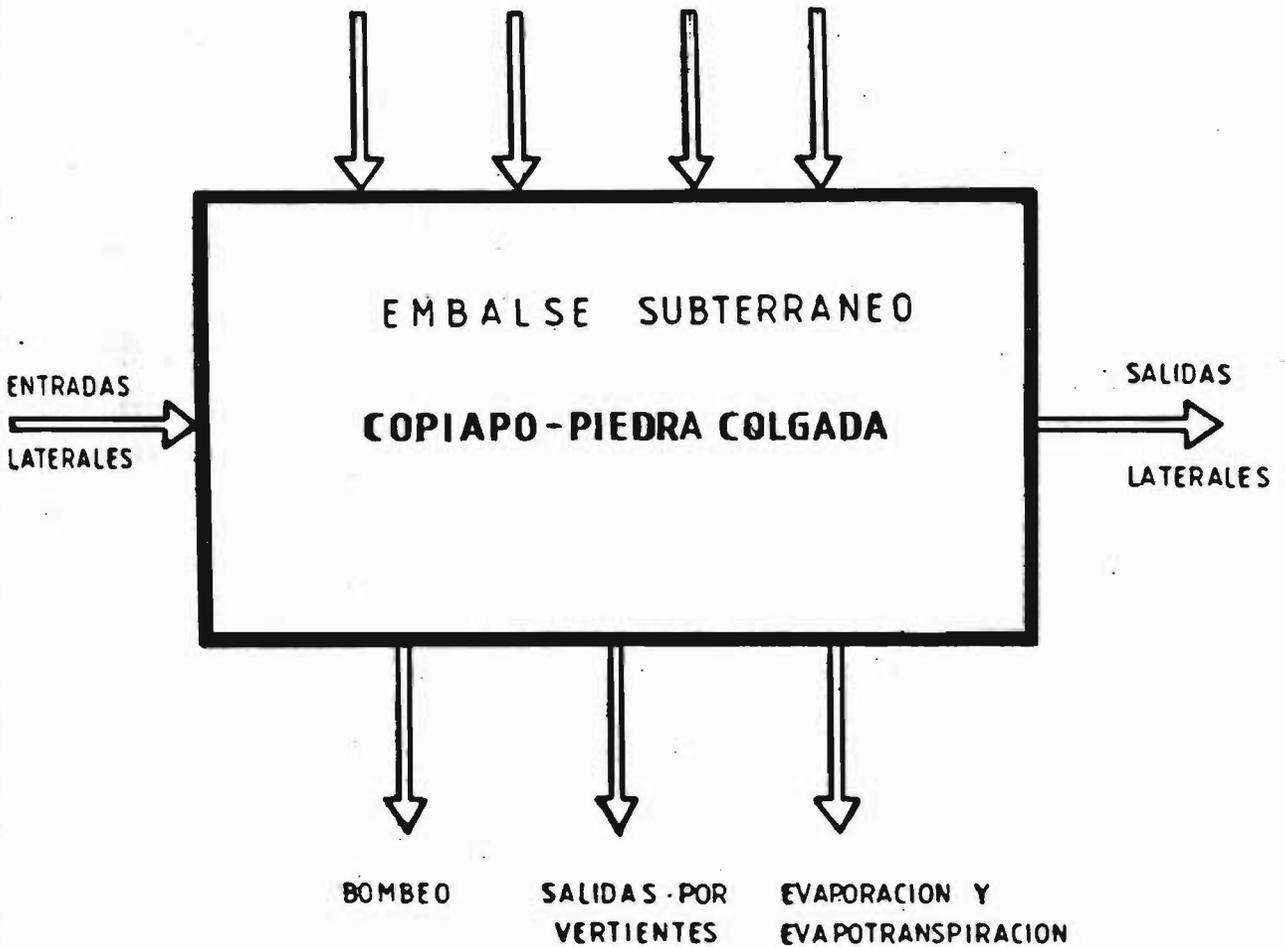


FIGURA 7.1

Las recargas subterráneas desde quebradas pequeñas están muy influenciadas por el régimen de lluvias, y corresponden al drenaje de las aguas lluvias que se infiltran en el relleno permeable bajo sus cauces. Por su origen, esta recarga es tan esporádica como las lluvias que las provocan.

Por otro lado, las quebradas de mayores dimensiones deberían aportar caudales pequeños pero constantes, es el caso de la quebrada que se une al valle del río Copiapó en el sector de Chamonate. (Llano de Chamonate).

b) Infiltraciones Riego

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

En primer lugar se tiene las infiltraciones provenientes por pérdidas en canales, tanto en los principales que no estén revestidos como en toda la red de distribución secundaria.

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

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

Por otro lado, el caudal que escurre por el río en este sector corresponde a las recuperaciones de éste en el sector de Copiapó y muy especialmente a las descargas de aguas servidas de dicha ciudad.

- 33 -

c) Infiltraciones del río Copiapó

Tal como se analiza en el capítulo "Relación río-acuífero", éstas constituyen, junto con las infiltraciones de regadío la principal fuente de recarga del acuífero.

Ahora bien, esta recarga se produce en el sector comprendido entre las zonas de Bodega y Chamonate, en el cual la profundidad del nivel estático alcanza un máximo de 30 metros y un mínimo de 10 metros, lo que junto a la buena comunicación hidráulica existente entre el río y el acuífero permite que éste se infiltre casi completamente.

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.

7.2. Salidas de Agua desde el Acuífero

Las descargas del acuífero son las siguientes:

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

Su significado se explica a continuación:

a) Descarga Lateral hacia Acuíferos Vecinos

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

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

b) Descarga por Evaporación y Evapotranspiración

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

En el área estudiada el sector comprendido entre Chamonate y Piedra Colgada tiene niveles altos, produciendo evaporación directa a través del suelo y generando, como consecuencia de lo anterior, depositación de sales en el suelo, las cuales se pueden observar a simple vista en el sector nombrado. Además se observa abundante vegetación freatófita en los sectores adyacentes al río, lo que confirmaría lo anteriormente expuesto.

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

c) Descarga por Bombeo

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

En el área estudiada se bombea desde el embalse subterráneo para el abastecimiento de tres tipos diferentes de usuarios: industrias, agua potable y regadío agrícola. De estos tres, los dos primeros prácticamente suplen toda su demanda con el bombeo de aguas subterráneas. El regadío, en cambio, usa tanto recursos superficiales como subterráneos, provenientes los primeros, de las vertientes existentes en Copiapó y de las descargas de aguas servidas de esta ciudad.

- 35 -

d) Descarga por Vertientes

En el sector bajo del área estudiada, Chamonate-Piedra Colgada, existen vertientes permanentes en el río Copiapó. Estas vertientes se producen por el estrechamiento del valle en el sector de Piedra Colgada, que obliga a la napa a subir sus niveles estáticos. Estas vertientes aparentemente no varían mucho su caudal de año en año y sirven para abastecer de aguas los canales de regadío de Piedra Colgada N° 1, 2 y Canal San Pedro.

8. BALANCE HIDRICO DEL EMBALSE SUBTERRANEO

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

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

8.1. Entradas por Agua al Acuífero

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

- Recarga lateral desde acuíferos vecinos
- Infiltraciones de Riego
- Infiltraciones del Río Copiapó
- Infiltraciones directas de lluvias

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:

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

con T = transmisividad del relleno (m³/s/m)

i = gradiente hidráulico de la napa (°/1)

L = ancho del valle (m)

En este caso la fórmula se ha evaluado para la zona de Copiapó en el sector, de la angostura del cerro La Cruz. Aquí el ancho del valle es 700 metros aproximadamente, la transmisividad bordea los 5000 (m³/día/m) equivalentes a 0.058 (m³/s/m) y el gradiente hidráulico es de 1.3%, con lo que se obtiene los siguientes

- 37 -

tes resultados:

$$Q = 0.058 \times \frac{1.3}{100} \times 700 = 0.528 \text{ (m}^3\text{/s)}$$

equivalentes a un volumen anual de 16.7 Mm³.

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

b) 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, en particular dentro del sector Copiapó-Pichincha que es cultivado esencialmente con métodos de riego por goteo, y en el sector Toledo-Chamonte regado en su mayoría por medio de surcos.

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

- 38 -

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 ésto 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 Hortalizas y Vides, existiendo además algunas hectáreas con frutales: Las superficies ocupadas por cada uno de estos cultivos se entrega en el cuadro adjunto N° 8.1.

CUADRO N° 8.1

DISTRIBUCION DE CULTIVOS DEL SECTOR COPIAPO-PIEDRA COLGADA

TIPO DE CULTIVO	SUPERFICIE (Há)
Hortalizas	573
Vides	837.3
Frutales	15
T O T A L	1.425.3

Como puede apreciarse, del total de 1.425.3 Há cultivadas en el área de estudio un 58.7% corresponde a vides, y un 40.2% a Hortalizas.

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

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

CUADRO N° 8.2

<u>DOTACIONES POR CULTIVOS (m³/Há/año)</u>	
TIPO DE CULTIVO	ETr
Hortalizas	5.730
Vides	6.681
Frutales	10.662

- 40 -

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

CUADRO N° 8.3

EFICIENCIAS DE RIEGO

SISTEMA	EFICIENCIA (%)
Goteo	80
Surcos	50
Tendido	45

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

CUADRO N° 8.4

INFILTRACION EN EL SECTOR COPIAPO-PIEDRA COLGADA

TIPO DE CULTIVO	E_{Tr} (m ³ /Há/año)	T_r (m ³ /Há/año)	P (m ³ /Há/año)	S Há	P_t (Mm ³ /año)
Hortalizas	5730	11460	2865	573	1.642
Vides	6681	9398	2193	837.3	1.836
Frutales	10662	23693	6516	15.0	0.098
TOTAL					3.6

- 41 -

Según los resultados obtenidos en el cuadro anterior; en el sector Copiapó-Piedra Colgada se tiene una entrada de $3.6 \text{ Mm}^3/\text{año}$ por concepto de infiltración por riego a nivel predial, valor que deberá verse aumentado por las infiltraciones de las redes primarias y secundarias de canales de riego.

Infiltraciones en Canales Matrices

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

CUADRO N° 8.5

TASAS DE INFILTRACION MEDIDAS EN CANALES AÑO 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

- 42 -

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.

Pese a lo expuesto en el párrafo anterior del análisis del cuadro N° 8,5 se observa una marcada diferencia entre el sector Piedra Colgada-Angostura y el resto del valle, notándose mayores infiltraciones porcentuales que en los sectores que siguen hacia aguas arriba. Todo esto es confirmado por las observaciones hechas en terreno que hemos realizado en el valle de Copiapó, las cuales indican que los canales Piedra Colgada # 2 y Perales atraviesan sectores de suelos arenosos y limo arenosos y en los cuales se esperan mayores infiltraciones que en los canales ubicados en sectores hacia aguas arriba dentro del mismo valle, los cuales atraviesan, en su mayoría, terrenos limo-arcillosos y limosos.

Ahora bien, dentro del cuadro N° 8.5 existen aforos de canales, siendo el canal Bodega el que representaría el comportamiento de los canales ubicados en el sector Copiapó-Piedra Colgada y como el resultado de este aforo en particular, no permite determinar un porcentaje de pérdida exacto, se considerará además estudios anteriores realizados en el valle y estudios realizados en los valles del Elqui y del Choapa (Ref. 26). con canales de similares características, cuyos resultados se entregan a continuación.

En el valle de Copiapó se ha realizado experiencias de infiltración en canales ubicados en el sector Mal Paso-Copiapó, obteniéndose valores comprendidos entre 4,5 y 25%/Km. con una media del orden 10% (Tabla 4,4 Infiltración en canales de regadío. Plan maestro de acción inmediata para el desarrollo de los recursos de agua y suelo del valle de Copiapó 1980). Ref.6

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

- 43 -

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.

Por otro lado, se debe considerar que en el sector estudiado, los canales existentes se abastecen de 2 fuentes distintas: Descarga de aguas servidas de Copiapó y recuperaciones del río Copiapó, siendo los canales La Chimba y Bodega abastecidos por las vegas existentes en Copiapó y los canales Toledo y Chamonate abastecidos por el río luego de recibir las descargas de aguas servidas. Esto se hace notar puesto que en períodos de sequía el caudal captado por los canales La Chimba y Bodega se puede reducir hasta quedar sin agua, en cambio, los otros dos canales no deberían disminuir su caudal notablemente dado que las descargas de la ciudad no lo deberían hacer. Ahora bien, los canales Bodega, Toledo y Chamonate 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.

Como resumen del punto anterior se puede decir que en períodos de sequía, el caudal captado por los canales Toledo y Chamonate no debe variar significativamente, siendo los canales La Chimba y Bodega los más afectados por tal efecto.

En base a los resultados y consideraciones anteriormente expuestas, parece aconsejable y hasta cierto punto de vista conservador emplear un valor de 2,5%/Km para cada canal en el sector Copiapó-Piedra Colgada, 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 determina el caudal de entrada a cada canal como el promedio de los valores medidos en aforos realizados por la D.G.A., los cuales se entregan en el anexo N°3 y cuyos resultados están en el cuadro N°8.6 adjunto.

- 44 -

CUADRO N° 8.6

CAUDALES MEDIOS EN BOCATOMA

CANAL	CAUDAL (lt/s)
La Chimba	233
Bodega	219
Toledo	350
Chamonate	387

Ahora bien, los valores presentados en el cuadro anterior corresponden a los caudales medios aforados en bocatoma, el cual no representa el caudal escurrente en todos los tramos del canal, para determinar éste se considera que, en cada saque importante que tenga el canal, sus aguas se dividen en partes iguales, obteniéndose así el caudal entrante a cada tramo.

Basado en los valores entregados y en las consideraciones anteriores se calcula la infiltración de cada canal, lo que se resume en la Tabla N°8.7 en la cual, para cada canal se entregan las longitudes y caudales de cada tramo, calculándose así la infiltración.

CUADRO N° 8.7

INFILTRACION DE CANALES MATRICES

CANAL	LONGITUD	CAUDAL	INFILTRACION
La Chimba	1400	233	704,6
	3600	117	909,8
Bodega	700	219	331,1
	8550	110	2.031,5
Toledo	4000	350	3.024,0
Chamonate	12200	387	10.198,2

$$17.199,2 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$= 6.3 \text{ Mm}^3/\text{año}$$
Infiltración en la Red Secundaria

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

Sobre la base de experiencias aisladas y teniendo presente que los trazados de estos canales van por lechos en general permeables, se puede adoptar una cifra similar a la infiltración por regadío predial de los sectores regados por medio de surcos o por bordes. Esto significa considerar un valor de $2,2 \text{ Mm}^3/\text{año}$ como infiltración en la red de canales secundaria.

- 46 -

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 $12.1 \text{ Mm}^3/\text{año}$, que se desglosa como sigue:

Infiltración en canales matrices	6.3 $\text{Mm}^3/\text{año}$
Infiltración en canales secundarios	2.2 $\text{Mm}^3/\text{año}$
Infiltración por regadío predial	3.6 $\text{Mm}^3/\text{año}$
T O T A L	12.1 $\text{Mm}^3/\text{año}$

c) Infiltración desde el Río

El área estudiada se debe dividir en dos sectores en lo que respecta a relación río-acuífero, existiendo un sector superior, Copiapó-Toledo, que tiene niveles estáticos del agua subterránea ubicados a profundidades variables entre 10 y 30 metros, y otro inferior entre Chamonate y Piedra Colgada, caracterizado por niveles estáticos superficiales en el que existen importantes áreas de vegas.

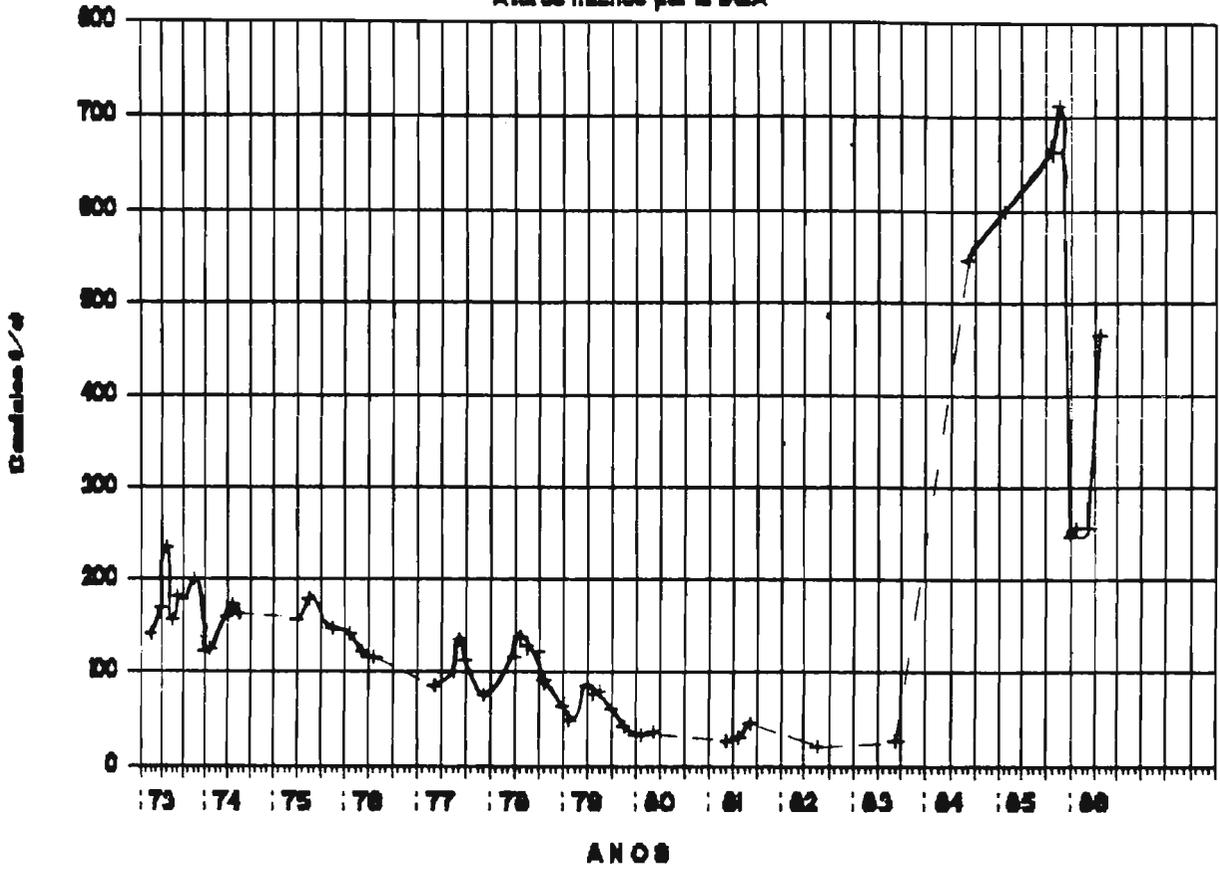
Debido a lo expuesto en el párrafo anterior, en el sector Chamonate-Piedra Colgada se encuentran recuperaciones del río y no infiltraciones. Por otra parte, en el sector Copiapó-Toledo se dan las condiciones para que el río infiltre, condiciones de profundidad de la napa subterránea y de comunicación río-acuífero que permitirían infiltraciones considerables. Ahora bien, en este sector el río no conduce caudales de importancia, puesto que sus recursos en este sector provienen fundamentalmente de las vegas de Copiapó y las descargas de las lagunas de decantación de aguas servidas, ya que normalmente las aguas cordilleranas llegan sólo hasta Copiapó. Estas aguas son captadas por los canales matrices de riego que tienen sus bocatomas en el tramo estudiado y lo que escurre son los excesos sobre la capacidad de captación de dichos canales, excesos que generalmente no se dan.

Como una manera de confirmar esto se estudió los caudales aforados en el canal San Pedro, cuya bocatoma está ubicada aguas abajo de las vegas de Piedra Colgada. Para éste se tiene una serie bastante completa de datos de caudales aforados. Observando esta serie, que se muestra en la Figura 8.1, se ve claramente que los caudales captados van disminuyendo desde el año 1973 en adelante, lo que coincide con las disminuciones de los niveles estáticos del sector. A partir del año 84 los caudales aumentan considerablemente, llegando en el año 1985 a captarse caudales del orden de 700 lts/seg., los cuales no podrían ser aportados en su totalidad por las vegas. Por último el año 1986 los caudales aforados disminuyen a un valor medio de 307 lt/s., el cual en su mayoría, podría ser aportado por las vegas del sector, debido a los altos niveles estáticos existentes.

FIG. 8.1

CAUDALES CANAL SAN PEDRO

Afrosos hechos por la DGA



De lo anterior se deduce que durante el año 1985 existieron escurrimientos superficiales cordilleranos en este tramo del río Copiapó, disminuyendo éstos durante 1986. Esto lleva a considerar, para 1986, que estos escurrimientos son captados en su totalidad por la red de riego. No existiendo así infiltraciones desde el río, y produciéndose éstas sólo desde los canales matrices de riego.

Por último, como una manera de estudiar la capacidad de infiltración del río en el tramo Copiapó-Toledo, se realizará una corrida de aforos diferenciales en este tramo, de manera de contar con la información necesaria para simular la situación en los años en que el río tiene escurrimientos superficiales de importancia.

d) Infiltraciones Directas de Lluvia

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

8.2. Salidas de Agua desde el Acuífero

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

- Descarga lateral hacia acuíferos vecinos
- Descarga por evaporación y evapotranspiración en zonas de nivel estático alto.
- 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 a través de la fórmula:

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

- 50 -

Por el sector de la angostura de Piedra Colgada el gradiente de la napa llega a $i = 0.6 \%$, el ancho del valle alcanza $L = 650$ metros y la transmisividad bordea los $T = 1500$ ($m^3/día/m$), equivalentes a $T = 0,0174$ ($m^3/s/m$) . (Pozo $27^{\circ}10' - 70^{\circ}20' C-15$).

Estos valores dan un caudal subterráneo saliente de:

$$Q = 0.0173 \cdot \frac{0.6}{100} \times 650 = 0.067 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

Este resultado tiene una gran sensibilidad al valor de T empleado. Si realmente la transmisividad fuera de $T = 3000$ ($m^3/día/m$) (Pozo $27^{\circ}10' - 70^{\circ}30' D-4$) se tendría un caudal:

$$Q = 0.135 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

basado en un valor de $T = 1500$ ($m^3/día/m$) se tiene un volumen anual de:

$$2.10 \text{ Mm}^3/\text{año}$$

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 evaporímetros de bandeja en el sector de estudio, la evapotranspiración potencial en éste se estudió basándose en la información de los sectores altos del valle que ha sido medida en bandejas ubicadas en los sectores

- 51 -

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 Copiapó-Piedra Colgada.

Partiendo de un evapotranspiración potencial del sector alto de 26769 ($m^3/Há/año$) y evapotranspiraciones reales para un mismo cultivo de 7991 ($m^3/Há/año$) y 6680 ($m^3/Há/año$), en los sectores alto y Copiapó-Piedra Colgada respectivamente, se llega a una evapotranspiración potencial de 22379 ($m^3/Há/año$) para el sector que se analiza.

Para la evaluación de la descarga por evapotranspiración se ha dividido según el tipo de vega que la genera. Se ha definido 3 tipos diferentes de vegas; las tipo A, donde la profundidad de la napa está comprendida entre 0 y 1 mts., tipo B, con profundidades de la napa comprendidas entre 1 y 2.5 mts, y tipo C, con profundidades entre 2.5 y 5.0 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 N° 8.8. Además, en este mismo cuadro se entregan los coeficientes de cultivo determinados para cada sector, usando como referencia los datos entregados por la FAO en su publicación "Las necesidades de Agua de los Cultivos" Ref. 25.

CUADRO N° 8.8

SUPERFICIES Y EVAPOTRANSPIRACION DE VEGAS
EN EL SECTOR COPIAPO - PIEDRA COLGADA

Vega Tipo	Vegetación Típica	Superficie (Há)	Coef. de Cultivo	Evapotranspiración ($Mm^3/Há/año$)
A	Totorales y suelos Húmedos	77	1.0	1.7
B	Matorrales y suelos secos	175	0.7	2.7
C	Matorral ralo	222	0.5	2.5
TOTAL				6.9

Los resultados obtenidos parecen razonables si se considera que en 1963 los valores obtenidos por el estudio Italconsult sólo difieren en un 27% con los actuales.

c) Descargas por Vertientes

En el sector de estudio sólo hay afloramientos claros de la napa en la zona de Piedra Colgada. En ella existen vertientes que alimentan los canales Piedra Colgada # 1 y # 2 y San Pedro, captando entre los tres todos los recursos generados por las vertientes mencionadas.

Basándose en los aforos realizados por la D.G.A. en los tres canales, se ha determinado el caudal aportado por las vertientes durante 1986. Estos aforos han sido realizados durante el período 1984 - 1986 en los canales Piedra Colgada #1 y #2 y en el período 1973 - 1986 en el Canal San Pedro. En base a estos datos se determinó el caudal medio escurriente en 1986 para cada uno de estos canales, el cual se entrega en el cuadro N°8.9 junto al volumen anual aportado por las vertientes.

CUADRO N° 8.9

VOLUMEN APORTADO POR VERTIENTES
EN EL SECTOR COPIAPO-PIEDRA COLGADA

CANAL	CAUDAL (lt/s)	VOL. ANUAL Mm ³ / Año
Piedra Colgada # 1	76	2.4
Piedra Colgada # 2	95.4	3.0
San Pedro	306.8	9.7
TOTAL		15.1 Mm ³ / año

d) Descargas por Bombeo

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

En el sector los únicos bombeos para agua potable que se efectúan son las del Recinto A.P. Cancha Rayada, que abastecen la aducción que va a Caldera y Chañaral. Sin embargo, de acuerdo a los planes de SENDOS, durante 1987 estos pozos dejarán de trabajar al ser reemplazados por unos recientemente construidos junto a la ciudad de Copiapó, en el Recinto A.P. Vicuña.

Por otro lado, los bombeos para riego se deben separar en 2 grupos: Los utilizados para suplir la falta del recurso superficial que son descargados a la red de canales y los utilizados para el riego de vides mediante un sistema de riego por goteo.

En cuanto a las proyecciones de la utilización del embalse subterráneo para fines agrícolas, se puede decir que se espera un aumento de la superficie regada por medio de sistemas de riego por goteo, en especial en el sector Bodega-Toledo donde se ha plantado ultimamente una gran cantidad de parronales.

Para establecer la magnitud de los volúmenes bombeados de la napa, se realizó una encuesta en terreno durante el mes de Diciembre de 1986. Esta información se ha complementado con datos de las superficies regadas con agua subterránea.

Debido a que la encuesta generalmente entrega datos de superficies regadas y no de volúmenes bombeados, éstos se han obtenido partiendo de las tasas de riego determinadas en el capítulo de Infiltraciones de Riego .

Por último los bombeos para aprovechamiento industrial sólo se realizan en el pozo 27°20' - 70°20' B-9, de la Planta Ojanco de propiedad de Sali Hochschild, el cual bombea un volumen anual de 1.3 Mm³.

Basados en estos antecedentes se han confeccionado los siguientes cuadros para el cálculo del volumen bombeado. Allí se presenta la situación actual, para las con-

- 54 -

diciones de 1986.

CUADRO N° 8.10VOLUMENES BOMBEADOS PARA AGUA POTABLE
EN EL SECTOR COPIAPO-PIEDRA COLGADA

POZO	RECINTO A.P.	CAUDAL (l/s)	Funcionamiento (hr/día)	Volumen Bombeado (Mm ³ /año)
27°20'-70°20' B1	Cancha Rayada	15	10	0.20
27°20'-70°20' B2	Cancha Rayada	15	24	0.47
27°20'-70°20' B12	Cancha Rayada	40	24	1.26

TOTAL 1.9

CUADRO N° 8.11VOLUMENES BOMBEADOS PARA RIEGO
EN EL SECTOR COPIAPO-PIEDRA COLGADA

POZO	PREDIO	DUEÑO	SUPERF. REG. (Há)	CULTIVO	VOL. BOMB. (Mm ³ /año) *
27°20' - 70°20'	B-4 Parcela N° 16	Guillermo Rojas	40	Parronal	0.38
	B-6 Fundo Renacer	Soc. Ag. Valle Dorado	50	"	0.47
	B-18 Parcela N°4	J. Tellerín y A. Santos	6	"	0.06
	B-24 Parcela N°4	Soc. Ag. Valle Dorado	50	"	0.47
27°10' - 70°20'	D-6 Parcela N°15	Ramón Tagle	60	"	0.56
	D-10 Res. Cora N°6	UNIAGRI (Pozo 1)	73	"	0.69
	D-B Parcela N°14	Guillermo Rojas	91	"	0.85
	D-14 Pichincha	Antonio Squeo	45	"	0.42
	D-18 Res. Cora N°6	UNIAGRI (Pozo 3)	73	"	0.69
	D-19 Res. Cora N°6	UNIAGRI (Pozo 2)	73	"	0.69
	C-S Callejón Toledo	Guillermo Stein	10	"	0.09
	C-12 Hda. Toledo	Soc. Vasangel S.A.	32	"	0.30
	C-22 Fundo El Car-men	Guillermo Rojas	40	Hortalizas	0.46
T O T A L			643		6.1

* Se ha supuesto, una tasa de riego de 9398 (m³/Há/año) para lo parronales y 11460 (m³/Há/año) para hortalizas, ambos para riego por goteo.

- 56 -

Por último, el cuadro N°8.12 resume la situación actual del bombeo en el área de estudio.

CUADRO N°8.12VOLUMENES TOTALES BOMBEADOSEN EL SECTOR COPIAPO-PIEDRA COLGADA

TIPO DE DEMANDA	VOL. BOMBEADO (Mm ³ /año)
Agua Potable	1.9
Riego	6.1
Industrial	1.3

8.3. BALANCE HIDRICO

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 COPIAPO-PIEDRA COLGADA

FACTOR	VOLUMEN (Mm ³)
<u>Entradas</u>	
Recarga Lateral	16.7
Inf. Canales Matrices	6.3
Inf. Canales Secundarios	2.2
Inf. Riego	3.6
T O T A L	28.8
<u>Salidas</u>	
Descarga Lateral	2.1
Evaporación y Evapotranspiración	6.9
Vertientes	15.1
Bombeo A.P.	1.9
Bombeo Industrial	1.3
Bombeo Riego	6.1
T O T A L	33.4
<u>Variación de Almacenamiento</u>	
Calculada	-4.6
Observada (aprox.)	0.0

- 59 -

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

Ahora bien, se debe tener en cuenta el grado de precisión con que se trabajó para obtener el volumen correspondiente a cada factor, precisión que al final se ha traducido en un error en el cálculo de la variación de almacenamiento 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, se considera que tanto la recarga lateral como la infiltración por riego están bien calculados. Podría afinarse entonces mediante un aumento de las infiltraciones desde canales.

En el caso de canales matrices se ha determinado una tasa de infiltración de un 2.5%/km referido al caudal de entrada. Si esta tasa aumentara de 2,5 a 3,5%/km, lo que es perfectamente aceptable, el volumen infiltrado anualmente subiría de 6.3 a 8.8 Mm³. Es decir la diferencia de la variación de almacenamiento bajaría de 4.6 a 2.1 Mm³.

Respecto a los canales de la red secundaria se considera que debido a la magnitud de las infiltraciones calculadas el error cometido no es de incidencia en el resultado final del balance.

Por otro lado, respecto a las salidas, cabe suponer que tanto la descarga lateral como los bombeos están bien estimados. Podría afinarse entonces mediante una disminución de las vertientes y/o evaporación y evapotranspiración.

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

ANEXO N*1

NIVELES ESTATICOS Y CONDUCTIVIDADES MEDIDOS EN DICIEMBRE DE 1986

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

COORDENADA	Nº	PREDIO	DUENO	NIV. EST (m.)	CONDUCT. (umhos/cm)	C. TERRENO m.s.n.m.	C. PIEZOM. m.s.n.m.
ZONA LA CHIMBA - BODEGA							
2720-7020	B-1	Rec. A.P. Cancha Rayada	DOS 841	26.88	1600.0	355.0	N.D.
	B-2	Rec. A.P. Cancha Rayada	DOS 840	28.54	1560.0	354.0	N.D.
	B-3	Miguel Araya (Bodega)	CORA				
	B-4	Parcela N.14 (Bodega)	Guillermo Rojas		1900.0	345.0	
	B-5	Lagunas Estabilizadoras	Com. Bodega	31.46		345.0	313.5
	B-6	Fundo Renacer (Bodega)	Soc.Agr.Valle Dorado		1530.0	336.0	N.D.
	B-7	Panamericana Sur	D6A - Obs.			384.0	
	B-8	La Chimba	D6A - Obs.	26.85		351.3	324.5
	B-9	Planta Ojanco	Sali Hochschild			374.0	
	B-10	Tranque Nochero-Chimba	Com. Agua - Chimba			363.0	
	B-11	Villa La Selva	Com. Agua - Chimba	0.02	2.8	332.5	311.2
	B-12	Rec. A.P. Cancha Rayada	SENDOS			356.5	
	B-13	Carretera con Viel	Manuel Rivadeneira	15.71	1460.0	370.0	354.3
	B-14	Panamericana Norte	Jorge Cid y Hnos.				
	B-15	Parcela Bodega	Domingo Guggiana	27.81	1650.0	333.0	N.D.
	B-16	Fundo Renacer (Bodega)	Eduardo Guggiana	28.53	1420.0	336.0	307.5
	B-17	Parcela 16 Bodega	Patricio Rojas	31.10	1970.0	341.5	310.4
	B-18	Parcela N.4 (Bodega)	J. Tellerin y A. Santos		1420.0	343.0	N.D.
	B-19	Rec. A.P. Cancha Rayada	SENDOS N.3	25.72		355.5	329.8
	B-20	Res. Cora N°4 Toledo	Soc.Agr.Valle Dorado			327.5	
	B-21	Parcela 4 Bodega	Soc.Agr.Valle Dorado	26.86		335.5	308.6
	B-22	Parcela 10 Bodega	Soc.Agr.Melinka	29.66	1330.0	341.5	311.8
	B-23	Parcela 4 Bodega	Soc.Agr.Valle Dorado			335.5	

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. C. TERRENO (umhos/cm)	C. PIEZOM. m.s.n.m.	C. PIEZOM. m.s.n.m.
ZONA BODEGA - CHAMONATE							
2710-7020	D-1	Parcelas 1 y 2 Chamonate	Juan Diaz y Luis Salas	14.26	1220.0	304.5	290.2
	D-2	Parcela 4 Chamonate	Raquel Porcile	9.01	1040.0	299.0	290.0
	D-3	Pichincha	Comuneros Pichincha			319.5	
	D-4	Hacienda Bodega	DGA - Obs.	22.42		330.0	307.6
	D-5	Pichincha	Comuneros Pichincha			318.0	
	D-6	Parcela 15 Bodega	Ramon Tagle	31.16	1920.0	337.0	N.D.
	D-7	Chamonate	Emilio Silva		1240.0	312.0	
	D-8	Parcela 22 Aeropuerto	DGA - Obs.	10.56		300.7	290.1
	D-9	Parcela 22 Toledo	Soc. Agricola Chamonate	12.43	1100.0	303.5	291.1
	D-10	Res.Cora N°6 Toledo	UNIAGRI (Pozo 1)	17.28	1730.0	318.5	N.D.
	D-11	Res.Cora N°6 Toledo	UNIAGRI (Pozo 4)	16.86		320.5	303.6
	D-12	Parcela 6 Pichincha	Rodrigo Moreno				
	D-13	Parcela 14 Bodega	Guillermo Rojas	26.58	2100.0	333.0	N.D.
	D-14	Pichincha	Antonio Squeo	19.18	1800.0	324.5	
	D-15	Pichincha	Antonio Squeo	29.33	1620.0	327.5	
	D-16	Carpa 4 Pichincha	Emilio Silva				
	D-17	Camino a Cerro Iman	Renato Porcille (Observ.)	15.10		307.5	
	D-18	Res.Cora N°6 Bodega	UNIAGRI (Pozo 3)	16.52	1720.0	318.0	N.D.
	D-19	Res.Cora N°6 Bodega	UNIAGRI (Pozo 2)	16.77	1500.0	317.5	N.D.
	D-20	Res.Cora N°6 Bodega	UNIAGRI (Pozo 5)			315.0	
	D-21	Parcela 11 Bodega	Ana Maria Figari	23.85	2000.0	331.0	307.2
	D-22	Carpa 4 Pichincha	Renato Porcile			310.5	

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 CHAMONATE-PIEDRA COLGADA							
2710-7020	C-1	Hacienda San Francisco	Mario Porcile	3.22	840.0	274.0	270.8
	C-2	Parcela 9 Chamonate	Carlos Porcile	3.48	1700.0	285.0	281.5
	C-3	Parcela 5 Chamonate	Renato Porcile			295.5	
	C-4	Hacienda Toledo	Comuneros Toledo	8.12	1440.0	293.7	285.6
	C-5	Callejon Toledo	Guillermo Stein	7.97	1110.0	288.7	
	C-6	Parcela 8 Chamonate	Gabriela Porcile		2160.0	288.0	
	C-7	Fundo Santa Luisa 2	Agricola San Esteban	4.36		267.0	262.6
	C-8	Hacienda Toledo	DGA - Obs.	5.93	1200.0	287.8	
	C-9	Hacienda Toledo	Comuneros Toledo			284.0	
	C-10	Camino a Cerro Iman	DGA - Obs.	5.24	1800.0	290.5	
	C-11	Camino a Cerro Iman	Agustin Vergottini	5.21	1420.0		
	C-12	Hacienda Tolédo	Sociedad Vasangel S.A.	11.24	1500.0	291.0	N.D.
	C-13	Hacienda Toledo	Sociedad Vasangel S.A.	6.48		287.0	
	C-14	Parcela 38 Toledo	Soc. Gustavo Morales			280.0	
	C-15	Fundo Santa Luisa 1	Mario Porcile	7.73	1500.0	254.0	246.3
	C-16	Vegas Piedra Colgada	Fernando Santelices	1.37	1300.0	257.0	255.6
	C-17	Fundo San Juan	Soc. Agr. Piedra Colgada	7.36	1780.0	251.0	243.6
	C-18	Chamonate (Pz 14)	DGA - Obs.	5.55	4800.0	282.0	276.5
	C-19	Piedra Colgada (Pz 13)	DGA - Obs.	2.20		263.5	261.3
	C-20	Fundo El Carmen (Pz 12)	DGA - Obs.	3.86	5000.0	248.0	244.1
	C-21	Fundo El Carmen P. Colg.	Soc. Agrícola Rosaex			289.0	
	C-22	Fundo El Carmen P. Colg.	Soc. Agrícola Rosaex	1.00	1970.0	248.0	247.0
						246.0	

ANEXO N*2

ANALISIS QUIMICOS EMPLEADOS EN EL ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA

ZONA: BODEGA.

Pozo: 27°20' - 70°20' B-1

FECHA	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)
9.5.78	269,10	77,61	840,52	213,23	79,18	6,26	140,24	0,00
27.7.79	153,00	108,00	721,00	704,00	304,00	S/S	S/S	0,00
12.9.80	91,53	92,52	620,52	129,46	68,22	10,26	150,12	0,00

ZONA: BODEGA

Pozo: 27°20' - 70°20' E-2

FECHA	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)
19.8.79	176,00	94,00	610,00	624,00	268,00	S/S	S/S	15,00
29.5.80	184,00	102,00	650,00	588,00	288,00	S/S	S/S	0,00

ZONA: CHACRIATE

Pozos: 27°10' - 70°20' D-1

FECHA	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)
16.5.69	480,23	123,12	626,79	254,91	58,21	8,60	216,11	0,00
15.5.78	98,62	126,14	920,84	112,02	110,52	8,04	239,10	9,00
26.9.79	327,41	150,21	1102,82	170,31	155,47	10,95	259,79	0,00
14.7.80	219,07	126,20	890,78	155,91	9,63	11,73	269,41	0,00

ALAMOS Y PERALTA

INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

Proyectista:	Fecha	Hoja 1 de 8						
Obra: COPILAPO - PIEDRA COLGADA	Proyecto	Número						
Materia:	Control							

ZONA: CHAHUACATE

POSO: 24°10' - 70°20' D-4

FECHA	HCO ₂ (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.	237,98	105,64	720,45	195,19	66,27	5,08	172,89	42,00
12.9.80	182,06	73,03	570,60	116,62	53,30	9,78	140,70	0,00

ZONA: CHAHUACATE

POSO: 27°10' - 72°20' D-16

FECHA	HCO ₂ (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)
26.9.79.	211,20	119,47	845,81	132,89	110,92	10,50	230,20	0,00
4.2.80.	206,10	99,26	730,54	211,80	62,02	9,78	155,18	0,00

ZONA: PIEDRA CON GALA

POSO: 27°10' - 70°20' C-1

FECHA	HCO ₂ (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)
28.1.69.	148,88	129,75	681,04	181,26	75,62	4,84	159,58	0,00
11.9.71.	141,49	124,78	702,96	180,56	75,27	7,04	151,74	0,00
18.1.80.	173,52	117,69	806,30	186,97	77,55	9,38	186,62	0,00
13.7.81.	294,33	119,82	866,94	236,17	62,84	4,82	186,22	0,00

ALAMOS Y PERALTA

INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

Proyectista:	Fecha	Hoja 2 de 8
Obra: COPIAPO - PIEDRA CON GALA	Proyecto	Número
Materia:	Control	

ZONA: RODEGA

PUNTO: 29°20' - 70°20' B-5

FECHA	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)
26.9.79	335,61	76,93	640,24	143,89	93,63	8,60	127,94	0,00

ZONA: RODEGA

PUNTO: 29°20' - 70°20' B-6

FECHA	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)
06.7.79	122,01	65,93	520,16	102,20	69,68	3,43	109,81	0,00

ZONA: RODEGA

PUNTO: 29°20' - 70°20' B-12

FECHA	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)
12.12.79	147,00	98,00	980,00	206,00	54,00	17,30	228,50	0,00

ALAMOS Y PERALTA

INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

Proyectista:	Fecha	Hoja 4 de 8
Obra: CCE PUNTO 29°20' - 70°20' B-12	Proyecto	Número
Material:		

ZONA: BODEGA

Pozo: 27°20' - 70°20' 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)
23.9.83	2470	171,79	166,97	1171,93	252,50	89,98	10,56	214,27	0,00

ZONA: BODEGA

Pozo: 27°20' - 70°20' B-9

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)
14.9.81	1462	239,40	67,71	638,53	158,32	44,62	3,91	92,42	0,00

ZONA: BODEGA

Pozo: 27°20' - 70°20' B-19

FECHA	CONDUCTIVIDAD	HCO ₃ (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	CO ₂ (mg/l)
2.8.82	SIX	184,00	113,00	980,00	243,00	70,10	3,20	195,80	0,00

ALAMOS Y PERALTA

INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

Proyectista:	Fecha	Hoja 5 de 8
Obra: COPIPPO - PIEDRA COLGADA	Proyecto	Número
Materia:	Control	

ZONA: FIEBPA CULGALA
 POBO: 27°10' - 70°20' C-4

FECHA	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)
26.9.79.	323,41	88,27	660,41	139,28	96,92	8,99	172,43	0,00
18.1.80.	126,31	98,55	715,65	153,51	71,74	8,60	163,23	0,00

ZONA: FIEBPA CULGALA
 POBO: 27°10' - 70°20' C-5

FECHA	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)
11.5.78	146,45	103,62	720,45	99,60	90,84	5,87	166,58	0,00

ZONA: FIEBPA CULGALA
 POBO: 27°10' - 70°20' C-7

FECHA	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)
11.5.78	134,24	102,10	740,62	116,23	81,11	5,84	183,92	0,00

ALAMOS Y PERALTA

INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

Proyectista:	Fecha	Hoja 7 de 8
Obra: COPIAPO - PIEDRA CULGADA	Proyecto	Número
Materia:	Control	

ANEXO 3: AFOROS EN EL VALLE DEL RIO COPIAPO.

Aforos en Valle Copiapó

Lugar	Fecha D D M M A A	Hora	Caudal (lt/seg)
Canal La Chimba	06 01 68	9 ³⁰	366
"	25 01 68	7 ⁰⁰	338
"	29 02 68	11 ⁰⁰	316
"	26 02 68	10 ²⁰	325
"	13 03 68	11 ³⁰	347
"	26 04 68	9 ⁵⁰	357
"	31 05 68	10 ⁵⁰	333
"	28 06 68	9 ⁰⁰	339
"	29 07 68	15 ¹⁰	392
"	28 08 68	10 ⁰⁰	326
"	24 09 68	11 ¹⁰	326
"	30 10 68	8 ⁵⁰	336
"	28 11 68	11 ¹⁰	395
"	31 12 68	16 ³⁰	284
"	28 01 69	8 ²⁰	180
"	28 02 69		240
"		9 ³⁵	267
"	24 04 69		263
"	30 05 69		240
"	26 06 69	16 ⁵⁰	283
"	29 07 69		247
"	29 08 69		249
"	30 09 69		273
"	29 10 69		331
"	18 11 69		298
"	30 12 69		283
"	23 02 70		204
"	26 03 70		239
"	16 04 70		250
"	29 05 70		246
"	27 06 70		256
"	30 07 70		232
"	29 08 70		235
"	22 09 70		248
"	30 10 70		214
"			200
"	19 02 71		184
"	30 03 71		172
"			208
"	11 11 71	16 ⁰⁰	135
"	25 06 74	12 ⁰⁰	229

ALAMOS Y PERALTA

INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

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

Lugar	Fecha D D M A A	Hora	Caudal (#/seg)	
Canal La Chimba	21 08 75	9 ²⁰	238	
"	27 07 76		220	
"	29 07 77	14 ⁰⁰	151	
"	31 05 78	10 ⁰⁰	77	
"	22 09 78	13 ⁴⁰	83	
"	12 01 79	12 ⁰⁰	60	
"	13 02 79		31	
"	06 09 82	16 ⁰⁰	136	
"	29 09 82		55	
"	04 07 83	11 ⁰⁰	164	
"	02 08 84	14 ³⁰	156	
"	12 09 85	10 ³⁰	160	
"	27 11 85	9 ⁰⁰	169	
"	29 01 86	11 ⁴⁰	235	
"	19 02 86	11 ⁵⁰	156	
"	16 04 86		126	
"	19 06 86	11 ²⁰	180	
"	29 07 87	10 ⁴⁰	169	
Canal Bodega	02 08 84	14 ⁵⁵	177	
"	12 09 85	9 ²⁰	196	
"	02 10 85	11 ⁰⁰	104	
"	27 11 85	10 ¹⁵	183	
"	20 01 86	12 ¹⁰	219	
"	19 02 86	12 ¹⁰	179	
"	16 04 86		157	
"	19 06 86	11 ⁴⁵	325	
"	29 07 86	11 ¹⁰	366	
"	05 05 86		288	
Canal Toledo Norte	02 08 84	17 ⁰⁰	87	
Toledo Cruce Carretera	02 08 84	15 ¹⁵	236	+323
Toledo Norte	19 03 85	16 ⁰⁰	191	
Toledo Sur	19 03 85	16 ¹⁵	107	+298
Toledo N°2	02 10 85	11 ⁵⁰	84	
Toledo N°3	02 10 85	12 ²⁰	233	
Toledo.	02 10 85	11 ³⁰	111	+428

ALAMOS Y PERALTA

INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

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

Lugar	Fecha						Hora	Caudal (ft ³ /seg)
	D	M	A	A	A	A		
Canal Charonate + toledo	2	6	0	2	8	5	11 ⁴⁰	482
"	0	2	1	0	8	5	11 ⁴⁵	392
"	1	9	0	1	8	6	11 ¹⁰	333
"	1	9	0	2	8	6	13 ¹⁰	352
"	1	7	0	4	8	6	13 ²⁰	564
"	1	9	0	6	8	6		921
"	2	9	0	7	8	6	11 ⁴⁰	1088
Charonate en Itasco partido	0	8	0	7	8	6		302
Toledo en " "	0	8	0	7	8	6		145

ALAMOS Y PERALTA

INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

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

Lugar	Fecha D D M M A A	Hora	Caudal (ft/seg)
Cauel San Pedro	21 08 75	11 45	192
	23 03 73	16 30	141
	15 05 73	17 20	170
	19 06 73	18 20	236
	19 07 73	12 00	158
	20 08 73	16 00	183
	21 09 73	12 30	178
	31 11 73		200
	25 01 74		122
	27 02 74	12 00	126
	24 05 74	11 20	161
	24 06 74	17 00	173
	26 07 74		165
	14 01 75		102
	19 05 75	9 30	157
	22 07 75	11 10	180
	30 11 75	10 00	148
	28 11 75	11 20	124
	24 02 76	15 00	141
	25 02 76	13 45	133
	19 04 76	18 00	124
	05 05 76	16 50	117
	16 06 76	17 35	117
	26 04 77	14 10	86
	29 07 77	9 00	102
	30 08 77	15 30	136
	28 09 77	12 50	113
	26 12 77	10 30	77
	31 05 78	10 15	116
	29 06 78	13 00	140
	25 07 78	10 30	128
	22 09 78	13 00	122
	30 10 78	14 00	91
	27 01 79		65
	15 02 79	15 30	50
	29 05 79	16 00	85
29 06 79	10 45	76	
26 07 79	13 10	79	
26 09 79	15 40	61	
23 11 79	10 00	43	
12 02 80	16 20	33	

ALAMOS Y PERALTA

INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

Proyectista :

Fecha

Hoja 1 de 6

Obra :

Proyecto

Número

Materia :

Control



Lugar	Fecha D D M A A	Hora	Caudal (lt/seg)
Canal San Pedro.	18 01 80	15 ²⁵	34
	09 04 80	15 ⁰⁰	37
	27 04 81	14 ²⁰	26
	29 06 81	11 ¹⁰	29
	21 08 81	15 ¹⁵	45
	30 08 83	14 ⁵⁰	26
	29 07 82	10 ⁴⁵	21
	02 08 84	18 ⁰⁰	545
	26 02 85	14 ⁰⁰	600
	02 10 85		663
	27 11 85	15 ³⁰	714
	17 01 86	11 ⁵⁰	248
	11 02 86	11 ³⁰	258
	17 04 86	15 ¹⁰	256
	19 06 86	15 ²⁰	465
Canal Derules			158
	23 11 83	15 ⁰⁰	76
	26 02 85	15 ⁰⁰	210
	02 10 85	17 ¹⁰	292
	27 11 85	16 ¹⁰	69
	19 06 86	15 ⁴⁰	40
	29 07 86	15 ¹⁵	39
Canal San Carrilo			2
	22 04 85		174
	08 06 85	14 ⁵⁰	62
	07 02 86		95
	19 02 86	16 ²⁰	15
	17 04 86	15 ⁴⁰	9
	23 05 86	15 ³⁵	27
12 08 86	15 ⁰⁰	14	
Canal Margarita.	04 04 85	14 ²⁰	152
	08 06 85	12 ¹⁰	218
	02 10 85		523
	27 11 85	16 ³⁰	35

ALAMOS Y PERALTA

INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

Proyectista :	Fecha	Hoja 2 de 6
Obra :	Proyecto	Número
Materia :	Control	

Lugar	Fecha					Hora	Caudal (lt/seg)	
	d	b	n	n	A A			
Canal María Isabel	2	6	0	7	7	4	14 ⁴⁵	166
	2	5	0	9	7	4	10 ⁰⁰	150
	0	6	1	1	7	4	15 ⁴⁰	152
	2	2	1	1	7	4	12 ⁰⁰	197
	1	4	0	1	7	5		137
	0	6	0	2	7	5	16 ⁴⁰	153
	1	9	0	5	7	5	11 ³⁰	162
	2	0	0	6	7	5	14 ¹⁰	172
	2	2	0	7	7	5	15 ⁰⁰	175
	3	1	1	1	7	5	11 ³⁰	151
	2	8	1	1	7	5	13 ⁴⁵	154
	2	7	0	1	7	6	15 ⁰⁰	136
	2	4	0	2	7	6	16 ¹⁵	142
	2	5	0	3	7	6	11 ⁰⁰	84
	1	9	0	4	7	6	17 ¹⁵	169
	0	5	0	5	7	6	15 ³⁰	174
	1	6	0	6	7	6	17 ⁰⁰	170
	1	8	0	1	7	7	15 ¹⁰	147
	2	9	0	6	7	7	15 ¹⁰	227
	2	9	0	7	7	7	11 ⁰⁰	177
	3	0	0	8	7	7	16 ⁰⁰	193
	2	8	0	9	7	7	13 ⁵⁰	174
	2	4	1	1	7	7	16 ⁰⁰	141
	2	6	1	2	7	7	13 ¹⁰	141
	0	3	0	1	7	8		154
	3	0	0	3	7	8	13 ⁰⁰	119
	3	1	0	5	7	8	10 ⁰⁰	193
	2	9	0	6	7	8	14 ⁰⁰	162
	2	5	0	7	7	8	10 ⁴⁰	176
	2	2	0	9	7	8	11 ⁰⁰	94
	2	6	1	0	7	8	15 ⁰⁰	144
	0	1	1	2	7	8	12 ⁵⁰	141
	1	4	1	2	7	8	15 ¹⁰	171
	2	7	0	1	7	9		144
	1	5	0	2	7	9	16 ³⁰	140
	2	9	0	5	7	9	16 ³⁰	227
	2	6	0	7	7	9	15 ³⁰	212
	2	7	0	8	7	9	13 ⁵⁰	208
	2	6	0	2	8	0	13 ¹⁰	150
	2	1	0	3	8	0	17 ⁰⁰	144
0	9	0	4	8	0	15 ⁰⁰	92	

ALAMOS Y PERALTA

INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

Proyectista:

Fecha

Hoja 4 de 6

Obra:

Proyecto

Número

Materia:

Control

Lugar	Fecha	Hora	Caudal (ft ³ /seg.)
	D D M M A A		
Canal María Isabel.	060680	15 ⁰⁰	137
	211180	16 ³⁰	56
	151280	16 ⁰⁰	169
	270181	17 ³⁹	147
	270481	15 ²⁰	174
	280581	15 ¹⁰	218
	210881	16 ⁰⁰	213
	261081	13 ⁰⁰	139
	011281	17 ⁰⁰	156
	011281	17 ³⁰	148
	270182	13 ¹⁰	196
	190282	14 ⁴⁰	167
	230482	11 ⁵⁰	150
	190582	15 ²⁵	204
	290782	13 ¹⁰	215
	240882	16 ⁰⁰	224
	290982	14 ²⁰	223
	211082	16 ⁰⁰	158
	070283	11 ⁵⁰	154
	110383	11 ⁴⁰	132
	180583	12 ¹⁰	148
	200683		175
	130783	14 ⁰⁰	225
	300883	17 ⁴⁰	178
	150983	15 ¹⁰	193
	141083	12 ⁴⁰	185
	281183	15 ⁰⁰	124
	121283	14 ¹⁰	161
	120183	16 ⁴⁰	130
	190483	11 ⁴⁰	196
	250185	15 ⁴⁰	319
	260285	15 ⁴⁰	299
	180385	16 ⁰⁰	234
	010485	15 ⁵⁰	371
240585	15 ³⁰	216	
180685	16 ¹⁰	293	
170785	15 ³⁰	254	
080885	15 ⁴⁰	237	
021085	19 ¹⁰	163	
231285	16 ⁴⁰	150	
170186	16 ⁴⁰	175	

ALAMOS Y PERALTA

INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

Proyectista :	Fecha	Hoja 5 de 6
Obra :	Proyecto	Número
Materia :	Control	

ANEXO 4: 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 COPIAPO - PIEDRA COLGADA									
ZONA LA CHIMBA - BODEGA									
2720-7020	B-1	Rec. A.P. Cancha Rayada	16.8	77.0	64.0	380.0	38.2	354.2	11.800
	B-2	Rec. A.P. Cancha Rayada	10.9	70.0	64.0	380.0	37.5	353.5	11.500
	B-3	Miguel Araya (Bodega)				380.0		380.0	
	B-4	Parcela N.14 (Bodega)	26.7	80.0	60.0	380.0	27.0	347.0	
	B-5	Lagunas Estabilizadoras				230.0		230.0	
	B-6	Fundo Renacer (Bodega)	6.2	85.0	60.0	205.0	26.7	175.7	
	B-7	Panamericana Sur			20.0	340.0	18.3	334.3	
	B-8	La Chimba			42.5	400.0	13.5	371.0	
	B-9	Planta Ojanco	12.4	90.0	55.1	340.0	54.4	339.3	5.700
	B-10	Tranque Nochero-Chimba	3.8	34.0	29.4	340.0	26.3	338.9	5.000
	B-11	Parcela 4 Bodega				210.0		210.0	
	B-12	Rec. A.P. Cancha Rayada	10.0	60.0	75.0	380.0	43.0	348.0	12900
	B-13	Carretera con Viel	12.0	18.2		340.0		322.7	
	B-14	Panamericana Norte				440.0		440.0	
	B-15	Parcela Bodega	20.3	60.0	60.2	250.0	32.3	222.1	20000
	B-16	Fundo Renacer (Bodega)	10.8	43.0	60.0	205.0	29.2	174.2	12300
	B-17	Parcela 16 Bodega		110.0	58.0	370.0	26.3	338.3	
	B-18	Parcela N.4 (Bodega)				220.0		220.0	
	B-19	Rec. A.P. Cancha Rayada				380.0		380.0	
	B-20	Res. Cora N*4 Toledo		120.0	59.3	205.0	37.3	183.0	
	B-21	Parcela 4 Bodega	12.7	80.0	58.0	205.0	29.7	176.7	12300
	B-22	Parcela 10 Bodega	3.1	60.0	51.5	220.0	21.2	189.7	4000

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 BODEGA - CHAMONATE									
2710-7020	D-1	Parcelas 1 y 2 Chamonate	3.3	47.0	62.0	710.0	47.3	695.3	5000
	D-2	Parcela 4 Chamonate	7.5	71.0		740.0		731.5	11250
	D-3	Pichincha	17.3	110.0	74.5	100.0	58.9	84.4	10.500
	D-4	Hacienda Bodega			28.2	310.0	6.7	288.5	
	D-5	Pichincha				80.0		80.0	
	D-6	Parcela 15 Bodega	12.9	55.0	58.0	220.0	28.6	190.6	12500
	D-7	Chamonate	1.6	20.0	48.0	320.0	27.6	299.6	1800
	D-8	Parcela 22 Aeropuerto			27.0	320.0	10.3	303.3	
	D-9	Parcela 22 Toledo	5.5	55.0	50.0	300.0	25.5	275.5	8300
	D-10	Res.Cora N#6 Toledo				100.0		100.0	
	D-11	Res.Cora N#6 Toledo				120.0		120.0	
	D-12	Parcela 6 Pichincha							
	D-13	Parcela 14 Bodega		80.0	60.0	220.0	27.0	187.0	
	D-14	Pichincha				270.0		270.0	
	D-15	Pichincha				280.0		280.0	
	D-16	Carpa 4 Pichincha				300.0		300.0	
	D-17	Camino a Cerro Iman				340.0		340.0	
	D-18	Res.Cora N#6 Bodega	25.4	100.0	65.0	150.0	49.4	134.4	20000
	D-19	Res.Cora N#6 Bodega	18.9	130.0	58.0	190.0	42.5	174.5	19000
	D-20	Res.Cora N#6 Bodega	21.6	130.0	65.0	190.0	50.3	175.3	19500
	D-21	Parcela 11 Bodega	21.5	100.0	58.0	320.0	33.2	295.2	20000

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 CHAMONATE-PIEDRA COLGADA								
2710-7020 C-1	Hacienda San Francisco		140.0	78.0	370.0	74.3	366.3	
C-2	Parcela 9 Chamonate				300.0		300.0	
C-3	Parcela 5 Chamonate	31.3	83.0	50.5	580.0	40.4	569.9	15.700
C-4	Hacienda Toledo		93.0	44.9	440.0	34.1	429.2	
C-5	Callejon Toledo		87.0	45.0	450.0	35.8	440.8	
C-6	Parcela 8 Chamonate	5.9	70.0	40.8	240.0	33.8	233.0	5.000
C-7	Fundo Santa Luisa 2		64.0	46.5	210.0	42.3	205.8	
C-8	Hacienda Toledo			20.0	480.0	10.5	470.5	
C-9	Hacienda Toledo		120.0	48.0	360.0	37.5	349.5	
C-10	Camino a Cerro Iman			22.0	300.0	11.1	289.1	
C-11	Camino a Cerro Iman	2.6	50.0	56.0	300.0	40.9	284.9	2700
C-12	Hacienda Toledo		60.0	44.8	470.0	32.4	457.6	
C-13	Hacienda Toledo	5.7	100.0	48.0	520.0	29.0	501.0	11000
C-14	Parcela 38 Toledo	20.9	100.0	65.2	410.0	54.7	399.5	20000
C-15	Fundo Santa Luisa 1	6.5	95.0	50.0	180.0	44.5	174.5	6200
C-16	Vegas Piedra Colgada		26.7		170.0		166.0	
C-17	Fundo San Juan				200.0		200.0	
C-18	Chamonate (Pz 14)			7.6	320.0	2.4	314.8	
C-19	Piedra Colgada (Pz 13)			7.8	300.0	5.6	297.8	
C-20	Fundo El Carmen (Pz 12)			6.1	190.0	2.3	186.1	
C-21	Fundo El Carmen P.Colq.	3.4	80.0	48.0	190.0	43.9	185.9	3000
C-22	Fundo El Carmen P.Colq.	7.2	100.0	48.5	190.0	47.7	189.2	5900