

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 2

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DETALLADO DEL SECTOR :

PIEDRA COLGADA - ANGOSTURA

DICIEMBRE - 1987

ALAMOS Y PERALTA INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

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

INDICE GENERAL DEL ESTUDIO

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

TOMO ANEXO N° 2

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DETALLADO DEL SECTOR

PIEDRA COLGADA - ANGOSTURA

INDICE

	Página
1. INTRODUCCION	1
2. OBJETO DEL ESTUDIO	2
3. GEOLOGIA	3
3.1 Geología de Superficie	4
3.2 Geología de Subsuperficie	8
4. CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DEL EMBALSE SUBTERRANEO	12
4.1 Antecedentes Empleados	12
4.2 Metodología de Análisis	13
4.3 Interpretación Hidrogeológica de los Resultados	13
5. CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DEL EMBALSE SUBTERRANEO	15
5.1 Antecedentes Empleados	15
5.2 Metodología de Análisis	15
5.3 Presentación de Resultados	17

INDICE

	Página
6. CARACTERISTICAS DE LA MAPA	19
6.1 Profundidad del Nivel Estáticos	19
6.1.1 Antecedentes Empleados	19
6.1.2 Metodología de Análisis	19
6.1.3 Presentación de Resultados	20
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	21
6.2.3 Presentación de Resultados	21
6.3 Variaciones del Nivel Estático	22
6.3.1 Antecedentes Empleados	22
6.3.2 Metodología de Análisis	22
6.3.3 Presentación de Resultados	23
6.4 Calidad Química	23
6.4.1 Antecedentes Empleados	24
6.4.2 Metodología de Análisis	25
6.4.3 Presentación de Resultados	25
6.4.4 Posibles Usos del Agua	27
7. FUNCIONAMIENTO DEL EMBALSE SUBTERRANEO	29
7.1 Entradas de Agua al Acuífero	29
7.2 Salidas de Agua desde el Acuífero	32
8. BALANCE HIDRICO DEL EMBALSE SUBTERRANEO	34
8.1 Entradas de Agua al Acuífero	34
8.2 Salidas de Agua desde el Acuífero	45
8.3 Balance Hídrico	50
8.4 Discusión de los Resultados	51

INDICE

	Página
ANEXO 1 : Niveles Estáticos y Conductividades Medidos en Diciembre de 1986 y Enero de 1987	54
ANEXO 2 : Análisis Químicos Empleados en el Estudio de la Calidad del Agua	56
ANEXO 3 : Aforos en el Valle del Río Copiapó	58
ANEXO 4 : Valores de Caudal Específico y Transmisividades	67

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

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

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

1. INTRODUCCION

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

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

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

2. OBJETO DEL ESTUDIO

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

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

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

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

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

3. GEOLOGIA

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

Para este estudio geológico, se ha tenido presente todos los antecedentes recopilados y que dicen relación con las características geológicas del área. Estos antecedentes han sido mencionados en el Tomo II, en la Hidrogeología General del Valle. En todo caso, para el sector del valle que se analiza, ha sido particularmente importante 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 Sub superficie por otra.

3.1. Geología de Superficie

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

3.1.1 Roca Fundamental

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

- Granodiorita (principalmente) del Batolito Andino. Aflora en Piedra Colgada y desde allí hacia aguas abajo sólo en el flanco derecho del valle, hasta la localidad de Margarita.
- Formación Bandurrias, constituida por rocas volcánicas andesíticas. Aflora en el costado sur del valle, en una franja relativamente angosta en la Sierra de Monardes.
- Granodioritas y Tonalitas. Afloran en el flanco izquierdo del valle, desde la localidad de San Pedro hacia aguas abajo, y hasta la localidad de La Isla.

En Angostura, el río Copiapó inicia su escurrimiento en un valle angosto y profundo, labrado exclusivamente en roca del basamento. Esta roca correspondería a granitos y tonalitas.

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.

- Sedimentos Antiguos (SA): corresponden a los remanentes de los que se ha de finido 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 Piedra Colgada y hasta la Estación Montecarmelo resulta ser muy conspicua la existencia de amplias llanuras en ambos costados del valle del Copiapó, el que al sur de Valle Fértil se ensancha notablemente, en compa ración 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 del Llano de Las Liebres.

En este último sector destaca lo que se ha diferenciado en el Plano N° 2 como Sedimentos muy Antiguos (SP), los que se extienden a modo de terraza por todo el costado sur del valle del Copiapó, desde Valle Fértil hasta la quebrada Totoralillo, denominado en la cartografía Llano de Las Liebres.

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 per colación, 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.

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

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

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

- Escombros de Falda: En general, son frecuentes en este sector del valle. Ad quieren alguna relevancia como bordes de estructuras mayores, como es el caso especialmente de 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 rela

tivamente gruesa y alta permeabilidad, con lo que favorecen la infiltración hacia el sistema hidrogeológico saturado.

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

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.

Desde la quebrada de Totoralillo hacia aguas abajo hasta Angostura, se advierte en la superficie de esta terraza aluvial, la existencia de altos contenidos salinos en los sedimentos. De hecho, en la confluencia de esta quebrada con el río Copiapó, existe un salar incipiente, que posee una costra salina en la que se aprecia la acción de disolución.

Por otra parte, en el extremo suroeste del Llano de las Liebres, se ha formado una cuenca endorreica, debido a la acción de taponamiento de sedimentos del tipo abanicos aluviales y escombros de falda.

- 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 sedimentos antiguos, y en proporción mayoritaria, al menos en superficie, por sedimentos modernos.

Su granulometría es relativamente gruesa, con matriz probablemente fina, del tipo limos y arcillas. Por ello su permeabilidad resulta ser media a baja, pero por sus grandes extensiones, implican cierta importancia hidrogeológica, pues pueden conformar una importante superficie de infiltración.

- Terraza de Abrasión: En este último sector del valle del río Copiapó adquiere una gran relevancia una unidad geomorfológica definida como terraza de abrasión, la que se encuentra desde la Estación de Montemargo y hasta la costa.

Se ha diferenciado esta terraza sobre la base de si ha sido labrada sobre sedimentos o sobre roca fundamental. Así, en aquellos sitios donde la superficie corresponde a sedimentos su nomenclatura cartográfica es TAO. Sobre roca fundamental la nomenclatura es TA+.

- 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° 178 al N° 224, es decir, 47 sondeos, distribuidos en 13 perfiles.

- 9 -

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 en forma de fosa desde Piedra Colgada hasta Margarita, y presenta una cota máxima de poco más de 100 metros bajo el nivel del mar.

En Margarita se produciría un umbral rocoso, encontrándose la roca del basamento a una profundidad máxima poco más baja que el nivel del mar.

Hacia aguas abajo, en Valle Fértil-Caserón, existe otra fosa profunda, que posee la cota más baja a poco más de 400 metros bajo el nivel del mar.

En el sector de María Isabel, el basamento aflora en el costado sur del valle. En el costado norte no se aprecia este basamento, aflorando en cambio, sedimentos asignables a los que se ha denominado SA (Sedimentos Antiguos) y probablemente en parte, SP (Sedimentos muy Antiguos).

Hacia el norte del tramo del valle entre María Isabel y Angostura, se ha infirido la existencia de una fosa profunda, la que posee una cota poco menor que aquella existente en Valle Fértil-Caserón, siendo en este caso del orden de poco más de 200 metros bajo el nivel del mar.

El umbral rocoso del basamento que separaría estas dos fosas, se encuentra en la longitud de Monteamargo.

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 Margarita a Montemarqo.

El fondo del valle visto en el perfil longitudinal del Plano N° 4, muestra la existencia de fallas probables en el sector del Llano de Las Liebres, las que habrían generado un graben que correspondería a la mayor profundidad del área de Valle Fértil, y en el cual se habrían depositado los grandes espesores de sedimentos, parte de los cuales corresponderían a los sedimentos antiguos. Además, se muestra que en Angostura aflora la roca fundamental.

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

La cota del basamento en el sector de San Pedro es del orden de 100 metros bajo el nivel del mar, siendo la cota del terreno de 200 m.s.n.m. Esto representa un espesor del relleno sedimentario del orden de 300 metros para el área entre Piedra Colgada y Margarita.

En Valle Fértil la cota del basamento rocoso es de más de 400 metros bajo el nivel del mar, siendo la cota del terreno de 175 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 575 metros.

La mayoría de los sondeos construidos en el sector, permiten reconocer la existencia de una interestratificación de sedimentos gruesos del tipo bolones, riopios y gravas, con estratos donde la proporción de finos es mayor. A través de los SEV ha sido posible, en general, distinguir tres grandes unidades sedimentarias constitutivas del relleno del valle del Copiapó.

Una primera unidad con alto contenido salino y baja potencia, 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 una tercera unidad correspondiente a los sedimentos antiguos (SA y SP), los que descansarían sobre el basamento rocoso.

Las conductividades de estas unidades son las siguientes:

UNIDAD 1	5	a	20	μ /m
UNIDAD 2	50	a	100	μ /m
UNIDAD 3	100	a	200	μ /m
ROCA	1000			μ /m

Las curvas trazadas en los Planos N° 3 y 5, así como el Plano N° 4 que contiene perfiles, no reflejan la existencia de roca fundamental que 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

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

En el presente caso, las condiciones de borde están dadas por las rocas fundamentales que se ha descrito en capítulos precedentes y que afloran en los costados del valle del Copiapó 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.
- Estratigrafía de una serie de sondajes mecánicos construidos en el área. Particular importancia posee el hecho que las profundidades de estos lleguen hasta 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 en perfiles transversales al valle. Estos antecedentes de profundidad y de macrostratigrafía han sido en este sector el antecedente más 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 sondeos relativamente serenos, 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 Isoprotundidad 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 existen en el valle del Copiapó desde Piedra Colgada hasta Angostura, son las siguientes:

- a) Existe un importante embalse subterráneo, en atención a la alta potencia o espesor que poseen los sedimentos depositados en el fondo del valle.
- b) La profundidad alcanzada por los sondeos perforados en este sector del valle, es relativamente reducida en comparación con el espesor de sedimentos medido a través del método geoelectrico.
- c) La profundidad habilitada en los sondeos por debajo del nivel estático es baja; sin embargo, los sondeos entregan caudales importantes.

- 14 -

- 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 500 metros en el área de Valle Fértil.
- g) Entre Piedra Colgada y María Isabel se aprecia la que el basamento se encuentra a menor profundidad, sobreyaciéndole un espesor de sedimentos de menos de 200 metros en Margarita.
- h) En este sector del valle del Copiapó pueden encontrarse, probablemente, los mayores volúmenes de sedimentos saturados.

5. CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DEL EMBALSE SUBTERRANEO

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

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

5.1. Antecedentes Empleados

En el sector comprendido entre Piedra Colgada y Angostura 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.

Además se cuenta con valores de transmisividad para 10 pozos del sector, los cuales no se utilizaron en la determinación de la relación nombrada por no conocerse la fuente que los originó.

Por otro lado, se ha dispuesto de las Curvas de Agotamiento y/o valores de caudal específico de 14 pozos, 7 en el sector Piedra Colgada - San Pedro y 7 en el sector comprendido entre Hda. Margarita y Hda. María Isabel.

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 obteni

5. CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DEL EMBALSE SUBTERRANEO

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

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

5.1. Antecedentes Especiales

En el sector comprendido entre Piedra Colgada y Angostura 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.

Además se cuenta con valores de transmisividad para 10 pozos del sector, los cuales no se utilizaron en la determinación de la relación nombrada por no conocerse la fuente que los originó.

Por otro lado, se ha dispuesto de las Curvas de Agotamiento y/o valores de caudal específico de 14 pozos, 7 en el sector Piedra Colgada - San Pedro y 7 en el sector comprendido entre Hda. Margarita y Hda. María Isabel.

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 obteni

- 16 -

dos en dos planos escala 1:10.000, con la ubicación de pozos.

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

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

La relación obtenida es:

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

donde T = Transmisividad (m³/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 hecho a través de:

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

con T_c = Transmisividad corregida (m³/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) (m³/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° 6. En ésta se observa que, en general los caudales específicos y transmisividades son muy variadas. Así, tanto en el sector del fundo San Francisco de Piedra Colgada como en el ubicado entre la Hda. María Isabel y la Hda. Margarita se tiene transmisividades de hasta 10000 ($m^3/día/m$). En cambio, en el secto de Hda. María Isabel se tienen transmisividades de 1000 ($m^3/día/m$) y menores.

En el Plano 9 se ha trazado curvas de isotransmisividad basándose, por un lado en los datos obtenidos de los caudales específicos y las relaciones anteriormente ex puestas, y por el otro, en los planos con curvas isopacas. En especial, en el sector ubicado entre Hda. Margarita y Angostura se ha utilizado como referencia, en gran medida 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 sector más próximo a Piedra Colg da, 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.

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 20584 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 2058 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 28 pozos y norias ubicados entre Piedra Colgada y Angostura, aguas abajo de la Hacienda María Isabel. 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 Isoplezas.

6.1.3 Presentación de los Resultados

Los resultados obtenidos se presentan en el Plano N°6, Lámina 6, denominado Isoprofundidad del Nivel Estático. Allí se observa que, para Diciembre de 1986, los niveles del sector Piedra Colgada - Angostura se presentan entre 1 y 10,4 metros de profundidad. Analizado por sectores se tiene lo siguiente:

- Los niveles del sector completo son poco profundos, sin que existan zonas con diferencias marcadas respecto del resto. De todas formas se puede identificar los niveles más profundos, cercanos a los 10 metros, con la zona de Monte Amargo y Totoralillo, mientras que los más superficiales, bordeando el metro, se encuentran en las áreas de San Pedro y María Isabel.

- Prácticamente en todo el sector se desarrollan vegas en la caja del río, que corrientemente se encuentra entre 5 y 10 metros bajo el nivel de la terraza del valle. Estas vegas son las que alimentan los canales del área, ya que es poco frecuente que a estas alturas escurran por el río aguas cordilleranas.

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 o 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 isoplezas, que son las que representan la superficie piezométrica. En el trazado de las isoplezas se ha respetado la perpendicularidad al contacto roca - acuífero, para cumplir con la teoría del flujo subterráneo que señala que las isoplezas 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 6. En ellos se observa que, en líneas generales, las isoplezas se disponen perpendiculares al eje longitudinal del valle, lo que significa que el escurrimiento subterráneo es fundamentalmente paralelo al eje del valle.

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

- Entre Piedra Colgada y el Fundo San Camilo, donde la Carretera Panamericana abandona el Valle del Copiapó, el gradiente se mantiene constante en 0,5 ‰ aproximadamente.

- Aguas abajo del tramo anterior, y hasta Monte Amargo, se tienen, sucesivamente, una disminución del gradiente a 0,3‰ y un ascenso hasta 0,75 ‰.

- Aguas abajo de Monte Amargo el gradiente se estabiliza en 0,4 ‰, situación que se mantiene hasta María Isabel.

Respecto de la forma de las curvas, se ha impuesto en la zona de vegas que ellas coincidan con las curvas de nivel del terreno. De otro modo podría tenerse en las vegas situaciones de aguas surgentes por sobre los 5 metros de altura, lo que claramente no ocurre.

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 Piedra Colgada - Angostura se cuenta actualmente con sólo uno de estos piezómetros, que se ha medido desde 1967 hasta hoy, salvo entre Febrero de 1977 y Enero de 1979.

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 6. En él se observa lo siguiente:

- El piezómetro disponible señala que los niveles más profundos se han dado para principios de 1983, mientras que los máximos han ocurrido a fines de 1986. Los primeros han bordeado los 9 metros de profundidad, en tanto que los segundos se han ubicado en torno a los 3 metros.

- La tendencia histórica de los niveles ha sido un descenso sostenido entre 1967 y 1983, seguido de una brusca recuperación entre los años 1983 y 1985. En 1985 y 1986 han existido fluctuaciones pero siempre recuperándose los niveles a valores similares a los máximos de 1985.

- Existe, además de una tendencia histórica, cierta variación estacional de niveles. Aún cuando no es muy definida y las fluctuaciones son pequeñas, pareciera que, dentro de cada año, se dan los mínimos niveles a principios del año y los máximos alrededor del mes de Septiembre.

6.4 Calidad Química

6.4.1 Antecedentes Empleados

Para el estudio de la calidad química de las aguas subterráneas se ha contado con un conjunto de análisis químicos, realizados por la DGA en la zona ubicada entre Piedra Colgada y Angostura. Los análisis se han hecho en forma esporádica y con las aguas de 6 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 %.

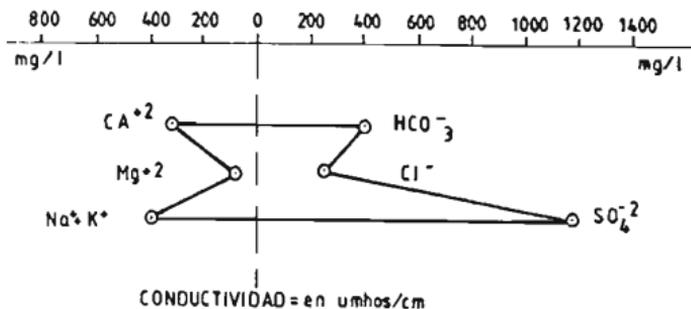
Los antecedentes ya señalados se han complementado con algunos análisis hechos por SENDOS de las aguas captadas en los pozos que emplea para el abastecimiento de agua potable.

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.

- 25 -



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 6, 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 Piedra Colgada - Angostura los valores extremos son 2071 (umhos/cm), en Piedra Colgada, y 4270 (umhos/cm), en Monte Amargo. Los valores de la conductividad se distribuyen en forma prácticamente aleatoria en el área, aunque se descubre una tendencia a aumentar aguas abajo de Piedra Colgada 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 1000 y 1400 (mg/l), con un valor medio cercano a los 1200 (mg/l), y valores extremos de 694 y 1873 (mg/l). El pozo 2720-7040 B-1 de Monte Amargo presenta la concentración máxima de sulfato. El análisis de la calidad de dicho pozo es confiable por cuanto la suma de aniones difiere en menos de 5% de la de cationes. Además es importante destacar el hecho que todos los pozos de la zona exceden, sin excepción, la norma de potabilidad, en lo que respecta al sulfato.

- El cloruro y magnesio fluctúan relativamente poco, el primero con un valor medio cercano a los 195 (mg/l), y el magnesio con un promedio aproximado de 99 (mg/l). Los valores extremos son 127 y 507 (mg/l); de ellos el extremo superior ha sido medido en el pozo 2720-7040 B-1, constituyendo el único valor que presenta una gran desviación respecto del promedio.

- El bicarbonato presenta concentraciones variables entre 94 y 496 (mg/l), valores que se distribuyen en forma creciente desde Piedra Colgada hacia Angostura.

- El calcio se encuentra en concentraciones que van entre 121 y 556 (mg/l). Generalmente los valores son cercanos a los 200 o 300 (mg/l), pese a lo cual algunos pozos tienen aguas cuya concentración cálcica bordea los 400 a 500 (mg/l). Estas excepciones ocurren en los pozos 2710-7030 D-3, D-5 y B-1.

- 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 213 y 478 (mg/l), con un promedio cercano a los 300 (mg/l). Los pozos 2710-7030 D-1, D-5, D-10 y B-5 son aquellos que se hallan más desviados del promedio. Estos se encuentran en las cercanías de Angostura.

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 Piedra Colgada - Angostura presenta, normalmente, aguas clasificadas, según la nomenclatura del USSL, como C4-S2, es decir, con muy alto peligro de salinidad y bajo peligro de sodificación. Los contenidos de boro en el agua son bastante variables, encontrándose en el área cifras entre 1,35 y 7,20 (ppm). Los contenidos más bajos se producen en las aguas de los pozos de la Hacienda San Francisco, en Piedra Colgada, en tanto los más altos en sectores aledaños a Monte Amargo. Cabe destacar que puede apreciarse una tendencia creciente, de la concentración de boro en las aguas, a partir de Piedra Colgada y aguas abajo de dicho sector.

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. Cabe destacar que en la zona más baja del valle, vale

decir en Monte Amargo y la hacienda Perales, se exceden las normas de potabilidad para todos los iones considerados. Esto las hace poco aptas para el consumo humano.

b) Calidad para Regadio

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 Piedra Colgada-Angostura se clasifican como altamente salinas, debido a que tienen, en general, valores de la conductividad entre 2250 y 4000 ($\mu\text{mhos/cm}$). 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 tolerantes al boro. En algunos casos, como es la localidad de Monte Amargo, son menos utilizables debido a su alto contenido de boro.

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 profundo de aguas con menor contenido salino. 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.

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 del 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 detalle de 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:
PIEDRA COLGADA - ANGOSTURA

1 LLUVIA 1. DESDE EL RIO 1 RIEGO 1 CANALES

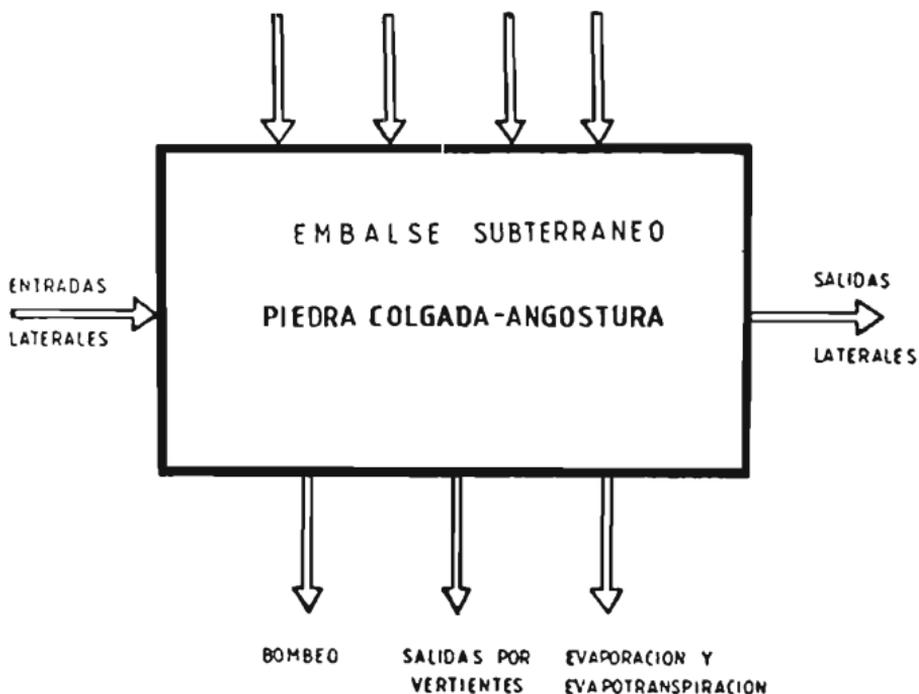


FIGURA 7.1

- 31 -

Las recargas subterráneas desde quebradas, debido a sus pequeñas dimensiones, están 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. En los casos en que las dimensiones de las quebradas no sean tan pequeñas como las descritas anteriormente, se produce un efecto regulador del embalse subterráneo de ellas, aportando un caudal menos esporádico y más constante, siendo éste relativamente pequeño.

b) Infiltraciones Riego

En el sector estudiado, la infiltración por riego, pese a existir grandes extensiones sin cultivar, es uno de los factores de recarga mas importante.

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

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

Por otra parte se ha introducido en los últimos años el riego tecnificado de alta eficiencia, particularmente el riego por goteo, que significan menores infiltraciones de riego, pero que, al mismo tiempo, demandan menos agua. Esto no es relevante sin embargo en el área de estudio, ya que en ella el riego por goteo no se ha desarrollado mayormente.

c) Infiltraciones del río Copiapó

En el sector de estudio, el río se mantiene a lo largo de casi todo su recorrido limitado lateralmente por 2 barrancos de altura variable que aumenta paulatinamente desde piedra colgada hacia la desembocadura.

Esta profundidad del lecho del río con respecto al nivel del valle es similar a la profundidad del nivel estático de la napa subterránea, lo que no permite infiltraciones de importancia desde el río al acuífero, sino más bien, se tendrían aportes desde el acuífero hacia el río, los que se traducirían en un aumento paulatino de su caudal hacia la desembocadura en el mar.

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 producen descargas tanto por evaporación directa como evapotranspiración de la vegetación natural que se alimenta con las aguas del acuífero (llamados freatófitos).

En el área de estudio estas zonas con niveles estáticos superficiales se encuentran en su mayoría en la zona cercana a la hda. María Isabel, en el cual existen sectores importantes afectados por este fenómeno. Además se encuentra vegas en la caja del río, especialmente en los sectores en que ésta es más ancha. 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

En el área de estudio se encuentra una disminución en la cantidad de pozos existentes con respecto a las zonas hacia aguas arriba. Ahora bien, dentro de ésta existe mayor cantidad de pozos en la zona San Pedro-Piedra Colgada que en los sectores más cercanos a la desembocadura.

El bombeo de estos pozos se utiliza para abastecer las necesidades agrícolas no suplidas por las aguas superficiales.

d) Descargas por Vertientes

En el área de estudio existen vertientes permanentes en el río Copiapó casi en todo su recorrido, las cuales aparentemente no varían mucho su caudal de año en año y sirven para abastecer de aguas los canales de regadío existentes en el sector.

8. PALANCE 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:

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

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 Piedra Colgada en el valle del río Copiapó. Aquí el ancho del valle es 650 metros aproximadamente, la transmisividad bordea los 1500 (m³/día/m) equivalentes a 0.0174 (m³/s/m) y el gradiente hidráulico es de 0.6%, con lo que se obtiene los siguientes resultados:

- 35 -

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

equivalentes a un volumen anual de 2.1 Mm^3 .

Debe quedar en claro que esta cifra es aproximada, por la estimación que se ha hecho de los valores de transmisividad en especial. Además se ha calculado para el gradiente hidráulico generado por los niveles de Dic. 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 Piedra Colgada-Margarita que es cultivado esencialmente con métodos de riego por surcos, y en el sector de María Isabel regado en su mayoría por medio de bordes.

Ahora bien, para el riego por surcos y bordes, 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 la siguiente relación:

$$\text{Riego por Surcos: } P = 0.5 \times (Tr - ETr)$$

en que: P = Percolación

Tr = Tasa de Riego

ETr = Evapotranspiración real del cultivo.

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

Los cultivos a que se dedican los suelos del área de estudio se encuentran definidos en los Planos de Uso Actual de la Tierra que se presentan en el Tomo Anexo N° 1, desarrollado para el presente estudio. En éste se observa que la mayoría de éstos corresponden a Hortalizas, existiendo además algunas hectáreas con frutales: Las superficies ocupadas por cada uno de estos rubros de cultivos se entrega en el cuadro adjunto N° 8.1.

CUADRO N° 8.1

DISTRIBUCION DE CULTIVOS DEL SECTOR PIEDRA COLGADA-ANGOSTURA

TIPO DE CULTIVO	SUPERFICIE (HÁ)
Hortalizas	519.3
Frutales	187.3
T O T A L	706.6

Como puede apreciarse, del total de 706.6 Há cultivadas en el área de estudio un 73.5% corresponde a Hortalizas y un 26.5% a Frutales.

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° 8.2DOTACIONES POR CULTIVOS ($m^3/H\acute{a}/a\tilde{n}o$)

TIPO DE CULTIVO	ETr
Hortalizas	4977
Frutales	9218

Con respecto a las eficiencias de riego se entrega el siguiente cuadro, el cual se basa en datos entregados en el Tomo II, capítulo Demandas de Agua.

CUADRO N°8.3EFICIENCIAS DE RIEGO

SISTEMA	EFICIENCIA (%)
Goteo	80
Surcos	50
Tendido	45

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

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° 8.4INFILTRACION EN EL SECTOR PIEDRA COLGADA-ANGOSTURA

TIPO DE CULTIVO	ETr (m ³ /Há/año)	Tr (m ³ /Há/año)	P (m ³ /Há/año)	S Há	Pt (Mm ³ /año)
Hortalizas	4977	10478	2751	519.3	1.428
Frutales	9218	18436	4609	187.3	0.863
T O T A L					2.3

Según los resultados obtenidos en el cuadro anterior, en el sector Piedra Colgada-Angostura se tiene una entrada de 2.3 Mm³/año por concepto de infiltración por riego a nivel predial, valor que deberá verse aumentado por las infiltraciones de las redes primarias y secundarias de canales de riego.

Infiltraciones en Canales Matrices

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

CUADRO N° 8.5

TASAS DE INFILTRACION MEDIDAS EN CANALES

AÑO 1986 VALLE DEL RIO COPIAPO

CANAL	FECHA	LONG. TRAMO (m)	Q (l/s)		Infiltraciones	
			Entrada	Salida	l/s	%/km
Punta Negra	20.11.86	645	23	17	6	40.4
Hijuela Abello	01.12.86		93	96	-3	
El Arrenal	27.11.86	670	78	83	-5	
El Arrenal	01.12.86	670	89	87	2	3.4
El Buitrón	11.12.86	750	201	190	11	7.3
Boodega	29.11.86	883	341	339	2	0.7
Piedra Colgada # 1	11.12.86	1325	174	122	52	22.6
Perales	11.12.86	1510	26	21	5	12.7

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

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 limoarenosos 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 mismo sector, Piedra Colgada-Angostura, existen 2 tipos de terrenos por los cuales atraviesan canales de riego. Es así como se tiene terrenos arenosos como los descritos en el párrafo anterior, ubicados entre Piedra Colgada y Hacienda Margarita. En cambio, en el sector de hacienda María Isabel, se vuelve a tener terrenos similares a los encontrados en el sector Copiapó-Piedra Colgada. Estos terrenos contienen una mayor cantidad de limos y arcillas, lo que los hace tener una menor capacidad de infiltración que los ubicados cerca de Piedra Colgada.

Debido a la poca información que se tiene con respecto a infiltraciones en canales, se considerará además estudios anteriores realizados en el valle y estudios realizados en los valles del Elqui y del Choapa, (Ref. 2b) 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.

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 los canales de riego existentes en el área de estudio se abastecen solamente de las recuperaciones que tenga el río Copiapó entre una bocatoma y otra, captando cada una, todo el caudal que lleve el río.

Debido a que los escurrimientos del río tienen su fuente en las vertientes existentes en su lecho, los caudales que éste lleva son tan variables como los niveles estáticos de la napa en este sector. Por lo tanto, los caudales captados por cada canal siguen las mismas tendencias.

En resumen, debido a la relación existente entre nivel estático de la napa y caudal captado por los canales, en períodos de sequía al descender los niveles estáticos, los caudales captados pueden disminuir en forma importante, existiendo un desfase provocado por el tiempo que demora en recuperarse o descargarse el embalse subterráneo.

En base a los resultados y consideraciones anteriormente expuestas, parece aconsejable y hasta cierto punto de vista conservador emplear un valor de 5%/km para cada canal en el sector Piedra Colgada-Margarita, y un valor de 2,5%/km para los canales del sector valle fértil - Hacienda María Isabel, valores que resumen 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.

CUADRO N° 8.6CAUDALES MEDIOS EN BOCATOMA

CANAL	CAUDAL (lt/s)
San Pedro	163
Perales	126
Margarita	232
San Camilo	50
Valle Fertil # 1	23
Valle Fertil # 2	58
Piedra Colgada # 1	125
Piedra Colgada # 2	128
María Isabel	174

Ahora bien, los valores presentados en el cuadro anterior corresponden a los caudales medios aforados en bocatoma, el cual no representa el caudal escurriente 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.

Infiltración en canales matrices	5.7 Mm ³ /año
Infiltración en canales secundarios	2.3 Mm ³ /año
Infiltración por regadío predial	2.3 Mm ³ /año
T O T A L	10.3 Mm ³ /año

c) Infiltración desde el Río

En el área de estudio el río Copiapó tiene un cauce limitado por 2 barrancos de altura variable entre 2 y 10 metros aproximadamente. Teniendo así, el nivel de aguas a una profundidad tal que le permite drenar los terrenos adyacentes.

De este modo, el río Copiapó recibe aportes, en forma de vertientes, a lo largo de todo el sector estudiado. Por lo mismo no genera aportes a la napa subterránea por conceptos de infiltraciones.

La cuantificación de los caudales captados por el río en forma de vertientes se entrega en el punto "Descargas por Vertientes".

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

En el área de estudio se tiene una situación particular en lo que respecta a la salida de las aguas subterráneas. Inmediatamente después de la hacienda María Isabel se produce una angostura del valle, quedando éste formado sólo por la caja del río.

Debido a esta formación, las aguas subterráneas se ven obligadas a aflorar en forma de vertientes, aportando su caudal al río. De esta forma la descarga lateral se produce en forma superficial y no subterránea.

La magnitud de esta descarga está directamente relacionada con los caudales aforados en el río Copiapó en Angostura. Magnitud que será calculada en el punto correspondiente a Descarga por Vertientes.

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

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

Pese a lo anterior, como la evaporación y evapotranspiración puede llegar a ser

un factor importante en la descarga del acuífero, se evaluará su magnitud basándose en datos de la profundidad de la napa y la evapotranspiración real de la vegetación freatófita.

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

La relación entre la evapotranspiración potencial (ETp) de ambos sectores se ha obtenido de la evapotranspiración real (ETr) determinada en el capítulo de demandas de agua para el área Lautaro-Los Loros y Piedra Colgada-Angostura.

Partiendo de una 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 5782 ($m^3/Há/año$), en los sectores alto y Copiapó-Piedra Colgada respectivamente, se llega a una evapotranspiración potencial de 19.369 ($m^3/Há/año$) 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 2 tipos diferentes de vegas; las tipo A, donde la profundidad de la napa está comprendida entre 0 y 1mt. y tipo B, con profundidades de la napa comprendidas entre 1,0 y 2.5 mts.

En este sector no se ha considerado las vegas tipo C como se hizo en otros sectores, debido a que en él los suelos son más arenosos, con la consiguiente disminución de la capilaridad. Esto se ve corroborado por las observaciones realizadas en terreno, donde se vio que para los sectores con profundidades del nivel estático comprendido entre 2,5 y 5 mts. la vegetación es muy escasa, a diferencia de los otros sectores estudiados.

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 en

tregados por la FAO en su publicación "Las necesidades de agua de los cultivos".

CUADRO N° 8.8

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

VEGA TIPO	VEGETACION TIPICA	SUPERFICIE (Há)	COEF. DE CULTIVO	EVAPOTRANSPIRACION (M ³ /Há/año)
A	Totorales y suelos húmedos	646	1.0	12.5
B	Matorrales y suelos secos	905	0.5	8.8
T O T A L				21.3

Descargas por Vertientes

En el área de estudio existen afloramientos de la napa a lo largo de todo el recorrido del río, es decir, desde Piedra Colgada hasta Angostura.

Estos afloramientos son captados a lo largo del cauce por los diferentes canales de riego existentes en el sector. Es por esto que a través de los aforos realizados por la D.G.A. en cada uno de los canales del sector y en el río Copiapó en Desembocadura, se determinó el volumen total aportado por vertientes durante 1986. Estos datos se entregan en el Anexo N°3.

En el cuadro N°8.9 se entrega el listado de caudales medios aforados durante 1986. En el caso del canal Margarita, en que sólo hay aforos de 1985, el valor para 1986 se calculó tomando como referencia las medias de los valores para dichos años en el canal San Pedro, y en el caso del río Copiapó en Desembocadura se consideró al año 1986 igual a la media de los valores aforados.

Por último, junto a los caudales medios aforados en cada canal, se entrega los volúmenes anuales captados, con lo cual se obtiene el volumen aportado por vertientes.

CUADRO N° 8.9

VOLUMEN APORTADO POR VERTIENTES

EN EL SECTOR PIEDRA COLGADA-ANGOSTURA

CANAL	CAUDAL (lt/s)	VOL. ANUAL (Mm ³ /año)
Perales	39.5	1.2
San Camilo	32.0	1.0
Margarita	108.0	3.4
Valle Fértil #1	21.0	0.7
Valle Fértil #2	59.0	1.9
María Isabel	189	6.0
Copiapó en Desembocadura	82	2.6

T O T A L

16.8 Mm³/año

Descargas por Bombeo

Al contrario de otros sectores en que los bombeos de aguas subterráneas son un factor importante dentro de la descarga del embalse subterráneo. En el área de estudio, pese a existir algunos pozos, el porcentaje de ellos que es usado es muy bajo.

Sólo 2 pozos de los 23 encuestados durante Diciembre 1986, se encuentran en uso, regando entre ambos una superficie de 36 Hás, cultivadas con hortalizas.

Lo anterior se debe a que el recurso hídrico superficial no tiene problemas de escases, como en otros sectores del valle. Lo que es confirmado al revisarse los caudales captados por canales y las superficies cultivadas en el sector, 539.5 lt/s y 706.6 há respectivamente.

Por otro lado, en el sector no existen bombes para abastecer agua potable ni para uso industrial o minero. Lo cual se debe, en el caso particular del Agua Potable, a la calidad de las aguas subterráneas que se extraen en este sector.

El cuadro N° 8.10 adjunto, indica cuales pozos son bombeados, las superficies regadas y los volúmenes anuales bombeados.

CUADRO N° 8.10

VOLUMENES BOMBEADOS PARA RIEGO
EN EL SECTOR PIEDRA COLGADA-ANGOSTURA

POZO	SUPERFICIE (HÁ)	CULTIVO	VOL. BOMBEADO (Mm ³ /año)
27°10'-70°20' D-S	30	Hortalizas	0.31
27°20'-70°30' B-1	6	Hortalizas	0.06
T O T A L			0.37 Mm ³

3. Balance Hídrico

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

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

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

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

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

CUADRO N° 8.11

BALANCE HIDRICO ANUAL PARA EL EMBALSE SUBTERRANEO
DEL SECTOR PIEDRA COLGADA-ANGOSTURA

FACTOR	VOLUMEN (M ³)
<u>Entradas</u>	
Recarga Lateral	2.1
Inf. Canales Matrices	5.7
Inf. Canales Secundarios	2.3
Inf. Riego	2.3
T O T A L	12.4
<u>Salidas</u>	
Evaporación y Evapotranspiración.	21.3
Vertientes	16.8
Bombeo Riego	0.4
T O T A L	38.5

Variación de Almacenamiento

Calculada	-26.1
Observada (aprox.)	0

8.4. Discusión de los Resultados

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

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 con las entradas, en el cálculo del volumen aportado por entradas laterales sólo se ha considerado el aporte del acuífero que compone el sector Copiapó-Piedra Colgada. En este cálculo no se consideraron los aportes de quebradas laterales por no tener antecedentes que lo permitieran. Tanto la transmisividad como el gradiente hidráulico existente en el sector de contacto de las quebradas laterales con el valle de Copiapó son desconocidos al momento de la elaboración de este informe, y serán afinados durante la construcción del modelo.

El aporte desde estas quebradas aumentará los ingresos al acuífero, disminuyendo la diferencia entre las variaciones de almacenamiento observada y calculada.

Por otro lado, la infiltración desde canales matrices se considera bien calculada, puesto que este resultado es basado en aforos realizados en los canales estudiados. En cuanto a la tasa de infiltración aplicada, se puede decir que tiene suficientes fundamentos como para considerarse correcta dentro del grado de precisión de este balance.

En cuanto a la infiltración a nivel predial se puede decir que las eficiencias de riego utilizadas para este cálculo pueden ser altas con respecto a la realidad. Lo anterior se debe al exceso de agua que existe en el sector, no importando así las pérdidas ocurridas durante los riegos. Esto también tenderá a aumentar las

entradas de agua al acuífero.

Con respecto a las salidas se debe discutir los valores obtenidos tanto para las descargas en forma de vertientes como las descargas por evaporación y evapotranspiración. En el estudio de las descargas por medio de vertientes se consideró que toda el agua que salía del acuífero por este medio era captada por los canales de riego, no devolviéndose al río los excedentes de los riegos. Lo anterior no se consideró debido a la falta de información al respecto. Ahora bien, el no considerarlo induce al error de contabilizar varias veces las aguas captadas en un canal, es decir, las aguas devueltas y ya aforadas en un canal son nuevamente aforadas en el siguiente. Además, si se considera que la suma del caudal captado es de 530.5 lt/s para las 706.6 háa cultivadas, se tiene una tasa de riego de $23.677 \text{ m}^3/\text{Há/año}$, muy superior a la tasa calculada para el sector, $12.587 \text{ m}^3/\text{Há/año}$.

Por último, si se considera que el caudal aportado por medio de vertientes es equivalente a la tasa de evapotranspiración real de los cultivos del sector, más el caudal que tiene el río al final del área estudiada, se tendría un resultado de $6.9 \text{ Mm}^3/\text{año}$. Este valor disminuiría en $9.9 \text{ Mm}^3/\text{año}$ la diferencia entre las variaciones de almacenamientos observada y calculada.

Finalmente, con respecto a las descargas del acuífero por medio de evaporación y evapotranspiración desde zonas de nivel estático alto, se puede decir que el valor obtenido puede estar sobrevalorado. Esta afirmación está basada a el método de cálculo de la evapotranspiración potencial para el sector en estudio. Para esto se determinó una relación entre la ETP de sectores altos del valle con la del sector estudiado, lo que no es totalmente válido debido a las grandes diferencias climáticas que existen entre los dos sectores.

Por otro lado, se consideró un coeficiente de cultivo $K_c = 1.0$ para la vegetación freatófita de los sectores con profundidad del nivel estático comprendida entre 0 y 1.0 mt.. Este valor puede ser algo elevado si se considera que para Juncos de pantano en suelos húmedos en sectores secos y de vientos fuertes el $K_c = 0.85$ (F.A.O. páq. 86).

- 53 -

Estas últimas aseveraciones permitirían disminuir el volumen evaporado, y por lo tanto, las salidas del acuífero.

Considerando todo lo expuesto anteriormente y estimando las entradas por quebradas laterales en una magnitud equivalente a las entradas desde el acuífero superior se presenta el siguiente resumen.

FACTOR	VOLUMEN (Mm ³)
<u>Entradas</u>	
Recarga Lateral	4.2
Inf. Canales Matrices	5.7
Inf. Canales Secundarios	3.2
Inf. Riego	3.2
T O T A L	16.3
<u>Salidas</u>	
Evaporación y Evapotranspiración	19.4
Vertientes	6.9
T O T A L	26.3

ANEXO N°1

NIVELES ESTATICOS Y CONDUCTIVIDADES MEDIDAS EN DICIEMBRE DE 1986

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

COORDENADA	Nº	PREDIO	DUENO	NIV. EST.	CONDUCT.	C. TERRENO	C. PIEZOM.
				(m.)	(µmhos/cm)	a.s.n.a.	a.s.n.a.
ZONA PIEDRA COLGADA - SAN PEDRO							
2710-7030	D-1	Fundo San Pedro	Comunidad Parceleros	1.58		220.0	
	D-2	Fundo San Pedro	Cia. Agr. y Gan. Hornitos	3.73	1580.0	220.0	
	D-3	Fundo Los Angeles	Raul Barrionuevo	3.00	1850.0	240.0	237.0
	D-4	Fundo San Juan	Soc. Agr. Piedra Colgada	5.25	1080.0	246.0	240.0
	D-5	Fundo Marquesado	Cia. Agr. y Gan. Hornitos	3.51	1700.0	207.0	203.5
	D-6	Fundo Dos Hermanas	Cañala Aguirre	3.22	1620.0	236.0	
	D-7	San Pedro	DGA - Obs.	3.42		212.0	208.6
	D-8	Fundo San Juan	DGA - Obs.	2.65		240.0	237.4
	D-9	Fdo. Los Angeles (Matadero)	Gustavo Morales y Mnos.	5.17	3000.0		
	D-10	Fundo Los Olivos	Maria Prohens	4.58	1320.0	209.5	
	D-11	La Puntilla	Cia. Agr. y Gan. Hornitos		2000.0	230.0	
	D-12	San Pedro	Maria Prohens			246.0	
	D-13	Reserva San Pedro	Patricio Olivares			229.0	
	D-14	Parcela San Pedro	Morales y Otros				
	D-15	Reserva San Pedro	Patricio Olivares	1.60	960.0	224.0	222.4
	D-16	Hacienda Perales	Soc. Agrícola V y C	3.49	1220.0	218.0	214.5
	D-17	San Pedro (Pz II)	DGA - Obs.	2.67	4800.0	213.0	210.2
	D-18	Fdo. Los Olivos	Jaime Moreno	3.1	2180.0		

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

COORDENADA	MI	PREDIO	DUENNO	NIV. EST. (m.)	CONDUCT. (uños/ca)	C. TERRENO m.s.n.m.	C. PIEZOM. m.s.n.m.
ZONA HACIENDA MARGARITA - HACIENDA MARIA ISABEL							
2720-7030	B-1	Hacienda Perales	Soc. Agricola V y C				
	B-2	Hacienda Perales	Soc. Agricola V y C			212.0	
	B-3	Hacienda Perales	Soc. Agricola V y C	3.62	2160.0		205.0
	B-4	Hacienda Perales	Soc. Agricola V y C	6.52	2220.0		202.5
2720-7030	A-1	Hacienda Margarita	D6A - Obs.	3.31		189.0	185.7
	A-2	Hacienda Margarita	Sucesion A. Cervino	3.96	1430.0	199.0	195.0
	A-3	Fdo. Valle Fertil	Ana Aguirre de Cood	5.19	1100.0	184.0	179.8
	A-4	Hacienda Margarita	Obs.	1.79	2210.0	198.0	196.2
	A-5	Hda. Perales (Pz-10)	D6A - Obs.	2.03	3200.0	198.5	196.5
	A-6	Margarita (Pz-9)	D6A - Obs.	3.66	2340.0	193.0	189.3
	A-7	Valle Fertil (Pz-7)	D6A - Obs.	5.58	3800.0	168.0	
	A-8	San Caello (Pz-8)	D6A - Obs.	6.25	4800.0	164.0	157.8
2720-7040	A-1	Hda. Maria Isabel	D6A - Obs.			105.0	
	A-2	Hda. Maria Isabel	D6A - Obs.			89.0	
	A-3	Hda. Maria Isabel (Pz-3)	D6A - Obs.	2.31	3900.0	105.0	102.7
	A-4	Hda. Maria Isabel (Pz-4)	D6A - Obs.	6.55	4600.0	119.0	112.5
	A-5	Hda. Maria Isabel (Pz-1)	D6A - Obs.	1.19	6600.0	95.0	93.8
2720-7040	B-1	Monte Aarago		9.07	2900.0	134.0	124.9
	B-2	Totoralillo		9.06		148.5	139.4
	B-3	Totoralillo		8.48	1500.0	148.0	139.5
	B-4	Totoralillo		8.34		147.0	138.7
	B-5	San Caello (Pz-6)	D6A - Obs.	6.83	4000.0	157.0	150.2
	B-6	Punta Picazo (Pz-5)	D6A - Obs.	10.38	3800.0	149.0	138.6
	B-7	Monte Aarago (Pz-2)	D6A - Obs.	9.28	4900.0	133.0	123.7

ANEXO N°2

ANALISIS QUIMICOS EMPLEADOS EN EL ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA

BONA: SAN PEDRO

Per.: 27° 0' 0" - 90° 30' 0" D-3

FECHA	CONDUCTIVIDAD	CO ₂ (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	CO ₃ (mg/l)
16.5.69	2734	443,00	165,20	694,03	245,29	106,32	4,38	301,78	0,00
14.9.71	2620	304,42	186,81	1200,95	240,48	85,24	9,38	299,86	0,00

BONA: SAN PELAO

Per.: 29° 0' 0" - 30° 30' 0" D-4

FECHA	CONDUCTIVIDAD	CO ₂ (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	CO ₃ (mg/l)
14.9.71	2564	155,60	145,30	92,21	191,38	85,61	5,77	213,23	0,00
11.5.78	2169	120,86	151,93	940,43	145,29	96,21	5,62	251,04	0,00
27.9.60	2500	326,46	131,17	900,60	101,44	112,24	12,12	262,29	0,00

BONA: SAN PABLO

Per.: 28° 0' 0" - 30° 30' 0" D-5

FECHA	CONDUCTIVIDAD	CO ₂ (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	CO ₃ (mg/l)
16.5.69	3347	496,30	199,94	1126,24	302,60	123,20	9,38	229,20	0,00
14.9.71	8440	39,05	556,53	3410,13	625,05	260,22	18,22	919,60	18,90
11.6.78	3324	301,22	222,09	1057,98	265,93	112,96	9,38	428,19	30,00

ALAMOS Y PERALTA

INGENIEROS CONSULTORES LTDA

Proyectista:

Fecha

Hoja 1 de 2

Obra: FIEIRA DELGADO - FUECOSTUR

Proyecto

Número

Materia:

Control

FINCA: SAN PEDRO

Parcela: 27° 00' - 90° 20' A-10

FECHA	CONDUCTIVIDAD	KCO ₂ (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	CO ₃ (mg/l)
11.5.78	2888	158,65	158,11	1280,96	145,29	130,23	2,04	344,85	0,00
27.9.79	2900	201,81	146,90	1250,20	135,07	154,07	11,23	374,24	0,00

FINCA: HACIENDA MARIA ISABEL

Parcela: 27° 20' - 90° 30' B-1

FECHA	CONDUCTIVIDAD	KCO ₂ (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	CO ₃ (mg/l)
11.5.78	2071	198,26	144,99	820,25	211,82	61,56	5,87	231,10	48,00
27.9.79	2310	326,46	122,62	900,56	121,41	112,24	12,12	264,27	0,00

FINCA: HACIENDA MARIA ISABEL

Parcela: 22° 20' - 90° 40' B-1

FECHA	CONDUCTIVIDAD	KCO ₂ (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	CO ₃ (mg/l)
11.5.78	3654	92,97	468,22	1335,22	424,85	121,36	13,29	279,34	0,00
13.9.79	4220	68,24	502,84	1873,17	556,21	105,43	258	416,12	0,00

ALAMOS Y PERALTA

INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

Proyectista:	Fecha	Hoja 2 de 2
Obra: PIEDRA COLADA - ALAMOS Y PERALTA	Proyecto	Número
Materia:	Control	

ANEXO N° 3

AFOROS EN EL VALLE DEL RIO COPIAPO

- 58 -
Aloros en Valle Copiaco

Lugar	Fecha					Hora	Co. dol (M/seg)
	D	M	A	A	A		
Canal La Chimba	06	01	68			9:30	346
"	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			15:00	352
"	28	08	68			10:00	326
"	24	09	68			11:10	324
"	30	10	68			8:50	336
"	28	11	68			11:40	345
"	31	12	68			16:30	284
"	28	01	69			8:20	180
"	28	02	69				240
"						9:35	267
"	24	05	69				263
"	30	05	69				240
"	26	06	69			16:50	253
"	29	07	69				247
"	29	08	69				249
"	30	09	69				273
"	29	10	69				331
"	13	11	69				293
"	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				124
"	30	03	71				132
"							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 (M ³ /seg)
Canal La Chirba	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
"	14 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
"	14 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 02 84	17 ⁰⁰	87
Toledo Cruce carretera	02 08 84	15 ¹⁵	236
Toledo Norte	19 03 85	12 ⁰⁰	197
Toledo Sur	19 03 85	16 ¹⁵	107
Toledo N°2	02 10 85	11 ⁰⁰	59
Toledo N°3	02 10 85	12 ²⁰	233
Toledo	02 10 85	11 ³⁰	111

• 323

• 248

• 428

ALAMOS Y PERALTA

INGENIEROS CONSULTORES LTDA

Proyectista:

Fecha

Hoja de

Obra:

Proyecto

Número

Materia:

Control



Lugar	Fecha D D M A A	Hora	Caudal (ft ³ /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
"	14 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 02 84	17 ⁰⁰	87
Toledo Cruce Costera	02 08 84	15 ¹⁵	236
Toledo Norte	19 03 85	16 ⁰⁰	191
Toledo Sur	19 03 85	16 ¹⁵	107
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

+ 323
+ 298
+ 428

ALAMOS Y PERALTA

INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

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

Lugar	Fecha D D M A A	Hora	Caudal (M ³ /seg)
Cauel Charouate + Toledo	26 02 85	11 ⁴⁰	482
"	02 10 85	11 ⁴⁰	392
"	19 01 86	11 ⁴⁰	333
"	19 02 86	13 ⁴⁰	352
"	17 04 86	13 ²⁰	564
"	19 06 86		921
"	29 07 86	11 ⁴⁰	1088
Charouate de Itaco parido	08 07 86		302
Toledo en " "	08 07 86		145

ALAMOS Y PERALTA

INGENIEROS CONSULTORES LTDA

Proyectista :

Fecha

Hoja de

Obra :

Proyecto

Número

Materia :

Control



Lugar	Fecha D D M A A	Hora	Caudal (m ³ /seg)
Canal San Pedro	21 08 25	11:45	192
	23 03 73	16:30	141
	15 05 73	17:30	170
	19 06 73	19:30	236
	19 07 73	12:30	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	11:30	161
	24 06 74	17:00	173
	26 07 74		165
	14 01 75		102
	19 05 75	9:30	157
	22 07 75	11:00	180
	30 11 75	10:00	148
	28 11 75	11:00	124
	24 02 76	15:00	141
	25 02 76	13:00	133
	19 04 76	18:00	124
	05 05 76	16:50	117
	16 06 76	17:30	117
	28 04 77	14:00	86
	29 07 77	9:00	102
	30 08 77	15:30	136
	30 09 77	12:50	173
	26 12 77	10:30	77
	31 05 78	10:00	116
	29 06 78	13:00	140
	25 07 78	10:00	123
	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	13:00	79
	26 09 79	15:45	61
	23 11 79	10:00	43
	12 02 80	16:30	33

ALAMOS Y PERALTA

INGENIEROS CONSULTORES LTDA

Proyectista:

Fecha

Hoja 1 de 6

Obra:

Proyecto

Número

Materia:

Control

Lugar	Fecha D D M Y A	Hora	Caudal (l ³ /seg)
Canal San Pedro	12 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 ⁰⁰	26
	29 07 82	10 ⁰⁵	27
	02 08 84	18 ⁰⁰	545
	26 02 85	14 ⁰⁰	600
	02 10 85		663
	27 11 85	15 ⁰⁰	714
	17 01 86	11 ⁵⁰	248
	11 02 86	11 ³⁰	258
	17 04 86	15 ¹⁰	256
	19 06 86	13 ²⁰	465
Canal Derales			152
	23 11 83	15 ⁰⁰	76
	26 02 85	15 ⁰⁰	210
	02 10 85	17 ¹⁰	292
	27 11 85	16 ¹⁰	29
	19 06 86	15 ⁴⁰	40
29 07 86	15 ¹⁵	39	
Canal San Corbito			2
	22 04 85		174
	08 04 85	14 ⁵⁰	62
	07 02 86		45
	18 02 86	16 ²⁰	15
	17 04 86	15 ⁰⁰	9
	23 05 86	15 ³⁵	27
12 08 86	15 ⁰⁰	14	
Canal Margarita	04 04 85	14 ⁰⁰	152
	08 06 85	2 ¹⁰	218
	02 10 85		523
	27 11 85	16 ¹⁰	35

ALAMOS Y PERALTA

INGENIEROS CONSULTORES LTDA

Proyectista:

Fecha

Hoja 2 de 6

Obra:

Proyecto

Número

Materia:

Control

Lugar	Fecha				Hora	Caudal (litros)
	D	M	A	A		
Canal Valle fertil N°1	09	03	85		17 ⁵⁰	23
	02	10	85		18 ⁰⁰	27
	19	06	86			20
	29	07	86			22
Canal Valle fertil N°2	25	01	85		14 ³⁰	96
	02	10	85		18 ³⁰	19
	17	04	86		15 ³⁰	51
	19	06	86			58
	29	10	86		15 ¹⁰	67
Canal Piedra Colada 2	02	08	84		13 ²⁵	142
	26	02	85		13 ¹⁰	188
	02	10	85		15 ³⁰	215
	17	01	86		12 ³⁰	80
	19	02	86			112
	16	04	86		14 ⁰⁰	89
	19	06	86			137
	29	07	86		14 ⁴⁵	59
Canal Piedra Colada 1	02	08	84		17 ⁵⁵	110
	02	10	85		14 ¹⁰	30
	27	11	85		15 ⁴⁵	289
	29	07	86		14 ²⁰	76
Canal Maria Isabel	21	08	75		13 ⁴⁰	184
	16	03	73		17 ³⁰	107
	15	05	73		16 ²⁰	124
	19	06	73		17 ³⁰	183
	19	07	73		10 ⁴⁵	143
	21	09	73		10 ⁰⁰	201
	31	11	73		11 ⁰⁰	186
	30	11	73		16 ⁰⁰	177
	17	12	73		17 ³⁰	160
	22	01	74		15 ³⁰	154
	27	02	74		11 ²⁰	159
	24	05	74		11 ³⁰	157
	24	06	74		16 ⁰⁰	151

ALAMOS Y PERALTA

INGENIEROS CONSULTORES LTDA

Proyectista:

Fecha

hoja 1 de -

Obre:

Proyecto

Número

Materia:

Control

Lugar	Fecha	Hora	Caudal (lt/seg)		
	S D M A				
Cana! Yoris Isabai	06	06	80	15 ⁰⁰	137
	21	11	80	16 ³⁰	56
	15	12	80	16 ⁰⁰	169
	27	01	81	17 ³⁹	147
	27	04	81	15 ²⁰	174
	28	05	81	15 ¹⁰	218
	21	08	81	16 ⁰⁰	213
	26	10	81	13 ⁰⁰	139
	01	12	81	17 ⁰⁰	156
	01	12	81	17 ³⁰	148
	27	01	82	13 ¹⁰	196
	19	02	82	14 ⁴⁰	167
	23	04	82	11 ⁵⁰	150
	19	05	82	15 ²⁵	204
	29	07	82	13 ¹⁰	215
	24	08	82	16 ⁰⁵	226
	20	09	82	14 ²⁰	223
	21	10	82	16 ⁰⁰	158
	07	02	83	11 ⁵⁰	154
	11	03	83	11 ⁴⁰	132
	18	05	83	12 ¹⁰	148
	20	06	83		175
	13	07	83	14 ⁰⁰	225
	30	08	83	17 ¹⁰	178
	15	09	83	13 ¹⁰	193
	14	10	83	12 ⁴⁰	185
	28	11	83	15 ⁰⁰	124
	12	12	83	14 ¹⁰	161
	12	01	84	16 ⁴⁰	130
	19	04	84	11 ⁴⁰	192
	25	01	85	15 ⁰⁰	319
	26	02	85	15 ⁴⁰	299
	18	03	85	16 ⁰⁰	234
	01	04	85	15 ⁰⁰	371
	24	05	85	15 ³⁰	216
	18	06	85	16 ¹⁰	293
	17	07	85	15 ³⁰	254
	08	08	85	15 ⁴⁰	237
	02	10	85	19 ¹⁰	163
	23	12	85	16 ⁴⁰	150
	17	01	86	16 ⁴⁰	175

ALAMOS Y PERALTA

INGENIEROS CONSULTORES LTDA

Proyectista:

Fecha

Hoja 5 de 5

Obra:

Proyecto

Número

Materia:

Control



Lugar	Fecha A D M A A	Hora	Caudal (l/seg)
Canal María Isabel.	19 02 86	17 ¹⁵	163
	27 03 86	16 ⁰⁰	191
	17 04 86	17 ²⁰	181
	23 05 86	16 ⁰⁰	215
	19 06 86	16 ⁰⁰	198
	29 07 86	16 ³⁰	207
	12 08 86	15 ²⁵	199
	29 10 86	16 ⁰⁰	171
Río Copafu en Desembocadura	21 09 73		78
	31 10 73	12 ⁰⁰	88
	26 07 74	16 ⁰⁰	132
	06 11 74	16 ⁰⁰	89
	26 10 81	17 ⁰⁰	29

ALAMOS Y PERALTA

INGENIEROS CONSULTORES LTDA

Proyectista :

Fecha

Hoja de

Obra :

Proyecto

Número

Materia :

Control

ANEXO 4: VALORES DE CAUDAL ESPECIFICO Y TRANSMISIVIDADES.

CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DEL EMBALSE SUTEPREMEC

COORDENADA	Nº	FRECU	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 AGUÍFACA (m ² /día/m)
------------	----	-------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	-------------------------------	-------------------------	-----------------------------	---

SECTOR: PIEDRA COLGADA - ANGSSTURA

ZONA PIEDRA COLGADA - SAN PEDRO

2710-7050	D-1	Fundo San Pedro	7.7			310.0		310.0	7000
	D-2	Fundo San Pedro	6.4			170.0		170.0	1900
	D-3	Fundo Los Angeles	7.0	70.0	52.0	360.0	48.0	356.0	6.300
	D-4	Fundo San Juan	13.3	72.0	42.8		37.5		14000
	D-5	Fundo Marquesado	8.3	75.0	47.0	240.0	42.2	235.2	8000
	D-6	Fundo Dos Hermanas	6.5	118.0	43.5	220.0	39.5	216.0	6000
	D-7	San Pedro			12.0	310.0	6.2	304.2	
	D-8	Fundo San Juan			11.5	260.0	6.2	256.7	
	D-9	Fdo. Los Angeles (Paracero)							
	D-10	Fundo Los Olivos				250.0		250.0	
	D-11	La Puntilla				160.0		160.0	
	D-12	San Pedro		50.0	50.0		44.0		
	D-13	Reserva San Pedro				150.0		150.0	
	D-14	Parcela San Pedro							
	D-15	Reserva San Pedro				140.0		140.0	
	D-16	Hacienda Perales				160.0		160.0	
	D-17	San Pedro (Pz 11)			6.5	180.0	3.8	177.3	

CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DEL ENBALSE SUBTERRANEO

CÓORDENADA N°	FREDDO	CAUD.ESP. (l/s/m)	CAUDAL BOMBEO (l/s)	HABILIT. HASTA (m)	ESP.TOTAL ACUIFERO (m)	ESP.SAT POZO (m)	ESP.SAT ACUIFERO (m)	TRANSISIVIDAD ADOPTADA (m ² /dia/m)
ZONA HACIENDA MARGARITA - HACIENDA MARIA ISABEL								
2720-7030	B-1 Hacienda Perales	5.7			250.0		250.0	1700
	B-2 Hacienda Perales				200.0		200.0	
	B-3 Hacienda Perales				160.0		160.0	
					250.0		250.0	
2720-7030	A-1 Hacienda Margarita			12.8	240.0	8.8	236.0	
	A-2 Hacienda Margarita	1.2			160.0		160.0	700
	A-3 Fdo. Valle Fertil	1.4			510.0		510.0	1000
	A-4 Hacienda Margarita				170.0		170.0	
	A-5 Hda. Perales (Pz-10)			5.0	160.0	3.0	158.0	
	A-6 Margarita (Pz-9)			5.0	160.0	1.5	156.5	
	A-7 Valle Fertil (Pz-7)			7.3	490.0	1.7	484.4	
	A-8 San Camilo (Pz-8)			11.9	440.0	5.6	433.7	
2720-7040	A-1 Hda. Maria Isabel	0.05			250.0		250.0	100
	A-2 Hda. Maria Isabel				170.0		170.0	
	A-3 Hda. Maria Isabel (Pz-3)			9.2	285.0	6.9	282.7	
	A-4 Hda. Maria Isabel (Pz-4)			12.5	310.0	10.2	307.7	
	A-5 Hda. Maria Isabel (Pz-1)			7.0	230.0	5.8	228.8	
2720-7040	B-1 Monte Anarqo				270.0		270.0	
	B-2 Totoralillo				280.0		280.0	
	B-3 Totoralillo	2.5			280.0		280.0	1000.0
	B-4 Totoralillo				280.0		280.0	
	B-5 San Camilo (Pz-6)			10.9	480.0	4.2	473.3	
	B-6 Punta Picazo (Pz-5)			14.4	250.0	4.1	239.6	
	B-7 Monte Anarqo (Pz-2)		af	11.4	220.0	2.1	218.8	