

## **ANEXO VI-4**

# **MODELO HIDROGEOLOGICO**

## CAPITULO

<b>CAPITULO 1</b> .....	<b>1</b>
<b>INTRODUCCION</b> .....	<b>1</b>
1.1 GENERALIDADES .....	1
1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO DE MODELACION .....	3
1.3 METODOLOGÍA .....	3
1.3.1 <i>Recopilación de Antecedentes</i> .....	4
1.3.2 <i>Trabajos de Campo</i> .....	4
1.3.2.1 Campaña Geofísica .....	4
1.3.2.2 Perforación de Pozos y Pruebas de Bombeo .....	5
1.3.2.3 Pruebas de Infiltración In-situ .....	5
1.3.3 <i>Trabajo de Gabinete</i> .....	5
1.3.3.1 Descarga .....	5
1.3.3.2 Recarga .....	6
1.3.3.3 Geometría del Acuífero .....	6
1.3.3.4 Parámetros Hidrogeológicos .....	6
1.3.3.5 Derechos de Agua .....	7
1.4 ESTRUCTURA DEL INFORME .....	7

# CAPITULO 1

## INTRODUCCION

### 1.1 GENERALIDADES

Como parte del proceso para definir la fuente y su sistema de abastecimiento de aguas para el Proyecto Minero Caserones, su propietaria Minera Lumina Copper Chile S. A. (MLCC) encomendó a Ingeniería SITAC, el estudio de un Modelo Hidrogeológico del Acuífero de la parte alta de la cuenca del río Copiapó, en el sector delimitado entre la confluencia del Río Ramadillas con la Quebrada de las Breas por el Este y el sector de La Puerta en el Río Copiapó por el Oeste.

El yacimiento de cobre Caserones perteneciente a MLCC se ubica en las nacientes del Río Copiapó, específicamente en el sector alto de la subcuenca del Río Ramadillas. Para su explotación requiere de un caudal máximo de agua fresca aproximado a los 580 l/s. La adquisición de parte de sus derechos en uso agrícola disminuyen la afección sobre la cuenca a 390 l/s como máximo.

La cuenca del río Copiapó se ubica en la III Región, Provincia de Atacama, entre los 26° 30` y los 28° 30` de Latitud Sur, y los 69° y 71° de Longitud Oeste (DGA 2003). Es una cuenca abierta de 18.540 km<sup>2</sup> que nace en la Cordillera de los Andes y entrega sus escorrentías en el océano Pacífico. Sus recursos de agua han sido entregados en su totalidad como derechos de aprovechamientos superficiales y subterráneos en todo el Valle.

Los derechos de aprovechamiento sobre aguas superficiales en el río Copiapó y sus afluentes, se distribuyen en 9 distritos de riego y todos ellos conforman la Junta de Vigilancia del río. Para el caso de las aguas subterráneas la DGA hace una división del acuífero en 6 sectores hidrogeológicos, esta división consta en la minuta Técnica Nº 61 de fecha 19 de agosto de 1997, del Departamento de Administración de Recursos Hídricos, constituye un criterio técnico que la DGA adopta para los efectos de la concesión de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas. Dentro de cada sector está permitido el traslado de los derechos de aprovechamiento de aguas, los trasladados entre distintos sectores, pudiera ser factible y dependerá de los fundamentos hidrogeológicos que alteren la división hecha por la DGA, de los fundamentos técnicos que acrediten la existencia del recurso, su disponibilidad y la no afectación a derechos de terceros.

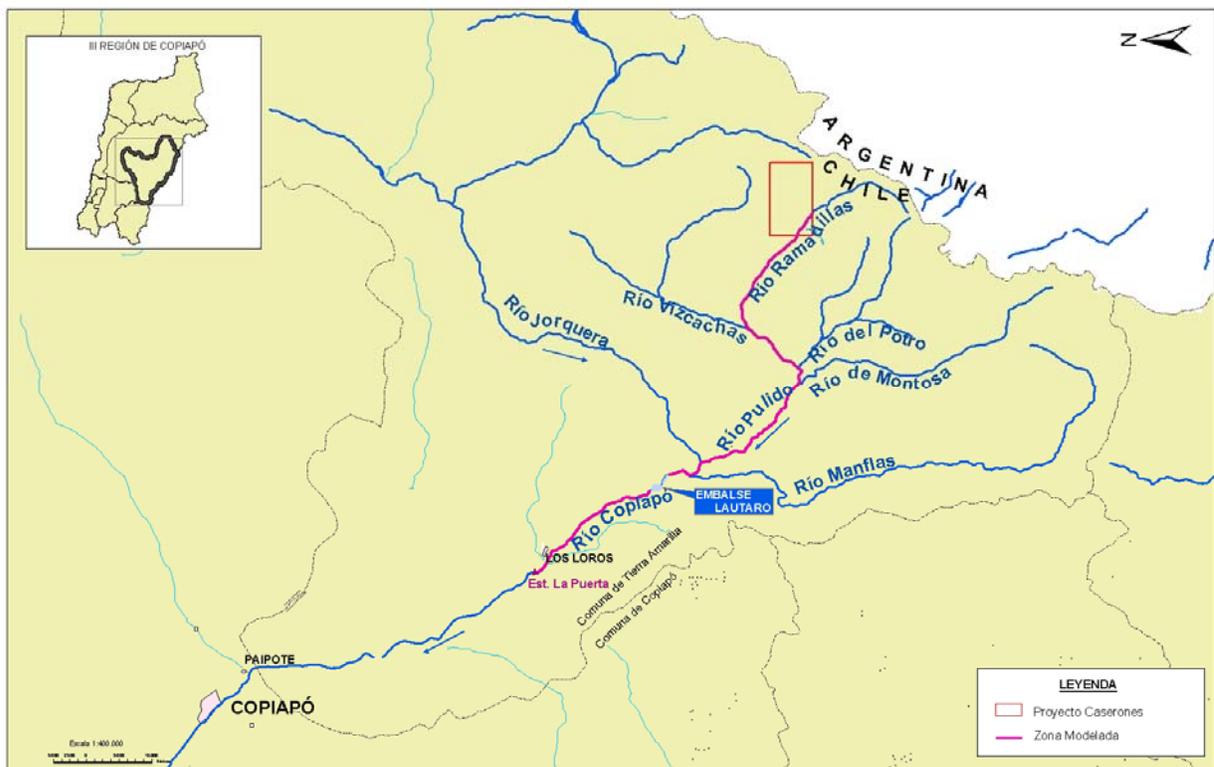
El Yacimiento Caserones se encuentra en la zona comprendida en la Primera Sección de agua subterránea.

Después del análisis de diferentes fuentes de abastecimiento, que incluyó desalar agua de mar y traer agua desde las zonas altiplánicas entre otros, el Proyecto considera operar el Yacimiento con caudales subterráneos, a obtener desde distintos

puntos de captación sobre los cuales tenga derechos de aprovechamiento MLCC. Los derechos que posee MLCC se distribuyen principalmente entre los sectores hidrogeológicos que comprende la zona desde La Puerta (río Copiapó) hasta el río Pulido y sus afluentes, y comprenden del orden de 1.000 l/s.

El presente estudio analiza la situación actual de las zonas hidrogeológicas comprometida por el Proyecto Caserones, y estima, mediante un modelo hidrogeológico matemático, el efecto de la extracción de agua sobre los acuíferos.

En la siguiente *Figura 1.1.*, se visualiza la ubicación y límites del área modelada.



**Figura 1.1. Ubicación y Límites de la Zona de Estudio.**

## 1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO DE MODELACION

- a) Construir un modelo hidrogeológico, de la cuenca del río Copiapó, entre la confluencia del río Ramadillas con la Quebrada de las Brea por el Este y el sector de La Puerta en el río Copiapó por el Oeste, que permita simular las condiciones del acuífero bajo distintos escenarios de explotación.
- b) Determinar el nivel actual de explotación del acuífero de este sector de la cuenca del río Copiapó y establecer los caudales de producción máximos de los pozos del proyecto para distintos escenarios de tiempo y según la ubicación de estos.
- c) Establecer los caudales de producción máximos de los pozos del proyecto para distintos escenarios de tiempo y de ubicación de estos. Además, se determinarán los abatimientos de los niveles dinámicos que se producen en los distintos escenarios y el impacto de la extracción de agua subterránea que requiere el Proyecto en la parte alta de la cuenca del Río Copiapó.

Los escenarios de interés han sido identificados con extracciones desde pozos con derechos existentes, y desde ubicación de pozos con traslados de puntos de aprovechamiento del derecho. En cada caso se ha modelado con y sin efecto de las medidas de compensación y mitigación que la Compañía efectuaría si se desarrolla el Proyecto. El caudal modelado como extracciones del Proyecto han sido las necesidades anuales considerando que una parte de este consumo es sobre aguas que ya afectan la cuenca (pozos actualmente en uso).

## 1.3 METODOLOGÍA

Para este estudio se utilizó el software de modelación de aguas subterráneas y de transporte de contaminantes Visual Modflow 4.1 de Waterloo Hydrogeologic Inc., el cual resuelve la ecuación en derivadas parciales del flujo subterráneo, a través del método de los elementos finitos.

Para realizar la modelación es necesario conocer una serie de componentes y distintas variables que intervienen en él área y su comportamiento en el tiempo. Entre estas variables se requiere cuantificar las recargas y descargas, determinar el tamaño y forma del acuífero y los valores constantes hidrogeológicas en el sistema.

Toda esta información nos permitirá construir un modelo matemático, el que se calibrará con la información existente de manera que permita simular el comportamiento del acuífero para distintos escenarios de explotación, lo cual permitirá aproximarnos a los caudales efectivos de ser explotados en forma sustentable.

Consecuentemente con lo anterior, el primer paso del estudio fue recopilar y analizar

toda la información existente y que fuera relevante. Se revisaron estudios hídricos e hidrogeológicos realizados en la zona, además de catastros de pozos y de derechos de aprovechamiento, estadísticas de estaciones hidrológicas, etc. Esta información se complementó con trabajos de terreno específicos en la zona de estudio, en particular se realizaron campañas geofísicas, medición de infiltración, campañas de perforación de pozos y pruebas de bombeo.

### **1.3.1 Recopilación de Antecedentes**

Primero se realizó una revisión y análisis de la información disponible de los recursos hídricos en el valle de Copiapó de estudios anteriores, además se recopiló la información de geología de la zona, información de catastros de pozos, derechos de aprovechamiento, etc.

1.-Análisis de estudios anteriores de recursos hídricos en el valle de Copiapó. Entre estos destacan los estudios realizados por DGA 1987, 1995, 2003, DGA-IPLA 1994, SERNAGEOMIN 1999 y GOLDER 2006.

2.-Antecedentes geológicos: Los principales antecedentes se encuentran en el estudio SERNAGEOMIN 1999, DGA 2003 y en las cartas geológicas de la zona. Esta información se complementó con los resultados obtenidos de las campañas de perforación del presente estudio.

3.-Antecedentes geofísicos: Se utilizará principalmente los resultados de la campaña geofísica realizada dentro de este estudio. Se revisaron también los resultados de SEV realizados por DGA 1987.

4.- Revisión de los antecedentes Pluviométricos y Fluviométricos: Esta información proviene del Banco Nacional de Aguas de la DGA y se complementó con la contenida en los estudios indicados en el punto 1. También se incorporó la información medida por SITAC en su campaña de aforos en la zona alta de la cuenca.

5.- Catastro de pozos con derechos y solicitudes de aprovechamiento de caudales subterráneos: Esta información se obtuvo de los catastros realizados por la DGA y del catastro de SITAC.

### **1.3.2 Trabajos de Campo**

#### **1.3.2.1 Campaña Geofísica**

Debido a que existe muy poca información respecto a la forma del acuífero, en especial aguas arriba del embalse Lautaro, fue necesario para determinar la forma y profundidad del acuífero realizar una campaña geofísica que nos entregara esos antecedentes.

Para esto se programó una campaña en terreno para determinar perfiles geofísicos en distintos puntos de la zona de estudio. La determinación de los puntos a medir se utilizará información de imágenes satelitales, planos topográficos y análisis in-situ de los sectores. Los perfiles geofísicos se realizaron mediante la técnica de transiente electromagnético (TEM).

La campaña se realizó específicamente en los ríos Ramadillas, Vizcachas, Pulido, El Potro, Montosa, Manflas, Jorquera y Copiapó.

### **1.3.2.2 Perforación de Pozos y Pruebas de Bombeo**

En la zona alta del Copiapó, sector confluencia río Pulido con Río Ramadillas y aguas arriba de este, no existe información que permita determinar las constantes hidrogeológicas del acuífero. Por esta razón se construyeron 5 pozos de exploración/observación y dos pozos de producción en este sector, a los cuales se les realizó pruebas de bombeo. Específicamente las pruebas realizadas corresponden a caudal variable y constante con medición de niveles durante la prueba y en la recuperación. El análisis de estas pruebas permitirá determinar las transmisividad en el sector.

### **1.3.2.3 Pruebas de Infiltración In-situ**

Una de las variables que intervienen en la recarga es la infiltración que se produce desde el cauce del río Copiapó y sus afluentes, es por esto que se realizó una campaña de medición de infiltración in-situ. Esta se realizó en distintos sectores cercanos a los cauces de los ríos en la zona de estudio. Se utilizó el método del doble anillo que permite determinar la tasa de infiltración y con esto la conductividad en los distintos puntos. Estos resultados se compararon y complementaron con aforos diferenciales realizados en los distintos sectores de los ríos. Esta información permitirá establecer las filtraciones y recuperaciones que se producen entre el río y el acuífero.

### **1.3.3 Trabajo de Gabinete**

En este trabajo se realizó una serie de trabajos de gabinete con el fin de poder determinar los componentes del sistema como la recarga, descarga, geometría del acuífero, parámetros hidrogeológicos, etc.

#### **1.3.3.1 Descarga**

Las principales variables que intervienen en la descarga son las extracciones de agua subterránea por pozos, la evapotranspiración desde los cultivos, los afloramientos y la evaporación desde la zona de vegas.

La evapotranspiración desde los cultivos está determinada por el área cultivada, la

distribución de esta en la zona de estudio y el tipo de cultivos. Para su determinación se analizó una imagen satelital de la zona la que nos permitió determinar el área ocupada por cultivos y su distribución espacial. Los tipos de cultivos en el área y el tipo riego utilizado para estos se obtuvieron de los censos y catastros frutícolas y agropecuarios realizados en el sector.

La magnitud de los afloramientos se obtuvo del análisis de la estadística fluviométrica en los distintos puntos de los cauces.

Para la determinación de la evaporación desde las vegas se utilizó la información de los estudios realizados en la zona por la DGA.

### **1.3.3.2 Recarga**

La recarga ocurre principalmente por infiltración que se produce desde los cauces, desde el embalse Lautaro, desde los predios y por aportes de otras cuencas al sistema (flujo lateral).

La infiltración desde los cauces se determinó analizando las estadísticas de las estaciones fluviométricas y de aforos realizados en la zona, la que se contrastó con la información de las pruebas de infiltración realizadas en este estudio.

La determinación de la infiltración desde el embalse Lautaro se realizó por medio de un balance hídrico, para esto se consideraron como flujos de entrada y salida los medidos en las estaciones fluviométricas de la DGA aguas arriba y abajo del embalse respectivamente.

Los flujos laterales se estimaron realizando un balance hídrico con la información obtenida de las isóneas de precipitaciones obtenidas del balance hídrico de Chile, y la evapotranspiración obtenida de esta misma fuente y de la determinada de un modelo de precipitación-escorrentía.

### **1.3.3.3 Geometría del Acuífero**

La forma del acuífero esta comprendida entre la topografía de superficie y la topografía de fondo (basamento rocoso). La primera se determinó con las curvas de nivel obtenidas de la carta del Instituto Geográfico Militar (IGM) y la segunda con la información obtenida de la campaña geofísica.

### **1.3.3.4 Parámetros Hidrogeológicos**

Los parámetros hidrogeológicos que permiten definir el acuífero son la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento.

La transmisividad de referencia se determinó del análisis de las pruebas de bombeo

efectuadas en los pozos. Para los pozos que no contaban con información de prueba de bombeo pero si tienen información del caudal específico se determinó la transmisividad utilizando la relación obtenida en el informe DGA 1987 donde relaciona estos dos parámetros.

El coeficiente de almacenamiento de referencia se determinó mediante el análisis de los valores utilizados estudios anteriores DGA 1987, 1995 y 2003, y SERNAGEOMIN 1999 y de valores típicos indicados en la literatura según la geología del área.

### **1.3.3.5 Derechos de Agua**

Para determinar los derechos se construyó un catastro de los pozos existentes en la zona de estudio, que incluye sus principales características como son ubicación, caudal otorgado, resolución, etc. Esto se determinó de catastros de la DGA y del catastro de SITAC.

## **1.4 ESTRUCTURA DEL INFORME**

Este Estudio consta de 12 capítulos, Bibliografía y 4 Anexos, titulados como sigue:

CAPITULO 1:	INTRODUCCION
CAPITULO 2:	RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES
CAPITULO 3:	TRABAJOS DE CAMPO
CAPITULO 4:	GEOLOGÍA
CAPITULO 5:	HIDROGEOLOGÍA
CAPITULO 6:	SISTEMA HÍDRICO
CAPITULO 7:	DESCARGA
CAPITULO 8:	RECARGA
CAPITULO 9:	DERECHOS DE AGUA
CAPITULO 10	: MODELO MATEMÁTICO
CAPITULO 11	: EVALUACIÓN DE ESCENARIOS
CAPITULO 12	: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### **BIBLIOGRAFÍA**

Anexo 1	: ANALISIS DE PRUEBAS DE INFILTRACION
Anexo 2	: ANTECEDENTES DE CONSTRUCCION Y PRUEBAS DE BOMBEO E 5 POZOS EXPLORATORIOS
Anexo 3	: ESTUDIOS GEOFISICOS, TRANSIENTE ELECTROMAGNETICO (TEM)
Anexo 4	: ANTECEDENTES HIDROLOGICOS

## CAPITULO 2

<b>CAPITULO 2</b> .....	<b>8</b>
<b>RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES</b> .....	<b>8</b>
2.1 GENERALIDADES .....	8
2.2 ANTECEDENTES Y ESTUDIOS ANTERIORES .....	8
2.3 HIDROLOGÍA .....	9
2.3.1 <i>Pluviometría</i> .....	10
2.3.2 <i>Fluviometría</i> .....	10
2.4 INFORMACIÓN DE NIVELES EN POZOS .....	11
2.5 PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS .....	12
2.6 GEOLOGÍA.....	12
2.7 RECARGA .....	13
2.7.1 <i>Infiltración desde los Cauces</i> .....	13
2.7.2 <i>Embalse Lautaro</i> .....	13
2.7.3 <i>Flujo Lateral</i> .....	13
2.8 DESCARGA.....	13
2.8.1 <i>Evapotranspiración</i> .....	13
2.8.2 <i>Extracciones Subterráneas</i> .....	14

## CAPITULO 2

### RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES

#### 2.1 GENERALIDADES

Durante esta etapa se recopiló y revisó la información existente que pudiera proporcionar antecedentes de la zona de estudio. Los principales antecedentes se obtuvieron de estudios realizados por la Dirección General de Aguas (DGA) y el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). Además se recopilaron antecedentes de hidrología, geología, información de pruebas de bombeo, estudios de cultivos en la zona y otros antecedentes relevantes para conocer el comportamiento del sistema.

#### 2.2 ANTECEDENTES Y ESTUDIOS ANTERIORES

Existen varios estudios del valle del río Copiapó destacando los estudios de la DGA (1987, 1995 y 2003), IPLA-DGA 1994, SERNAGEOMIN 1999 y Golder Associates S.A. (2006). A continuación se indica a grandes rasgos sus contenidos:

- Análisis y evaluación de los recursos hidrogeológicos, Valle del río Copiapó – III Región, 1987.

Fue realizado para la DGA por la firma Álamos y Peralta Ingenieros Consultores Ltda. en el año 1987, consiste en la construcción y operación de 8 modelos hidrogeológicos de diversos sectores acuíferos del valle de Copiapó, evaluación de las recargas y descargas, hacia y desde el acuífero, análisis de la explotación y su relación con los niveles freáticos.

- Análisis, uso actual y futuro de los recursos hídricos de Chile, Demandas actuales y futuras en cuencas del Norte, 1994

Este estudio fue realizado para la DGA por la firma IPLA en 1994, en este se hace un análisis de las demandas de los recursos hídricos que realizan los distintos usuarios: Agua Potable, Agrícola, Industrial y Minería. Los resultados se entregan a nivel general para todo el Valle de Copiapó.

- Análisis y evaluación de los recursos hídricos en el Valle de Copiapó, 1995

Este estudio fue realizado para la DGA por la firma Álamos y Peralta Ingenieros Consultores Ltda. en el año 1995, comprende un análisis de la situación del embalse subterráneo, de su evolución y de su comportamiento en los últimos 10 años (1985-1995). Para el estudio se divide el valle en 6 sectores, los cuales son tratados en forma separada y sistemática.

Se estudia las variaciones del nivel de saturación, en relación con las recargas y descargas, dentro de estas últimas, la relación con las extracciones de agua subterránea por los sondeos existentes. Se analiza la situación de los derechos de aprovechamiento y su relación con los volúmenes de agua en el acuífero.

- Estudio Hidrogeológico del Valle del río Copiapó, segmento Embalse Lautaro – Piedra Colgada, Región de Atacama, 1999

Este estudio fue realizado por SERNAGEOMIN en el año 1999, en el se identifica el impacto ambiental provocado por la actividad minera y se hace un detallado estudio hidrogeológico en el que se caracterizan y clasifican las unidades geológicas del valle, se deducen las propiedades hidrogeológicas a partir del catastro de pozos, se analiza el comportamiento de los niveles estáticos y de los caudales de explotación entre otros puntos.

- Evaluación de los recursos hídricos subterráneos del valle del río Copiapó, 2003

Este estudio fue realizado para la DGA en el año 2003. En este se realiza una caracterización del sistema hidrogeológico y posteriormente esta información se usa para la implementación de un modelo de simulación hidrogeológica del valle del río Copiapó para la zona comprendida entre el embalse Lautaro y el sector de Angostura.

- Diagnóstico de los recursos hídricos del río Copiapó y proposición de un modelo de explotación sustentable, 2006. (Golder Associates)

Este estudio fue encargado por un conjunto de empresas y asociaciones que tienen relación con el uso de los recursos hídricos en la cuenca del río Copiapó. Su objetivo fue determinar la disponibilidad hídrica en la cuenca que asegurara un uso y explotación racional y sustentable de los recursos hídricos. Para esto se hace un diagnóstico del aprovechamiento de los recursos hídricos, información con la que se elabora un modelo conceptual de explotación sustentable de los recursos en particular se evalúa el volumen de aprovechamiento que permita mantener las reservas de largo plazo. Finalmente se hace un plan de acción para lograr el objetivo de sustentabilidad.

## 2.3 HIDROLOGÍA

La información Pluviométrica y Fluviométrica existente en la zona de estudio corresponde principalmente a la que mide periódicamente la Dirección General de Aguas. Además en la zona alta de la cuenca se cuenta con los aforos realizados por SITAC desde Octubre del 2004 a la fecha.

### 2.3.1 Pluviometría

La información pluviométrica y fluviométrica se obtuvo del estudio DGA 2003 y fue completada hasta el 2005 con información del Banco Nacional de Aguas de DGA. La información de precipitación se encuentra a nivel mensual en 7 estaciones para la zona de estudio, en la Tabla 2.1 se muestra un resumen de la información utilizada en este estudio.

**Tabla 2.1: Estaciones Pluviométricas DGA.**

Estación	Coordenadas UTM		Cota (msnm)	Período
	Norte (m)	Este (m)		
Los Loros	6,920,760	390,034	950	1967-2005
Embalse Lautaro	6,904,241	401,660	1199	1967-2005
Hacienda Manflas	6,895,022	403,373	1410	1967-2005
Iglesia Colorada	6,884,031	414,917	1950	1988-2005
Pastos Grandes	7,002,370	445,480	2000	1967-2005
Jorquera en La Guardia	6,934,055	444,138	2500	1967-2005
Torín en el Potro	6,873,029	426,439	3000	1990-1992

### 2.3.2 Fluviometría

La información Fluviométrica está a nivel de caudal medio mensual en 6 estaciones para la zona de interés. En la Tabla 2.2 se muestra un resumen de la información utilizada en este estudio.

**Tabla 2.2: Estaciones Fluviométricas DGA.**

Estación	Coordenadas UTM		Cota (msnm)	Período
	Norte (m)	Este (m)		
Manflas en Vertedero	6,885,893	402,510	1550	1970-2005
Pulido en Vertedero	6,892,980	407,600	1310	1970-2005
Jorquera en Vertedero	6,897,739	406,060	1250	1970-2005
Copiapó en Pastillo	6,902,323	404,151	1300	1970-2005
Copiapó en Lautaro	6,905,180	401,850	1200	1970-2005
Copiapó en La Puerta	6,924,018	389,169	758	1970-2005

En la zona alta de la cuenca la información fluviométrica existente corresponde a los aforos que mensualmente realiza SITAC desde el año 2004 a la fecha. En la tabla 2.3 se muestra un resumen de la información existente.

**Tabla 2.3: Aforos Realizados por SITAC.**

CODIGO	Punto de aforo		Período	
LM-11	Quebrada Caserones	En La Poza	oct-04	Presente
LM-12		En Derrame	oct-06	Presente
LM-14	Río Ramadillas	Aguas abajo de Qda. Las Llaretas	jul-05	Presente
LM-10		Aguas arriba de confl. Qda. La Brea	oct-04	Presente
LM-05		Aguas arriba confl. Río Vizcachas	oct-04	Presente
LM-07	Río Pulido	Aguas abajo de confl. Río Ramadillas	oct-04	Presente
LM-08		Aguas abajo de confl. Río Chacay o El potro	oct-04	Presente
LM-17		Aguas abajo de confl. Río de Montosa	jul-05	Presente
LM-18		Aguas abajo de Qda. Seca	ago-05	Presente
LM-09	Quebrada La Brea	Antes confl. Río Ramadillas	oct-04	Presente
LM-15	Río del Potro	Aguas arriba confluencia río Pulido	jul-05	Presente
LM-16	Río de Montosa	Aguas arriba de confluencia río Pulido	jul-05	Presente
LM-01	Río Pircas Coloradas	En nacimiento	oct-04	Presente
LM-02		Aguas arriba confl. Río Vizcachas de P.	oct-04	jul-06
LM-04	Río Vizcachas	Aguas abajo de confl. Río Pircas Coloradas	oct-04	jul-06
LM-13		En El Cadillal	jul-05	jul-06
LM-06		Aguas arriba de confl. Río Ramadillas	oct-04	jul-06
LM-19		En Pastillo	oct-05	oct-05
LM-03		Aguas arriba confl. Río Pircas Coloradas	oct-04	jul-06
LM-20	Vertiente	Dagoberto Godoy	oct-05	oct-05
DGA-15	Río Jorquera	En Vertedero	mar-05	Presente
DGA-13	Río Pulido	En Vertedero	mar-05	Presente
DGA-14	Río Copiapó	En Pastillos	mar-05	Presente
DGA-16	Río Copiapó	En La Puerta	nov-06	Presente

Otra fuente de información consultada corresponde al balance hídrico de Chile, realizado por la DGA en 1987. De este se utilizó la información de isolíneas de precipitación, evapotranspiración y temperatura para la zona de estudio.

## 2.4 INFORMACIÓN DE NIVELES EN POZOS

Se cuenta con información de niveles medidos periódicamente en 13 pozos pertenecientes a la DGA. Las mediciones están a nivel mensual. Esta información se utilizará durante la calibración del modelo.

**Tabla 2.3: Pozos de Medición de Niveles.**

Estación	Coordenadas UTM		Período
	Norte (m)	Este(m)	
FUNDO RODEO	6897937	411919	1986-2006
CABO DE HORNOS	6884560	406300	1989-1998
QUEBRADA SECA	6885874	407943	1986-2006
IGLESIA COLORADA	6884403	404872	1986-2006
HACIENDA MANFLAS	6892056	415810	1986-2006
HACIENDA MANFLAS	6887444	416389	1986-2006
JUNTA MANFLAS	6898982	416035	1989-2006
QUEBRADA CALQUI	6910492	399963	1971-2003
VEGAS EL GIRO	6915081	396644	1971-2002
ESCUELA 17 LOS LOROS	6922323	390835	1971-2006
PUEBLO SAN ANTONIO	6914317	397334	1971-2007
ALGARROBO LA VIRGEN (E. Lautaro)	6906044	401667	1986-2007
EMBALSE LAUTARO	6905181	401510	1987-2005

## 2.5 PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS

Para determinar la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento es necesario contar con información de pruebas de bombeo realizadas en los pozos del área. La información de pruebas de bombeo recopilada corresponde a:

- Estudio “Control de la Rehabilitación y pruebas de bombeo efectuadas a cinco pozos ubicados en el fundo Carrizalillo, Copiapó, III Región” (SITAC, 2007)
- Información de pruebas de bombeo en pozos antiguos. Esta información fue recopilada de los expedientes de solicitud de derechos en la DGA, pero sólo se encontró información de algunos pozos y en general está bastante incompleta. En muchos casos sólo se contaba con la curva de agotamiento.
- Información contenida en los estudios revisados, especialmente en los estudios DGA 1987, 1995 y 2003.

Esta información junto con los trabajos de terreno del presente estudio nos permitirá determinar las constantes hidrogeológicas del modelo.

## 2.6 GEOLOGÍA

La principal fuente de información corresponde al mapa geológico escala 1: 1.000.000 del SERNAGEOMIN publicada el año 1982 que incluye toda la región, y al estudio hidrogeológico también del SERNAGEOMIN, 1999, que abarca la zona aguas abajo del embalse Lautaro. Trabajos en detalle del sector oriental se encuentran en elaboración, sin fecha de publicación. En estos trabajos se hace

una descripción tanto de las unidades aflorantes en el área, como de su estratigrafía, litología y esquema estructural.

## **2.7 RECARGA**

Las principales variables que intervienen en la recarga al acuífero son la infiltración desde los cauces, desde los predios, desde los canales (primarios y secundarios) y desde el embalse Lautaro. Debe asumirse también la infiltración desde el entorno de rocas hacia el río, cuando se presenta con una adecuada gradiente hidráulica.

### **2.7.1 Infiltración desde los Cauces**

Para determinar estas infiltraciones se cuenta con la información de aforos periódicos realizados por SITAC en la zona alta de la cuenca, además de los resultados de estudios anteriores DGA 1987 y 1995. Esta información será complementada con la campaña de medición de infiltración

### **2.7.2 Embalse Lautaro**

La información respecto a la infiltración del embalse Lautaro se encuentra en varias de las fuentes consultadas DGA 1987, 1995 y 2003, y Golder 2006.

### **2.7.3 Flujo Lateral**

Existe una estimación de los flujos laterales subterráneo para los ríos Manflas, Jorquera y Pulido la que fue realizada el año 1987.

En las quebradas en la zona alta de la cuenca no se cuenta con información al respecto. La estimación de estos flujos se realizará con información hidrológica de las estaciones consideradas en el modelo y del balance hídrico de Chile de 1987.

## **2.8 DESCARGA**

### **2.8.1 Evapotranspiración**

La información respecto a la distribución y tipos de cultivos en el área se obtuvo del Censo Agropecuario (INE 1997) y del Catastro frutícola de la III Región (CIREN 2005). Esta información se complementó con el análisis de una imagen satelital LANDSAT TM 77 de la zona y de vistas de otras imágenes de Google Earth.

La evapotranspiración se determinó de acuerdo a la metodología del estudio DGA-IPLA 1994, que a su vez se basa en estudios realizados por la FAO.

### **2.8.2 Extracciones Subterráneas**

La información de los pozos en la zona se obtendrá de los catastros incluidos en los estudios DGA 1995 y 2003, y del catastro de SITAC.

La información de derechos de agua se obtuvo de la Res. DGA N° 4051 del 23 de Diciembre de 2003, que aprueba el inventario de extracciones autorizadas en la III Región de Atacama.

<b>CAPITULO 3</b> .....	<b>15</b>
<b>TRABAJOS DE CAMPO</b> .....	<b>15</b>
3.1 GENERALIDADES .....	15
3.2 GEOLOGÍA DE SUPERFICIE .....	15
3.3 PRUEBAS DE INFILTRACIÓN .....	15
3.3.1 <i>Resultados</i> .....	16
3.4 CONSTRUCCIÓN DE POZOS DE EXPLORACIÓN Y PRUEBAS DE BOMBEO.....	17
3.4.1 <i>Resultados</i> .....	19
3.5 LEVANTAMIENTO GEOFÍSICO .....	19
3.5.1 <i>Resultados</i> .....	20

## CAPITULO 3 TRABAJOS DE CAMPO

### 3.1 GENERALIDADES

Los trabajos de terreno para este estudio comprenden el reconocimiento geológico en terreno, estudio geofísico en distintos sectores de la zona de estudio, la construcción de 5 pozos de exploración y dos de producción, la realización de pruebas de bombeo en estos y una campaña de medición de infiltración en terreno de puntos representativos de distintos sectores hidrogeológicos del cauce del río.

### 3.2 GEOLOGÍA DE SUPERFICIE

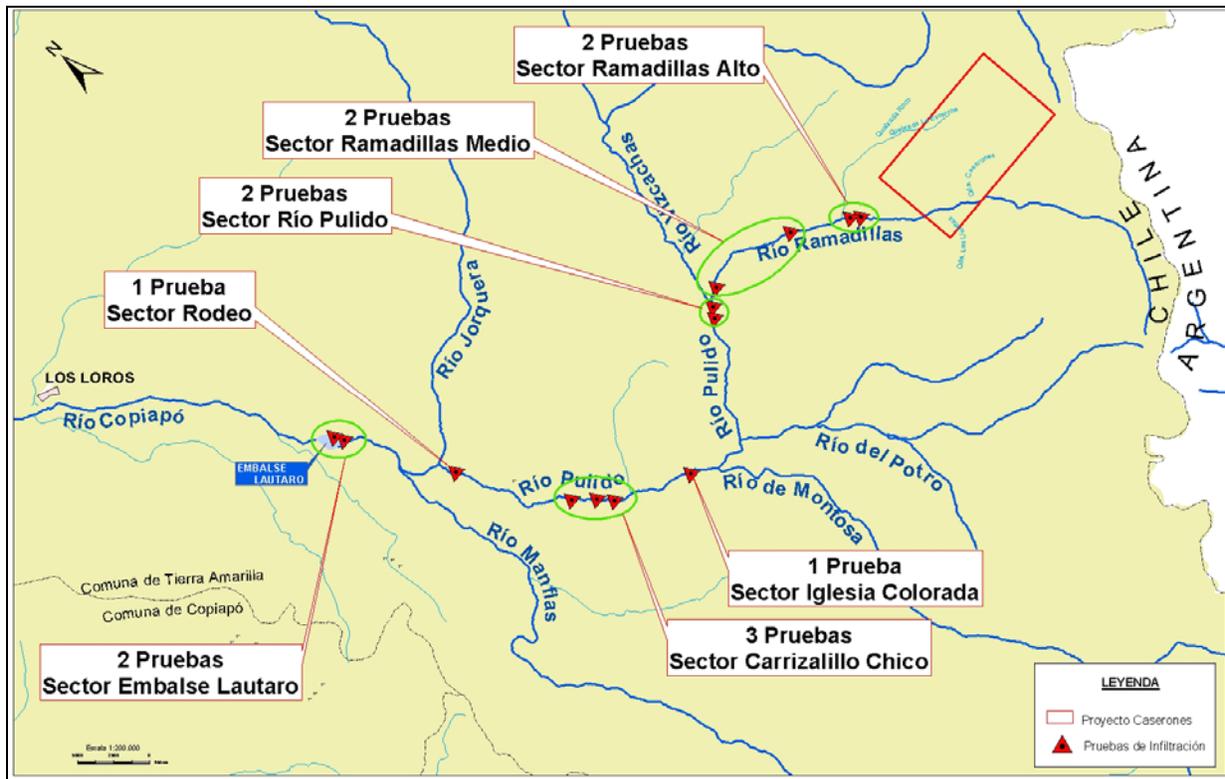
Los trabajos en el área de geología corresponden básicamente a un reconocimiento de la cuenca en terreno para revisar las distintas unidades geológicas descritas en la literatura. Se reconoció de manera general la cuenca discriminando entre unidades basamentales y aquellas que pueden comportarse como acuífero. Los antecedentes obtenidos permitieron establecer dentro del área modelada cuales son los acuíferos mas importantes, y que importancia pueden tener como tales las rocas fracturadas presentes en el sector.

La información permitió además elaborar los perfiles geológicos correspondientes necesarios en el modelamiento matemático posterior de la cuenca.

### 3.3 PRUEBAS DE INFILTRACIÓN

Uno de los puntos que influye en la recarga para el sistema acuífero del río Copiapó es la infiltración que se produce desde el río del mismo nombre y sus afluentes (DGA 2003, Golder 2006). Para conocer las magnitudes de estas infiltraciones en el año 1986 se realizó una corrida de aforos diferenciales en distintos tramos del río Copiapó (DGA 1987) obteniéndose de esta forma una estimación de estas cantidades. Estos resultados se han seguido utilizando para realizar los balances hídricos en el río.

Con el fin de complementar y mejorar la información existente se realizó durante Abril de 2007 una campaña de medición de infiltración en distintos puntos cercanos a los cauces de los ríos Ramadillas, Pulido y Copiapó. En la *figura 3.1* se muestra la ubicación de los puntos seleccionados.



**Figura 3.1: Ubicación Puntos de Infiltración.**

La medición de infiltración se realizó por el método del doble anillo, el que consiste en ir midiendo niveles de agua en un cilindro hincado previamente en el terreno y con esto obtener la tasa de infiltración. En uno de los puntos se realizó una medición por el método de Porchet con el fin de obtener una comparación con el método de doble anillo. Ambos métodos se describen en el Anexo “Análisis Pruebas de infiltración”.

### 3.3.1 Resultados

La conductividad del terreno se obtuvo del análisis de tasas de infiltración obtenidas de las pruebas de terreno.. En la *Tabla 3.2*, se presentan los resultados de acuerdo a la categorización propuesta por Lee (1980):

**Tabla 3.2: Resultados Pruebas de Infiltración.**

Punto	Sector	Ks (cm/hr)	Clasificación (Lee, 1980)
1	Río Ramadillas Alto	5.3	Moderada
2	Río Ramadillas Alto	9.8	Moderadamente rápida
3	Río Ramadillas Medio	2.0	Moderada
4	Río Ramadillas Medio	2.7	Moderada
5	Río Pulido	1.5	Moderadamente baja
6	Río Pulido	2.1	Moderada
7	Iglesia Colorada	1.4	Moderadamente baja
8	Iglesia Colorada	33.4	Muy Rápida (1)
9	Carrizalillo Chico	5.5	Moderada
10	Carrizalillo Chico	5.6	Moderada
11	Carrizalillo Chico	9.3	Moderadamente rápida
12	Rodeo	2.4	Moderada
13	Embalse Lautaro	19.1	Rápida
14	Embalse Lautaro	12.0	Moderadamente rápida

(1) Este valor considera la componente vertical y horizontal

Los suelos ensayados corresponden a arenas finas a gruesas, en algunos casos con presencia de clastos de grava y/o bolones.

Se observa que las tasas de infiltración se mueven en el rango de moderado bajo a rápida de acuerdo a la clasificación propuesta por Lee (1980). Los mayores valores se obtuvieron en el sector del embalse Lautaro.

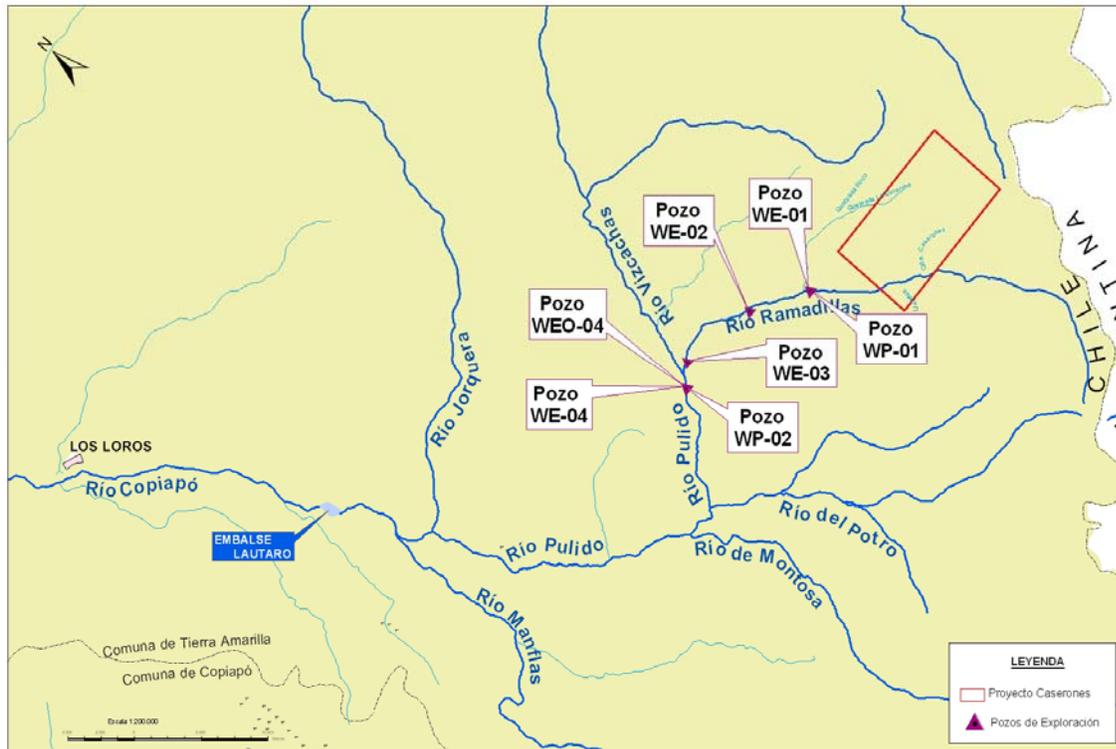
Finalmente los terrenos se pueden considerar como de conductividad media ( $1 < K < 10$ ) (Villanueva).

En el anexo “Análisis Pruebas de Infiltración” se muestra en detalle los análisis realizados.

### 3.4 CONSTRUCCIÓN DE POZOS DE EXPLORACIÓN Y PRUEBAS DE BOMBEO

Debido a que en la zona alta de la cuenca del río Copiapó no existen antecedentes para determinar los coeficientes hidrogeológicos del acuífero (transmisividad y el coeficiente de almacenamiento) fue necesario construir 5 pozos de exploración y dos pozos de producción efectuándose una prueba de bombeo a cada uno de ellos.

Los pozos se construyeron en terrenos de Lumina en el río Ramadillas y en su confluencia con el río Pulido como se muestra en la *Figura 3.3*.



**Figura 3.3: Ubicación de Pozos de Exploración.**

En la tabla 3.4 se indican las principales características de cada pozo.

**Tabla Nº 3.4. Descripción de los Pozos Construidos.**

Pozo	Coordenadas		Cota terreno (m)	Profundidad (m)
	Este (m)	Norte (m)		
WE-01	437257	6886990	2635	150
WE-02	433216	6889545	2420	139
WE-03	427430	6890768	2165	85
WE-04	425955	6889597	2129	150
WEO-04	425939	6889576	2128	62

Los sondajes fueron perforados y habilitados entre febrero y marzo del 2007 en una primera campaña y durante el primer semestre del 2008 en una segunda campaña. Las habilitaciones de los pozos se efectuaron con tuberías de acero y ranurados, simultáneamente con la perforación de cada pozo.

En cada pozo de exploración se realizó una prueba de bombeo de caudal constante y una de caudal variable con medición de niveles durante la prueba y en la recuperación. Además para el pozo WE-04 se contó con un pozo de observación durante la prueba lo que permitirá determinar el coeficiente de almacenamiento.

En los pozos de producción WP-01 y WP-02 se efectuaron pruebas de caudal variable y constantes, estas últimas de 48 horas de duración.

### 3.4.1 Resultados

De acuerdo a los antecedentes obtenidos, los niveles productores de agua en estos pozos se relacionan con acuíferos semi confinados compuestos principalmente por gravas, arenas y rocas sedimentarias del tipo areniscas.

Los niveles estáticos de los pozos y sus transmisividades son:

Pozo WE – 01: Ne: 3,72 metros ; T : 303 m<sup>2</sup>/día  
Pozo WE – 02: Ne: 13,7 metros ; T : 55,7 m<sup>2</sup>/día  
Pozo WE – 03: Ne: 7,32 metros ; T : 477 m<sup>2</sup>/día  
Pozo WE – 04: Ne: 27,23 metros ; T : 399 m<sup>2</sup>/día  
Pozo WEO– 4: Ne: 28,07 metros ; T : 462 m<sup>2</sup>/día

El coeficiente de almacenamiento para el pozo WE – 04 se ha establecido en  $2,96 \cdot 10^{-4}$ . de acuerdo a los datos del pozo de observación.

Los valores de transmisividad y coeficiente de almacenamiento deben considerarse como de referencia, ya que los datos corresponden a una combinación de un acuífero en sedimentos y otro acuífero en rocas sedimentarias.

Los detalles de las campañas de perforación y análisis de las pruebas se presentan en el Anexo Construcción y prueba de bombeo de pozos.

## 3.5 LEVANTAMIENTO GEOFÍSICO

Se realizaron 2 estudios geofísicos. El primero entre el 25 de Agosto y el 4 de Septiembre del año 2006, el cual consistió en la medición de 117 estaciones TEM, repartidas en 35 perfiles geofísicos. El segundo que complementa el primer estudio, se realizó entre el 25 y el 29 de Abril del 2007, consistió en la medición de 51 estaciones TEM, repartidas en 8 perfiles geofísicos.

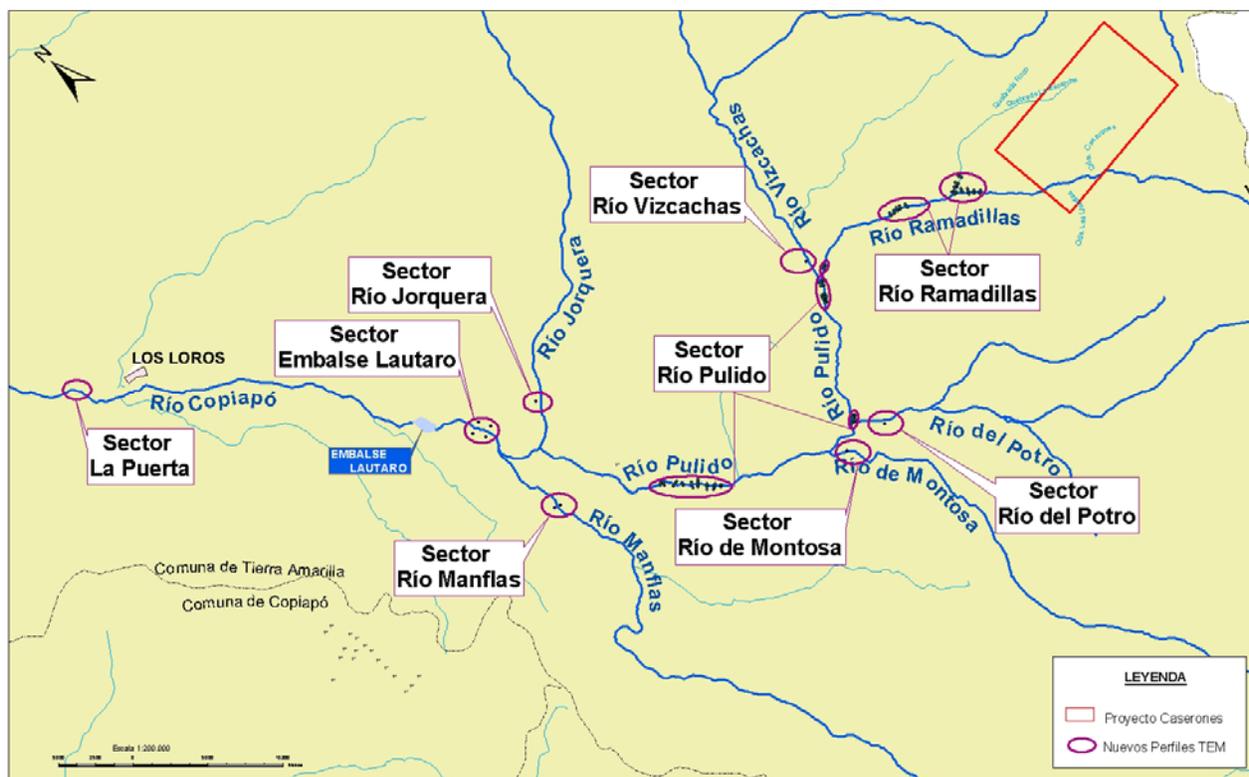
Los perfiles geofísicos fueron realizados por la empresa Geodatos Ltda. por el método de resistividad eléctrica tipo transiente electromagnético (TEM).

La técnica de los perfiles TEM permite determinar las propiedades geoelectricas de sub-superficie y con esto determinar las características hidrogeológicas. La configuración utilizada fue la de loop coincidente, que utiliza un loop de transmisión cuadrado de 50 m x 50m, con una lectura central de transiente, usando un loop de recepción de las mismas dimensiones y coincidente con el anterior.

Los perfiles realizados en los dos estudios se ubican en los siguientes sectores:

- Río Ramadillas – Qda. La Brea (9 perfiles)
- Río Ramadillas Centro (5 perfiles)
- Río Pulido – Río Ramadillas (8 perfiles)
- Río del Potro – Río Pulido (4 perfiles)
- Carrizalillo Chico (9 perfiles)
- Perfil Río Vizcachas (1 perfil)
- Perfil Río El Potro (1 perfil)
- Perfil Río Montosa (2 perfil)
- Perfil Río Jorquera (1 perfil)
- Perfil Río Manflas (1 perfil)
- Perfil Embalse Lautaro (1 perfil)
- Perfil La Puerta (1 perfil)

En la *Figura 3.4* se muestra la ubicación de los distintos perfiles realizados.



**Figura 3.4: Ubicación de Perfiles TEM.**

### 3.5.1 Resultados

Los resultados de los TEM, análisis e interpretación se presentan en el Anexo Estudio Geofísico.

## CAPITULO 4 - GEOLOGIA

<b>CAPITULO 4</b> .....	<b>21</b>
<b>GEOLOGIA</b> .....	<b>21</b>
4.1 GENERALIDADES .....	21
4.2 GEOMORFOLOGÍA .....	21
4.3 ESTRATIGRAFÍA DEL ÁREA .....	22
4.4 ROCAS INTRUSIVAS .....	23
4.5 ESTRUCTURAS .....	23

## **CAPITULO 4 GEOLOGIA**

### **4.1 GENERALIDADES**

La cuenca hidrográfica del río Copiapó es una cuenca abierta que se desarrolla entre la Cordillera de los Andes y el Océano Pacífico. Desde el punto de vista geológico, corta transversalmente las mega estructuras orientadas Norte-Sur, que componen el borde oeste del continente Suramericano.

Las nacientes de sus numerosos afluentes atraviesan las rocas más antiguas del área, que corresponden a intrusivos del Paleozoico, el cual corresponde al basamento de las paleocuecas del Mesozoico cuyas secuencias afloran en este mismo sector. Hacia el poniente afloran rocas principalmente intrusivas del Cretácico, terminando en el borde costero nuevamente con secuencias pertenecientes al Paleozoico.

El conjunto se encuentra intruído por cuerpos de distintas edades, entre el Jurásico y el Terciario.

Las grandes estructuras tectónicas se orientan Norte-Sur donde destacan sobreescurrecimientos y fallas de rumbo en la zona oriental.

Los depósitos sedimentarios se restringen a los cauces de los valles en la zona central y oriental, a los que se agregan dunas y terrazas en la medida que se avanza hacia el borde costero.

La zona estudiada corresponde al extremo oriental de la cuenca del río Copiapó, donde destaca el desarrollo de ríos y esteros en etapas juveniles, cortando principalmente rocas intrusivas del paleozoico y secuencias sedimentarias Mesozoicas. El desarrollo de sedimentos con características de acuíferos se restringe exclusivamente a los cauces de éstos ríos y esteros.

Los acuíferos presentes se asocian casi exclusivamente a los depósitos sedimentarios del Reciente, desarrollados en los cauces aluviofluviales. Acuíferos de segundo orden se desarrollan ocasionalmente asociados a areniscas del Mesozoico

### **4.2 GEOMORFOLOGÍA**

La zona estudiada comprende el límite hidrográfico oriental de la cuenca del estero Ramadillas, afluente del Copiapó, que concuerda con el límite con la república Argentina, hasta la zona denominada La Puerta, inmediatamente aguas abajo de la localidad de Los Loros.

En este sector se desarrolla un relieve abrupto, alcanzando cotas sobre los 5.000 mts en el sector oriental, y bajando en escasos 1.000 m en el sector de La Puerta. Las condiciones geológicas estructurales del sector han condicionado la dirección de los principales sistemas de drenaje, los cuales se orientan Norte Sur y Este –Oeste. Los principales sistemas Norte-Sur corresponden a los ríos Jorquera y Vizcachas de Pulido, los cuales generan una importante área de cuenca aportante en las nacientes del Copiapó. Los restantes sistemas hídricos se orientan Este-Oeste, donde destacan los ríos Pulido, El Potro y el estero Ramadillas. Estos últimos tienen una componente Sureste-Noroeste, que queda representada finalmente en el río Manflas, orientado principalmente en esa dirección.

Todos los sistemas hídricos desarrollados en el sector se encuentran en etapas juveniles, donde dominan los procesos erosivos. Esta situación se traduce en cauces estrechos con espesores de sedimentos promedios del orden de los 80 metros.

#### 4.3 ESTRATIGRAFÍA DEL ÁREA

La estratigrafía del área presenta la evolución geológica del sector a partir Triásico medio a superior, desarrollada sobre intrusivos paleozoicos, hasta los depósitos sedimentarios del Reciente. Un breve resumen es el siguiente:

TR2 Formación La Ternera, (Bruggen, 1950, Mercado, 1982) constituida por sedimentos variando a facies volcánicas hacia su techo. Se le atribuye una edad Triásico superior y está representada en la zona por afloramientos en los ríos Manflas y Pulido.

Jld Formación Lautaro (Segerstrom, 1959), constituida por calizas y areniscas calcáreas que sobreyacen a los depósitos del Triásico ya mencionados. Su edad es Jurásico inferior a medio, y marca para este sector el inicio de la cuenca Jurásica marina de amplio desarrollo a nivel continental.

Ki2 Volcanitas y sedimentitas de origen marino, asignadas al Cretácico inferior. Muy probablemente se correlacionan con la Formación Punta del Cobre, definida más al Oeste.

KT Volcanitas y sedimentitas de ambiente continental del Cretácico superior. Probablemente correlacionables con la Formación Cerrillos definida más al Occidente.

Tpe Volcanitas y sedimentitas del Terciario inferior. Probablemente se correlacionan con unidades volcánicas del Paleoceno descritas en la Hoja Los Loros (Arévalo, C., 1994).

Tm3 Sedimentitas del Terciario inferior. Probablemente se correlacionan con las

Gravas de Atacama, asignadas al Mioceno, descritas en la Hoja Los Loros (Arévalo, C., 1994).

Q Sedimentos fluviales y aluvionales del Reciente, asociados a los cauces de ríos y quebradas. Estos depósitos se caracterizan por presentar altas permeabilidades y coeficientes de almacenamiento, y presentan espesores que varían entre 70 a 200 metros.

#### **4.4 ROCAS INTRUSIVAS**

En el área se reconocen principalmente intrusivos asignados al Paleozoico (Pzg), que corresponden a las unidades litológicas mas antiguas del área, y tienen una distribución amplia en el borde oriental.

Se reconocen además intrusivos asignados al Terciario Inferior (Tpg), los cuales afloran en el sector central del área.

#### **4.5 ESTRUCTURAS**

Las estructuras principales son aquellas orientadas NNE-SSW, de carácter inverso con posibles desplazamientos en el rumbo, las que ponen en contacto los intrusivos Paleozoicos con las unidades sedimentarias del Mesozoico.

Resalta también una estructura sinclinal que orientada en la misma dirección de las estructuras principales compromete unidades del Terciario a la altura de la localidad de Los Loros.

Finalmente se han descrito fallas normales que ponen en contacto unidades del Terciario con unidades Cretácicas en el extremo Nororiental de la Cuenca.

ESQUEMA GEOLÓGICO, SECTOR LA PUERTA, NACIENTES RAMADILLAS, COPIAPÓ.

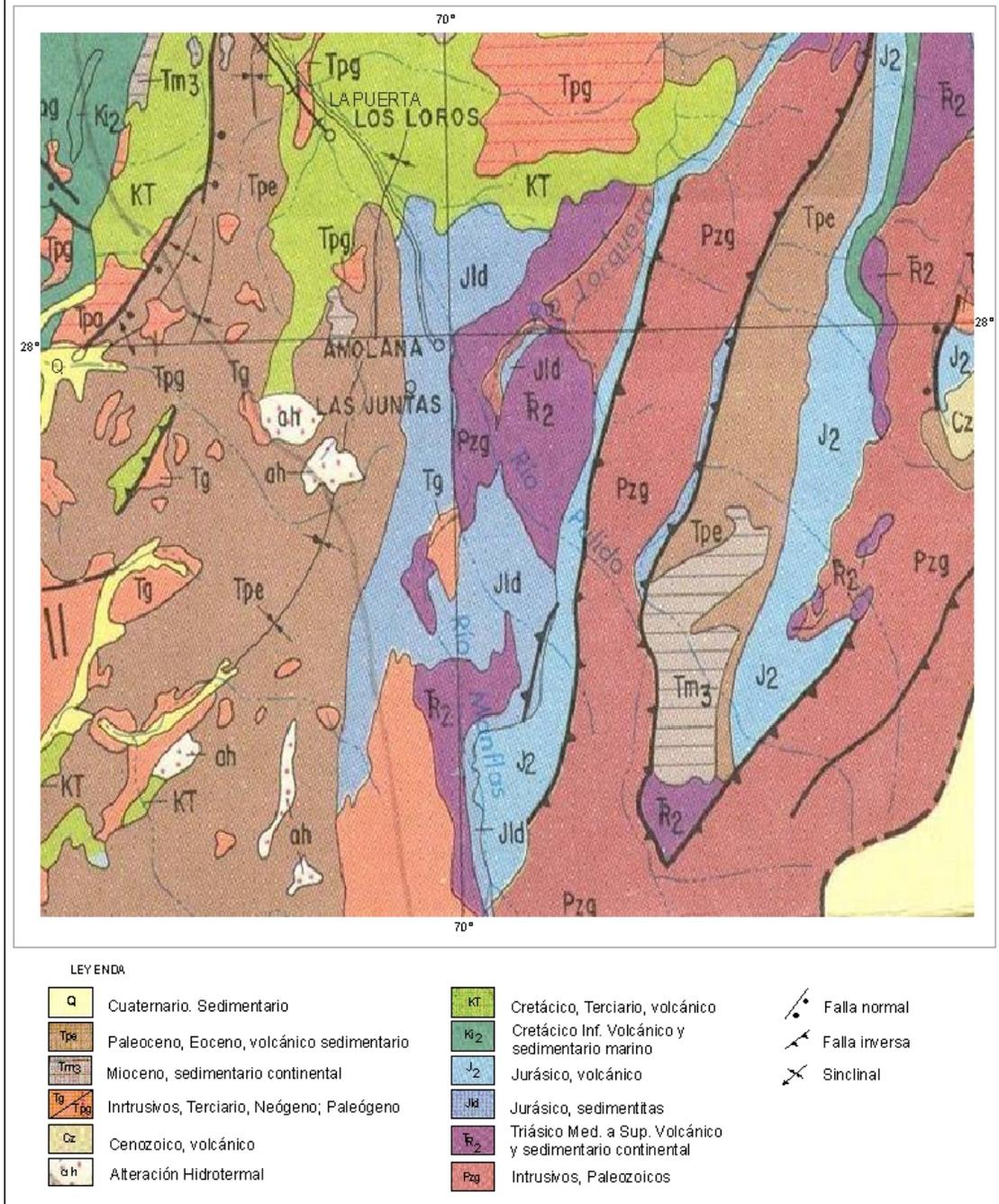


Figura 4.1. - Geología de la Zona.

## CAPITULO 5

### HIDROGEOLOGIA

5.1	GENERALIDADES .....	25
5.2	GEOLOGÍA DEL ÁREA.....	25
5.3	GEOMETRÍA DEL ACUÍFERO .....	25
5.4.	PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS.....	28
5.4.1.	<i>Transmisividad</i> .....	28
5.4.4.	<i>Valores de Transmisividad Determinados</i> .....	29
5.4.5.	<i>Permeabilidad</i> .....	31
5.4.6.	<i>Coficiente de Almacenamiento</i> .....	32
5.5.	NIVELES FREÁTICOS .....	32
5.5.1.	<i>Arriba del Embalse Lautaro</i> .....	33
5.5.2.	<i>Embalse Lautaro – La Puerta</i> .....	35

## CAPITULO 5 HIDROGEOLOGÍA

### 5.1 GENERALIDADES

En este capítulo se define la forma y geometría del acuífero, como también los parámetros hidrogeológicos, que serán la base en la construcción del modelo matemático y en su posterior calibración.

A partir de la caracterización de la geológica de la zona, se define cuales son las unidades hidrogeológicas de importancia en el área. Con la información topográfica superficial y la información de los perfiles geofísicos se determinará la geometría de estas unidades.

Los parámetros hidrogeológicos se determinarán del análisis de las pruebas de bombeo realizadas a los pozos del sector.

### 5.2 GEOLOGÍA DEL ÁREA

La geología del área se ha descrito en el capítulo anterior, de esta se establece que las unidades con potencial de acuífero corresponden a sedimentos fluviales y aluvionales del Reciente, asociados a los cauces de ríos y quebradas. Depósitos que se caracterizan por presentar altas permeabilidades y coeficientes de almacenamiento, y presentar espesores que varían entre 70 a 200 metros. Acuíferos muy secundarios se desarrollan asociados a areniscas del Mesozoico, las cuales se presentan en el estero Ramadillas, a la altura de la quebrada La Brea.

### 5.3 GEOMETRÍA DEL ACUÍFERO

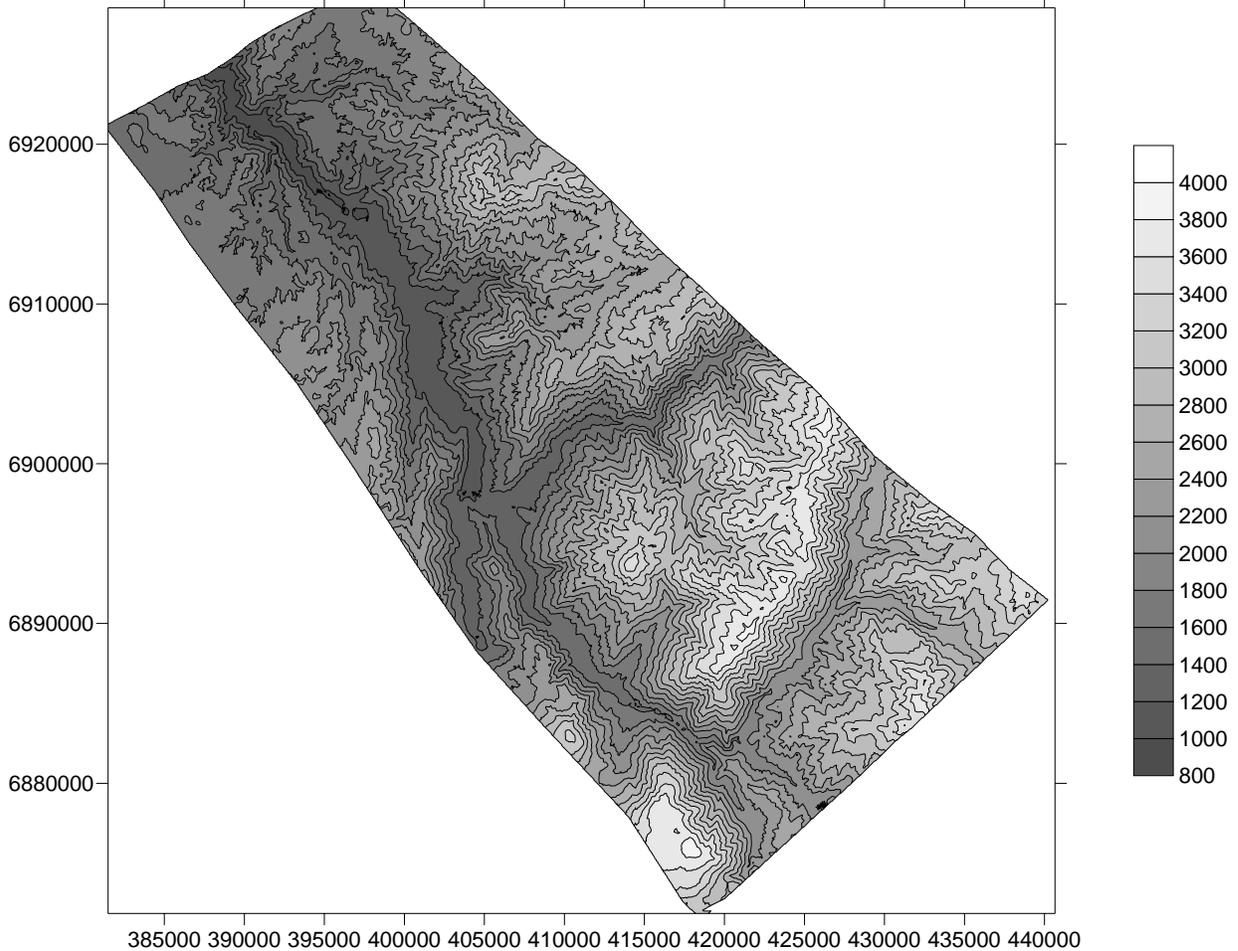
La geometría del acuífero queda definida por la topografía superficial y por su fondo rocoso.

#### 5.3.1. Topografía superficial

La topografía superficial se obtuvo de la carta del Instituto Geográfico Militar para la zona a escala 1: 250.000. En esta carta las curvas de nivel se entregan cada 200 m, por lo que fue necesario realizar una interpolación para contar con esta información a un mayor nivel de detalle. La interpolación se realizó con el software Surfer, el que permite realizar la interpolación aplicando distintos métodos, en este caso se aplicó kriging. Los resultados de esta interpolación se ingresaron directamente al modelo.

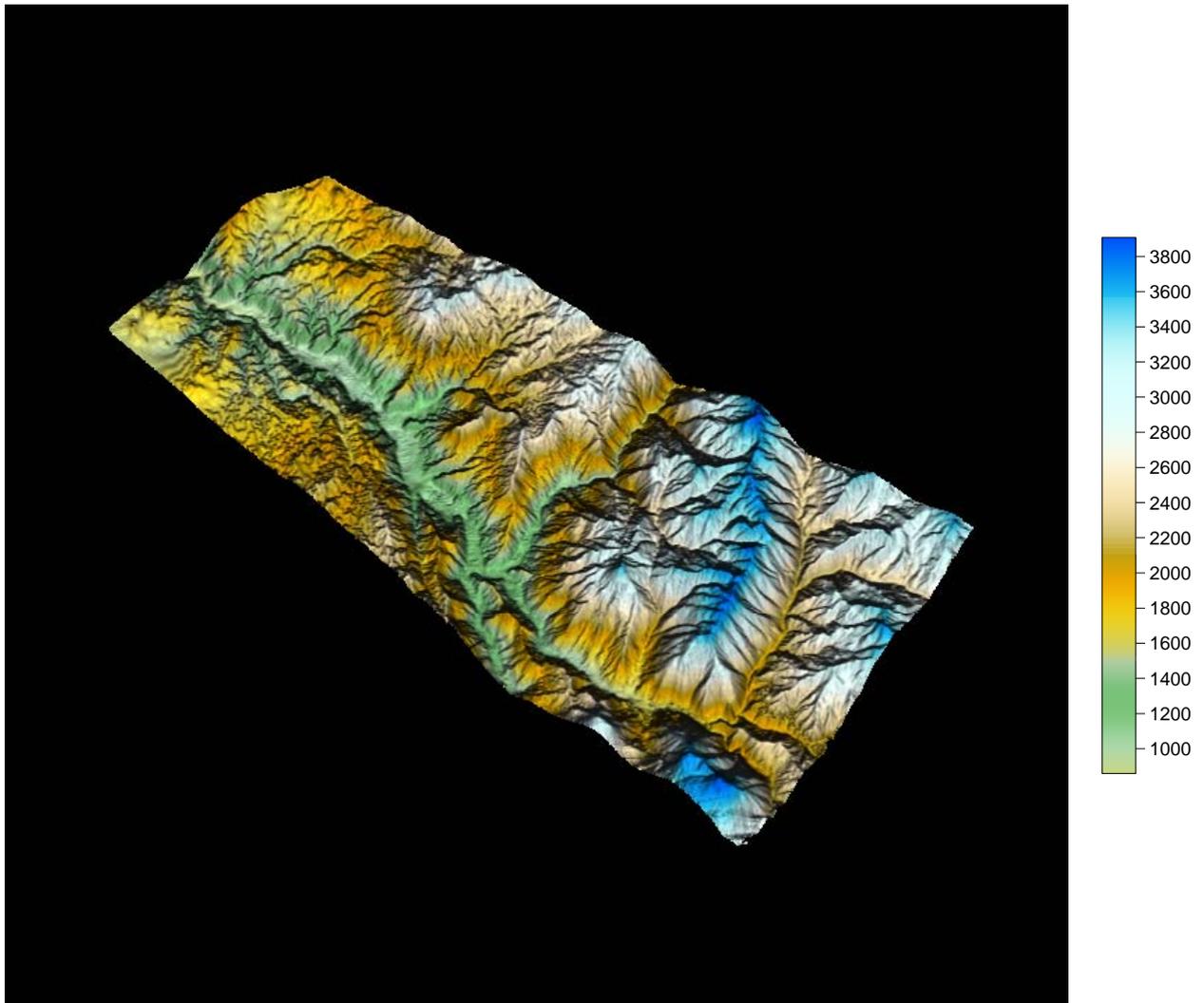
En la *Figura 5.1* se muestra la topografía de superficie. En la *Figura 5.2* se muestra

una representación tridimensional de esta topografía en formato Surfer.



**Figura 5.1 - Topografía Superficial 2-D.**

Si bien en el sector indicado en la *Figura 5.1* existen alturas sobre los 4.000 m.s.n.m., estas se presentan en las cumbres de las montañas y el acuífero a modelar se ubica en la zona del cauce del río por lo que las alturas que se alcanzan son bastante menores. Por ejemplo las mayores alturas se alcanzan en el sector de la confluencia de la Quebrada La Brea con el Río Ramadillas (zona cercana al proyecto) donde la altura es de 2.620 msnm, aguas abajo de este punto las alturas van descendiendo, por ejemplo en Iglesia Colorada la altura es cercana a los 1.500 m.s.n.m., en el sector de las Juntas es de 1.120 m.s.n.m., llegando finalmente al sector de La Puerta a alturas de 890 m.s.n.m.



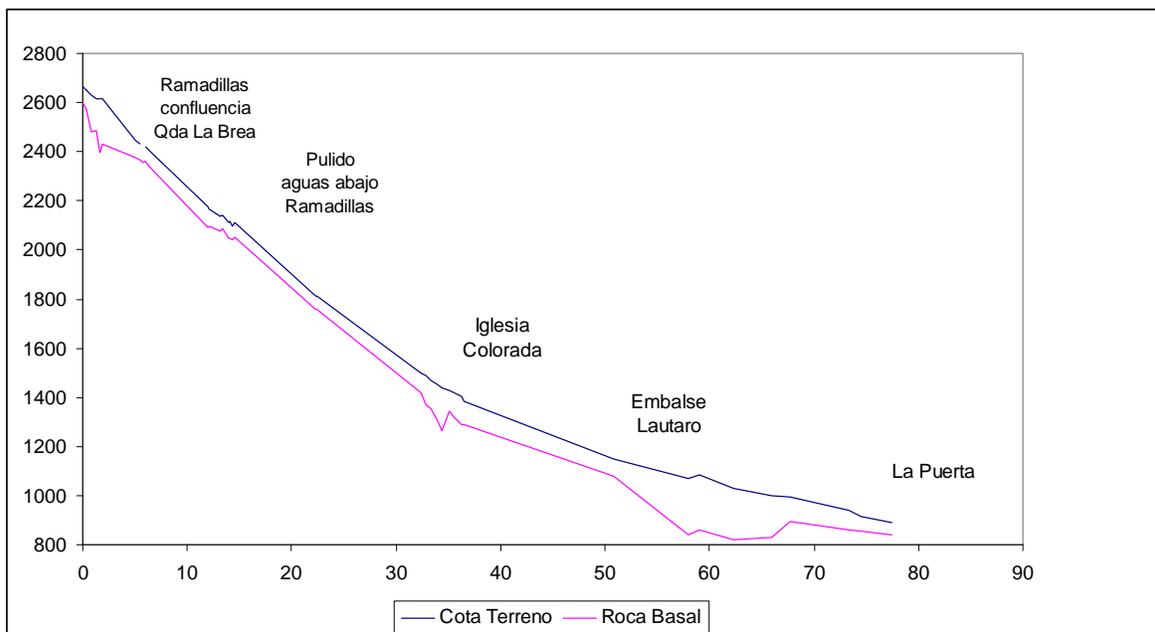
*Figura 5.2: Topografía Superficial 3-D.*

### **5.3.2. Topografía de Fondo**

El fondo del acuífero se construyó basándose en la información obtenida de las campañas geofísicas realizadas en el área y utilizando la topografía superficial obtenida anteriormente.

Para la construcción se utilizó el programa Autodesk Civil, el que permite definir una serie de perfiles transversales a lo largo de los ríos de la zona de estudio. Con estos perfiles y apoyándose en la información de los TEM realizados en los distintos sectores se construyen los perfiles transversales del fondo del acuífero (basamento rocoso). Posteriormente se exportan las coordenadas y cotas de estos perfiles al programa Surfer, con el que se interpola para obtener las curvas de nivel del fondo del acuífero.

En la *Figura 5.3* se muestra la variación de la profundidad del basamento rocoso a lo largo del río. La información de los TEM se muestra en el anexo estudio geofísico.



**Figura 5.3: Variación de la Profundidad del Basamento Rcoso.**

## 5.4. PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS

Las características hidrogeológicas del acuífero están definidas por su transmisividad, permeabilidad y coeficiente de almacenamiento.

### 5.4.1. Transmisividad

Se define como el caudal que se filtra a través de una franja vertical de terreno, de ancho unidad y de altura igual a la del manto permeable saturado bajo un gradiente unidad a una temperatura fija determinada (Custodio y Llamas 1983). Tiene dimensiones de velocidad por longitud y se expresa en  $m^2/día$  o  $cm^2/seg$ .

La transmisividad se determina directamente del análisis de las pruebas de bombeo realizadas en los pozos o indirectamente por medio de relaciones con otros parámetros como puede ser el caudal específico.

### 5.4.2. Análisis de Pruebas de Bombeo

La información de pruebas de bombeo en pozos existente corresponde a: 5 pruebas realizadas para MLCC en pozos en el sector de Carrizalillo, las 6 pruebas realizadas

para este estudio en el sector alto de la cuenca (Río Pulido y Río Ramadillas) y 4 pruebas más obtenidas de los expedientes revisados en la DGA.

El análisis de estas pruebas se realizó utilizando el software Aquifer Test el cual permite determinar la transmisividad aplicando distintos métodos analíticos. En este caso el método utilizado fue Cooper y Jacob (Anexo: Análisis Pruebas de bombeo).

#### 5.4.3. Determinación Indirecta

Debido a que la mayor parte de los pozos no cuentan con información de prueba de bombeo pero si tienen información del caudal específico, se determinó la transmisividad utilizando la relación obtenida en el informe DGA 1987 donde relaciona estos dos parámetros. Esta relación fue obtenida mediante la correlación de más de 80 pozos en el valle de Copiapó que tenían prueba de bombeo y también valores de caudal específico. La relación es la que se muestra a continuación.

$$T = 300 * Q_{\text{esp}}$$

T = Transmisividad (m<sup>2</sup>/día)

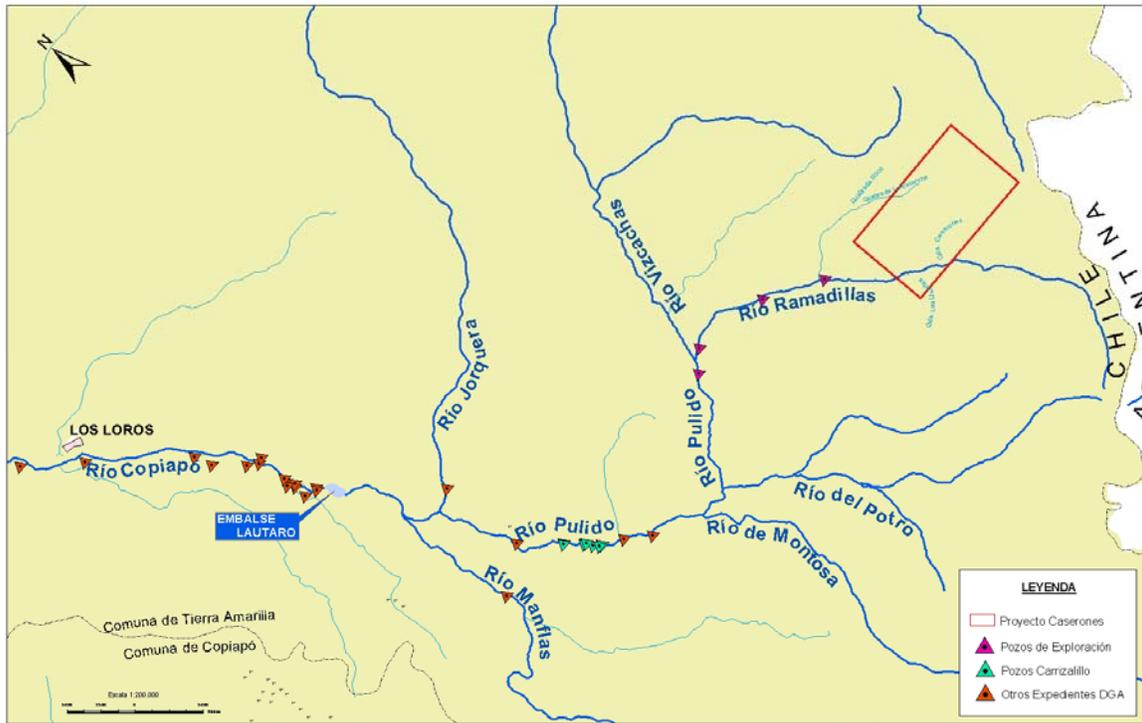
Q<sub>esp</sub> = Caudal específico (caudal de habilitación del pozo (L/s) / depresión de niveles para ese caudal (m))

#### 5.4.4. Valores de Transmisividad Determinados

Los valores determinados tanto de las pruebas de bombeo como indirectamente se muestran en la *Tabla 5.1*. En la *Figura 5.4* se muestra la ubicación de estos pozos en la zona de estudio.

**Tabla 5.1: Valores de Transmisividad en Pozos.**

Expediente	Sector	Transmisividad (m <sup>3</sup> /día/m)	Obs
WE-01	Río Ramadillas	303	Aquifer Test
WE-02	Río Ramadillas	55.7	Aquifer Test
WE-03	Río Ramadillas	477	Aquifer Test
WE-04	Río Pulido- Ramadillas	399	Aquifer Test
WEO-04	Río Pulido- Ramadillas	462	Aquifer Test
CCH-1	Iglesia Colorada	2810	Aquifer Test
CCH-2	Iglesia Colorada	3000	Aquifer Test
CCH-3	Iglesia Colorada	2470	Aquifer Test
CCH-4	Iglesia Colorada	500	Aquifer Test
CCH-5	Iglesia Colorada	3000	Aquifer Test
M-III-107	Jorquera	10353	Determinado Indirectamente
ND-305	Manflas	431	Determinado Indirectamente
ND-326	Pulido	216	Aquifer Test
M-III-204	Pulido	2381	Determinado Indirectamente
ND-344	Pulido	803	Aquifer Test
M-III-097	San Antonio Los Loros	1266	Determinado Indirectamente
M-III-051	Lautaro San Antonio	3435	Determinado Indirectamente
M-III-168	Lautaro San Antonio	561	Determinado Indirectamente
ND-287	Lautaro San Antonio	39300	Aquifer Test
M-3-116	Lautaro San Antonio	3440	Determinado Indirectamente
M-III-096	Lautaro San Antonio	1809	Determinado Indirectamente
M-III-073	Lautaro San Antonio	4767	Determinado Indirectamente
M-III-122	Lautaro San Antonio	5127	Determinado Indirectamente
M-III-041	Lautaro San Antonio	1935	Determinado Indirectamente
M-III-050	Lautaro San Antonio	3859	Determinado Indirectamente
M-III-058	Lautaro San Antonio	3895	Determinado Indirectamente
M-III-068	Lautaro San Antonio	22800	Aquifer Test
M-III-070	Lautaro San Antonio	1926	Determinado Indirectamente
ND-229	Lautaro San Antonio	1073	Determinado Indirectamente
M-3-115	Los Loros -La Puerta	6452	Determinado Indirectamente
ND-365	La Puerta Mal Paso	5758	Determinado Indirectamente



**Figura 5.4: Valores de Transmisividad en Pozos.**

En la zona de las cuencas del Ramadillas y en su confluencia con el Pulido las transmisividades son medias a altas con valores entre 400 y 500 m<sup>2</sup>/día. Salvo para el pozo WE-4 en que la transmisividad es baja 55.7 m<sup>2</sup>/día. Sin embargo, es importante notar que estos valores están influenciados por el acuífero inferior (roca basal alterada) lo que hace que estos valores sean más bajo que en otros sectores.

En la zona de Iglesia Colorada las transmisividades son medias a alta a muy altas. Con valores entre 500 y 3.000 m<sup>2</sup>/día.

La zona de Las Juntas (sector de confluencia de los ríos Pulido, Jorquera y Manflas) presenta transmisividades alta a muy altas con valores entre 800 a 10.000 m<sup>2</sup>/día.

Bajo el embalse Lautaro las transmisividades son medias a muy altas con valores del orden de 1.000 a 20.000 m<sup>2</sup>/día.

#### 5.4.5. Permeabilidad

Se define como el caudal que pasa por una sección unidad de acuífero bajo un gradiente también unidad a una temperatura fija o determinada (Custodio y Llamas 1983).

La permeabilidad (K) es igual al cociente entre la transmisividad (T) y el espesor del acuífero (b). Tiene dimensiones de velocidad y se expresa m/día.

$$K = T/b$$

SERNAGEOMIN (1999) estimó que la permeabilidad media para los acuíferos radicados en los depósitos fluviales o fluvioaluviales del valle de Copiapó varía entre  $10^{-7}$  m/s y  $10^{-3}$  m/s.

#### 5.4.6. Coeficiente de Almacenamiento

Se define como la cantidad de agua que cede un prisma de acuífero de base cuadrada unitaria cuando se le deprime la unidad. Consecuentemente, no tiene dimensiones. En el caso de que el acuífero trabaje como libre, el coeficiente de almacenamiento representa el volumen de agua que puede ceder un volumen unitario de acuífero por acción de la gravedad.

En la zona de estudio existen muy pocos antecedentes respecto del coeficiente de almacenamiento. Los valores utilizados en estudios anteriores fueron los siguientes: 0.16% a 11% (DGA 1987); 5%,10% y 15 % (DGA 1995 y 2003) y 10% (SERNAGEOMIN 1999).

Para el caso de estudio los estratos atravesados están compuestos por gravas y arenas. Diversos autores sitúan para estos casos el valor del coeficiente de almacenamiento del orden de 16% Linsley et AL. y de 20% R.León.

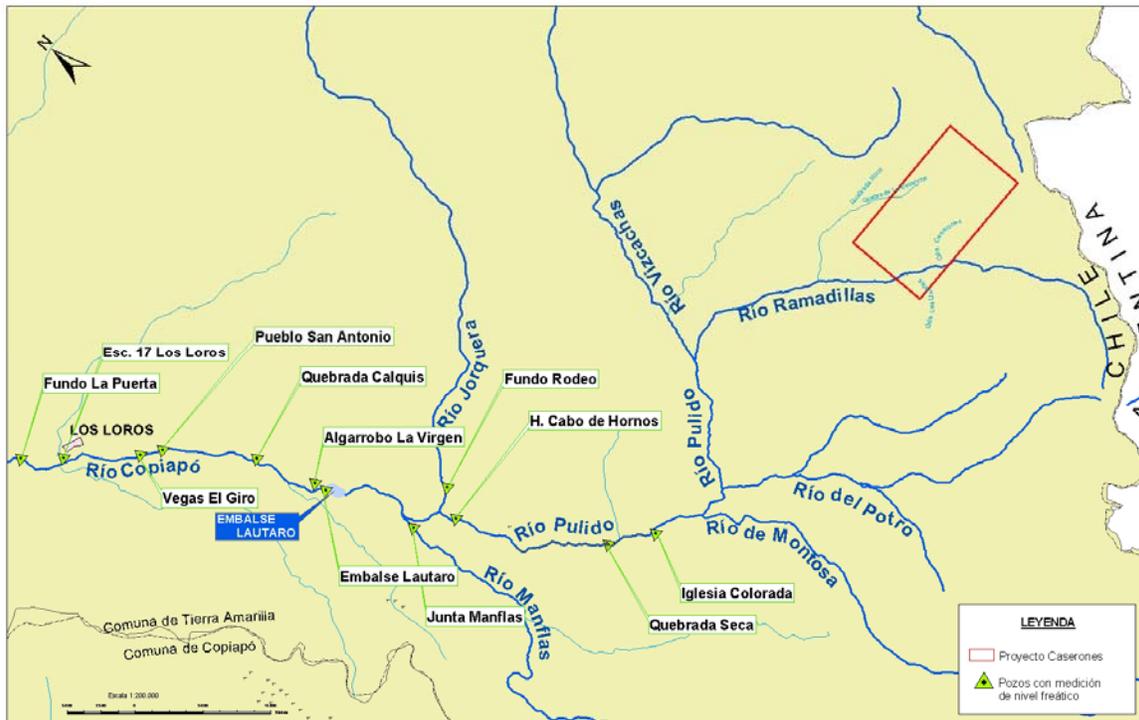
En el modelamiento matemático se utilizó un coeficiente de almacenamiento del 15%.

### 5.5. NIVELES FREÁTICOS

La DGA realiza mediciones periódicas de niveles de agua en una serie de pozos dentro del área de estudio. En la *tabla 5.2* se muestra los pozos con medición de nivel periódico por parte de la DGA y el período de de registro existente.

**Tabla 5.2: Pozos con Medición de Nivel Freático.**

Nombre	Nivel medio (m)	Período utilizado	
IGLESIA COLORADA	15,26	nov-86	may-06
QUEBRADA SECA	13,35	nov-86	may-06
FUNDO RODEO	54,03	nov-86	may-06
CABO DE HORNOS	36,02	feb-89	jul-98
JUNTA MANFLAS	21,60	feb-89	may-06
EMBALSE LAUTARO	0,65	nov-86	may-05
ALGARROBO LA VIRGEN (E. Lautaro)	12,73	nov-86	mar-07
QUEBRADA CALQUI	13,97	nov-86	sep-03
PUEBLO SAN ANTONIO	12,70	nov-86	mar-07
VEGAS EL GIRO	8,45	nov-86	mar-02
ESCUELA 17 LOS LOROS	22,26	nov-86	may-06
FUNDO LA PUERTA	0,19	nov-86	dic-99

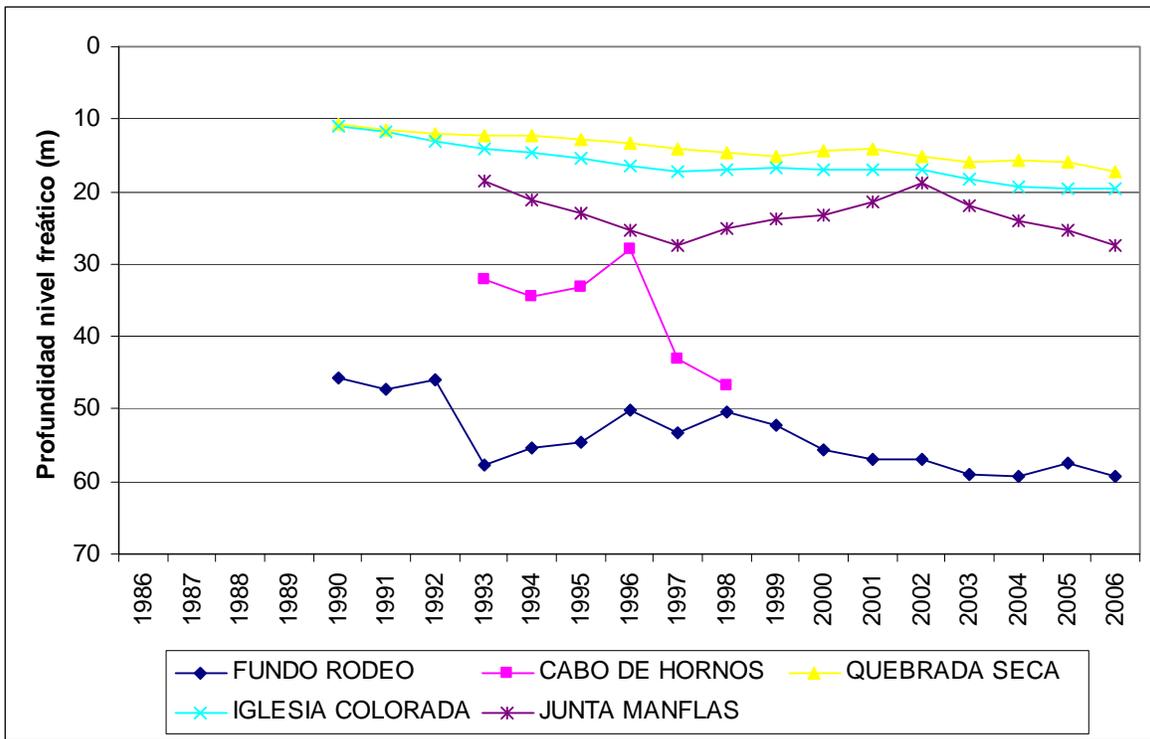


**Figura 5.5: Ubicación de Pozos con Medición de Nivel Freático.**

### 5.5.1. Arriba del Embalse Lautaro

En esta zona existen 3 pozos en el río Pulido, 1 en Río Jorquera y 1 en la confluencia de los ríos Pulido y el Manflas.

En la *Figura 5.6* se muestra la media móvil de 5 años en los pozos con mediciones en esta zona.



**Figura 5.6: Media Móvil Nivel Freático Pozos (Arriba del Embalse Lautaro).**

Los pozos de Iglesia Colorada y Quebrada Seca presentan una disminución de los niveles desde 1990 a la fecha de alrededor de 10 metros. Los niveles en los últimos años están por sobre los 20 metros de profundidad.

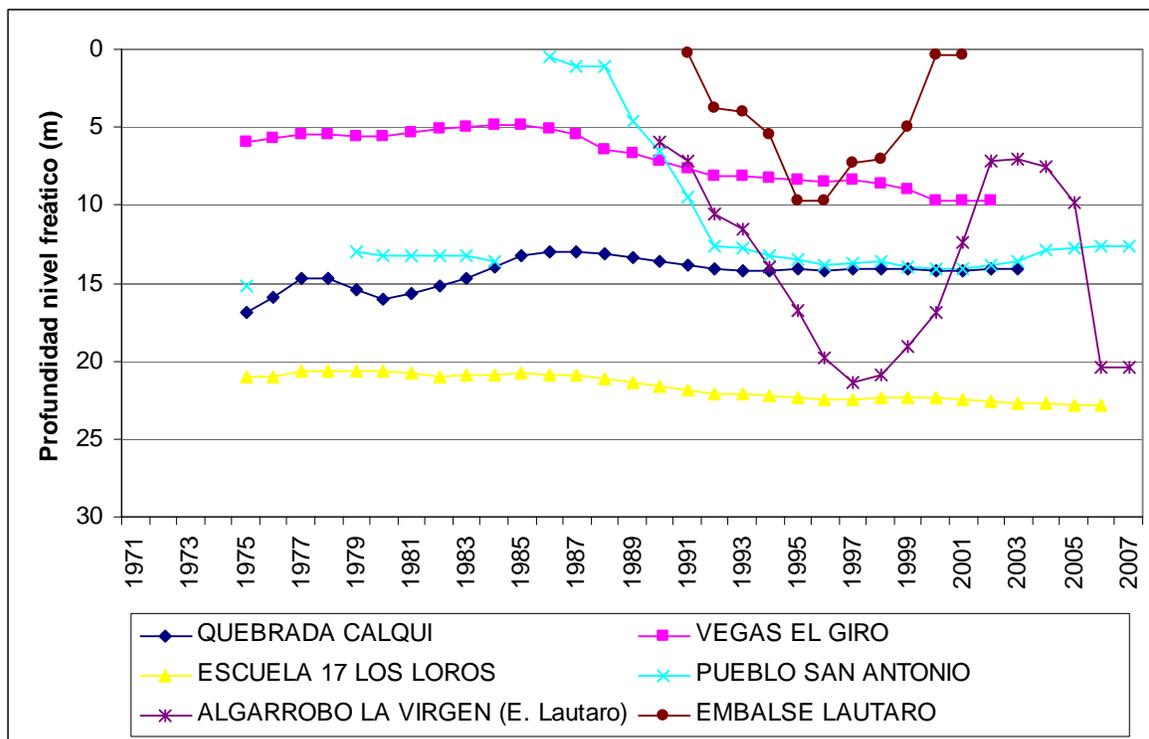
El pozo Fundo Rodeo muestra una disminución de los niveles de alrededor de 15 m desde el año 1990 al 2003, a partir de este año los niveles se han estabilizado alrededor de los 60 metros de profundidad.

El pozo Cabo de Hornos muestra un aumento de nivel entre los años 1993 y 1996, presentando después un descenso brusco hasta el año 1998 (último año de medición).

En el pozo Junta Manflas se observa una disminución del nivel desde el año 1993 al 1997. Luego se observa un ascenso del nivel hasta el año 2002, año en que nuevamente el nivel empieza a descender, este comportamiento se observa hasta la fecha. Los niveles de este pozo en el período se han mantenido entre los 20 y 30 metros de profundidad aproximadamente.

### 5.5.2. Embalse Lautaro – La Puerta

En este sector existen 6 pozos con medición de niveles. En la *Figura 5.7* se muestran las medias móviles de 5 años para los niveles medidos en los pozos.



**Figura 5.7: Media Móvil Nivel Freático Pozos (Embalse Lautaro – La Puerta).**

Para el pozo Escuela 17 Los Loros se observa un comportamiento bastante constante de los niveles en el período. A partir del año 92 los niveles se han mantenido entre los 22 y 23 metros de profundidad.

Los niveles medidos en el pozo Quebrada Calqui se han mantenido estabilizados alrededor de los 14 m de profundidad. El nivel en el pozo Vegas El Giro muestra un descenso a partir del año 1987. Al final del período (años 2000, 2001 y 2002) los niveles se estabilizan en los 10 m aproximadamente.

En el pozo Pueblo de San Antonio los niveles entre los años 1979 a 1983 se mantuvieron alrededor de los 13 metros. El año 1986 los niveles se encontraban cercanos a la superficie del terreno desde donde empiezan a disminuir, llegando el año 2001 a una profundidad cercana a los 14 metros. A partir de este año el nivel se empieza a recuperar encontrándose el año 2006 en los 12,6 metros aproximadamente.

Los pozos Embalse Lautaro y Algarrobo La Virgen muestran un comportamiento de ascensos y descenso de niveles en el período.

## CAPITULO 6

### SISTEMA HIDRICO

6.1	GENERALIDADES .....	36
6.2	PLUVIOMETRÍA .....	36
6.2.1	<i>Relleno y Análisis de Consistencia</i> .....	37
6.2.2	<i>Análisis por Estación</i> .....	38
6.2.2.1	Jorquera en La Guardia.....	38
6.2.2.2	Torín en el Potro.....	38
6.2.2.3	Iglesia Colorada.....	38
6.2.2.4	Hacienda Manflas.....	39
6.2.2.5	Embalse Lautaro .....	39
6.2.2.6	Los Loros en Retén .....	39
6.2.2.7	Pastos Grandes.....	39
6.2.3	<i>Precipitación Media por Estación</i> .....	39
6.2.4	<i>Variación Estacional</i> .....	40
6.2.5	<i>Probabilidad de Excedencia</i> .....	40
6.3	FLUVIOMETRÍA.....	42
6.3.1	<i>Relleno y Análisis de Consistencia</i> .....	43
6.3.2	<i>Análisis por Estación</i> .....	43
6.3.2.1	Jorquera en Vertedero.....	43
6.3.2.2	Pulido en Vertedero.....	43
6.3.2.3	Manflas en Vertedero .....	43
6.3.2.4	Copiapó en Pastillo.....	44
6.3.2.5	Copiapó en Lautaro .....	44
6.3.2.6	Copiapó en La Puerta.....	44
6.3.3	<i>Caudal Medio por Estación</i> .....	44
6.3.4	<i>Variación Estacional</i> .....	45
6.3.5	<i>Probabilidades de Excedencia</i> .....	45
6.4	AFOROS SITAC .....	46
6.4.1	<i>Análisis de la Estadística</i> .....	48
6.4.1.1	Quebrada de Caserones .....	48
6.4.1.2	Quebrada La Brea .....	49
6.4.1.3	Río Vizcachas.....	49
6.4.1.4	Río Ramadillas .....	49
6.4.1.5	Río Pulido .....	49
6.4.1.6	Río El Potro .....	50
6.4.1.7	Río Montosa .....	50
6.4.1.8	Río Pircas Coloradas.....	50

## **CAPITULO 6 SISTEMA HÍDRICO**

### **6.1 GENERALIDADES**

El sistema hídrico de la zona de estudio está conformado por el río Copiapó y sus afluentes ríos Jorquera, Pulido y Manflas. Para este estudio es necesario conocer también el comportamiento de los ríos afluentes al Pulido en especial del río Ramadillas que es donde se ubica el proyecto.

En los ríos Copiapó, Jorquera, Pulido y Manflas existen estaciones con medición periódica de caudal por parte de la DGA. Para el presente estudio se complementa esta información con aforos periódicos realizados por SITAC desde Octubre del año 2004 en la parte alta de la zona de estudio específicamente en los ríos Ramadillas, Vizcachas, Pircas Coloradas, Pulido, El Potro, Montosa y en las Quebradas de Caserones y La Brea, zona donde no se cuenta con estaciones DGA.

La información pluviométrica corresponde a medidas realizadas por la DGA, en distintos puntos de la cuenca.

### **6.2 PLUVIOMETRÍA**

Para la zona de estudio se han identificado 7 estaciones con medición periódica de precipitación por la DGA, en la *Figura 6.1*, de la página siguiente, figura el detalle de estas estaciones.



**Figura 6.1: Ubicación de Estaciones Pluviométricas.**

En la *Tabla 6.1* se muestra un detalle con el nombre, coordenadas, cota y período de registro utilizado para el análisis.

**Tabla 6.1: Estaciones Pluviométricas.**

Estación	Coordenadas UTM		Cota (msnm)	Período
	Norte (m)	Este (m)		
Los Loros	6920760	390034	950	1967-2005
Embalse Lautaro	6904241	401660	1199	1967-2005
Hacienda Manflas	6895022	403373	1410	1967-2005
Iglesia Colorada	6884031	414917	1950	1988-2005
Pastos Grandes	7002370	445480	2000	1967-2005
Jorquera en La Guardia	6934055	444138	2500	1967-2005
Torín en el Potro	6873029	426439	3000	1990-1992

### 6.2.1 Relleno y Análisis de Consistencia

La información fue obtenida del estudio DGA 2003, y fue extendida hasta el año 2006 con información del BNA (Banco Nacional de Aguas, DGA). La información está a nivel de precipitación media mensual.

La información hasta el 2004 fue rellenado por regresión lineal por la DGA (DGA 2003). La información faltante entre el 2004 al 2006 se relleno de la misma forma

Se hizo un análisis de consistencia para cada una de las estaciones por medio de curvas doble acumuladas. Como patrón se utilizó las estaciones de Embalse Lautaro y Los Loros, por presentar una estadística más completa que las otras estaciones. El análisis por la curva doble acumuladas indica que los datos son consistentes. En el anexo Hidrología se presenta la estadística utilizada en este estudio.

## **6.2.2 Análisis por Estación**

A continuación se analiza la información de cada estación. La estadística utilizada y los gráficos anuales, mensuales y de variación estacional se presentan en el Anexo Hidrología.

### **6.2.2.1 Jorquera en La Guardia**

Esta estación se ubica en el río Jorquera a pocos kilómetros de la confluencia con el río Copiapó a una altitud de 2500 m. Corresponde a una estación de régimen pluvio-nival, la mayor cantidad de precipitaciones se concentra entre los meses de Marzo a Septiembre. Las precipitaciones son de baja magnitud para todos los meses.

Del análisis del gráfico de precipitación anual se observa que el año 1968 no tuvo precipitaciones. Se observa también que el año con mayor precipitación corresponde a 1997 con 168,4 mm.

El valor medio anual de la precipitación es de 46,47 mm.

### **6.2.2.2 Torín en el Potro**

Se ubica a una altitud de 3000 msnm. Cuenta con un registro de precipitaciones de solo 3 años.

La precipitación se concentra entre los meses de Marzo a Julio, observándose nula precipitación para los otros meses.

La mayor precipitación para el período se registró en el año 1992 y fue de 75 mm.

### **6.2.2.3 Iglesia Colorada**

Como se ve en la Figura 6.1 esta estación se ubica en la cuenca del río Pulido en el sector de Iglesia Colorada a una altitud de 1950 msnm. La mayor cantidad de precipitaciones se producen entre los meses de Mayo y Agosto, con un valor de 16,52 mm para el mes de Junio.

A nivel anual se observa una gran variación de la precipitaciones para distintos años encontrándose valores de 3 mm el año 2004 y otros sobre los 165 mm años 1991 y 1997 En particular para este último año se registra la mayor precipitación alcanzando los 197,5 mm

#### **6.2.2.4 Hacienda Manflas**

Se ubica en el sector de Manflas cercano a la confluencia con el río Copiapó a una altitud de 1410 msnm. La mayor parte de las precipitaciones se presenta entre los meses de Mayo a Agosto, alcanzando valores de 13,86 mm para el mes de Junio. En los otros meses las precipitaciones son muy escasas.

Del gráfico se observa la mayor precipitación se registró el año 1997 y alcanzó los 205,7 mm, se observa también que en el año 1968 no se produjeron precipitaciones.

#### **6.2.2.5 Embalse Lautaro**

Esta estación se ubica en el sector del embalse del mismo nombre a una altitud de 1199 msnm. La mayor cantidad de precipitaciones se registran entre los meses de Mayo a Agosto.

Del gráfico de precipitación anual se observan años con precipitación cero, el año 1968 y 1994. La máxima precipitación se registró el año 1997 con 209,1 mm.

#### **6.2.2.6 Los Loros en Retén**

Esta estación se ubica en la localidad de Los Loros a una altitud de 950 msnm.

Como se observa a la precipitación se concentra entre los meses de Marzo a Agosto, el resto de los meses la precipitación es escasa, con algunos meses con precipitación nula Noviembre, Enero y Febrero.

A nivel anual el año 1997 se registró la mayor precipitación con 224,0 mm, con lo que se tiene una media para el período de 38,43 mm. Si no se considera ese valor se tiene que el mayor registro es el año 2000 obteniéndose una media para el período de 32,69 mm.

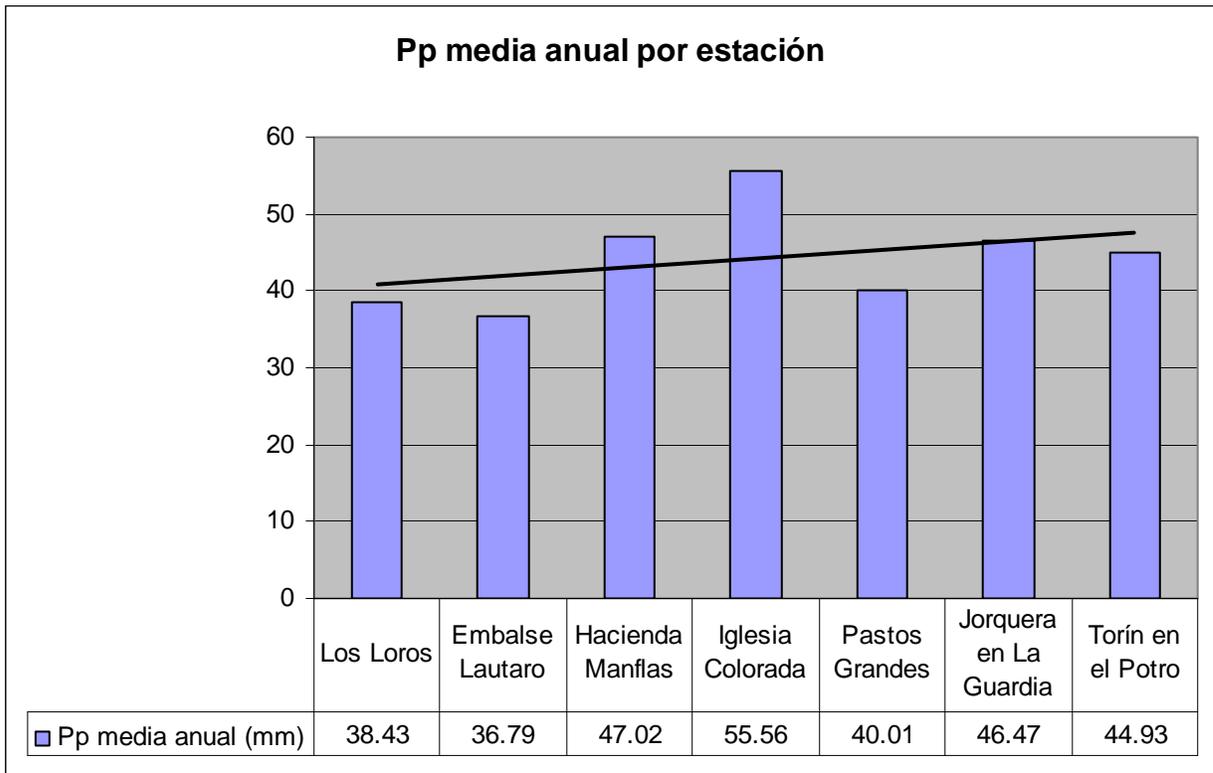
#### **6.2.2.7 Pastos Grandes**

Esta estación se encuentra a una altitud de 2000 m. Las precipitaciones se concentran durante los meses de Febrero a Septiembre. La mayor precipitación corresponde al mes de Junio con 8,89 mm. En lo demás meses la precipitaciones son escasas llegando a cero en algunos meses (Noviembre y Enero).

A nivel de anual las mayores precipitaciones se registraron el año 1997 y el año 2000, con 130,0 mm y 279,4 mm respectivamente. Se observa también que en los años 1968, 1985, 1988 y 2003 no se produjeron precipitaciones.

### **6.2.3 Precipitación Media por Estación**

No se observan variaciones importantes en las precipitaciones en las estaciones medidas, se puede observar si un aumento de las precipitaciones con la altura como se indica en la *Figura 6.2*.



**Figura 6.2: Precipitación Media Anual por Estación.**

#### 6.2.4 Variación Estacional

Utilizando la distribución de Weibull para los valores mensuales se construyeron las curvas de variación estacional para 5%, 10% y 20% de probabilidad de excedencia.

En todas las estaciones analizadas se observa que durante gran parte del año (Septiembre a Febrero) las precipitaciones son escasas con valores muy cercanos o iguales a cero. Durante el resto del año se observa que los valores aumentan con máximos en los meses de Junio y Julio.

La estación Torín en el Potro no se consideró en los análisis por tener una estadística muy corta e incompleta. Las curvas de variación estacional para cada estación se presentan en el anexo Hidrología

#### 6.2.5 Probabilidad de Excedencia

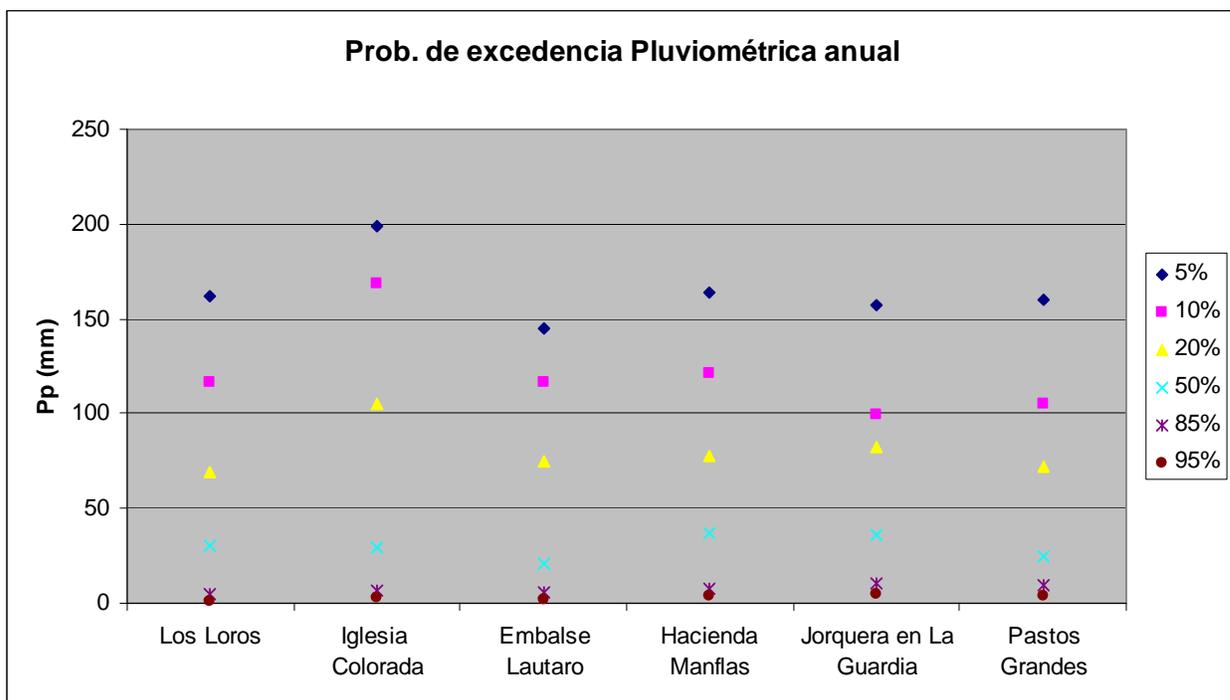
Las probabilidades de excedencia se calcularon utilizando la distribución de Weibull para los valores anuales. En la *Tabla 6.2* se presentan las probabilidades de excedencias calculadas para las distintas estaciones, en la *Figura 6.3* se gráfica esta información. Se observa que la precipitación para probabilidades de excedencia altas (> 85%) es bastante baja en todas las estaciones, llegando a valores cercanos a

ceros. Se observa un comportamiento similar para todas las estaciones.

La Estación Torín en el Potro no se consideró en los análisis por tener una estadística muy corta e incompleta.

**Tabla 6.2: Probabilidad de Excedencia Pluviométrica por Estación (Pp en mm).**

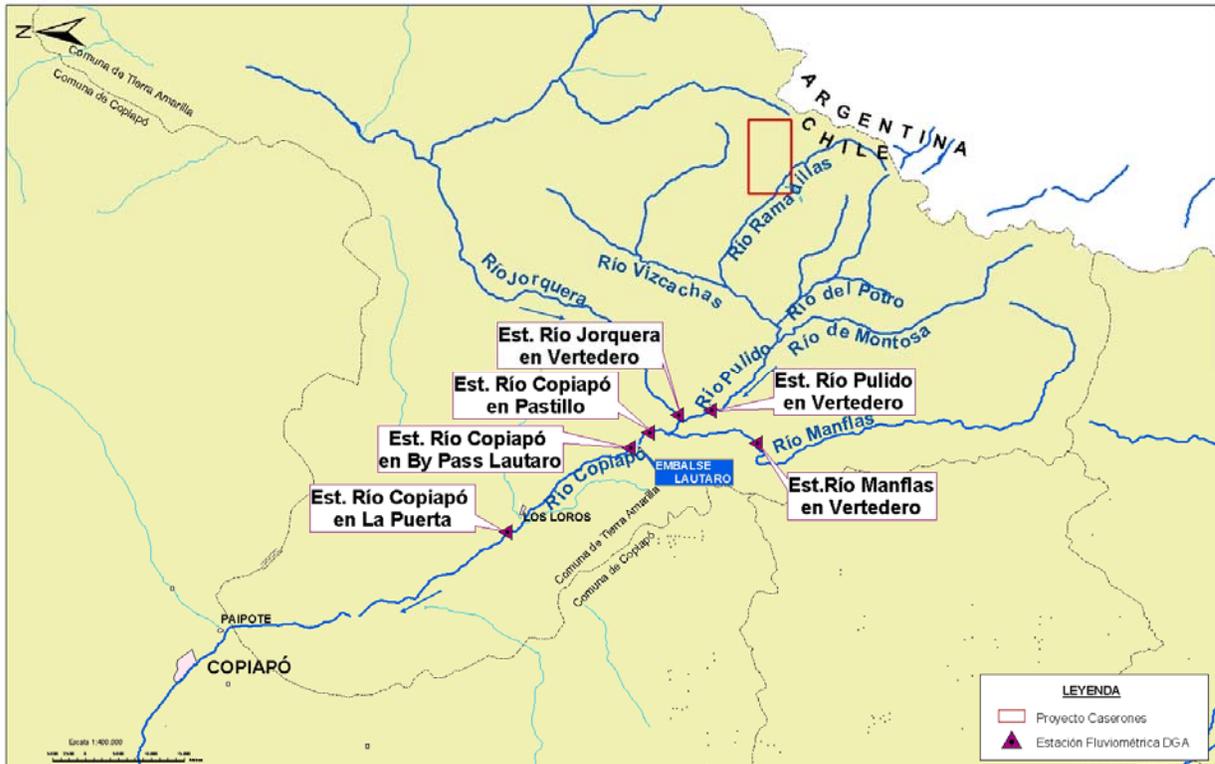
	Prob de exced.					
	5%	10%	20%	50%	85%	95%
Los Loros	162.1	116.4	69.5	29.9	4.5	0.9
Iglesia Colorada	199.1	168.3	104.9	29.1	6.3	3.0
Embalse Lautaro	144.7	116.7	74.8	21.2	5.6	1.9
Hacienda Manflas	164.2	120.8	78.0	37.0	7.6	3.4
Jorquera en La Guardia	157.2	99.4	82.7	36.0	10.3	4.3
Pastos Grandes	159.9	105.0	71.8	24.9	9.5	4.2



**Figura 6.3: Probabilidad de Excedencia Pluviométrica.**

### 6.3 FLUVIOMETRÍA

En la zona de estudio se cuenta con mediciones en 6 estaciones, los registros son realizados periódicamente por la DGA. Los caudales que se miden en estas estaciones no corresponden a régimen natural, ya que están influenciadas por extracción de canales de riego, regulación del embalse Lautaro, etc.



**Figura 6.4: Ubicación de Estaciones Fluviométricas.**

En la *tabla 6.3* se muestra un resumen con el nombre de la estación, coordenadas, cota y período.

**Tabla 6.3: Estaciones Fluviométricas.**

Estación	Coordenadas UTM		Cota (msnm)	Período
	Norte (m)	Este (m)		
Manflas en Vertedero	6885893	402510	1550	1963-2005
Pulido en Vertedero	6892980	407600	1310	1970-2005
Jorquera en Vertedero	6897739	406060	1250	1970-2005
Copiapó en Lautaro	6905180	401850	1200	1970-2005
Copiapó en Pastillo	6902323	404151	1300	1970-2005
Copiapó en La Puerta	6924018	389169	758	1974-2005

### **6.3.1 Relleno y Análisis de Consistencia**

La información fue obtenida del estudio DGA 2003, y fue extendida hasta el año 2007 con información del BNA (Banco Nacional de Aguas, DGA). La información está a nivel de caudal medio mensual.

La información hasta el 2004 fue relleno por regresión lineal por la DGA (DGA 2003). La información faltante entre el 2004 al 2006 se relleno de la misma forma.

Se hizo un análisis de consistencia para cada una de las estaciones por medio de curvas doble acumuladas. Como patrón se utilizó las estaciones Copiapó en La Puerta y Copiapó en Pastillo.

A continuación se analiza la información de cada estación. La estadística utilizada y los gráficos anuales y de variación estacional se presentan en el Anexo Hidrología.

### **6.3.2 Análisis por Estación**

#### **6.3.2.1 Jorquera en Vertedero**

Se ubica en el río Jorquera aguas arriba de la confluencia con el río Pulido. Se observa que los caudales medios mensuales presentan poca variación durante el año, el porcentaje de variación del caudal mínimo y el máximo respecto al promedio es de 13,6% y 10,9% respectivamente.

El valor medio del caudal es de 0,745 m<sup>3</sup>/s y el máximo en el período es de 3,173 m<sup>3</sup>/s el año 1987.

#### **6.3.2.2 Pulido en Vertedero**

Esta estación se ubica en el río Pulido aguas arriba de la confluencia con el río Jorquera. Presenta un régimen nival el que se observa en un aumento de los caudales entre los meses de Noviembre a Abril, llegando durante los meses de Enero y Febrero a triplicar el caudal medio de los otros meses.

A nivel anual el los mayor caudales registrados corresponde al año 1987 con 4,964 m<sup>3</sup>/s y con una media de 1,637 m<sup>3</sup>/s.

#### **6.3.2.3 Manflas en Vertedero**

La estación se ubica en el río Manflas aguas arriba de la confluencia con el río Copiapó. Los caudales no presentan variaciones importantes a lo largo del año, la diferencia porcentual del valor mínimo y máximo con el promedio es de 14,1% y 27,0% respectivamente.

La media en el período es de 0,573 m<sup>3</sup>/s y el mayor caudal medio anual se produjo el año 1988 y fue de 2,815 m<sup>3</sup>/s.

#### 6.3.2.4 Copiapó en Pastillo

Esta estación se ubica en el río Copiapó aguas abajo de la junta de los ríos tributarios a este (río Manflas y Jorquera). La variación porcentual del valor máximo y mínimo con el promedio es de 43,4% y 21,3% respectivamente.

La media anual es de 2,615 m<sup>3</sup>/s. El año con mayor valor medio anual corresponde al año 1988 con 9,403 m<sup>3</sup>/s.

#### 6.3.2.5 Copiapó en Lautaro

Se ubica aguas abajo del embalse Lautaro a una altitud de 1.200 msnm. Se observa que a nivel mensual los caudales no presentan variaciones importantes. La variación porcentual del valor máximo y mínimo con el promedio es de 53,6% y 38,0% respectivamente.

El año 1987 se registró el mayor caudal medio anual con 5,253 m<sup>3</sup>/s. Pero se observa que en general los caudales están muy por debajo de ese valor con una media de 1,213 m<sup>3</sup>/s.

#### 6.3.2.6 Copiapó en La Puerta

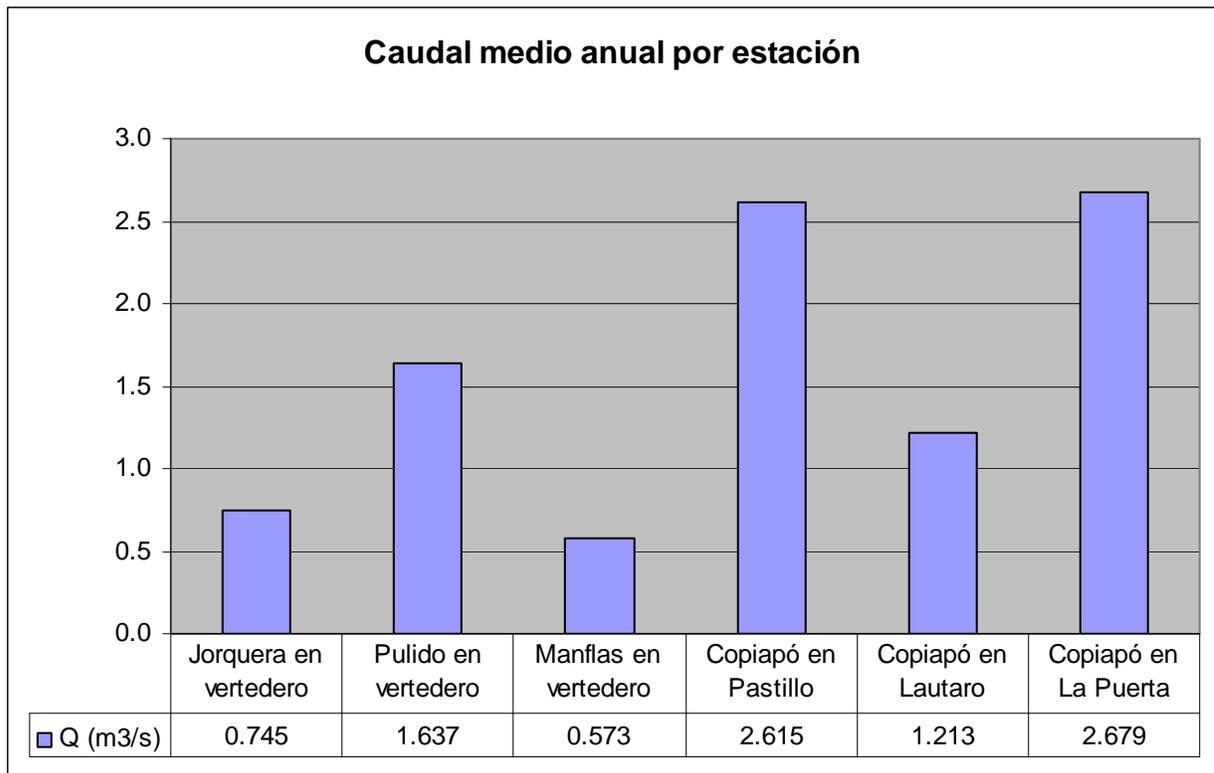
Esta estación se ubica en el río Copiapó en el sector de la Puerta, sector donde se produce un estrechamiento del valle y un afloramiento de agua subterránea. Los caudales a lo largo del año presentan un comportamiento constante, con una variación porcentual entre máximo y el mínimo con el promedio de 16,3% y 14,3% respectivamente.

El mayor caudal a nivel de promedio anual se produjo el año 1987 con 10,749 m<sup>3</sup>/s. La media es de 2,679 m<sup>3</sup>/s.

### 6.3.3 Caudal Medio por Estación

En la *Figura 6.5* se observa que los mayores caudales se miden en la estación la Puerta donde se produce un estrechamiento del valle, produciéndose una zona de importantes aportes de la napa al río (zona de afloramientos).

Se observa también que el caudal en estación Pastillo es bastante mayor al de Lautaro, esto se debe al efecto regulador del embalse, y que el principal aporte al río Copiapó proviene del río Pulido con más del 50% del caudal.



**Figura 6.5: Caudal Medio Anual por Estación.**

### 6.3.4 Variación Estacional

El río Jorquera tiene un régimen pluvial, lo que se observa en el aumento de los caudales en los meses de Julio a Octubre.

El río Pulido presenta un régimen marcadamente nival con un aumento de caudal en los meses de verano (Enero y Febrero principalmente).

El río Manflas al igual que el Pulido presenta un régimen nival

En Copiapó en Lautaro se observa un aumento de los caudales durante el período primavera-verano.

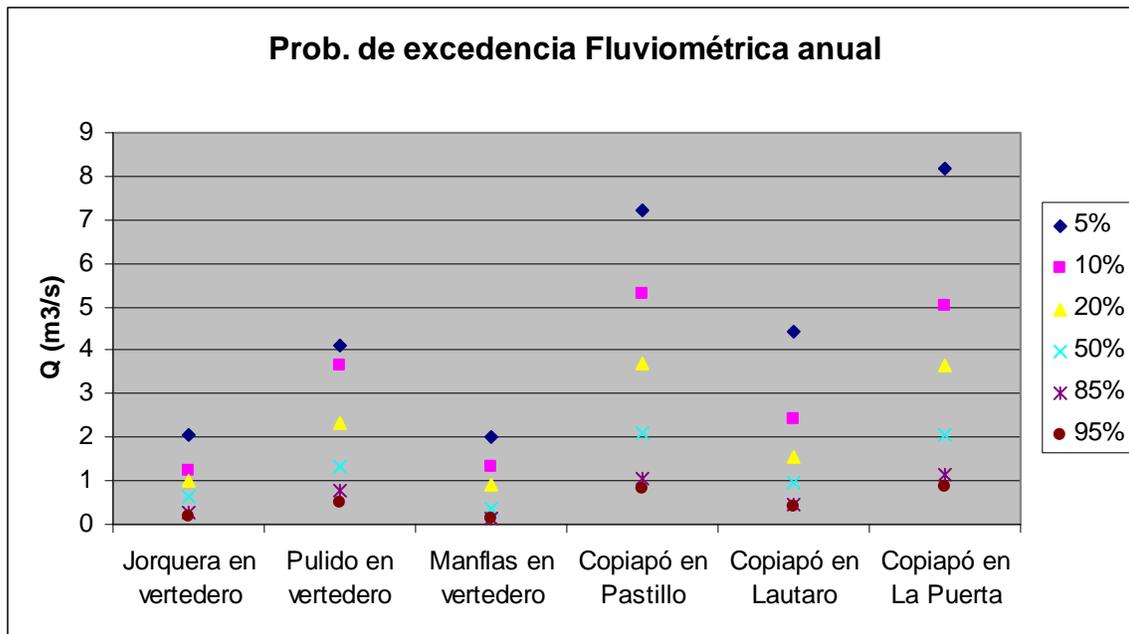
En Copiapó en La Puerta no se observan variaciones importantes durante el año

### 6.3.5 Probabilidades de Excedencia

Las probabilidades de excedencia se calcularon utilizando la distribución de Weibull para los valores anuales. En la *Tabla 6.4* se presentan las probabilidades de excedencias calculadas para las distintas estaciones, en la *Figura 6.6* se gráfica esta información.

**Tabla 6.4: Probabilidad de Excedencia Fluviométrica por Estación (Q en m<sup>3</sup>/s).**

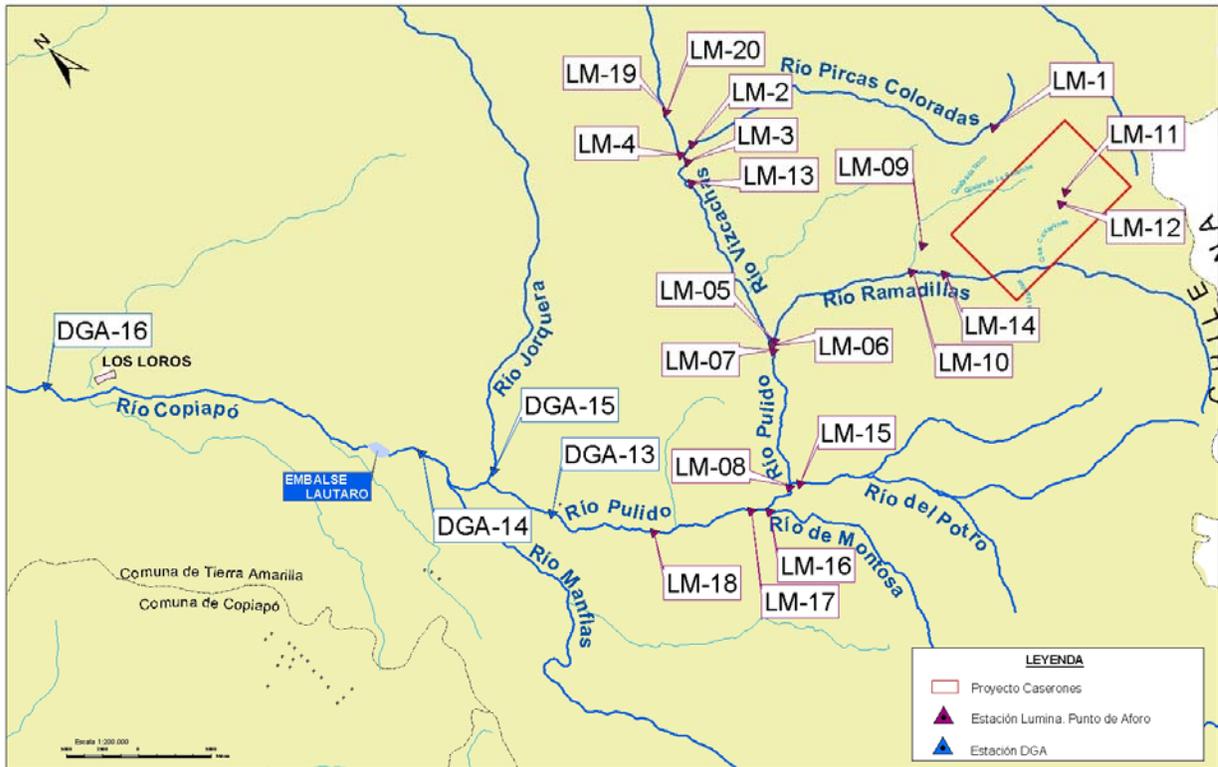
Estación	Probabilidad de excedencia (%)					
	5%	10%	20%	50%	85%	95%
Jorquera en vertedero	2.07	1.22	1.00	0.64	0.27	0.20
Pulido en vertedero	4.12	3.65	2.31	1.32	0.78	0.52
Manflas en vertedero	2.03	1.33	0.91	0.38	0.15	0.13
Copiapó en Pastillo	7.21	5.30	3.71	2.11	1.04	0.84
Copiapó en Lautaro	4.43	2.41	1.54	0.96	0.47	0.40
Copiapó en La Puerta	8.19	5.03	3.63	2.08	1.16	0.87



**Figura 6.6: Probabilidad de Excedencia Fluviométrica por Estación.**

#### 6.4 Aforos SITAC

En la zona alta de la cuenca SITAC ha realizado aforos periódicos en distintos puntos de los ríos. También se han medido algunos de los puntos de aforo de la DGA, estos no se incluirán en el análisis, ya que fueron analizados en el punto de Fluviometría. En la *Figura 6.3* se observa la ubicación de los puntos de aforo. El detalle de los puntos de aforo se presenta en la *tabla 6.3*.



**Figura 6.7 - Ubicación de Puntos de Aforo.**

**Tabla 6.5 - Puntos de Aforo.**

CODIGO	Punto de aforo		Período	
LM-11	Quebrada Caserones	En La Poza	oct-04	Presente
LM-12		En Derrame	oct-06	Presente
LM-14	Río Ramadillas	Aguas abajo de Qda. Las Lletetas	jul-05	Presente
LM-10		Aguas arriba de confl. Qda. La Brea	oct-04	Presente
LM-05		Aguas arriba confl. Río Vizcachas	oct-04	Presente
LM-07	Río Pulido	Aguas abajo de confl. Río Ramadillas	oct-04	Presente
LM-08		Aguas abajo de confl Río Chacay o El potro	oct-04	Presente
LM-17		Aguas abajo de confl Río de Montosa	jul-05	Presente
LM-18		Aguas abajo de Qda. Seca	ago-05	Presente
LM-09	Quebrada La Brea	Antes confl. Río Ramadillas	oct-04	Presente
LM-15	Río del Potro	Aguas arriba confluencia río Pulido	jul-05	Presente
LM-16	Río de Montosa	Aguas arriba de confluencia río Pulido	jul-05	Presente
LM-01	Río Pircas Coloradas	En nacimiento	oct-04	Presente
LM-02		Aguas arriba confl. Río Vizcachas de P.	oct-04	jul-06
LM-04	Río Vizcachas	Aguas abajo de confl. Río Pircas Coloradas	oct-04	jul-06
LM-13		En El Cadillal	jul-05	jul-06
LM-06		Aguas arriba de confl. Río Ramadillas	oct-04	jul-06
LM-19		En Pastillo	oct-05	oct-05
LM-03		Aguas arriba confl. Río Pircas Coloradas	oct-04	jul-06
LM-20	Vertiente	Dagoberto Godoy	oct-05	oct-05
DGA-15	Río Jorquera	En Vertedero	mar-05	Presente
DGA-13	Río Pulido	En Vertedero	mar-05	Presente
DGA-14	Río Copiapó	En Pastillos	mar-05	Presente
DGA-16	Río Copiapó	En La Puerta	nov-06	Presente

#### 6.4.1 Análisis de la Estadística

Los valores a analizar en este punto corresponden a valores puntuales en un mes y por lo anterior no reflejan el comportamiento medio durante el mes.

La estadística es de corta duración, menor a 3 años en el punto con mayor cantidad de información. Además en muchos casos la estadística está incompleta.

Por todo lo anterior lo análisis solo se deben considerar como una referencia del comportamiento de los caudales.

A continuación se analiza la información de cada estación. La estadística utilizada y los gráficos anuales, mensuales y de variación estacional se presentan en el Anexo Hidrología.

##### 6.4.1.1 Quebrada de Caserones

Se mide en dos puntos en La Poza y en Derrame. Los caudales en ambos son de escasa magnitud con medias de 5 l/s y 6 l/s respectivamente.

#### **6.4.1.2 Quebrada La Brea**

El punto de aforo se encuentra antes de la confluencia con el río Ramadillas. Los caudales aforados durante el período son bastante bajos con una media de 3 l/s. El máximo se alcanzó el mes de Mayo de 2005 con 9 l/s.

#### **6.4.1.3 Río Vizcachas**

Los aforos se realizaron en 5 puntos del río aguas abajo de confluencia con río Pircas Coloradas, en el Cadillal, aguas arriba de confluencia con río Ramadillas, En Pastillo y aguas arriba de confluencia con río Pircas Coloradas.

En Pastillo se cuenta con un solo aforo por lo que no se incluirá en el análisis. Los aforos realizados en el punto aguas arriba de confluencia con el río Pircas Coloradas siempre arrojaron caudal cero. Lo que indica que la mayor parte del caudal del río Vizcachas en esta zona es aportado por el río Pircas Coloradas, lo que se aprecia con mayor claridad al comparar los valores con la curva del río Vizcachas aguas debajo de la confluencia con el río Pircas Coloradas.

La curvas de caudales entre los puntos aguas de abajo de confluencia con río Pircas Coloradas y el Cadillal muestran un comportamiento similar. Los caudales tienen una media de 28 l/s y 37 l/s respectivamente.

El caudal en el punto aguas arriba de la confluencia con el río Ramadillas no presenta una tendencia clara. La media en el período es de 20 l/s con un máximo de 54 l/s alcanzado en Octubre de 2004.

#### **6.4.1.4 Río Ramadillas**

Los aforos se realizaron en 3 puntos del río aguas abajo de Qda. Las Llaretas, aguas arriba de confluencia con Quebrada de La Brea y Aguas arriba de confluencia con río Vizcachas.

Se observa un comportamiento similar en cuanto a la forma de las curvas de caudales para los distintos puntos medidos. Además no se observa una variación de importancia de la magnitud de los caudales aforados.

El valor medio de caudal esta alrededor de 360 l/s para los 3 puntos aforados. El caudal máximo para los tres puntos aforados ocurrió en el mes Enero de 2006, alcanzando un valor superior a los 1.000 l/s en todos los puntos.

#### **6.4.1.5 Río Pulido**

Los aforos se realizaron en 4 puntos del río aguas debajo de confluencia con río Ramadillas, aguas debajo de confluencia con río El Potro, aguas debajo de confluencia con río Montosa y aguas debajo de Quebrada Seca.

Los valores medidos en los distintos puntos a lo largo del río presentan un comportamiento similar, presentando un máximo en el mes de Enero del 2006 para todos los puntos aforados.

La variación de caudal que se observa en los distintos puntos del río respecto a los de aguas arriba se explica principalmente por el aporte que hacen los ríos El Potro y Montosa al caudal del río Pulido.

#### **6.4.1.6 Río El Potro**

El valor máximo en el período llegó a 1.535 l/s en Enero de 2006. La media durante el período es de 496 l/s.

#### **6.4.1.7 Río Montosa**

El valor máximo en el período llegó a 1.700 l/s en Enero de 2006. La media durante el período es de 629 l/s.

#### **6.4.1.8 Río Pircas Coloradas**

Los aforos se realizaron en 2 puntos del río en la Naciente y aguas arriba de confluencia con río Vizcachas. En el primer punto los caudales son bastante bajo con una media de 7 l/s y un máximo de 32 l/s. En el segundo punto los caudales son mayores, pero siempre bajo los 60 l/s.

## CAPITULO 7

7.1	BALANCE EN SUPERFICIES DE RIEGO .....	51
7.1.1	<i>Evapotranspiración desde Cultivos</i> .....	52
7.1.2	<i>Extracciones Superficiales</i> .....	55
7.2	CAUDAL DE EXTRACCIONES SUBTERRÁNEAS .....	55
7.3	EVAPOTRANSPIRACIÓN ZONA DE VEGAS .....	55
7.4	AFLORAMIENTOS .....	55

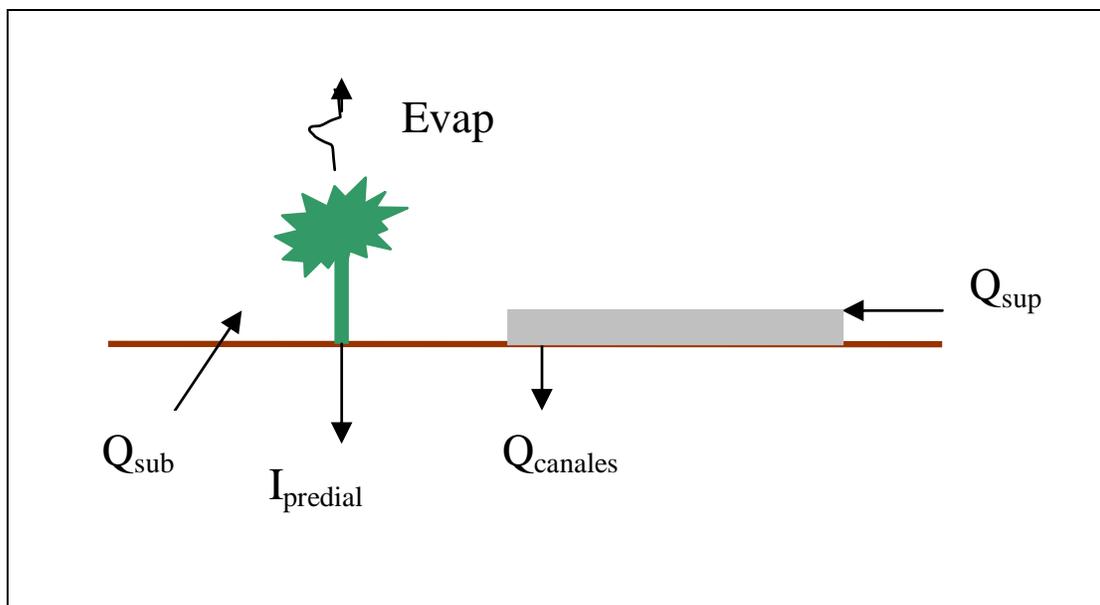
## CAPITULO 7 DESCARGA

Las descargas de los acuíferos del área estudiada ocurren por las extracciones subterráneas, por evapotranspiración desde los cultivos y desde las vegas y por afloramientos.

### 7.1 BALANCE EN SUPERFICIES DE RIEGO

Los principales factores que intervienen en la descarga del acuífero son las extracciones subterráneas y la evapotranspiración desde los cultivos, pero estas están directamente relacionadas, ya que el agua que se extrae desde los pozos es utilizada para riego.

En la *Figura 7.1* se observa los componentes del balance en las superficies de riego.



**Figura 7.1: Esquema Balance Superficies de Riego.**

$$\text{Evap} = Q_{\text{sup}} + Q_{\text{sub}} - I_{\text{predial}} - Q_{\text{canales}}$$

Evap: Evapotranspiración de los cultivos

$Q_{\text{sup}}$ : Agua de riego proveniente de fuentes superficiales

$Q_{\text{sub}}$ : Agua de riego proveniente de fuentes subterráneas

$I_{\text{predial}}$ : Infiltración desde los cultivos al acuífero

$Q_{\text{canales}}$ : Infiltración desde los canales (primarios y secundarios) hacia el acuífero.

El caudal que realmente se extrae del acuífero corresponde al caudal extraído para riego desde el agua subterránea menos las infiltraciones, ya que estas retornan al acuífero.

Luego:

$$Q_{\text{extracciones}} = Q_{\text{sub}} - I_{\text{predial}} - Q_{\text{canales}}$$

Reemplazando en el balance se obtiene:

$$Q_{\text{extracciones}} = \text{Evap} - Q_{\text{sup}}$$

Por lo tanto para determinar la magnitud de las extracciones subterráneas que se producen en la cuenca es necesario conocer la evapotranspiración desde los cultivos, y el caudal de agua superficial que se utiliza para riego.

### **7.1.1 Evapotranspiración desde Cultivos**

La evapotranspiración es la pérdida de agua que se produce por transpiración de la vegetación y por la pérdida de humedad de la superficie por evaporación directa. Se expresa en mm por unidad de tiempo. Para determinarla es necesario conocer la superficie ocupada por los distintos cultivos, los tipos de cultivos presentes, además del tipo de riego utilizado lo que determina la eficiencia aplicada.

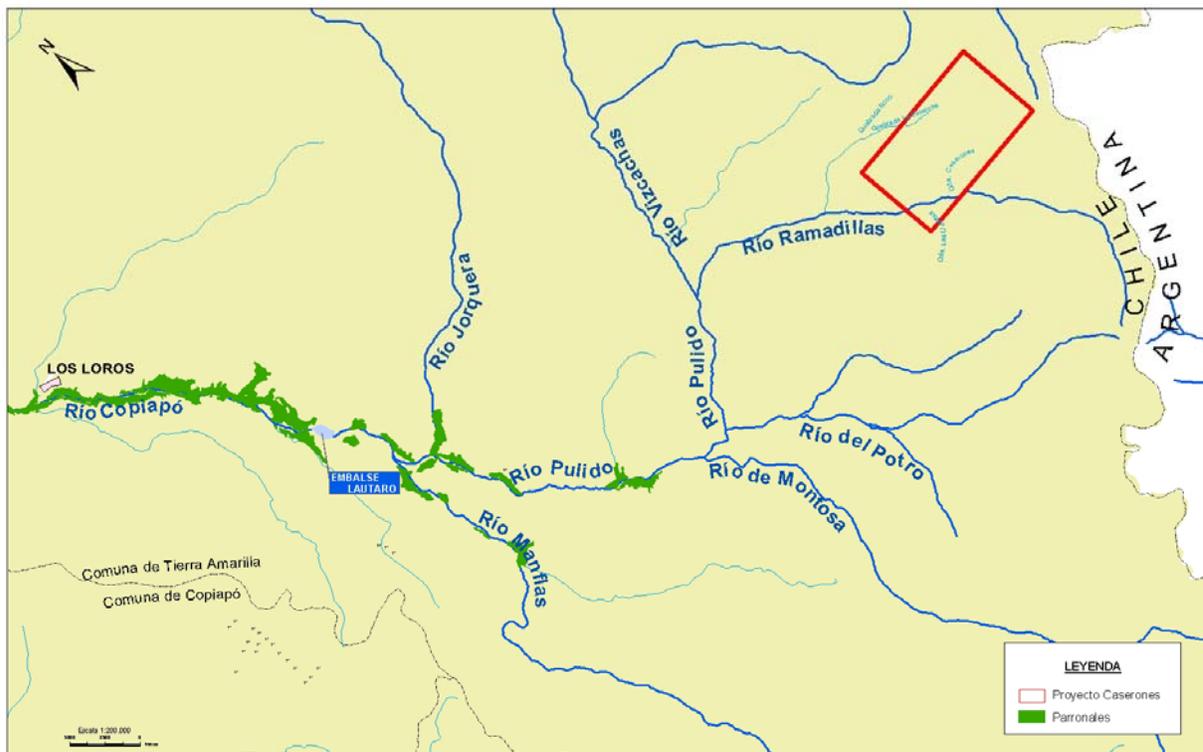
#### **7.1.1.1 Superficie Cultivada**

En los estudios anteriores la información respecto de la superficie cultivada fue obtenida de los censos realizados por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) y por los catastros frutícolas realizados por el Centro de Información de Recursos Hídricos (CIREN). El problema de esta información es que no indica como se distribuyen los cultivos dentro de cada sector.

Esto falencia se solucionó en este estudio, ya que el área que ocupan las zonas cultivadas y su distribución se obtuvo del análisis de una imagen satelital Landsat 77 de la zona. Esta imagen permite delimitar claramente las zonas que cuentan con cultivos y con ello su distribución espacial. En las zonas en que no había mayor claridad respecto del uso que tenía el suelo se complementó el análisis con la revisión de las imágenes obtenidas del programa Google Earth.

En la *Figura 7.2* se observan los cultivos digitalizados para la zona de estudio.

**Figura 7.2: Zonas de Cultivos.**



La información obtenida de la imagen satelital se comparó con los resultados de los estudios DGA 1987, 1995 y 2003, y Golder 2006 y del catastro frutícola de CIREN con lo que se obtuvo las superficies de los distintos cultivos.

El Catastro Frutícola año 2005 entrega sus resultados a nivel de toda la comuna de Tierra Amarilla, por lo que se puede suponer que estos resultados mantienen la misma relación para la zona de estudio que se ubica dentro de esta comuna. En este se indica que en la comuna de Tierra Amarilla de un total de 6.116,32 hectáreas de frutales más del 98% (6.001,32 hectáreas) corresponden a Vid de mesa, relación que se considerará para la zona de estudio.

Para el caso de las praderas y hortalizas se utilizaron los valores de superficies obtenidas del estudio DGA 2003. Se utilizaron estos y no los de Golder 2006 a pesar de ser más recientes, ya que estos últimos consideraron que las variaciones en cuanto al incremento de las superficies cultivadas en todos los sectores son igual, lo que es poco preciso. En la *Tabla 7.1* se muestra las áreas consideradas de los distintos cultivos.

**Tabla 7.1: Superficies de Cultivos (ha).**

Superficie Cultivada	Sector 1	Sector 2
	Arriba Embalse Lautaro	Embalse Lautaro-La Puerta
Vides	1218.2	1909.0
Hortalizas	3.1	120.0
Praderas	6.3	62.0
Frutales	-	13.0
<b>TOTAL</b>	<b>1227.6</b>	<b>2104.0</b>

La evapotranspiración real se determina de la multiplicación de los valores de evapotranspiración potencial ETo y de los coeficientes de cultivo, ambos valores fueron obtenidos del informe DGA-IPLA 1994. En la *Tabla 7.2* se muestra la evapotranspiración calculada.

**Tabla 7.2: Tasa de Evapotranspiración (m<sup>3</sup>/ha/año).**

Superficie Cultivada	Sector 1	Sector 2
	Arriba Embalse Lautaro	Embalse Lautaro-La Puerta
Vides	7629	7629.25
Hortalizas	6141	6140.7
Praderas	12147	12146.5
Frutales	10107	10107

El tipo de riego utilizado corresponde a goteo para un 98% de los cultivos en el caso de las vides y para un 94% de los otros frutales, para los otros cultivos se considero los valores utilizados por DGA 2003. En la *Tabla 7.3* se muestran las eficiencias medias ponderadas para los distintos cultivos en cada sector.

**Tabla 7.3: Eficiencias (%).**

Superficie Cultivada	Sector 1	Sector 2
	Arriba Embalse Lautaro	Embalse Lautaro-La Puerta
Vides	89.1	89.1
Hortalizas	50.0	50.0
Praderas	35.0	35.0
Frutales	89.4	89.4

**Tabla 7.4: Evapotranspiración Total Anual por Sector y Tipo de Cultivo (Mm<sup>3</sup>/año).**

Superficie Cultivada	Sector 1	Sector 2
	Arriba Embalse Lautaro	Embalse Lautaro-La Puerta
Vides	9.3	14.6
Hortalizas	0.0	0.7
Praderas	0.1	0.8
Frutales	-	0.1
<b>TOTAL</b>	<b>9.4</b>	<b>16.2</b>

En el sector 1 la evapotranspiración es de 9,4 Mm<sup>3</sup>/año (298 l/s) y en el sector 2 es de 16,2 Mm<sup>3</sup>/año (514 l/s).

### 7.1.2 Extracciones Superficiales

Se considera que las extracciones de agua se realizan sólo durante la mitad del año, por lo que se debe considerar sólo la mitad de los caudales otorgados en derecho (ver Capítulo 9: Derechos de agua). Considerando lo anterior se obtiene un caudal de 53,165 l/s (1.67 Mm<sup>3</sup>/año) para el sector aguas arriba del embalse y un caudal de 104,26 (3.28 Mm<sup>3</sup>/año) para el sector aguas abajo del embalse.

### 7.2 CAUDAL DE EXTRACCIONES SUBTERRÁNEAS

El caudal de extracciones subterráneas corresponde a la demanda de los cultivos por evapotranspiración menos las extracciones superficiales. En la *Tabla 7.5* se indican los caudales calculados.

*Tabla 7.5: Magnitud de Extracciones Subterráneas.*

Arriba embalse	Abajo embalse
L/s	L/s
241	370

### 7.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN ZONA DE VEGAS

Se considero los valores entregados en el informe DGA 2003, que se obtuvieron a su vez del informe DGA 1995. El caudal utilizado es de 111 l/s (3,5 Mm<sup>3</sup>/año).

### 7.4 AFLORAMIENTOS

Los afloramientos se producen en el sector bajo el Embalse Lautaro y estos se pueden determinar haciendo un balance de flujos superficiales en esa zona.

El caudal se obtiene de la diferencia entre el caudal que se mide en la estación Copiapó en La Puerta y el que se mide en la estación Copiapó en by-pass Lautaro, a esto hay que restarle las filtraciones del Embalse Lautaro que vuelven al río y no son medidas en la estación by-pass Lautaro.

Luego se tiene:

$$Q_{\text{La Puerta}} - Q_{\text{by pass Lautaro}} - Q_{\text{fil}} = Q_{\text{afloramientos}}$$

- $Q_{\text{La Puerta}} = 2.540 \text{ l/s}$  (Caudal medio anual en estación Copiapó en La Puerta)
- $Q_{\text{by pass Lautaro}} = 1.213 \text{ l/s}$  (Caudal medio anual en estación Copiapó en by-pass Lautaro)
- $Q_{\text{fil}} = 200 \text{ l/s}$  (Caudal de filtraciones del Embalse Lautaro).
- $Q_{\text{Afloramientos}} = 1.127 \text{ l/s}$  (Caudal de afloramientos sector Embalse Lautaro – La Puerta.)

## CAPITULO 8 - RECARGA

8.1	GENERALIDADES.....	56
8.2	INFILTRACIÓN DESDE EMBALSE LAUTARO.....	56
8.3	INFILTRACIÓN DESDE LOS CAUCES.....	58
8.4	OTRAS INFILTRACIONES .....	58
8.5	FLUJO LATERAL SUBTERRÁNEO.....	58
8.5.1	<i>Subcuencas</i> .....	59
8.5.2	<i>Precipitación subcuencas</i> .....	60
8.5.3	<i>Determinación de la evapotranspiración</i> .....	61
8.5.4	<i>Escorrentía superficial</i> .....	63
8.5.5	<i>Escorrentía subterránea</i> .....	63

## CAPITULO 8

### RECARGA

#### 8.1 GENERALIDADES

Las principales fuentes de recarga del acuífero son las producidas por la infiltración desde el embalse Lautaro, por infiltración desde los cauces y por los flujos laterales subterráneos. Otras fuentes corresponden a la infiltración desde los predios e infiltración desde canales.

#### 8.2 INFILTRACIÓN DESDE EMBALSE LAUTARO

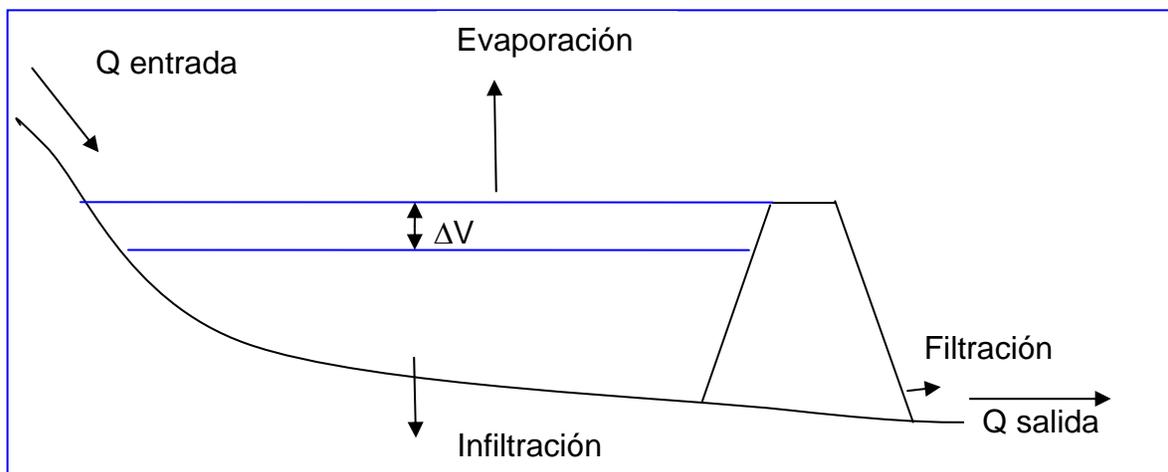
El embalse Lautaro se ubica aguas abajo del sector Juntas, y es el encargado de regular las aguas provenientes de los afluentes del río Copiapó, acumulándolas durante la temporada de lluvias para posteriormente entregarlas en la temporada más seca.

Aguas arriba del embalse se ubica la estación Copiapó en Pastillo que mide los ingresos de agua al embalse. El caudal de estos ingresos es de 2.615 l/s (82,5 Mm<sup>3</sup>/año) correspondiente al caudal medio de esa estación.

El caudal de entrega del embalse se mide en la estación Copiapó en by pass Lautaro ubicada aguas abajo de este. El caudal medio medido en esta estación es de de 1.213 l/s (38,2 Mm<sup>3</sup>/año).

Además de la salida de agua por entrega del embalse hacia aguas abajo, se producen otros egresos como son la evaporación desde la lámina de agua, la infiltración que se produce hacia el acuífero y las filtraciones al pie del muro. Las pérdidas por evaporación desde la lámina de agua son del orden de 73 l/s (2,3 Mm<sup>3</sup>/año). (Golder 2006). A su vez se estima como un valor promedio que las pérdidas por filtraciones al pie del embalse alcanzan los 200 l/s (6,3 Mm<sup>3</sup>/año). Este valor fue obtenido del estudio DGA 2003 y provienen de una serie de aforos efectuados (DGA 1987).

Para determinar la infiltración se realizará un balance de los flujos en el embalse. En la *Figura 8.1* se observa un esquema de estos flujos.



**Figura 8.1: Balance embalse Lautaro**

En la ecuación se muestra el balance realizado en el embalse.

$$Q_e - Q_s - Q_{fil} - Q_{evap} - Q_{inf} = \Delta V$$

Donde:

$Q_e$  : 2.615 l/s. Caudal de entrada al embalse medido en la estación Copiapó en Pastillo.

$Q_s$  : 1.213 l/s. Caudal de salida del embalse medido en la estación Copiapó en by pass Lautaro.

$Q_{fil}$  : 200 l/s. Caudal de filtraciones al pie del embalse.

$Q_{evap}$  : 73 l/s. Evaporación de la lámina de agua del embalse.

$Q_{inf}$  : Caudal infiltración hacia el acuífero.

$\Delta V$  : Variación de almacenamiento del embalse.

Considerando que la variación de volumen del embalse a nivel anual es nula se obtiene un caudal infiltrado de 1.130 l/s (35,6 Mm<sup>3</sup>/año), valor que esta dentro del rango establecido en informes anteriores 6 y 45 Mm<sup>3</sup>/año (Golder 2006).

### 8.3 INFILTRACIÓN DESDE LOS CAUCES

La principal infiltración desde los cauces ocurre en el sector bajo las estaciones de aforo de los ríos Jorquera, Pulido y Manflas, y la estación Copiapó en Pastillo. Esto queda claro al analizar las estadísticas fluviométricas en estas estaciones, ya que la estación Pastillo mide el caudal del río Copiapó que debiera corresponder a la suma de los ríos Jorquera, Pulido y Manflas menos el caudal que se extrae por canales en esta zona, sin embargo, se produce una diferencia que se explica por la infiltración en esta zona.

Realizando un balance superficial se obtiene:

$$Q_{\text{Jorquera}} + Q_{\text{Pulido}} + Q_{\text{Manflas}} - Q_{\text{canales}} = Q_{\text{Pastillo}} + \Delta Q$$

$$Q_{\text{Pastillo}} = 2.615 \text{ l/s (Caudal medio anual en estación Copiapó en Pastillo)}$$

$$Q_{\text{Jorquera}} = 628 \text{ l/s (Caudal medio anual en estación Jorquera en vertedero)}$$

$$Q_{\text{Pulido}} = 1.637 \text{ l/s (Caudal medio anual en estación Pulido en vertedero)}$$

$$Q_{\text{Manflas}} = 745 \text{ l/s (Caudal medio anual en estación Manflas en vertedero)}$$

$$Q_{\text{canales}} = 87 \text{ l/s (Caudal extraído por los canales bajo las estaciones de medición de los ríos Jorquera, Pulido y Manflas, y sobre la estación Pastillo)}$$

$$\Delta Q = 308 \text{ l/s (Diferencia de caudal entre estación Pastillo y la suma de las estaciones Jorquera, Pulido y Manflas)}$$

Del balance anterior se obtiene un  $\Delta Q = 308 \text{ l/s}$  que corresponde a la infiltración para esta zona.

### 8.4 OTRAS INFILTRACIONES

Las infiltraciones desde los predios, desde canales primarios y secundarios se consideran dentro del caudal de extracciones como se explica en el Capítulo 7- Descarga, de este informe.

### 8.5 FLUJO LATERAL SUBTERRÁNEO

Para determinar los flujos laterales es necesario conocer cual es la cantidad de lluvia que se convertirá en flujo subterráneo en cada subcuenca que aporte al sistema. Esto dependerá de la magnitud de la precipitación sobre la cuenca, de la evapotranspiración que ocurra y de la magnitud de la escorrentía superficial a la

salida de la cuenca.

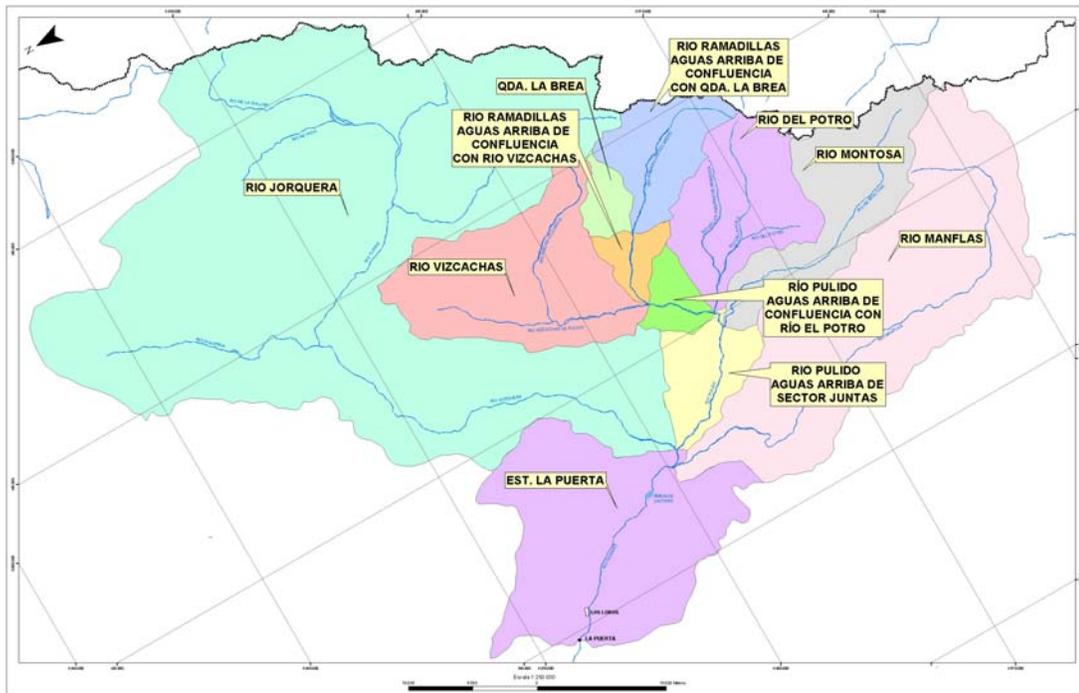
$$E_{\text{sub}} = Pp - \text{Evap} - E_{\text{sup}}$$

- Pp : Precipitación
- Evap : Evapotranspiración
- E<sub>sup</sub> : Escorrentía superficial
- E<sub>sub</sub> : Escorrentía subterránea

A continuación se indican los pasos para determinar cada término.

### 8.5.1 Subcuencas

En la *Figura 8.2* se muestran las subcuencas que se consideran como aporte de flujo lateral para el sistema, estas son Ramadillas aguas arriba Qda. La Brea, Qda. La Brea, Vizcachas, Río del Potro, río Montosa, río Jorquera y río Manflas. Las subcuencas Ramadillas aguas arriba de confluencia con Vizcachas, Pulido aguas arriba de confluencia con río el Potro, Pulido aguas arriba de Juntas y Estación La Puerta corresponden a la zona modelada por lo tanto no se consideran como flujo lateral.



**Figura 8.2: Subcuencas.**

## Características Geomorfológicas

En la *tabla 8.1* se indican las principales características geomorfológicas para cada subcuenca como son su superficie y altura media (Hmedia).

**Tabla 8.1 - Características Geomorfológicas de las Subcuencas.**

	Ramadillas aguas arriba Qda La Brea	Ramadillas aguas arriba confluencia con Vizcachas	Qda La Brea	Vizcachas	El Potro	Montosa	Manflas	Jorquera
Hmedia (m)	4227	2845	3630	3475	3559	4125	3363	3747
Area (km <sup>2</sup> )	225	72	66	601	383	415	1215	3548

### 8.5.2 Precipitación Subcuencas

Con los valores de área y altura media para cada subcuenca, y utilizando las isoyetas del balance hídrico de Chile realizado por la DGA en 1987 se obtienen las precipitaciones medias en cada subcuenca. Los resultados se muestran en la *Tabla 8.2*.

**Tabla 8.2 - Precipitación Media (mm) en las Subcuencas.**

	Ramadillas aguas arriba Qda La Brea	Ramadillas aguas arriba confluencia con Vizcachas	Qda La Brea	Vizcachas	El Potro	Montosa	Manflas	Jorquera
PP (mm)	296	117	252	183	222	295	231	172

### 8.5.3 Determinación de la Evapotranspiración

La evapotranspiración se determinó por 2 metodologías. La primera fue utilizando la información de isolíneas de evaporación del balance hídrico de Chile. En la segunda se utilizó el método de Lluvia-escorrentía de Turc el cual establece una relación para el Déficit de Escorrentía (D), como función de la precipitación (P) y de la Temperatura Media(T), en °C.

#### 8.5.3.1 Balance Hídrico

La evapotranspiración se determina de las isolíneas en la zona. Estas isolíneas se presentan en el Anexo de figuras. Los valores determinados de se muestran en la *Tabla 8.3*.

**Tabla 8.3 - Evapotranspiración Balance Hídrico.**

	Ramadillas aguas arriba Qda La Brea	Ramadillas aguas arriba confluencia con Vizcachas	Qda La Brea	Vizcachas	El Potro	Montosa	Manflas	Jorquera
Évap (mm)	224	116	198	160	175	230	182	145

#### 8.5.3.2 Método de Turc

Establece una relación para el Déficit de Escorrentía (D), como función de la precipitación (P) y de la Temperatura Media (T), en °C. Esta relación se obtuvo a partir de observaciones efectuadas en 254 cuencas de climas y características diferentes de todo el planeta.

El Déficit se expresa como:

$$D = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}}$$

Con: P en mm

D en mm

Siendo  $L = 300 + 25 \cdot T + 0,05 \cdot T^3$

La escorrentía (E) se obtiene restando a la precipitación el déficit, es decir,

$$E = P - D$$

La precipitación y temperatura determinadas para cada subcuenca se ingresan a la fórmula de Turc y se obtiene el déficit de escorrentía para cada subcuenca. Lo que nos permite determinar los caudales en cada subcuenca.

**Tabla 8.4 - Déficit de Escorrentía según Turc.**

	Ramadillas aguas arriba Qda La Brea	Ramadillas aguas arriba confluencia con Vizcachas	Qda La Brea	Vizcachas	El Potro	Montosa	Manflas	Jorquera
L	370.6	566.7	429.2	497.4	447.0	376.1	468.1	447.6
D (mm)	238.6	120.2	225.7	179.5	207.5	239.4	215.9	168.0

#### 8.5.4 Escorrentía Superficial

Se obtuvo de los aforos realizados por Sitac. Hay que considerar que el período con información es muy corto (3 años) por lo que esta información es sólo referencial y no representa necesariamente el comportamiento de los flujos superficiales en el largo plazo.

**Tabla 8.5 - Escorrentía Superficial (l/s) por Subcuencas.**

	Ramadillas aguas arriba Qda La Brea	Ramadillas aguas arriba confluencia con Vizcachas	Qda La Brea	Vizcachas	El Potro	Montosa	Manflas	Jorquera
Esc. Superficial	355.8	16.9	2.8	20.2	496.4	629.2	628.3	744.7

#### 8.5.5 Escorrentía Subterránea

Los valores de la *Tabla 8.6* son una referencia, ya que los verdaderos valores se obtendrán de la calibración del modelo.

**Tabla 8.6 - Escorrentía Subterránea (l/s) por Subcuencas.**

	Ramadillas aguas arriba Qda La Brea	Ramadillas aguas arriba confluencia con Vizcachas	Qda La Brea	Vizcachas	El Potro	Montosa	Manflas	Jorquera
Turc	53.1	0.0	51.3	38.8	0.0	96.1	0.0	0.0
Balance Hídrico	157.6	0.0	109.6	402.8	76.7	214.7	1240.2	2292.8

## CAPITULO 9 - DERECHOS DE AGUA

9.1	GENERALIDADES.....	64
9.2	DERECHOS SUPERFICIALES.....	65
9.2.1	<i>Sector 1 (Aguas arriba del embalse Lautaro)</i> .....	65
9.2.2	<i>Sector 2 (Embalse Lautaro – La Puerta)</i> .....	65
9.3	DERECHOS SUBTERRÁNEOS .....	66
9.3.1	<i>Sector 1 (Aguas arriba del embalse Lautaro)</i> .....	66
9.3.2	<i>Sector 2 (Embalse Lautaro – La Puerta)</i> .....	68
9.4	DISTRIBUCIÓN DE LOS DERECHOS SEGÚN EL USO.....	69

## CAPITULO 9 DERECHOS DE AGUA

### 9.1 GENERALIDADES

En la zona de estudio existen constituidos derechos de aprovechamiento de aguas superficiales y de aguas subterráneas, su uso es principalmente para riego del sector y en menor medida para minería y agua potable. La cuenca está dividida en distritos para la distribución de aguas superficiales y en sectores para las aguas subterráneas.

#### Aguas Superficiales

Para la distribución de derechos de agua superficiales en la cuenca del río Copiapó este se ha dividido en 9 distritos. Esta división data de la ordenanza sobre policía Fluvial y de regadío para el valle de Copiapó, emitida por la intendencia de la Provincia de Atacama el 9 de Marzo de 1875, cuyas normas se mantienen vigentes hasta la fecha (GOLDER 2006).

Actualmente la organización que regula los derechos de agua superficiales es la Junta de Vigilancia del Río Copiapó (JVRC). Agrupa a un total de 57 comunidades de regantes y 9 canales. El rol de regantes se compone de un total de 1.127 usuarios que se reparten 12.080 acciones (GOLDER 2006).

Los distritos en que se divide la cuenca se muestran en la figura 9.1. Para este estudio los distritos de interés corresponden a los que se encuentran sobre el sector de La Puerta, estos son el 1º, 2º, 3º y Cordillera.

#### Aguas Subterráneas

Para el caso de las aguas subterráneas la DGA hace una división del acuífero en 6 sectores hidrogeológicos, esta división consta en la Minuta Técnica N° 61 de fecha 19 de agosto de 1997, del Departamento de Administración de Recursos Hídricos, y constituye un criterio técnico que la DGA adopta para los efectos de la concesión de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas. Estos sectores se indican en la *Tabla 9.1* y se muestran en la *Figura 9.1*.

**Tabla 9.1 - Sectores subterráneos**

Nº	Sector
1	Arriba Embalse Lautaro
2	Embalse Lautaro - La Puerta
3	La Puerta - Mal Paso
4	Mal Paso - Copiapó
5	Copiapó - Piedra Colgada
6	Piedra Colgada - Angostura

Para este estudio los sectores de interés corresponden al 1° y 2° ubicados aguas arriba del sector La Puerta.

## 9.2 DERECHOS SOBRE AGUAS SUPERFICIALES

Como se indicó anteriormente los distritos que interesan en este estudio son los que se ubican sobre La Puerta.

### 9.2.1 Sector 1 (Aguas arriba del embalse Lautaro)

Existen en total 15 canales, todos operativos, 8 de estos nacen en el río Jorquera, 1 en el río Manflas y 3 en el sector Juntas (entre confluencia de los ríos Jorquera y Manflas), y el embalse Lautaro. (DGA 2003).

El total de acciones de los canales es de 1.386 lo que representa una extracción constante de 106,33 l/s.

### 9.2.2 Sector 2 (Embalse Lautaro – La Puerta)

Existen en total 16 canales, de los cuales uno sólo no está operativo. El total de acciones de los canales es de 1902,0 que representa una extracción de 208,52 l/s (DGA 2003).

### 9.3 DERECHOS SOBRE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Los sectores de interés para este estudio son el 5<sup>to</sup> y el 6<sup>to</sup>. El primero se ubica entre la La Puerta y el embalse Lautaro, y el segundo desde el embalse Lautaro hacia aguas arriba.

Para determinar los derechos existentes en el sector aguas arriba de La Puerta se revisaron y analizaron una serie de catastros realizados por la DGA, información que fue contrastada con la del catastro de SITAC, obteniéndose de esta manera el catastro definitivo para el sector.

Entre los catastros realizados por la DGA destaca el inventario de extracciones autorizadas de aguas subterránea en la III Región de Atacama, el que se incluye en la Resolución DGA (Exenta) N° 4051 del 23 de Diciembre de 2003. En este se indica por comuna los derechos aprovechamiento, además del nombre de la captación, el caudal de su derecho de aprovechamiento, y la resolución que lo constituyó, o la que autorizó cambios de punto de captación o el número de causa, juzgado y fecha de la sentencia que lo declaró regularizado,

Los otros catastros de la DGA revisados corresponden a los incluidos en los estudios DGA 1995 y 2003. El primero es un catastro bastante completo, el que cuenta con información del derecho, ubicación con coordenadas e información técnica de las pruebas de bombeo entre otros. El catastro 2003 esta basado en el anterior pero su información se encuentra bastante incompleta en especial en la zona de estudio.

#### 9.3.1 Sector 1 (Aguas arriba del Embalse Lautaro)

En este sector existen 39 pozos con derechos de aprovechamiento de agua subterránea de uso consuntivo, permanente y continuo. El Caudal total de estos derechos es de 2.082,75 l/s (65,7 Mm<sup>3</sup>/año).

**Tabla 9.1: Derechos de Aprovechamiento Aguas arriba Embalse Lautaro.**

Nº	Nombre Usuario	Q otorgado (L/s)	USO	Resolución DGA Nº	Fecha
1	CIA. MRA. LUMINA COPPER CHILE	58.50	MINERIA	537	17-dic-93
2	CIA. MRA. LUMINA COPPER CHILE	27.00	MINERIA	586	07-dic-94
3	CIA. MRA. LUMINA COPPER CHILE	54.00	MINERIA	244	29-mar-96
4	CIA. MRA. LUMINA COPPER CHILE	40.00	MINERIA	426	28-jun-96
5	CIA. MRA. LUMINA COPPER CHILE	60.00	MINERIA	525	25-jul-96
6	PROHENS ARIAS ALFONSO	45.00	RIEGO	183	13-may-85
7	SOC. AGRIC. MANFLAS LTDA.	120.00	RIEGO	278	28-jun-85
8	PROHENS ARIAS ALFONSO	55.00	RIEGO	246	02-jul-86
9	PROHENS ARIAS ALFONSO	85.00	RIEGO	247	02-jul-86
10	PROHENS ARIAS ALFONSO	27.00	RIEGO	284	24-jul-86
11	SOC. AGRIC. 7 AMIGOS LTDA.	80.00	RIEGO	295	01-ago-86
12	PROHENS ARIAS ALFONSO	60.00	RIEGO	321	18-ago-86
13	CRUZ AROSTICA LINCOYAN	100.00	RIEGO	333	26-ago-86
14	CRUZ AROSTICA LINCOYAN	95.00	RIEGO	409	24-oct-86
15	SOC. INV. BESTU LTDA. Y OTRO	80.00	RIEGO	410	27-oct-86
16	SOC. INV. BESTU LTDA. Y OTRO	35.00	RIEGO	411	27-oct-86
17	SOC. AGRIC. MANFLAS LTDA.	80.00	RIEGO	412	27-oct-86
18	SOC. AGRIC. MANFLAS LTDA.	40.00	RIEGO	498	24-nov-86
19	TURISMO Y HOTELES CABO DE HORNOS S.A.	80.00	RIEGO	111	02-mar-87
20	TURISMO Y HOTELES CABO DE HORNOS S.A.	80.00	RIEGO	111	02-mar-87
21	TURISMO Y HOTELES CABO DE HORNOS S.A.	80.00	RIEGO	111	02-mar-87
22	TURISMO Y HOTELES CABO DE HORNOS S.A.	31.00	RIEGO	210	01-jun-89
23	TURISMO Y HOTELES CABO DE HORNOS S.A.	30.00	RIEGO	210	01-jun-89
24	TURISMO Y HOTELES CABO DE HORNOS S.A.	20.00	RIEGO	210	01-jun-89
25	TURISMO Y HOTELES CABO DE HORNOS S.A.	24.00	RIEGO	209	19-mar-90
26	SOC. AGRIC. 7 AMIGOS LTDA.	100.00	RIEGO	89	21-feb-91
27	TURISMO Y HOTELES CABO DE HORNOS S.A.	58.50	RIEGO	422	16-sep-94
28	SOC. AGRIC. MANFLAS LTDA.	45.00	RIEGO	520	22-sep-95
29	SOC. AGRIC. MANFLAS LTDA.	33.75	RIEGO	520	22-sep-95
30	TURISMO Y HOTELES CABO DE HORNOS S.A.	9.00	RIEGO	81	25-ene-96
31	SOC. AGRIC. IGLESIA COLORADA	81.00	RIEGO	296	26-abr-96
32	SOC. AGRIC. IGLESIA COLORADA	36.00	RIEGO	301	26-abr-96
33	PROHENS ESPINOSA CARMEN MARIA TERESA	48.00	RIEGO	415	24-jun-96
34	SOC. AGRIC. IGLESIA COLORADA	20.00	RIEGO	550	31-jul-96
35	PROHENS ESPINOZA FERNANDO	60.00	RIEGO	691	25-sep-96
36	BAUZA ALVAREZ LORENZO	15.00	RIEGO	32	24-ago-98
37	PROHENS ESPINOZA JAIME	33.00	RIEGO	221	21-oct-98
38	SOC. AGRIC. EL RODEO LTDA	15.00	RIEGO	222	21-oct-98
39	PROHENS ESPINOZA CARMEN	42.00	RIEGO	223	21-oct-98

### 9.3.2 Sector 2 (Embalse Lautaro – La Puerta)

En este sector existen 49 pozos con derechos de aprovechamiento de agua subterránea de uso consuntivo, permanente y continuo. El Caudal total de estos derechos es de 2.817,11 l/s (88,8 Mm<sup>3</sup>/año).

**Tabla 9.2: Derechos de aprovechamiento Embalse Lautaro – La Puerta**

Nº	Nombre Usuario	Q otorgado (L/s)	USO	Resolución DGA Nº	Fecha
40	MINISTERIO DE EDUCACION	23.00	A.POTABLE	8	12-ene-84
41	SENDOS	15.00	A.POTABLE	497	24-nov-86
42	CIA. MRA. LUMINA COPPER CHILE	60.00	MINERIA	151	23-abr-85
43	CIA. MRA. LUMINA COPPER CHILE	55.00	MINERIA	391	30-sep-87
44	CIA. MRA. LUMINA COPPER CHILE	100.00	MINERIA	437	08-jul-96
45	CIA. MRA. LUMINA COPPER CHILE	100.00	MINERIA	444	08-jul-96
46	CIA. AGRIC. Y GANAD. HORNITO S.A.	70.00	RIEGO	344	20-abr-67
47	PROHENS ARIAS ALFONSO	18.26	RIEGO	271	01-ago-80
48	GROSSI GUAITA ELISEO A. Y OTROS	20.00	RIEGO	340	10-sep-80
49	PROHENS ARIAS ALFONSO	17.35	RIEGO	391	08-oct-80
50	KONG LOPEZ ALFONSO	62.00	RIEGO	52	18-feb-81
51	MAGALHAES MEDLING MANUEL Y OTRO	70.00	RIEGO	157	10-jun-83
52	REID HENDERSON DORN	90.00	RIEGO	632	30-dic-83
53	SOC. AGRIC. SACRAMENTO Y CIA. LTDA.	1.00	RIEGO	164	23-jun-84
54	SOC. CONST. DEL PACIFICO JORQUERA HNOS. LTDA	58.00	RIEGO	376	14-nov-84
55	CIA. PROD. ALIMENTOS Y SERV. CORPORA S.A.	20.00	RIEGO	151	23-abr-85
56	SOC. FRUTICOLA Y EXPORT. ATACAMA LTDA.	30.00	RIEGO	157	24-abr-85
57	GUGGIANA GUGGIANA DOMINGO E.	30.00	RIEGO	179	09-may-85
58	GUGGIANA GUGGIANA DOMINGO E.	80.00	RIEGO	180	09-may-85
59	CIA. PROD. ALIMENTOS Y SERV. CORPORA S.A.	100.00	RIEGO	395	30-sep-85
60	SOC. CONST. DEL PACIFICO JORQUERA HNOS. LTDA	100.00	RIEGO	467	26-nov-85
61	CIA. PROD. ALIMENTOS Y SERV. CORPORA S.A.	75.00	RIEGO	96	25-feb-86
62	CIA. PROD. ALIMENTOS Y SERV. CORPORA S.A. Y OTROS	80.00	RIEGO	227	23-jun-86
63	PROHENS ARIAS ALFONSO	128.00	RIEGO	256	11-jul-86
64	SOC. CONST. DEL PACIFICO JORQUERA HNOS. LTDA	100.00	RIEGO	294	30-jul-86
65	PROHENS ESPINOZA JAIME	55.00	RIEGO	301	04-ago-86
66	SOC. CONST. DEL PACIFICO JORQUERA HNOS. LTDA	120.00	RIEGO	391	15-oct-86
67	PROHENS ARIAS ALFONSO	100.00	RIEGO	448	06-nov-86
68	SUCES. HERIBERTO PESENTI LATORRE	70.00	RIEGO	494	20-nov-86
69	GUGGIANA RIVERA DOMINGO	100.00	RIEGO	515	15-dic-86
70	SOC. CONST. DEL PACIFICO JORQUERA HNOS. LTDA	77.00	RIEGO	83	23-feb-87
71	JIRAN CARLINI ANTONIO	8.00	RIEGO	84	23-feb-87
72	VELASCO C. JOSE MANUEL	9.00	RIEGO	136	17-mar-87
73	SOC. AGRIC. EL FUERTE Y CIA. LTDA.	26.00	RIEGO	163	06-abr-87
74	GODOY NEIRA LEONIDAS ARTURO	25.00	RIEGO	207	08-may-87
75	GROSSI TORNINI PEDRO ALDO	35.00	RIEGO	241	10-jun-87
76	PROHENS ESPINOZA ALFONSO Y OTRO	70.00	RIEGO	247	11-jun-87
77	SOC. CONST. DEL PACIFICO JORQUERA HNOS. LTDA	45.00	RIEGO	391	30-sep-87
78	PESENTI OVIEDO ALBERTO Y OTROS	75.00	RIEGO	249	26-jun-89
79	EXPORT. RIO BLANCO LTDA.	120.00	RIEGO	28	23-ene-92
80	OLIVARES OLIVARES CARMEN	26.00	RIEGO	475	10-nov-93
81	FRUTICOLA Y EXPORT. ATACAMA LTDA.	90.00	RIEGO	256	14-jun-95
82	SOC. AGRIC. UNI AGRI COPIAPO LTDA.	76.00	RIEGO	349	25-jul-95
83	SOC. AGRIC. UNI AGRI COPIAPO LTDA.	78.00	RIEGO	514	22-sep-95
84	PATINO ENDRAOS NICOLAS	3.00	RIEGO	350	16-may-96
85	SOC. AGRIC. EL FUERTE Y CIA. LTDA.	67.50	RIEGO	475	12-jul-96
86	PATINO ENDRAOS NICOLAS	15.00	RIEGO	146	30-jun-00
87	SOC. AGRIC. SACRAMENTO Y CIA. LTDA.	19.00	RIEGO	240	16-sep-03
88	SOC. AGRIC. SACRAMENTO Y CIA. LTDA.	5.00	RIEGO	240	16-sep-03

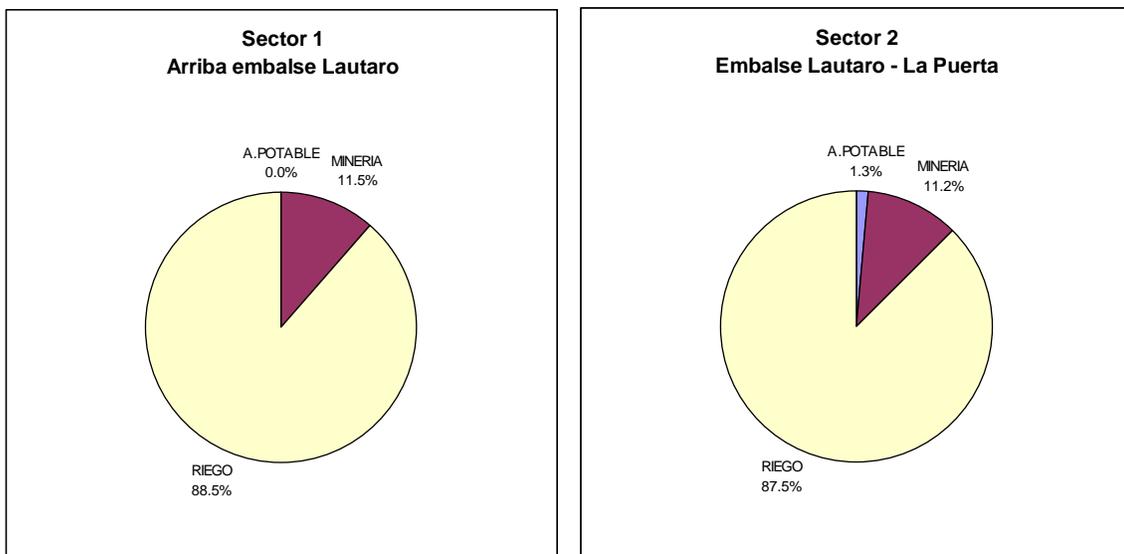
#### 9.4 Distribución de los Derechos según el Uso.

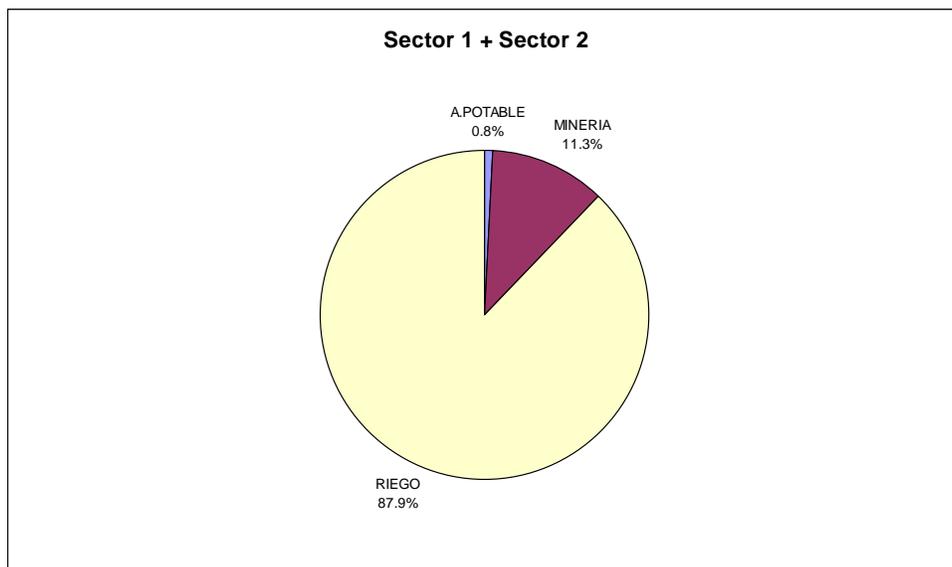
Aguas arriba del embalse Lautaro un 89% de los derechos se utilizan para riego y un 11% en minería, lo que corresponde a un caudal de 1.843,25 l/s y 239,5 l/s respectivamente.

En el sector entre el embalse Lautaro y La Puerta un 88% se utilizada para riego, un 11% en minería y 1% en agua potable, lo que equivale a 2.464,11 l/s, 315 l/s y 38 l/s respectivamente.

En conclusión en la zona de estudio un 89% de los derechos de agua subterránea se utiliza para riego, un 11% en minería y un 1% en agua potable. Lo que equivale a 4.307,36 l/s en riego, 554,5 l/s en minería y 38 l/s en agua potable.

La siguiente figura muestra la distribución de derechos según uso y sector.





**Figura 9.4: Distribución de Derechos según Uso y Sector.**

## 9.5 Derechos de Minera Lumina Copper Chile

En la actualidad la Compañía tiene derechos sobre aguas subterráneas de usos consuntivo, permanente y copntinuo por un total de 1095,5 l/s. De esta cifra, 864,5 l/s corresponden a derechos ubicados en la primera y segunda sección de aguas subterráneas, aguas arriba del sector de La Puerta. Estos derechos se ubican en el área de influencia del Proyecto desde el punto de abastecimiento del recurso.

De la totalidad de derechos adquiridos, un total de 380 l/s se encontraban en uso al momento de la compra en la primera y segunda sección de aguas subterráneas, y 100 l/s en uso en la tercera sección de agua subterránea. El detalle de los derechos adquiridos se presenta en la figura adjunta. En el Apéndice se presenta un resumen de sus características con plano de ubicación y fotografía.

## DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUBTERRANEAS - MLCC

### RESUMEN GENERAL

ID	CODIGO POZO	Identificación del Pozo	Sector	Caudal (l/s)		Ubicación		Inscripción en el CBR			Observaciones Pozo
				por POZO	por SECTOR	N	E	Fojas	Nº	año	
1	CCh-1	Carrizalillo Chico CCh-1	1	58,5	319,5	6.886.995	411.523	116vta	73	2005	Sin Uso
2	CCh-2	Carrizalillo Chico CCh-2	1	54		6.887.388	411.286	118	74	2005	Sin Uso
3	CCh-3	Carrizalillo Chico CCh-3	1	40		6.887.855	411.084	119vta	75	2005	Sin Uso
4	CCh-4	Carrizalillo Chico CCh-4	1	60		6.887.955	410.939	121	76	2005	Sin Uso
5	CCh-5	Carrizalillo Chico CCh-5	1	27		6.889.135	409.940	122 vta	77	2005	Sin Uso
6	-	Pozo Jaime Prohens (Rodeo)	1	80		6.898.533	407.532	En proceso de compra			En Uso
7	-	Pozo Pesenti 1 (Juan P. Pesenti R.)	2	19	545,0	6.907.669	400.828	118vta	113	2008	En Uso
8	-	Pozo Pesenti 2 (Alberto Pesenti O.)	2	20		6.907.193	401.009	Inscripción en tramite			En Uso
	-	Pozo Pesenti 2 (Juan A. Pesenti O.)	2	21				Inscripción en tramite			En Uso
	-	Pozo Pesenti 2 (Jaime R. Pesenti O.)	2	20				Inscripción en tramite			En Uso
9	-	Pozo Mallorca (Agric. Doña Berta Ltda.)	2	100		6.908.510	401.230	En proceso de compra			En Uso
10	PEL-1	El Lindero (ex-Oasis), PEL-1	2	60		6.909.531	400.560	8	8	2007	Sin Uso
11	PER-2	El Retamo 2 (ex-Peppi), PER-2	2	55	6.913.174	398.424	6vta	7	2007	En Uso	
12	-	Pozo Austral Fruit S.A.	2	25	6.915.661	397.184	Inscripción en tramite			En Uso	
13	-	Pozo Nilahue	2	25	6.918.832	393.100	100	105	2008	En Uso	
14	RE-3	Fundo El Fuerte, 3	2	100	6.921.546	390.023	128	82	2005	Sin Uso	
15	RE-2	Fundo El Fuerte, 2	2	100	6.921.531	389.939	129vta	83	2005	En Uso, 15 l/s (1)	
16	DLB-2	Hacienda Deliber 2	3	50	231,0	6.931.940	382.750	11vta	11	2007	Sin Uso
17	DLB-1	Hacienda Deliber 1	3	100		6.932.920	382.580	10	10	2007	En Uso
18	CER-1	El Checo (ex Pozo Araya)	3	81		6.949.562	376.210	45vta	40	2006	Sin Uso (2)
<b>Total l/s</b>				<b>1.095,5</b>	<b>1.095,5</b>						

Nota: (1) Según información entregada por el vendedor al momento de la compra.  
(2) Pozo sin uso al momento de la compra, actualmente esta habilitado y en uso.

## CAPITULO 10 - MODELO MATEMÁTICO

10.1	GENERALIDADES.....	74
10.2	MODELO CONCEPTUAL.....	75
10.2.1	<i>Código MODFLOW</i> .....	75
10.2.1.1	Principio Básico.....	76
10.2.1.2	Hipótesis del Modelo.....	76
10.2.1.3	Modelación del Acuífero.....	76
10.2.2	<i>Etapas del modelo</i> .....	78
10.3	MODELO CONCEPTUAL.....	82
10.4	DOMINIO DEL MODELO.....	74
10.4.1	<i>Discretización espacial</i> .....	75
10.4.2	<i>Geometría del acuífero</i> .....	75
10.4.2.1	Topografía superficial.....	75
10.4.2.2	Topografía de fondo.....	76
10.4.3	<i>Condiciones de borde</i> .....	77
10.4.3.1	Nivel constante.....	77
10.4.3.2	Drenes.....	77
10.4.4	<i>Recarga</i> .....	78
10.4.4.1	Flujos laterales.....	78
10.4.4.2	Infiltración desde cauces.....	79
10.4.4.3	Infiltración embalse Lautaro.....	79
10.4.5	<i>Descarga</i> .....	79
10.5	CALIBRACIÓN EN RÉGIMEN PERMANENTE.....	80
10.5.1	<i>Blancos de Calibración</i> .....	80
10.5.2	<i>Permeabilidad</i> .....	81
10.5.3	<i>Recarga</i> .....	81
10.5.4	<i>Flujo Lateral</i> .....	81
10.5.5	<i>Resultados</i> .....	82
10.6	RÉGIMEN TRANSIENTE.....	82
10.6.1	<i>Período de Calibración</i> .....	82
10.6.2	<i>Constantes Hidrogeológicas</i> .....	82
10.6.3	<i>Recarga</i> .....	83
10.6.4	<i>Descarga</i> .....	83
10.6.5	<i>Resultados</i> .....	83
10.6.6	<i>Balance Hídrico General del Area Modelada</i> .....	92

## **CAPITULO 10 MODELO MATEMÁTICO**

### **10.1 GENERALIDADES**

El principal objetivo de este estudio es la construcción de un modelo de simulación hidrogeológico, que permita simular las condiciones del acuífero bajo distintos escenarios de explotación.

Atendiendo al objetivo principal del estudio, esto es, la definición y construcción de un modelo numérico regional de flujo subterráneo, se ha pretendido que previamente el modelo conceptual integre la información preexistente sobre las propiedades y funcionamiento del sistema, con la que se ha llegado a reunir en los trabajos realizados con motivo del presente proyecto.

En este estudio se incorpora nueva información que permite tener un mejor conocimiento de las características hidrogeológicas de la cuenca y el de su sistema hidrodinámico general.

Entre estos nuevos antecedentes destacan la construcción de perfiles geofísicos, construcción de pozos de exploración y realización de pruebas de bombeo para determinar las constantes hidrogeológicas en la zona alta de la cuenca del Copiapó donde no existía información al respecto, determinación in-situ de velocidades de infiltración que permitirán estimar de mejor manera la infiltración que se producen desde los cauces de los ríos hacia el acuífero, aforos periódicos en los ríos de la zona alta que permiten complementar la información de infiltración de los ríos además de entregar información respecto al comportamiento de estos.

Esto significa que, sobre la base de información con mayores grados de certeza, se formula un modelo conceptual del sistema, sobre el cual se basa un modelo numérico que será un reflejo tanto más fiel de la realidad, como a su vez lo sea el modelo conceptual generado.

Sin embargo, un modelo numérico no puede representar en términos prácticos, todas las características que tiene un sistema de flujo de agua subterránea, y por esta razón, debe establecerse cuales son los aspectos más relevantes e imprescindibles en el proceso de conceptualización. A continuación se describe a grandes rasgos el software Modflow (información obtenida de INVEREX, 2005)

## 10.2 MODELO CONCEPTUAL

La tarea de modelar numéricamente un sistema supone expresar el modelo conceptual en términos de parámetros susceptibles de ser manejados por un código matemático

### 10.2.1 Código MODFLOW

En este estudio se utilizó el código MODFLOW (McDonald & Hargauth, 1988), basado en el método de diferencias finitas. Este método simula la continuidad del sistema acuífero mediante matrices de celdas discretas, pero de propiedades uniformes.

Es el software de aguas subterráneas de mayor uso en el medio nacional (Sanitarias, Mineras, Universidades, Consultoras), programa que entre otras ventajas, simplifica la construcción de modelos tridimensionales, tanto de flujos subterráneos como de transporte de contaminantes; es una herramienta computacional muy útil y fácil de operar, por sus características visuales y de manejo de datos.

Como descripción general de estos modelos se puede mencionar que son capaces de resolver simulaciones en tres dimensiones, entregando resultados del problema de flujo, los cuales en conjunto con una serie de paquetes que posee el programa (M3TD y RT3D), se le puede asociar el problema de transporte de contaminantes y atenuación de los mismos, considerando como reactivo el producto contaminante.

Dentro de las ventajas de utilizar MODFLOW, se cuenta la facilidad para modelar y cuantificar los niveles de las aguas subterráneas. Sumado a lo anterior, hay que añadir que:

- Es uno de los modelos más utilizados y reconocidos internacionalmente en el área de la hidrogeología para la simulación de flujo.
- Presenta ventajas en la representación gráfica de los sistemas a modelar, facilitando la entrada de datos para definir el escenario de simulación.
- También es capaz de representar el fenómeno de manera tridimensional, lo que significa una ventaja para el caso de una representación del problema más completa con respecto a modelos unidimensionales o bidimensionales.

Visual Modflow consta de tres módulos separados

#### MODULOS DE VISUAL MODFLOW

ENTRADA (Input Module)



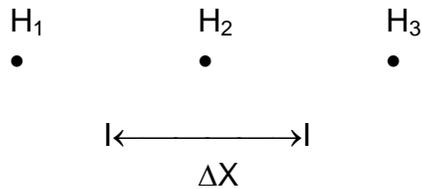
EJECUCION (Run Module)



SALIDA (Output Module)

### 10.2.1.1 Principio Básico

Modflow resuelve la ecuación en derivadas parciales del flujo subterráneo, a través del método de los elementos finitos.



Al reemplazar la diferencia infinitesimal  $\partial X$  por una diferencia finita  $\Delta X$ , la expresión izquierda de la ecuación de flujo queda:

$$\frac{\partial [K_x \partial H / \partial X]}{\partial X} = \frac{1}{\Delta X} [K(H_3 - H_2) - K(H_2 - H_1)]$$

Mientras más pequeña sea la discretización, mayor precisión, condición que se establece en la definición de la celda (cell o grid).

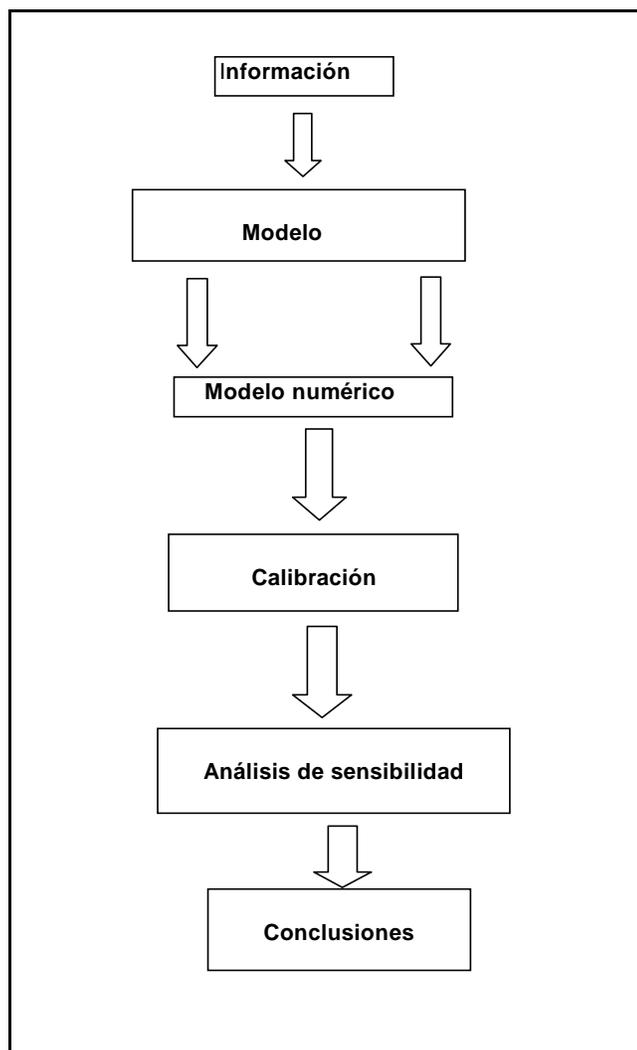
### 10.2.1.2 Hipótesis del Modelo

Existen varios supuestos o hipótesis inherentes al uso del código MODFLOW, entre ellas las siguientes:

- Conservación de la masa.
- Sólo flujo saturado.
- Flujo laminar.
- Flujo en monofase.
- Gravedad constante.
- Flujo independiente de efectos de temperatura y densidad.
- Propiedades uniformes dentro de cada celda.

### 10.2.1.3 Modelación del Acuífero

La *Figura 10.1* pretende ilustrar el proceso de modelación. Un modelo numérico es el reflejo del modelo conceptual, y su parecido a la realidad está acotado por la medida en que el modelo conceptual esté más o menos cercano a la misma.



**Figura 10.1: Diagrama del proceso de modelación**

Los modelos tienen principalmente dos objetivos: representar la realidad y basado en esa representación, simular situaciones futuras.

El diagrama mostrado en la *Figura N° 10.1*, se explica a continuación:

**Información.** Registro sistemático de niveles, caudales, volúmenes, horas de funcionamiento, etc.

**Modelación.** El armado del modelo contempla conocer la geometría del acuífero (Geología, Geofísica), condiciones de borde, y especialmente las recargas.

**Calibración.** En este proceso se determinan los parámetros del acuífero que reproducen los niveles de la napa registrados (se reservan algunos niveles para la etapa siguiente).

**Validación.** Con los parámetros determinados en el proceso anterior, se simula el comportamiento de la napa, confrontándola con los niveles reservados durante la calibración; en caso de reproducirse satisfactoriamente los niveles, se acepta el modelo, de no ser así, se vuelve a la etapa de calibración y se repite el proceso.

**Simulación.** En esta etapa, y con escenarios futuros posibles, se simula el comportamiento del acuífero, de tal manera de disponer de antecedentes para gestionar de manera eficiente los recursos subterráneos.

### 10.2.2 Etapas del Modelo

La información que el modelo requiere para su funcionamiento se puede dividir en términos generales en tres grupos, los cuales corresponden a:

- Geometría o dominio del sistema a modelar y su malla para la resolución del problema mediante el método de diferencias finitas.
- Parámetros característicos del terreno, propiedades hidráulicas, etc.
- Condiciones de borde.

El primer grupo de información corresponde a los pasos básicos necesarios para la creación del nuevo modelo del sistema que se desea resolver. Visual MODFLOW para este propósito posee dos alternativas:

- Importar un plano del sector a modelar preexistente, el cual debe ser un archivo \*.DXF, que corresponde a un formato del programa de dibujo AUTOCAD o \*.BMP (Imagen), y luego definir dentro del modelo el número de columnas, filas y capas del sistema, especificando cota mínima ( $Z_{min}$ ) y cota máxima ( $Z_{max}$ ). Si bien con la definición de las columnas, filas y capas queda definida una malla factible a ser usada por el método de diferencias finitas, ésta puede ser refinada dentro del modelo, particularmente en áreas de interés, como por ejemplo zonas de discontinuidad del acuífero, zonas de concentración de pozos, etc.
- Definir dentro de Visual MODFLOW la geometría del sistema, definiendo las dimensiones en planta de la zona y luego el número de columnas, filas y las capas de manera análoga al caso anterior. Esta opción presenta como desventaja que elementos tales como ríos, zonas de discontinuidad de las propiedades del acuífero y otros elementos, no son visualizados tan fácilmente como en la alternativa anterior, en donde éstas podían venir dibujadas en el mismo plano.

Una vez creado el modelo, se debe definir el sistema métrico a ocupar entre los disponibles en Visual MODFLOW. Además, para el caso de superficies variables de las capas (layers) del sistema, éstas pueden ser importadas desde archivos SURFER o ASCII.

Con respecto al segundo grupo de información, se pueden nombrar lo siguientes parámetros necesarios para la ejecución del modelo:

- ✓ Conductividad Hidráulica (K): Se debe ingresar los valores de la conductividad en X (automáticamente Visual MODFLOW asigna  $K_x = K_y$ ), y en Z. Posteriormente se puede definir coeficientes de anisotropía (por ejemplo sí  $K_x \neq K_y$ ).
- ✓ Almacenamiento Específico ( $S_s$ ): Este coeficiente corresponde a la cantidad de agua liberada o almacenada por unidad de volumen, debido a la compresibilidad del esqueleto del suelo y el agua.
- ✓ Capacidad Específica ( $S_y$ ): Este coeficiente corresponde a la razón entre el volumen de agua que drena desde una muestra de suelo saturado debido a efectos gravitacionales y el volumen total de la muestra.
- ✓ Porosidad Total: Corresponde a la razón entre el volumen de vacíos (entendiéndose por volumen de vacíos al volumen ocupado por agua más el volumen ocupado por aire en una determinada muestra de suelo) y el volumen total de una muestra de suelo.
- ✓ Porosidad Efectiva (Eff.Por): Corresponde a la razón entre el volumen de vacíos que realmente se encuentran conectados y el volumen total de una muestra de suelo. En general los valores de la porosidad efectiva y porosidad total son muy parecidos.

Se debe notar que estas propiedades pueden variar en el espacio para un determinado sistema a modelar, para lo cual Visual MODFLOW permite la asignación de tales variaciones espaciales, marcando las zonas con el cursor y asignando las nuevas propiedades a la zona ya definida y de esta forma, las zonas con propiedades específicas son visualizadas a través de distintos colores.

Un aspecto importante en la modelación de un determinado sistema es la incorporación de pozos al modelo. Visual MODFLOW permite incorporar (o eliminar) la existencia de pozos gráficamente, en donde al seleccionar la opción para la asignación de pozos, éstos pueden ser creados en el modelo sólo al marcar el lugar e ingresar los parámetros necesarios para su definición. Los tipos de pozos que se pueden definir en Visual MODFLOW son:

- Pozos de extracción: Se definen asignando una tasa de extracción negativa.
- Pozos de inyección: Se definen asignando una tasa de extracción positiva.
- Pozos de observación: Estos pozos pueden ser utilizados como puntos de observación para las cargas hidráulicas, en donde éstas son salvadas en este nodo para todos los pasos de tiempo previamente definidos.

Un pozo queda definido al especificar su nombre dentro del modelo, su tasa de extracción (o inyección), tiempo de funcionamiento (inicio y término), profundidad, coordenadas y ubicación de cribas (dónde efectivamente se extrae o se inyecta el agua).

En cuanto a las condiciones de borde, Visual MODFLOW posee varios módulos en que se asignan condiciones de borde al sistema, entre los cuales están:

1. Carga Constante: Es posible asignar, en determinadas zonas y capas de la región modelada, la condición de carga constante con sólo seleccionar dicha alternativa y marcar en el plano base los sectores que tienen carga constante. Al asignar carga constante a alguna zona se debe definir:
  - Tiempo Inicio; tiempo en que se comienza a aplicar la condición de borde.
  - Tiempo Final; tiempo en que se deja de aplicar la condición de borde. Es posible que en simulaciones en estado transiente esta condición varíe.
  - Valor inicial y final de la carga (m); si estos valores son distintos, Visual MODFLOW interpola linealmente en el tiempo (final e inicial), por lo que en este caso la carga no es constante en el tiempo.
2. Ríos: Con esta opción, Visual MODFLOW permite incorporar una condición de aguas superficiales dentro de un modelo de flujo de aguas subterráneas. De esta manera es posible simular las interrelaciones entre cuerpos de agua superficiales y sistemas de aguas subterráneas, los cuales, dependiendo del gradiente hidráulico entre el cuerpo de agua superficial y el régimen de aguas subterráneas, pueden ser aportes de la napa al cuerpo superficial o en sentido contrario (Visual MODFLOW User's Manual).

La información necesaria de definir en cada una de las celdas que poseen esta condición de borde es la siguiente:

- Cota o elevación de la superficie libre del cuerpo de agua; esta condición puede variar en el tiempo.
- Cota del fondo del río.
- Conductancia; corresponde a un parámetro numérico que representa la resistencia al flujo entre el cuerpo de agua superficial y el agua subterránea. Este parámetro se calcula de acuerdo a la siguiente relación:

$$C = \frac{K \cdot L \cdot W}{M} \quad (9.3)$$

Donde C corresponde a la conductancia, K es la conductividad hidráulica del material que conforma la cama del río, L es el largo de alcance a través de una celda, W es el ancho del río en la celda y M es el espesor de la cama del río.

3. Drenes: Esta condición fue desarrollada para simular los efectos de drenajes, como los que se presentan en zonas agrícolas, en donde estos drenes remueven agua del acuífero a una tasa proporcional a la diferencia de carga

entre la del acuífero y alguna elevación o carga fijada (el modelo asume que el dren no tiene efecto, si la carga en el acuífero cae bajo la carga fijada) (Visual MODFLOW User's Manual).

La información que se requiere definir en cada una de las celdas que poseen esta condición de borde es la siguiente:

- Cota del dren; corresponde a la carga del dren de la superficie libre dentro de éste.
- Conductancia; parámetro que describe la pérdida de carga entre el dren y el sistema de aguas subterráneas.

*Se debe notar que para que el sistema modelado no quede indeterminado y sea factible de resolver por Visual MODFLOW al menos una de las condiciones de borde antes mencionadas debe ser aplicada.*

Otras condiciones de borde disponibles en Visual MODFLOW son:

4. Recarga: Las áreas de recarga más comunes ocurren por efectos de la precipitación, la cual percola y se incorpora al sistema de aguas subterráneas. Mediante Visual MODFLOW es posible simular la recarga de otras fuentes, tales como recargas artificiales (Visual MODFLOW User's Manual).

Para asignar la recarga a las celdas seleccionadas sólo se debe ingresar el tiempo inicio, el tiempo fin y el valor de la recarga.

5. Evapotranspiración: Esta simula los efectos conjuntos de la transpiración de las plantas y evaporación directa (Visual MODFLOW User's Manual). Esta condición sólo puede ser aplicada en la superficie y los datos requeridos más importantes son tiempo inicio, tiempo fin y valor de la evapotranspiración.

Una vez ingresados los datos necesarios para la ejecución del modelo, es posible poder ejecutar el modelo y resolver un problema de flujo de aguas subterráneas particular. Los resultados entregados por Visual MODFLOW pueden ser visualizados gráficamente en el mismo plano base, en donde se pueden observar velocidades (existiendo las alternativas de representar su dirección, magnitud o proyección) y además se pueden representar curvas isofreáticas, líneas de flujo, trayectorias de trazadores y otros.

Estos resultados además de poder visualizarse en la pantalla de trabajo de Visual MODFLOW pueden ser impresos o exportados a otros formatos, los que pueden ser del tipo gráfico o texto. Es posible además, para una mejor visualización de resultados e ingreso de parámetros, modificar la escala de dimensiones de la vertical con respecto a las dimensiones en planta, siendo posible efectuar cortes transversales y longitudinales del terreno en la zona de estudio.

### 10.3 MODELO CONCEPTUAL

El modelo conceptual describe el funcionamiento y características del sistema hidrogeológico. Para esto identifica los principales componentes del sistema como son la geología, hidrología, hidrogeología, recargas y descargas, además establece las relaciones existentes entre ellos, para posteriormente cuantificarlos e ingresarlos al modelo computacional.

En la siguiente figura se muestra el esquema del modelo conceptual del sistema.

#### **Aguas Arriba del Embalse Lautaro**

Las precipitaciones ocurren principalmente en las zonas altas de las cuencas. Parte de estas precipitaciones se infiltran ingresando de esta forma al acuífero y aportando como flujo lateral subterráneo al sistema, otra parte se transforma en flujo superficial y otra parte se evapora volviendo de esta manera a la atmósfera.

Los flujos superficiales en su camino al mar se juntan con flujos de otras cuencas formando así los distintos ríos. Los ríos Vizcachas y Ramadillas forman el río Pulido el que recibe también los aportes de los ríos El Potro, Montosa. El río Pulido se une al río Manflas y al río Jorquera en el sector de Las Juntas formando de esta forma al río Copiapó.

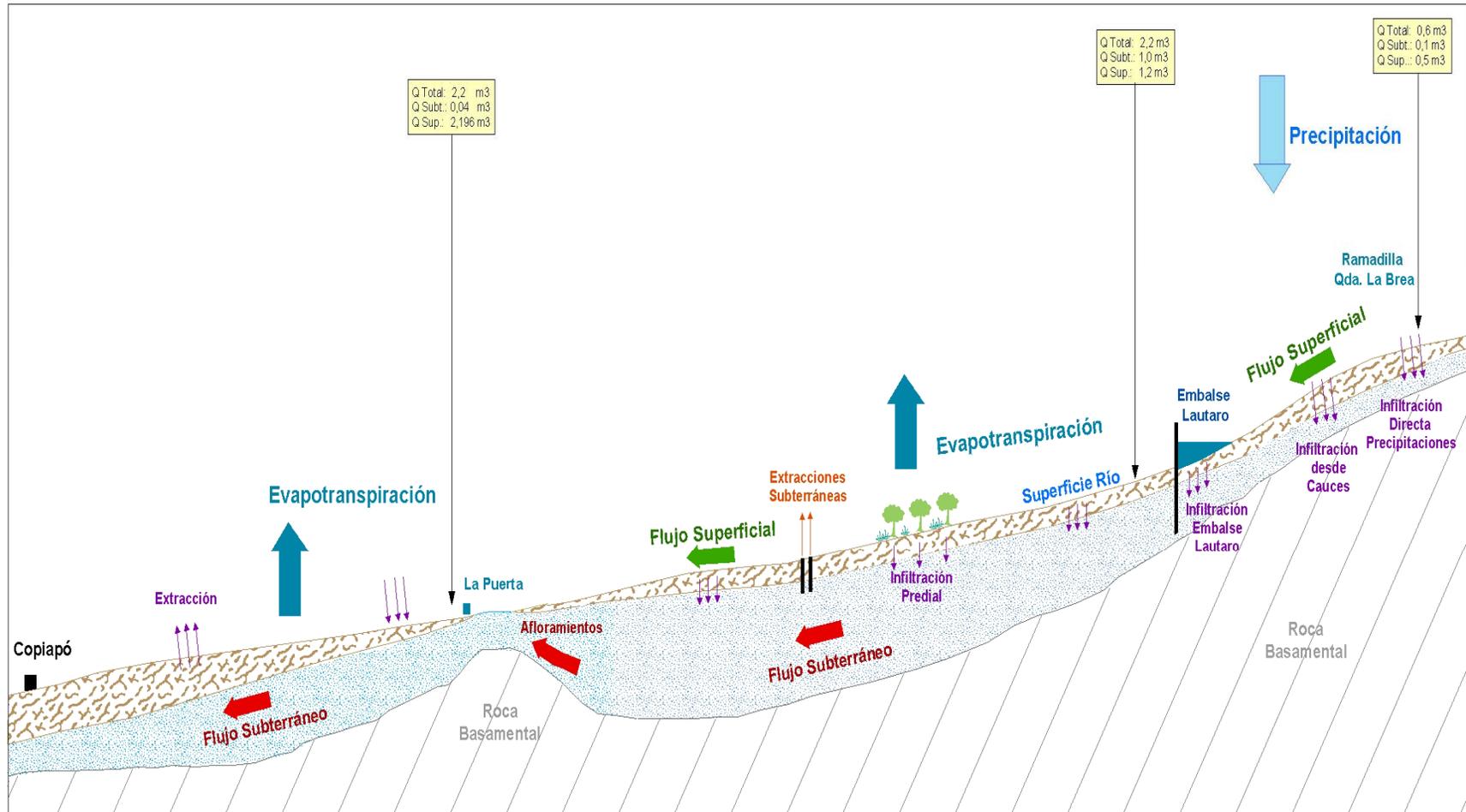
Las principales recargas ocurren por infiltración desde el cauce de los ríos (principalmente en el sector de las Juntas) y por infiltración desde los predios y canales de regadío.

Las descargas en este sector ocurren por extracciones subterráneas y por evapotranspiración desde los cultivos. En esta zona no existen descargas por vegas o por afloramientos.

El Flujo lateral subterráneo corresponde a los aportes subterráneos de las distintas cuencas que convergen a la zona de estudio, siendo las más importantes las de los ríos Jorquera, Manflas, El Potro, Montosa, Vizcachas, Quebrada La Brea y Ramadillas.

#### **Embalse Lautaro**

El embalse Lautaro se ubica aguas abajo del sector Las Juntas y recibe la totalidad del caudal del río Copiapó, estos ingresos se miden en la estación Copiapó en Pastillo. El embalse regula los caudales en el río almacenando las aguas en el período de mayores caudales, para entregarla en las época de menor flujo. El caudal de esta entrega se mide en la estación Copiapó en by-pass Lautaro.



**Figura 10.2: Esquema Modelo Conceptual.**

Parte de las aguas embalsadas se infiltran hacia el acuífero, otra parte se pierde por evaporación desde la lámina de agua y otra parte vuelve al cauce del río por filtraciones que se producen al pie del muro del embalse. Estas filtraciones no son medidas en la estación Copiapó en by-pass Lautaro.

### **Embalse Lautaro – La Puerta**

En el sector de La Puerta se produce un estrechamiento del valle y un ascenso del fondo rocoso, por lo que se puede considerar que la totalidad del agua que pasa por este punto es superficial. En este punto se encuentra la estación fluviométrica La Puerta de la DGA.

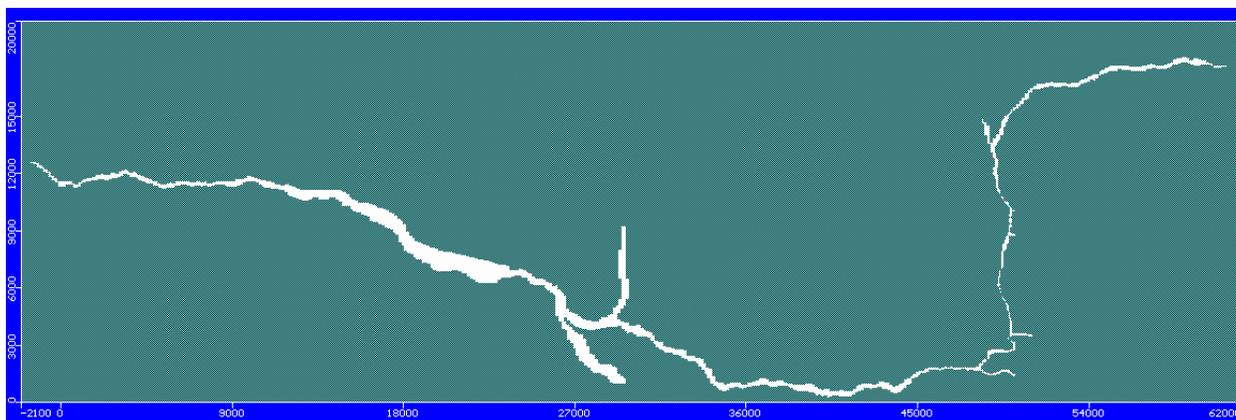
Debido a lo anterior se considera que toda el agua subterránea de este sector aflora para transformarse en caudal superficial.

Los ingresos como flujo lateral corresponden al caudal subterráneo que infiltra desde el embalse Lautaro más el caudal subterráneo proveniente del sector aguas arriba del embalse. Otro ingreso subterráneo pero de menor importancia se debe al flujo que ingresa por Quebrada Calquis.

Las descargas en este sector se producen por evapotranspiración desde los cultivos y desde la zona de vegas, por extracciones de agua desde pozos y por afloramientos.

## **10.4 DOMINIO DEL MODELO**

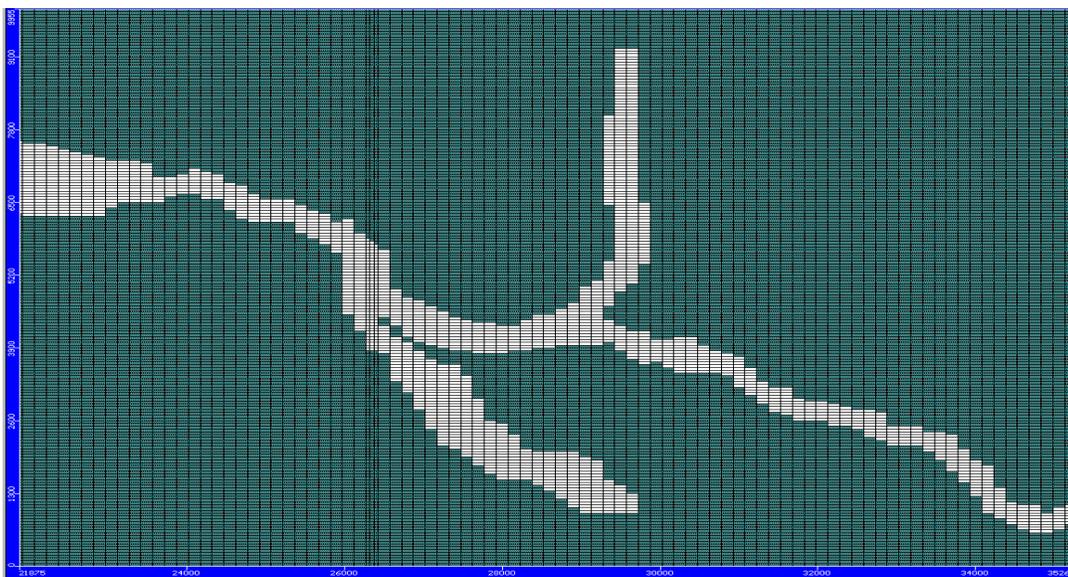
El área a modelar abarca desde el sector del proyecto, en la confluencia de la Quebrada La Brea con el Río Ramadillas, siguiendo por el río Pulido y posteriormente el río Copiapó hasta el sector de La Puerta. En la *Figura 10.3* se muestra el área considerada en el modelo.



**Figura 10.3 - Dominio del Modelo.**

### 10.4.1 Discretización Espacial

Se consideró una malla para el modelo de 400 filas por 455 columnas, lo que da un total de 182.000 celdas. Las celdas son de 150 m x 50 m, salvo en los sectores de los pozos donde hay un refinamiento de la grilla. Se debe considerar que gran parte de las celdas permanecerán inactivas, ya que el acuífero se encuentra sólo en los sectores de los cauces de los ríos.



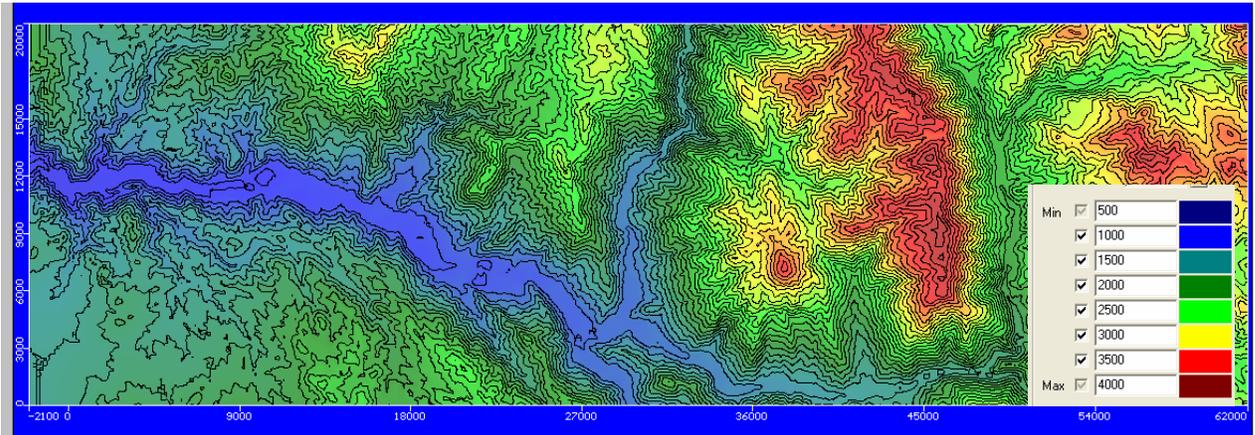
*Figura 10.4 - Discretización Espacial (Sector Juntas).*

### 10.4.2 Geometría del Acuífero

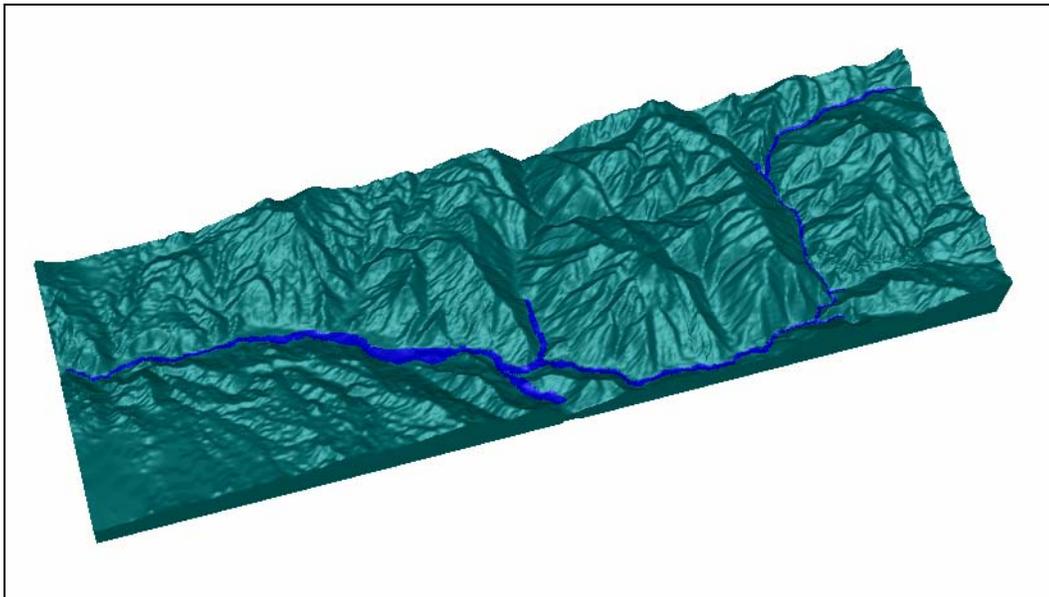
La geometría del acuífero queda definida por la topografía superficial y por su fondo rocoso. Se consideró una sola capa para el acuífero.

#### 10.4.2.1 Topografía Superficial

En las *Figuras 10.5 y 10.6* muestran la topografía de superficie ingresada al modelo desde el formato Surfer.



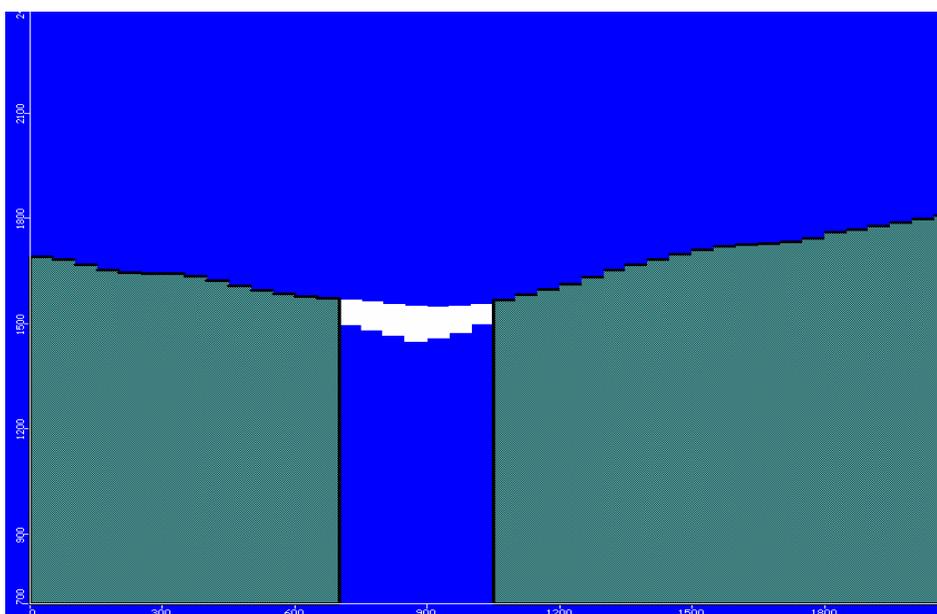
**Figura 10.5 - Topografía Superficial 2-D.**



**Figura 10.6 - Topografía Superficial 3-D.**

#### 10.4.2.2 Topografía de Fondo

Para determinar la topografía del fondo del acuífero se utilizó la información obtenida de la campaña geofísica (perfiles TEM) realizada para este estudio y la topografía superficial determinada anteriormente. La metodología para la construcción del fondo se indica en el capítulo hidrogeología. En la *Figura 10.7*, se observa un corte, de una sección del modelo.



**Figura 10.7: Vista en Corte de una Sección del Modelo (Sector Iglesia Colorada).**

### **10.4.3 Condiciones de Borde**

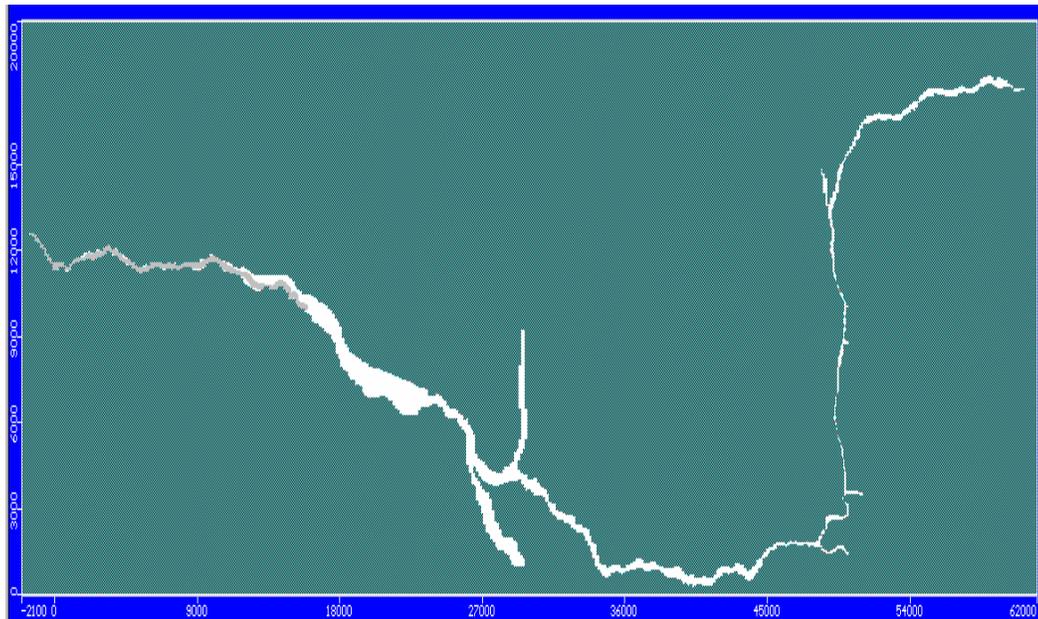
Las condiciones de borde son aquellas que permiten asignar las condiciones físicas reales (o supuestas) a los límites del modelo.

#### **10.4.3.1 Nivel constante**

Se asignó una condición de nivel constante a nivel del terreno en la salida del modelo sector La Puerta.

#### **10.4.3.2 Drenes**

Para simular los afloramientos que se producen en el sector bajo el Embalse Lautaro (desde San Antonio a La Puerta) se asignó a las celdas donde se ubica el río un comportamiento de dren. En la *Figura 10.8* se muestra la ubicación de los drenes.

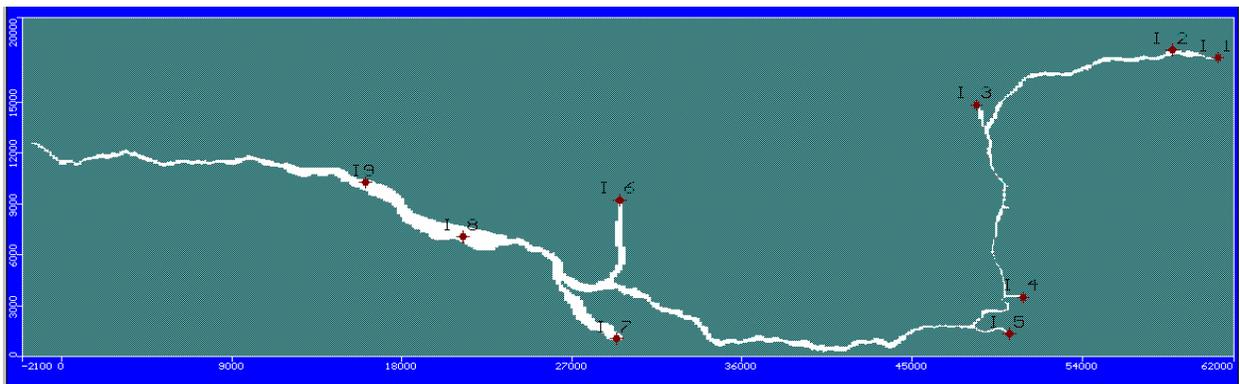


**Figura 10.8: Ubicaciones Drenes.**

## 10.4.4 Recarga

### 10.4.4.1 Flujos Laterales

Los ingresos subterráneos que se producen por las distintas quebradas fueron simulados por pozos de inyección ubicados en los puntos de ingreso al sistema. La distribución de los pozos se muestra en la *Figura 10.9*.



**Figura 10.9: Flujos Laterales.**

**Tabla 10.1**

Pozo	Sector
I1	Ramadillas aguas arriba Qda La Brea
I2	Quebrada La Brea
I3	Río Vizcachas
I4	Río El Potro
I5	Río Montosa
I6	Río Jorquera
I7	Río Manflas
I8	Infiltración Embalse Lautaro
I9	Quebrada Calquis

Además de los flujos laterales mencionados en la Tabla 10.1 se han considerado aportes de los macizos rocosos menores del entorno de los cauces.

#### 10.4.4.2 Infiltración desde Cauces

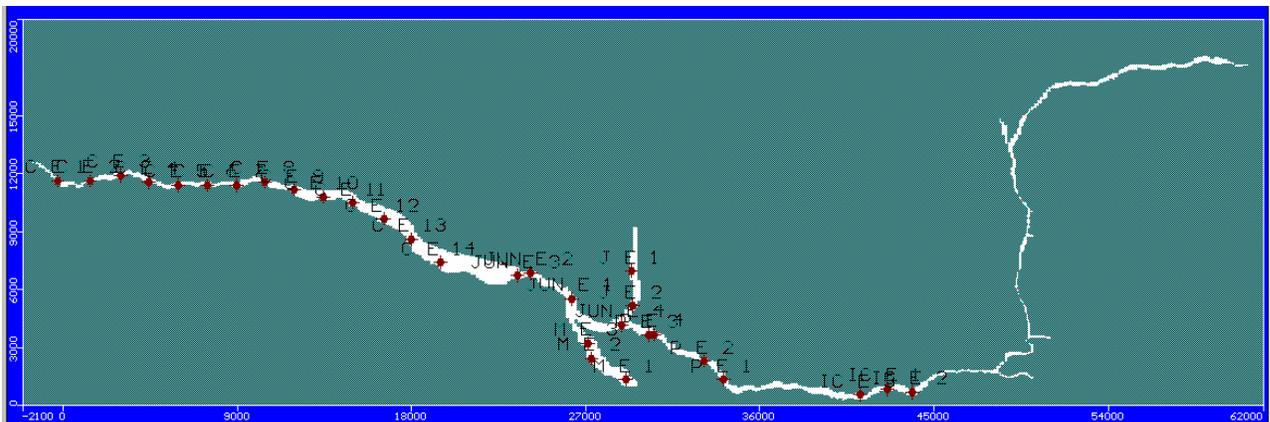
La infiltración que se produce en el sector bajo las estaciones fluviométricas de los ríos Pulido, Jorquera y Manflas, y aguas arriba del embalse Lautaro se simuló considerando una infiltración constante en las celdas que corresponden al cauce del río para esa zona.

#### 10.4.4.3 Infiltración Embalse Lautaro

La infiltración del embalse Lautaro se simuló con un pozo de inyección ubicado en el sector del embalse. Su ubicación se muestra en la *Figura 10.9*.

#### 10.4.5 Descarga

Las descargas se simularon por pozos de extracción ubicados en las distintas zonas donde existen cultivos, *Figura 10.10*. Como se indicó en el Capítulo 7 estas extracciones incluyen la evapotranspiración de los cultivos.



**Figura 10.10: Pozos de Extracción.**

## 10.5 CALIBRACIÓN EN RÉGIMEN PERMANENTE

### 10.5.1 Blancos de Calibración

Como blancos de calibración se utilizaron los pozos que cuentan con registro de niveles por parte de la DGA. En la zona alta se utilizaron los pozos de exploración (realizados para este estudio). En la *Figura 10.11* se muestra la ubicación de los pozos.

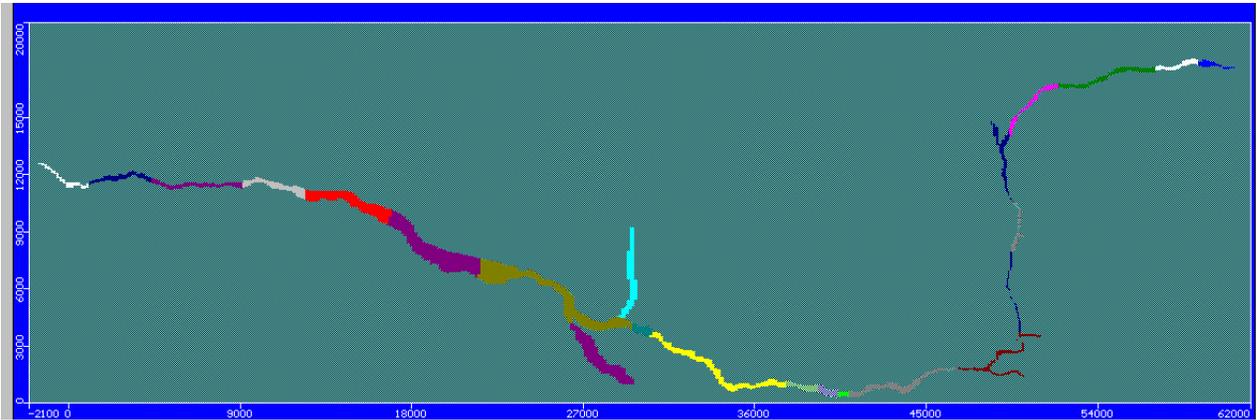


**Figura 10.11: Blancos de Calibración.**

Para la calibración en régimen permanente se utilizaron los valores promedios de los niveles en los pozos medidos.

### 10.5.2 Permeabilidad

Las permeabilidades consideradas en el modelo se muestran en la figura 10.12.



Zone	Kx [m/d]	Ky [m/d]	Kz [m/d]
1	5	5	5
2	25	25	25
3	8	8	8
4	50	50	50
5	40	40	40
6	80	80	80
7	110	110	110
8	30	30	30
9	36.5	36.5	36.5
10	2	2	0.2
11	23	23	23
12	100	100	100
13	110	110	110
14	10	10	10
15	45	45	45
16	19	19	19
17	17	17	17

**Figura 10.12: Permeabilidad del modelo**

### 10.5.3 Recarga

### 10.5.4 Flujo Lateral

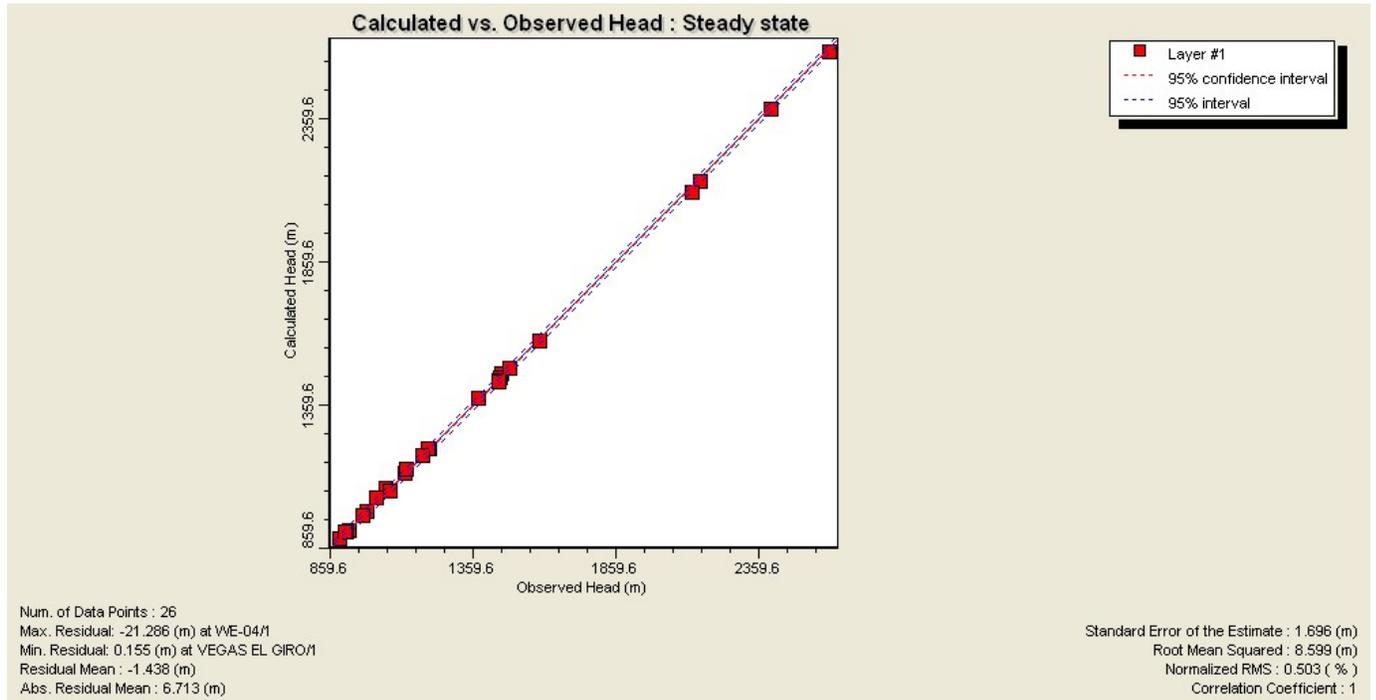
Los caudales obtenidos en el período de calibración para las recargas son:

**Tabla 10.2: Caudales de Recarga.**

Pozo	Sector	Q (l/s)
I1	Ramadillas aguas arriba Qda La Brea	58
I2	Quebrada La Brea	8
I3	Río Vizcachas	27
I4	Río El Potro	30
I5	Río Montosa	80
I6	Río Jorquera	160
I7	Río Manflas	61
I8	Infiltración Embalse Lautaro	1.086
I9	Quebrada Calquis	50
	Macizos Rocosos a lo largo del acuífero	22
<b>TOTAL</b>		<b>1.582 l/s</b>

## 10.5.5 Resultados

En la *Figura 10.13* se muestran los resultados de la calibración donde se comparan los valores observados con los simulados.



**Figura 10.13: Niveles Calculados vs Observados.**

Como se ve se logró un buen ajuste de los valores. En la figura 10.13 el error medio (EM) es de 1,6 m y el error normalizado (RMSN) es de 0,5%. Lo que esta dentro del rango de una buena calibración EM menor a 0,5 m y RMSN 10%.

## 10.6 RÉGIMEN TRANSIENTE

### 10.6.1 Período de Calibración

La calibración en régimen transiente se realizó entre el 01 de Enero de 1986 y 31 de Diciembre de 2005, que es el período en el cual se cuenta con información de niveles históricos en los pozos (blancos de calibración).

### 10.6.2 Constantes Hidrogeológicas

Para la permeabilidad se consideró la misma distribución que la obtenida en el régimen permanente.

El coeficiente de almacenamiento utilizado fue de 15%.

### 10.6.3 Recarga

Se consideró una variación de la recarga con la precipitación. Como flujo base se consideró un 80% del caudal utilizado en la recarga en régimen permanente. Por lo tanto la precipitación influirá solamente en el 20% restante.

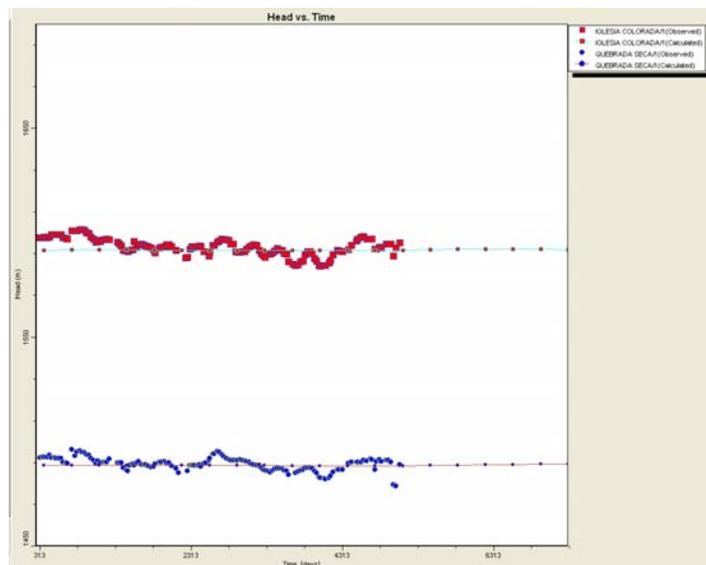
### 10.6.4 Descarga

Entre el año 1986 y el año 1995 se consideró los valores de evapotranspiración del estudio DGA 1995 y para el período de 1995 a 2005 los valores determinados por este estudio.

### 10.6.5 Resultados

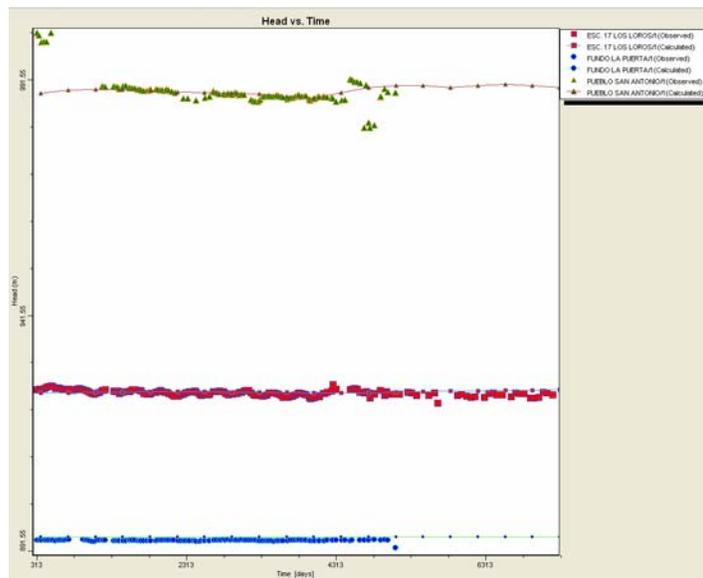
En las *Figuras 10.14 y 10.15* se muestran los niveles obtenidos con el modelo vs los niveles históricos.

## Aguas Arriba del Embalse Lautaro



**Figura 10.14: Calibración Arriba del Embalse.**

## Aguas Abajo del Embalse Lautaro



**Figura 10.15: Calibración Abajo del Embalse.**

### 10.6.6 BALANCE HÍDRICO GENERAL DEL AREA MODELADA

Las condiciones modeladas finalmente se ajustan al siguiente balance general para el área:

<b>Recarga</b>	<i>Flujos Laterales</i>	<i>Infiltración Canales y Cauces</i>	<i>Infiltración Embalse Lautaro</i>		<b>TOTAL I/s</b>
<i>I/s</i>	<b>495</b>	<b>308</b>	<b>1.086</b>		<b>1.889</b>
<b>Descarga</b>	<i>Extracción Subterránea</i>	<i>Evapotranspiración Vegas</i>	<i>Afloramientos bajo Embalse Lautaro</i>	<i>Caudal Subterráneo de salida en La Puerta</i>	
<i>I/s</i>	<b>241*+370**</b>	<b>111***</b>	<b>1.149</b>	<b>18</b>	<b>1.889</b>

- \* Extracción aguas subterráneas aguas arriba del Embalse
- \*\* Extracción aguas subterráneas entre Embalse y La Puerta
- \*\*\* Caudal calculado por la DGA

## **CAPITULO 11 – EVALUACIÓN DE ESCENARIOS**

11.1	ESCENARIO 1, SIN TRASLADO DE DERECHOS, SIN MEDIDAS VOLUNTARIAS.....	98
11.1.1	Distribución de los Pozos .....	98
11.1.2	Resultados .....	98
11.2	ESCENARIO 2, SIN TRASLADOS, CON MITIGACIÓN. ....	99
11.2.1	Distribución de los pozos .....	99
11.2.2	Resultados .....	99
11.3	ESCENARIO 3, CON TRASLADOS, SIN MITIGACIÓN. ....	100
11.3.1	Distribución de los pozos .....	100
11.3.2	Resultados .....	100
11.4	ESCENARIO 4, CON TRASLADOS, CON MITIGACIÓN. ....	101
11.4.1	Distribución de los pozos .....	101
11.4.2	Resultados .....	101

## CAPITULO 11

### EVALUACIÓN DE ESCENARIOS

El proyecto Caserones requiere como máximo en su desarrollo un caudal de 580 l/s durante 27 años. De este caudal, hay que descontar el agua que ya estaba en uso agrícola a la fecha del Proyecto y que fue adquirida por la Compañía. El agua en uso agrícola, para la primera sección, alcanza los 80 l/s, y en la segunda sección 300 l/s. Considerando el uso agrícola en un 50% del tiempo, el total en uso continuo alcanza los 190 l/s. Con ambas cifras, el consumo máximo de la planta y el agua ya en uso, el caudal neto que afecta a la cuenca es de 390 l/s.

Por otra parte, el Proyecto considera medidas voluntarias que significan el ingreso de 40 l/s desde vertientes en el sector de Carrizal, y 12,5 l/s por disminución de la evaporación en el sector del embalse Lautaro. En estas condiciones, el flujo que realmente afecta a la cuenca es entonces de 337,5 l/s (caudal neto menos las medidas voluntarias).

Se tiene además que es posible optimizar la afección de los caudales mediante una redistribución de los puntos de captación en la primera sección, de forma de “subir” parte de los derechos desde el sector de Iglesia Colorada hasta zonas cercanas al Proyecto en los ríos Ramadillas y Pulido.

Los escenarios a evaluar corresponden entonces a la explotación de 390 l/s desde pozos ubicados donde actualmente están los derechos, y desde un escenario con traslados de derechos.

Otros dos escenarios corresponden a la explotación máxima de 337,5 l/s desde pozos con ubicación actual y desde pozos en otra ubicación, que hace mas eficiente su explotación.

Los escenarios consideran extracción desde los pozos con derechos en los sectores 1 y 2, ubicados de acuerdo a lo descrito en el capítulo donde se indican los derechos que tiene la Compañía.

En todos los escenarios el caudal a extraer desde los pozos es menor al caudal en derecho, dejando un margen del orden del 25% para poder cambiar los caudales. Esta situación permitiría, de ser necesario, un manejo dinámico de las extracciones para optimizar la explotación del acuífero.

Los escenarios mencionados corresponden a situaciones extremas entre las cuales se puede mover la Compañía durante la vida útil del Proyecto. No significa que serán las condiciones fijas de extracción del recurso ya que se considera, de ser necesaria una optimización del sistema, la posibilidad de extraer agua desde cualquiera de los pozos sobre los cuales tiene derechos.

Los cuatro escenarios se corren en un período de 100 años, considerando como año 1 el año 2008. Esto significa que, dejando de explotar los pozos que estaban en uso, y sumando las medidas voluntarias mencionadas, el Proyecto se inicia con un aporte de agua al sistema hídrico.

Los resultados de todos los escenarios indican una disminución en los niveles subterráneos, y una disminución del aporte de las vertientes del sector embalse Lautaro –La Puerta al flujo superficial de La Puerta. Esta disminución se sitúa entre 300 a 390 l/s como máximo. Recordemos que los flujos superficiales del río Copiapó en La Puerta son del orden de los 2.200 l/s en promedio.

Caudales	POZOS PERTENECIENTES A LA COMPAÑÍA										
	J. Prohens	Pesenti 1	Pesenti 2	Doña Berta	PEL1	PER2	A. Fruit	Nilahue	RE3	RE2	Totales
Q derecho [l/s]	80	19	61	100	60	55	25	25	100	100	625
Q en uso [l/s]	40	9.5	30.5	50	0	27.5	12.5	12.5	0	7.5	190
Q max al Proyecto [%]	85%	85%	85%	85%	100%	100%	85%	85%	100%	100%	
Q max al Proyecto [l/s]	68	16.15	51.85	85	60	55	21.25	21.25	100	100	578.5
Q max sin uso [l/s]	28	6.65	21.35	35	60	27.5	8.75	8.75	100	92.5	388.5

## 11.1 ESCENARIO 1, Sin traslado de derechos, Sin medidas voluntarias.

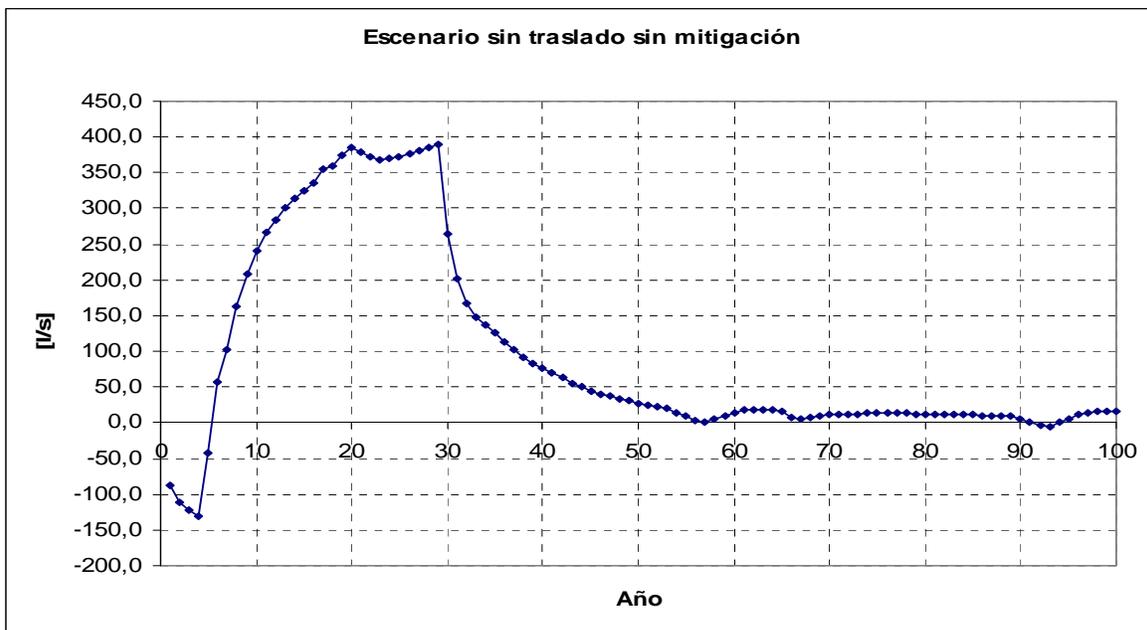
### 11.1.1 Distribución de los Pozos

En este escenario se explota el caudal que en derecho tiene cada pozo perteneciente a MLCC, sin considerar traslados, con un caudal de extracción máximo de 390 l/s. Los pozos son aquellos mencionados en el capítulo de derechos de agua. El comportamiento de cada uno de ellos en este escenario se muestra en la tabla adjunta.

### 11.1.2 Resultados

En este escenario disminuyen los niveles en todo el sector modelado, sin producirse secado importante de celdas.

Los resultados obtenidos nos indican una disminución del caudal superficial en La Puerta que alcanza un máximo de 380 l/s hacia el final de la explotación del Proyecto. Terminada la extracción, el caudal se recupera casi por completo en 55 años.



## 11.2 ESCENARIO 2, Sin traslados, Con mitigación.

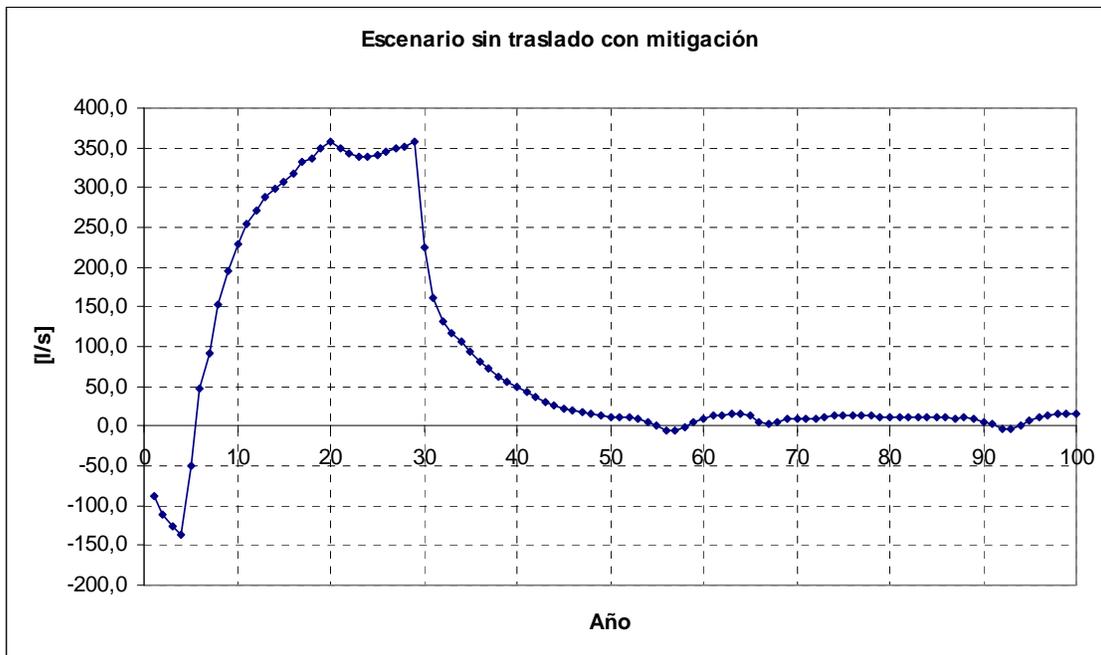
### 11.2.1 Distribución de los Pozos

Al igual que en el escenario anterior, en este escenario se explota el caudal que en derecho tiene cada pozo perteneciente a MLCC, sin considerar traslados, con un caudal de extracción máximo de 337,5 l/s ya que considera los 52,5 l/s de medidas voluntarias. Los pozos son aquellos mencionados en el capítulo de derechos de agua. El comportamiento de cada uno de ellos en este escenario se muestra en la tabla adjunta.

### 11.2.2 Resultados

En este escenario disminuyen los niveles en todo el sector modelado, sin producirse secado importante de celdas.

Los resultados obtenidos nos indican una disminución del caudal superficial en La Puerta que alcanza un máximo del orden de 355 l/s hacia el final de la explotación del Proyecto. Terminada la extracción, el caudal se recupera casi por completo en aproximadamente 55 años.



### 11.3 ESCENARIO 3, Con traslados, Sin mitigación.

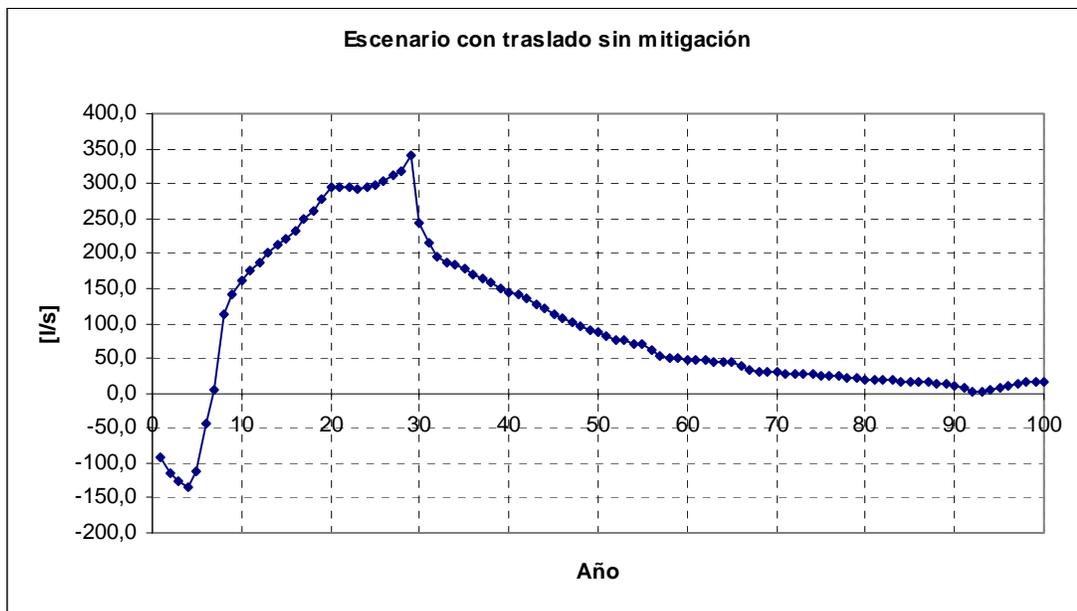
#### 11.3.1 Distribución de los Pozos

Al igual que en escenarios anteriores, en este escenario se explota el caudal que en derecho tiene cada pozo perteneciente a MLCC. En este caso se consideran traslados, con un caudal de extracción máximo de 390 l/s ya que no considera las medidas voluntarias. Los pozos son aquellos mencionados en el capítulo de derechos de agua. El comportamiento de cada uno de ellos en este escenario se muestra en la tabla adjunta.

#### 11.3.2 Resultados

En este escenario disminuyen los niveles en todo el sector modelado, sin producirse secado importante de celdas.

Los resultados obtenidos nos indican una disminución del caudal superficial en La Puerta que alcanza un máximo del orden de 350 l/s hacia el final de la explotación del Proyecto. Terminada la extracción, el caudal se recupera casi por completa aproximadamente en el año 90.



## 11.4 ESCENARIO 4, con Traslados, con Mitigación.

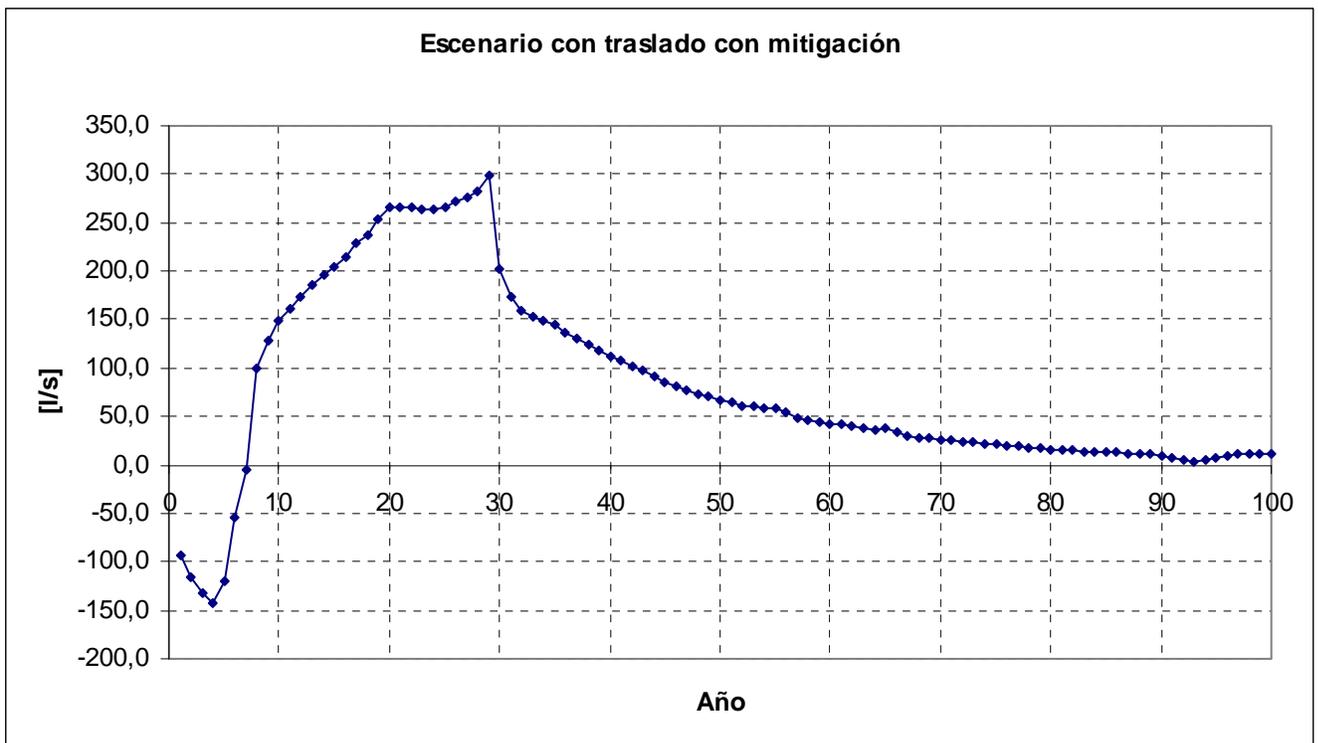
### 11.4.1 Distribución de los Pozos

Al igual que en escenarios anteriores, en este escenario se explota el caudal que en derecho tiene cada pozo perteneciente a MLCC. En este caso se consideran traslados, y se consideran las medidas voluntarias, con lo que el caudal a extraer es de 337,5 l/s.

### 11.4.2 Resultados

En este escenario disminuyen los niveles en todo el sector modelado, sin producirse secado importante de celdas.

Los resultados obtenidos nos indican una disminución del caudal superficial en La Puerta que alcanza un máximo del orden de 300 l/s hacia el final de la explotación del Proyecto. Terminada la extracción, el caudal se recupera casi por completo aproximadamente en el año 90.



Año	POZOS DE EXTRACCIÓN ESCENARIO SIN TRASLADO SIN MITIGACIÓN														
	CCH1	CCH2	CCH3	CCH4	CCH5	J. Prohens	Pesenti 1	Pesenti 2	Doña Berta	PEL1	PER2	A. Fruit	Nilahue	RE3	RE2
2009	-6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.0	30.5	9.5	50.0	0.0	27.5	12.5	12.5	0.0	7.5
2010	-20.0	-3.0	0.0	0.0	0.0	40.0	30.5	9.5	50.0	0.0	27.5	12.5	12.5	0.0	7.5
2011	-20.0	-14.0	0.0	0.0	0.0	40.0	30.5	9.5	50.0	0.0	27.5	12.5	12.5	0.0	7.5
2012	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	26.0	30.5	9.5	50.0	0.0	27.5	12.5	12.5	0.0	7.5
2013	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	0.0	20.0	12.5	12.5	0.0	7.5
2014	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-41.5	-27.5	12.5	12.5	0.0	7.5
2015	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-54.0	-27.5	-4.0	12.5	0.0	7.5
2016	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	-70.0	-10.0
2017	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	-70.0	-19.0
2018	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	-70.0	-38.0
2019	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	-70.0	-38.0
2020	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	-70.0	-38.0
2021	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	-70.0	-38.0
2022	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	-70.0	-38.0
2023	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	-70.0	-38.0
2024	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	-70.0	-38.0
2025	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	-70.0	-38.0
2026	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	-70.0	-38.0
2027	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	-70.0	-38.0
2028	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	-70.0	-38.0
2029	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	-70.0	-38.0
2030	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	-70.0	-38.0
2031	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	-70.0	-38.0
2032	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	-70.0	-38.0
2033	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	-70.0	-38.0
2034	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	-70.0	-38.0
2035	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	-70.0	-38.0
2036	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	-70.0	-38.0
2037	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	-70.0	-38.0
2038	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	-70.0	-38.0

Año	POZOS DE EXTRACCIÓN ESCENARIO SIN TRASLADO CON MITIGACIÓN															
	CCH1	CCH2	CCH3	CCH4	CCH5	J. Prohens	Pesenti 1	Pesenti 2	Doña Berta	PEL1	PER2	A. Fruit	Nilahue	RE3	RE2	Mitigación
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.0	30.5	9.5	50.0	0.0	27.5	12.5	12.5	0.0	7.5	0.0
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.0	30.5	9.5	50.0	0.0	27.5	12.5	12.5	0.0	7.5	40.0
2011	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.0	30.5	9.5	50.0	0.0	27.5	12.5	12.5	0.0	7.5	52.5
2012	-10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.0	30.5	9.5	50.0	0.0	27.5	12.5	12.5	0.0	7.5	52.5
2013	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-4.0	50.0	0.0	27.5	12.5	12.5	0.0	7.5	52.5
2014	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	0.0	26.0	12.5	12.5	0.0	7.5	52.5
2015	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	0.0	-3.0	12.5	12.5	0.0	7.5	52.5
2016	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-1.5	0.0	7.5	52.5
2017	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	6.0	52.5
2018	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2019	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2020	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2021	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2022	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2023	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2024	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2025	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2026	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2027	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2028	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2029	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2030	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2031	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2032	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2033	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2034	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2035	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2036	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2037	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2038	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5

Año	POZOS DE EXTRACCIÓN ESCENARIO CON TRASLADO SIN MITIGACIÓN																					
	Caserones	Brea 1	Brea2	Ramadillas	Pulido	Carrizal 1	Carrizal 2	CCH1	CCH2	CCH3	CCH4	CCH5	J. Prohens	Pesenti 1	Pesenti 2	Doña Berta	PEL1	PER2	A. Fruit	Nilahue	RE3	RE2
2009	0.0	0.0	0.0	-6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.0	30.5	9.5	50.0	0.0	27.5	12.5	12.5	0.0	7.5
2010	0.0	0.0	0.0	-23.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.0	30.5	9.5	50.0	0.0	27.5	12.5	12.5	0.0	7.5
2011	0.0	0.0	0.0	-34.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.0	30.5	9.5	50.0	0.0	27.5	12.5	12.5	0.0	7.5
2012	0.0	0.0	0.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.0	30.5	9.5	50.0	0.0	27.5	12.5	12.5	0.0	7.5
2013	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-4.0	50.0	0.0	27.5	12.5	12.5	0.0	7.5
2014	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	0.0	26.0	12.5	12.5	0.0	7.5
2015	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	0.0	-3.0	12.5	12.5	0.0	7.5
2016	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-1.5	0.0	7.5
2017	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	6.0
2018	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0
2019	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0
2020	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0
2021	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0
2022	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0
2023	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0
2024	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0
2025	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0
2026	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0
2027	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0
2028	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0
2029	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0
2030	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0
2031	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0
2032	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0
2033	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0
2034	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0
2035	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0
2036	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0
2037	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0
2038	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0

Año	POZOS DE EXTRACCIÓN ESCENARIO CON TRASLADO CON MITIGACIÓN																						
	Caserones	Brea 1	Brea2	Ramadillas	Pulido	Carrizal 1	Carrizal 2	CCH1	CCH2	CCH3	CCH4	CCH5	J. Prohens	Pesenti 1	Pesenti 2	Doña Berta	PEL1	PER2	A. Fruit	Nilahue	RE3	RE2	Mitigación
2009	0.0	0.0	0.0	-6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.0	30.5	9.5	50.0	0.0	27.5	12.5	12.5	0.0	7.5	0.0
2010	0.0	0.0	0.0	-23.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.0	30.5	9.5	50.0	0.0	27.5	12.5	12.5	0.0	7.5	40.0
2011	0.0	0.0	0.0	-34.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.0	30.5	9.5	50.0	0.0	27.5	12.5	12.5	0.0	7.5	52.5
2012	0.0	0.0	0.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.0	30.5	9.5	50.0	0.0	27.5	12.5	12.5	0.0	7.5	52.5
2013	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-4.0	50.0	0.0	27.5	12.5	12.5	0.0	7.5	52.5
2014	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	0.0	26.0	12.5	12.5	0.0	7.5	52.5
2015	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	0.0	-3.0	12.5	12.5	0.0	7.5	52.5
2016	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-1.5	0.0	7.5	52.5
2017	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	6.0	52.5
2018	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2019	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2020	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2021	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2022	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2023	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2024	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2025	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2026	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2027	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2028	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2029	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2030	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2031	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2032	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2033	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2034	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2035	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2036	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2037	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5
2038	-2.0	-1.0	-2.0	-34.0	-20.0	-18.0	-18.0	-20.0	-20.0	-18.0	-20.0	-8.0	-28.0	-21.0	-6.5	-35.0	-60.0	-27.5	-9.0	-9.0	0.0	-13.0	52.5

## CAPITULO 12 - CONCLUSIONES

12.1	CONCLUSIONES GENERALES .....	101
------	------------------------------	-----

## CAPITULO 12 CONCLUSIONES

En virtud de los antecedentes recopilados y de los nuevos antecedentes surgidos de los trabajos de campo realizados para este estudio (construcción de pozos exploratorios y pruebas de bombeo, estudios geofísicos – TEM, mediciones de infiltración, etc.), el modelo hidrogeológico construido para simular las condiciones del acuífero, bajo distintos escenarios de explotación con un máximo de 390 l/s, permite obtener las siguientes conclusiones:

Sobre las características del acuífero

- i. El acuífero que se desarrolla en el área del estudio corresponde exclusivamente a depósitos fluvio aluvionales relacionados a los cauces de los ríos y esteros involucrados en el estudio. Estos acuíferos son en general de baja potencia y extensión areal y de alta transmisividad y coeficiente de almacenamiento.
- ii. Las condiciones geológicas determinan que prácticamente la totalidad del caudal subterráneo, de esta parte alta de la cuenca, aflora en el sector de La Puerta, sumándose al caudal superficial del río Copiapó en este punto. El caudal subterráneo aflorante entre el Embalse Lautaro y La Puerta es del orden de los 1.100 l/s.
- iii. La recarga total disponible para el área sobre La Puerta, tanto superficial como subterránea, corresponde al caudal superficial que pasa por el sector de La Puerta, estimado en promedio en 2.500 l/s, mas un caudal subterráneo estimado en no mas de 40 l/s.
- iv. En esta parte de la cuenca y en función de su recarga estimada, se han otorgados un total de 314,85 l/s superficiales (equivalente a 1.386 acciones en el Sector Uno y 1.902 acciones en el Sector Dos) y 4.899,86 l/s de caudal subterráneo de uso consuntivo, permanente y continuo.
- v. El modelamiento matemático del sector estableció una recarga total de 2.079 l/s, con una descarga a la fecha de 946 l/s como caudal subterráneo aguas arriba del sector de La Puerta. Este caudal subterráneo genera las actuales condiciones de escorrentías en la zona de La Puerta.
- vi. Dadas las condiciones geológicas de la cuenca, las extracciones subterráneas aguas arriba de La Puerta solo afectarán en algún momento el caudal aflorante antes de La Puerta y por ende el flujo superficial que pasa por ese sector.

### Sobre los resultados del Modelo

- vii. Con el modelo matemático se simuló el comportamiento del sistema considerando como línea base la explotación actual, sin cambios en el futuro. Este escenario se comparó con el escenario donde se suma la explotación de los pozos de MLCC. La diferencia de estos escenarios se observa en la disminución del caudal superficial de salida del modelo en La Puerta.
- viii. Los escenarios modelados tienen como explotación las extracciones netas por parte del Proyecto. El Proyecto requiere como agua fresca un máximo de 580 l/s. Dado que el Proyecto ha adquirido un total de 380 l/s en uso agrícola, se considera que la mitad de este caudal ya estaba en explotación, por lo que no significa un uso nuevo sobre la cuenca. Se establece que el agua que el Proyecto extraerá tiene un máximo de 390 l/s. Esta cifra disminuye cuando se consideran medidas voluntarias que significan aportes o disminución de extracciones por 52,5 l/s.
- ix. Los escenarios modelados consideran dos situaciones en relación a la ubicación de los pozos. Por una parte la extracción desde donde están ubicados los pozos de extracción, y por otra con traslados que optimizan la operación del acuífero.
- x. De esta forma se definen cuatro escenarios en la modelación, combinando caudales con y sin medidas voluntarias, y con y sin traslados. Todos ellos no producen desconexiones en el acuífero e indica que con el nivel actual de explotación, es posible extraer el caudal determinado.
- xi. Al comparar el resultado de la explotación, el escenario que optimiza de mejor forma la explotación es aquel con cambios de puntos de captación y que incluye las medidas voluntarias. Este escenario debería considerarse como el escenario real del Proyecto, donde la afección del caudal en La Puerta es del orden de los 300 l/s.

### Sobre otras consideraciones

La explotación real del acuífero por parte del Proyecto implicará la extracción posible desde todos los pozos de su propiedad en un programa flexible que permita optimizar la explotación del acuífero considerando los años de menor precipitación en la cuenca. Los escenarios presentados tratan de caracterizar las condiciones extremas a que dicho programa se puede enfrentar.

# APÉNDICE

# **MINERA LUMINA COPPER CHILE S. A. PROYECTO CASERONES**



## **INFORME DERECHOS DE AGUAS SUBTERRANEAS**

**14-OCTUBRE-2008**

## **DERECHOS DE AGUAS SUBTERRANEAS ADQUIRIDOS Y EN PROCESO DE ADQUISICION POR MLCC AL 14 DE OCTUBRE DE 2008**

Este documento constituye un resumen de los derechos que MLCC tiene en propiedad en la cuenca del río Copiapó y de aquellos que tiene en proceso de compra, con escrituras por firmar.

Se presentan un cuadro con el resumen general de todos los pozos, ordenados en el sentido del escurrimiento en la cuenca, separados por sector, con sus caudales, ubicación en coordenadas UTM, inscripción en Registro de Aguas del C. de B. Raíces y la indicación si se trata de un Pozo en uso o un Pozo sin uso.

También se presentan cuadros separados por Pozos en uso y Pozos sin uso

A continuación de los cuadros se incluye, para cada Pozo, un resumen de sus características con plano de ubicación y una fotografía del mismo, ordenados desde el primer pozo en la cuenca (CCh-1) hacia aguas abajo.

## DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUBTERRANEAS - MLCC

### RESUMEN GENERAL

ID	CODIGO POZO	Identificación del Pozo	Sector	Caudal (l/s)		Ubicación		Inscripción en el CBR			Observaciones Pozo
				por POZO	por SECTOR	N	E	Fojas	Nº	año	
1	CCh-1	Carrizalillo Chico CCh-1	1	58,5	319,5	6.886.995	411.523	116vta	73	2005	Sin Uso
2	CCh-2	Carrizalillo Chico CCh-2	1	54		6.887.388	411.286	118	74	2005	Sin Uso
3	CCh-3	Carrizalillo Chico CCh-3	1	40		6.887.855	411.084	119vta	75	2005	Sin Uso
4	CCh-4	Carrizalillo Chico CCh-4	1	60		6.887.955	410.939	121	76	2005	Sin Uso
5	CCh-5	Carrizalillo Chico CCh-5	1	27		6.889.135	409.940	122 vta	77	2005	Sin Uso
6	-	Pozo Jaime Prohens (Rodeo)	1	80		6.898.533	407.532	En proceso de compra			En Uso
7	-	Pozo Pesenti 1 (Juan P. Pesenti R.)	2	19	545,0	6.907.669	400.828	118vta	113	2008	En Uso
8	-	Pozo Pesenti 2 (Alberto Pesenti O.)	2	20		6.907.193	401.009	Inscripción en tramite			En Uso
	-	Pozo Pesenti 2 (Juan A. Pesenti O.)	2	21				Inscripción en tramite			En Uso
	-	Pozo Pesenti 2 (Jaime R. Pesenti O.)	2	20				Inscripción en tramite			En Uso
9	-	Pozo Mallorca (Agric. Doña Berta Ltda.)	2	100		6.908.510	401.230	En proceso de compra			En Uso
10	PEL-1	El Lindero (ex-Oasis), PEL-1	2	60		6.909.531	400.560	8	8	2007	Sin Uso
11	PER-2	El Retamo 2 (ex-Peppi), PER-2	2	55		6.913.174	398.424	6vta	7	2007	En Uso
12	-	Pozo Austral Fruit S.A.	2	25		6.915.661	397.184	Inscripción en tramite			En Uso
13	-	Pozo Nilahue	2	25		6.918.832	393.100	100	105	2008	En Uso
14	RE-3	Fundo El Fuerte, 3	2	100		6.921.546	390.023	128	82	2005	Sin Uso
15	RE-2	Fundo El Fuerte, 2	2	100	6.921.531	389.939	129vta	83	2005	En Uso, 15 l/s (1)	
16	DLB-2	Hacienda Deliber 2	3	50	231,0	6.931.940	382.750	11vta	11	2007	Sin Uso
17	DLB-1	Hacienda Deliber 1	3	100		6.932.920	382.580	10	10	2007	En Uso
18	CER-1	El Checo (ex Pozo Araya)	3	81		6.949.562	376.210	45vta	40	2006	Sin Uso (2)
<b>Total l/s</b>				<b>1.095,5</b>	<b>1.095,5</b>						

Nota: (1) Según información entregada por el vendedor al momento de la compra.  
(2) Pozo sin uso al momento de la compra, actualmente esta habilitado y en uso.

## DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUBTERRANEAS - MLCC

### POZOS EN USO

ID	CODIGO POZO	Identificación del Pozo	Sector	Caudal (l/s)		Ubicación		Inscripción en el CBR		
				por POZO	por SECTOR	N	E	Fojas	Nº	año
6	-	Pozo Jaime Prohens (Rodeo)	1	80	80	6.898.533	407.532	En proceso de compra		
7	-	Pozo Pesenti 1 (Juan P. Pesenti R.)	2	19	300,0	6.907.669	400.828	118vta	113	2008
8	-	Pozo Pesenti 2 (Alberto Pesenti O.)	2	20		6.907.193	401.009	Inscripción en tramite		
	-	Pozo Pesenti 2 (Juan A. Pesenti O.)	2	21				Inscripción en tramite		
	-	Pozo Pesenti 2 (Jaime R. Pesenti O.)	2	20				Inscripción en tramite		
9	-	Pozo Doña Berta	2	100		6.908.510	401.230	En proceso de compra		
11	PER-2	El Retamo 2 (ex-Peppi), PER-2	2	55		6.913.174	398.424	6vta	7	2007
12	-	Pozo Austral Fruit S.A.	2	25		6.915.661	397.184	Inscripción en tramite		
13	-	Pozo Nilahue	2	25		6.918.832	393.100	100	105	2008
15	RE-2	Fundo El Fuerte, 2 (Q <sub>total</sub> 100 l/s) (1)	2	15	6.921.531	389.939	129vta	83	2005	
17	DLB-1	Hacienda Deliber 1	3	100	100,0	6.932.920	382.580	10	10	2007
<b>Total l/s</b>				<b>480,0</b>	<b>480,0</b>					

Nota: (1) El derecho de aguas en este Pozo es por 100 l/s, al momento de la compra solo se captan 15 l/s, información entregada por el vendedor

## DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUBTERRANEAS - MLCC

### POZOS SIN USO

ID	CODIGO POZO	Identificación del Pozo	Sector	Caudal (l/s)		Ubicación		Inscripción en el CBR		
				por POZO	por SECTOR	N	E	Fojas	Nº	año
1	CCh-1	Carrizalillo Chico CCh-1	1	58,5	239,5	6.886.995	411.523	116vta	73	2005
2	CCh-2	Carrizalillo Chico CCh-2	1	54		6.887.388	411.286	118	74	2005
3	CCh-3	Carrizalillo Chico CCh-3	1	40		6.887.855	411.084	119vta	75	2005
4	CCh-4	Carrizalillo Chico CCh-4	1	60		6.887.955	410.939	121	76	2005
5	CCh-5	Carrizalillo Chico CCh-5	1	27		6.889.135	409.940	122 vta	77	2005
10	PEL-1	El Lindero (ex-Oasis), PEL-1	2	60	245,0	6.909.531	400.560	8	8	2007
14	RE-2	Fundo El Fuerte, 3	2	100		6.921.546	390.023	128	82	2005
15	RE-2	Fundo El Fuerte, 2 (Q <sub>total</sub> 100 l/s) (1)	2	85		6.921.531	389.939	129vta	83	2005
16	DLB-2	Hacienda Deliber 2	3	50	131,0	6.931.940	382.750	11vta	11	2007
18	CER-1	El Checo (ex Pozo Araya) (2)	3	81		6.949.562	376.210	45vta	40	2006
<b>Total l/s</b>				<b>615,5</b>	<b>615,5</b>					

Nota: (1) El derecho de aguas en este Pozo es por 100 l/s, al momento de la compra solo se captan 15 l/s, información entregada por el vendedor  
 (2) Pozo sin uso al momento de la compra, actualmente esta habilitado y en uso.

## **RESUMEN DE ANTECEDENTES TECNICOS Y LOCALIZACION DE POZOS**

Se detallan a continuación un resumen de los antecedentes técnicos más relevantes, la localización del pozo y su fotografía para una correcta identificación.

## POZO CCH-1 CARRIZALILLO CHICO

LOCALIZADO EN RIO : Pulido  
PREDIO : Carrizalillo Chico  
UTM NORTE : 6.886.995  
UTM ESTE : 411.523  
CAUDAL : 58,5 l/s



*Sector de localización Pozo CCh-1*



*Fotografía Pozo CCh-1*

## POZO CCH-2 CARRIZALILLO CHICO

LOCALIZADO EN RIO : Pulido  
PREDIO : Carrizalillo Chico  
UTM NORTE : 6.887.388  
UTM ESTE : 411.286  
CAUDAL : 54 l/s



Sector de localización Pozo CCh-2



Fotografía Pozo CCh-2

## POZO CCH-3 CARRIZALILLO CHICO

LOCALIZADO EN RIO : Pulido  
PREDIO : Carrizalillo Chico  
UTM NORTE : 6.887.855  
UTM ESTE : 411.084  
CAUDAL : 40 l/s



Sector de localización Pozo CCh-3



Fotografía Pozo CCh-3

## POZO CCH-4 CARRIZALILLO CHICO

LOCALIZADO EN RIO : Pulido  
PREDIO : Carrizalillo Chico  
UTM NORTE : 6.887.955  
UTM ESTE : 410.939  
CAUDAL : 60 l/s



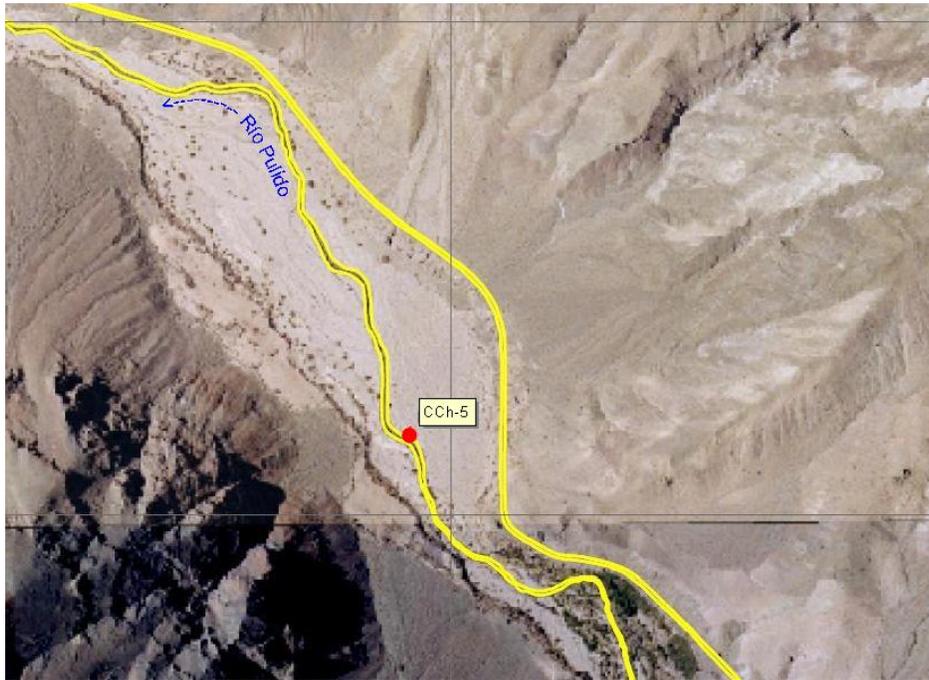
*Sector de localización Pozo CCh-4*



*Fotografía Pozo CCh-4*

## POZO CCH-5 CARRIZALILLO CHICO

LOCALIZADO EN RIO : Pulido  
PREDIO : Carrizalillo Chico  
UTM NORTE : 6.889.135  
UTM ESTE : 409.940  
CAUDAL : 27 l/s



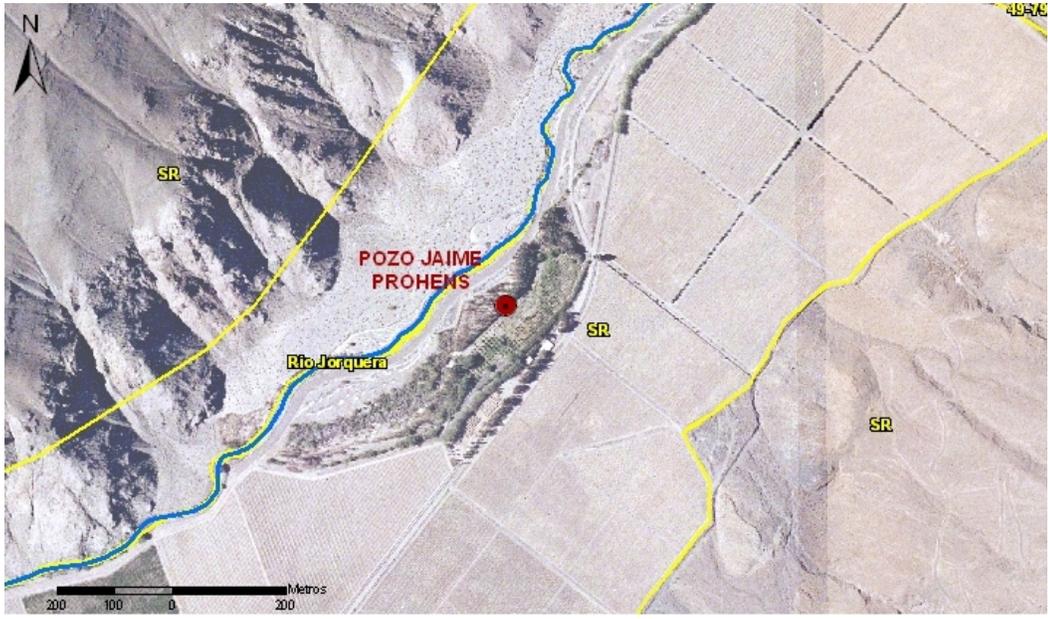
*Sector de localización Pozo CCh-5*



*Fotografía Pozo CCh-5*

### POZO JAIME PROHENS (RODEO)

LOCALIZADO EN RIO : Jorquera  
PREDIO : Fundo El Rodeo  
UTM NORTE : 6.898.533  
UTM ESTE : 407.532  
CAUDAL : 80 l/s



*Sector de localización Pozo Jaime Prohens*



*Fotografía Pozo Jaime Prohens*

## POZO JUAN PABLO PESENTI

LOCALIZADO EN RIO : Copiapó  
PREDIO : Fundo Amolanas  
UTM NORTE : 6.907.669  
UTM ESTE : 400.828  
CAUDAL : 19 l/s



*Sector de localización Pozo Juan Pablo Pesenti*



*Fotografía Pozo Juan Pablo Pesenti*

## POZO PESENTI OVIEDO

LOCALIZADO EN RIO : Copiapó  
PREDIO : Fundo Amolanas  
UTM NORTE : 6.907.193  
UTM ESTE : 401.009  
CAUDAL : 61 l/s



*Sector de localización Pozo Pesenti Oviedo*



*Fotografía Pozo Pesenti Oviedo*

## POZO DOÑA BERTA

LOCALIZADO EN RIO : Copiapó  
PREDIO : Fundo Los Loros ex-Mallorca  
UTM NORTE : 6.908.510  
UTM ESTE : 401.230  
CAUDAL : 100 l/s



*Sector de localización Pozo Agrícola Doña Berta*



*Fotografía Pozo Agrícola Doña Berta*

## POZO PEL-1 - EL LINDERO

**LOCALIZADO EN RIO** : Copiapó  
**PREDIO** : Fundo Los Loros ex-Mallorca  
**UTM NORTE** : 6.909.531  
**UTM ESTE** : 400.560  
**CAUDAL** : 60 l/s



*Sector de localización Pozo PEL-1 El Lindero*



*Fotografía Pozo PEL-1 El Lindero*

## POZO PER-2 - EL RETAMO 2

**LOCALIZADO EN RIO** : Copiapó  
**PREDIO** : Parcela El Retamo, sector Valle Hermoso  
**UTM NORTE** : 6.913.174  
**UTM ESTE** : 398.424  
**CAUDAL** : 55 l/s



*Sector de localización Pozo PER-2 El Retamo 2*



*Fotografía Pozo PER-2 El Retamo 2*

## POZO AUSTRAL FRUIT

LOCALIZADO EN RIO : Copiapó  
PREDIO : Hijuela La Capilla  
UTM NORTE : 6.915.661  
UTM ESTE : 397.184  
CAUDAL : 25 l/s



*Sector de localización Pozo Austral Fruit*



*Fotografía Pozo Austral Fruit*

## POZO NILAHUE

LOCALIZADO EN RIO : Copiapó  
PREDIO : Parcela Casa Rosada  
UTM NORTE : 6.918.832  
UTM ESTE : 393.100  
CAUDAL : 25 l/s



*Sector de localización Pozo Nilahue*



*Fotografía Pozo Nilahue*

## POZO RE-3 - RIO ESCONDIDO O FUNDO EL FUERTE

LOCALIZADO EN RIO : Copiapó  
PREDIO : Fundo El Fuerte  
UTM NORTE : 6.921.546  
UTM ESTE : 390.023  
CAUDAL : 100 l/s



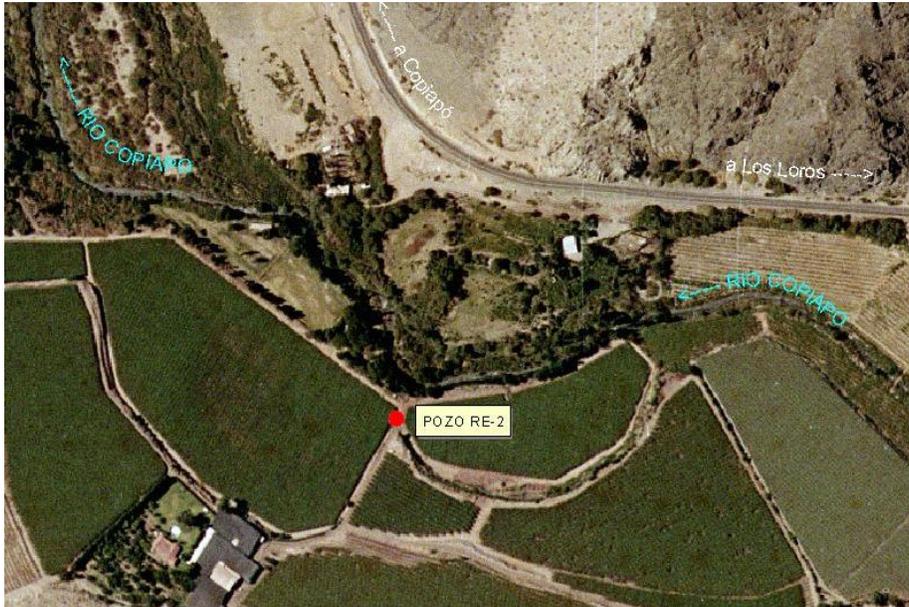
*Sector de localización Pozo RE-3*



*Fotografía Pozo RE-3*

## POZO RE-2 - RIO ESCONDIDO O FUNDO EL FUERTE

LOCALIZADO EN RIO : Copiapó  
PREDIO : Fundo El Fuerte  
UTM NORTE : 6.921.531  
UTM ESTE : 389.939  
CAUDAL : 100 l/s



*Sector de localización Pozo RE-2*



*Fotografía Pozo RE-2*

## POZO DLB-2 - DELIBER

LOCALIZADO EN RIO : Copiapó  
PREDIO : Hornitos  
UTM NORTE : 6.931.940  
UTM ESTE : 382.750  
CAUDAL : 50 l/s



*Sector de localización Pozo DLB-2*



*Fotografía Pozo DLB-2*

## POZO DLB-1 - DELIBER

LOCALIZADO EN RIO : Copiapó  
PREDIO : Hornitos  
UTM NORTE : 6.932.920  
UTM ESTE : 382.580  
CAUDAL : 100 l/s



*Sector de localización Pozo DLB-1*



*Fotografía Pozo DLB-1*

### POZO CER-1 - EL CHECO (EX ARAYA)

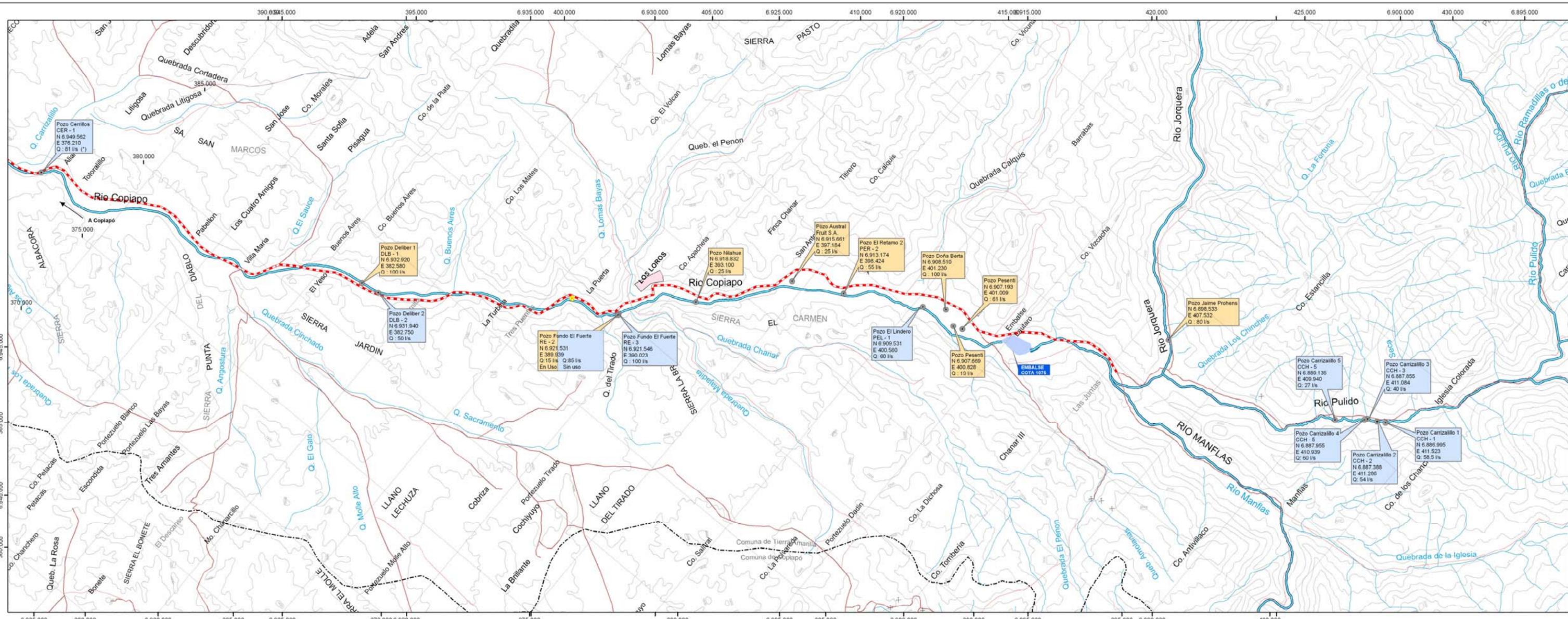
LOCALIZADO EN RIO : Copiapó  
PREDIO : Ex- Estación FFCC Cerrillos  
UTM NORTE : 6.949.562  
UTM ESTE : 376.210  
CAUDAL : 81 l/s



*Sector de localización Pozo CER-1*



*Fotografía Pozo CER-1*



**LEYENDA**

- Pozo en uso
- Pozo sin uso
- (\*) Pozo sin uso al momento de adquisicion



FECHA	REVISO	APROBADO	REVISION	REFERENCIAS	PLANO	AUTOR
16-10-08	SI		Cartografia	Datum PSAD56 Huso 19		

SERVICIOS DE INGENIERIA			APROBACION AUTORA			APROBACION CLIENTE		
NOMBRE	FIRMA	FECHA	NOMBRE	FIRMA	FECHA	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DISEÑO	Karla Gomez C.	C.S.M.	16-10-08					
PROYECTO								
CALCULO								
APROBADO	Cristian Morales S.	C.M.S.	16-10-08					

CLIENTE:	<b>CASERONES</b>
PROYECTO:	
CONTENIDO:	<b>Derechos de Aprovechamiento de Aguas Subterráneas MLCC</b>
ESCALA:	Gráfica
Nº PROYECTO:	041113
CODIGO DE PLANO:	081016_118
REVISION:	1