



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**ESTUDIO PARA LA REALIZACIÓN DE UN PROYECTO DE  
RECARGA GESTIONADA EN LA CUENCA DEL RÍO  
CACHAPOAL: DETERMINACIÓN DEL SECTOR ÓPTIMO PARA  
SU REALIZACIÓN Y EVALUACIÓN ECONÓMICA**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

FELIPE EDUARDO GODOY TOGNARELLI

PROFESOR GUÍA:

CARLOS PARRAGUEZ DECKER

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

LINDA DANIELE

MIGUEL ANGEL CARO HERNANDEZ

SANTIAGO DE CHILE

2016

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL  
TÍTULO DE: Geólogo  
POR: Felipe Eduardo Godoy Tognarelli  
FECHA: 17/06/2016  
PROFESOR GUÍA: Carlos Parraguez Decker

**ESTUDIO PARA LA REALIZACIÓN DE UN PROYECTO DE RECARGA  
GESTIONADA EN LA CUENCA DEL RÍO CACHAPOAL: DETERMINACIÓN  
DEL SECTOR ÓPTIMO PARA SU REALIZACIÓN Y EVALUACIÓN  
ECONÓMICA**

El presente trabajo corresponde a un análisis de la factibilidad de realizar un proyecto de recarga gestionada en la cuenca del río Cachapoal, con el objetivo de definir el sector ideal para su implementación, y si el proyecto es económicamente rentable.

En la primera parte de este estudio, se detallan las características geológicas e hídricas de la cuenca del río Cachapoal y del acuífero Cachapoal. Las características analizadas fueron las siguientes: las cotas del terreno, los niveles estáticos, el espesor del acuífero, el espesor no saturado, la dirección del flujo subterráneo, las constantes elásticas, los caudales de los flujos superficiales, las recargas y descargas del acuífero (balance de masas) y la calidad del agua.

En una segunda instancia, se definió un sector idóneo para implementar el proyecto de recarga gestionada, el cual corresponde a los alrededores de la ciudad de Rancagua. Este sector se determinó en función de las características de la cuenca y del acuífero del río Cachapoal, anteriormente definidas. En el caso de los niveles estáticos, en este sector se ubican las mayores profundidades, alcanzando los 100 m.b.n.s, lo que permite que este sector pueda almacenar grandes volúmenes de agua. A su vez, esta zona presenta el mayor espesor no saturado, además de constantes elásticas ideales para la implementación de un proyecto de esta índole.

Posteriormente se evaluó económicamente el proyecto. Esta se realizó en función de tres opciones de implementación del proyecto de recarga gestionada, los cuales presentan variaciones principalmente en las cantidades de pozos y zanjas de infiltración a ocupar en cada una de ellas. Estas evaluaciones económicas constan de las inversiones requeridas y de los costos e ingresos anuales que se generan. En base a esto, se calculó el VAN a 5 años para cada una de estas opciones.

Finalmente se analizan las consecuencias de implementar este proyecto en esta zona. Y se indican algunas recomendaciones a tomar si se desea realizar el proyecto.

## **DEDICATORIA**

*Dedico esta memoria a las personas que creen que un proyecto de recarga gestionada puede ser la solución a la posible escases hídrica en las distintas cuencas de Chile.*

*Y a mi Familia*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco primero que todo al Departamento de Geología, de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile y a todas las personas que trabajan en ella, por haber sido el núcleo de mi formación como geólogo.

Quiero agradecer a Carlos Parraguez, profesor guía de esta memoria, por darme la posibilidad de realizar esta memoria con él, y por acogerme en la consultora CPH & Asociados, tanto para mi práctica profesional I, como para el proyecto que trabaje posteriormente. El me enseñó gran parte de lo que se dé la hidrogeología, pero más importante aún, me entrego esa pasión y amor por esta rama de la geología.

También me gustaría agradecer a Linda Daniele y a Miguel Ángel Caro, miembros de la comisión evaluadora, por darse el tiempo para ayudarme y responder mis consultas, como también por las sugerencias y correcciones que hicieron a este trabajo.

Agradezco a mi familia por ayudarme a ser la persona que soy, por darme la posibilidad de haber estudiado una carrera y por siempre estar ahí cuando los necesite. Los amo a todos.

Agradezco a mis amigos de la vida, como también a los que conocí en la universidad, ya que cada uno de ellos fue un pilar en donde yo me apoye todos estos años y con los cuales viví y viviré muchas aventuras y experiencia, que nunca olvidare.

Y por último, quiero agradecer a una persona que estuvo conmigo durante los últimos tres años de mi carrera y que aunque ahora ya no lo está, fue quien estuvo ahí para quererme y contenerme en los malos momentos, pero más importante aún, me hizo feliz.

# TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1	MOTIVACIÓN .....	1
1.2	OBJETIVOS.....	2
1.2.1	<i>Objetivos Generales</i> .....	2
1.2.2	<i>Objetivos Específicos</i> .....	2
1.3	HIPOTESIS.....	3
1.4	METODOLOGÍA.....	3
1.5	¿QUÉ ES LA RECARGA GESTIONADA? .....	7
1.5.1	<i>Métodos de Recarga Gestionada</i> .....	7
1.5.2	<i>Ventajas y Limitantes de la Recarga gestionada</i> .....	8
1.5.2.1	Ventajas .....	8
1.5.2.2	Limitantes.....	8
1.5.3	<i>Aspectos legales en Chile</i> .....	9
1.5.3.1	Artículo 66 del Código de Aguas (Chile, 1981) .....	9
1.5.3.2	Artículo 67 del Código de Aguas (Chile, 1981), .....	9
1.5.3.3	Decreto Supremo Nº 46 de 2003 (D.S.Nº46).....	10
1.5.3.4	Normas Chilenas 1333 Of.78 (NCh1333) y 409/1 Of.2005 (NCh409) .....	10
<b>2</b>	<b>CAPÍTULO II: MARCO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO .....</b>	<b>12</b>
2.1	UBICACIÓN ZONA DE ESTUDIO.....	12
2.2	RELIEVE DE LA REGIÓN.....	15
2.2.1	<i>Planicies Litorales</i> .....	15
2.2.2	<i>Cordillera de la Costa</i> .....	15
2.2.3	<i>Depresión Intermedia</i> .....	15
2.2.4	<i>Cordillera de los Andes</i> .....	15
2.3	CLIMA DE LA REGIÓN.....	16
2.3.1	<i>Clima en la Planicie Litoral</i> .....	16
2.3.2	<i>Clima en la Depresión Intermedia</i> .....	16
2.3.3	<i>Clima en la Cordillera</i> .....	16
2.4	MARCO GEOLÓGICO.....	17
2.4.1	<i>Rocas Estratificadas</i> .....	18
2.4.1.1	JNT: Formación Nacientes del Teno (Caloviano? A Oxfordiano) .....	18
2.4.1.2	JRD: Formación Río Damas (Kimmeridgiano) .....	18
2.4.1.3	JLE: Formación Leñas - Espinoza (Caloviano) .....	18
2.4.1.4	KLL: Formación La Lajuala (Titoniano? a Hauteriviano?).....	18
2.4.1.5	KLV: Formación Lo Valle (Cretácico Superior) .....	18
2.4.1.6	TCM: Formación Coya - Machalí (Eoceno Superior a Mioceno Inferior) .....	18
2.4.1.7	TF: Formación Farellones (Mioceno).....	19
2.4.1.8	QV: Volcanismo post Mioceno (Plioceno Inferior a Holoceno) .....	19
2.4.2	<i>Depósitos Cuaternarios</i> .....	19
2.4.2.1	Depósitos Fluviales y Aluviales.....	19
2.4.2.2	Depósitos Morrénicos .....	19
2.4.2.3	Depósitos Lacustres de tipo Fluvioglaciar .....	19
2.4.3	<i>Rocas Intrusivas</i> .....	19
2.4.4	<i>Estructuras</i> .....	20
2.5	MARCO HIDROGEOLÓGICO.....	20
2.5.1	<i>Hidrogeología de la cuenca del río Cachapoal</i> .....	21
2.5.1.1	Unidad I .....	21
2.5.1.2	Unidad II .....	21
2.5.1.3	Unidad III .....	21
2.5.2	<i>Hidrogeología del Acuífero Cachapoal</i> .....	23
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO III: CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA Y DEL ACUÍFERO .....</b>	<b>24</b>

3.1	COTAS DEL TERRENO.....	24
3.2	NIVELES ESTÁTICOS Y ESPESOR DEL ACUÍFERO .....	25
3.2.1	<i>Niveles Estáticos</i> .....	25
3.2.2	<i>Espesor del acuífero</i> .....	27
3.2.3	<i>Espesor no saturado</i> .....	28
3.3	DIRECCIÓN DEL FLUJO SUBTERRÁNEO.....	30
3.4	CONSTANTES ELÁSTICAS .....	32
3.4.1	<i>Conductividad Hidráulica</i> .....	32
3.4.2	<i>Coficiente de Almacenamiento</i> .....	34
3.5	FLUJOS SUPERFICIALES .....	36
3.6	RECARGA / DESCARGA DEL ACUÍFERO Y BALANCES DE MASAS .....	41
3.6.1	<i>Recarga</i> .....	41
3.6.2	<i>Descarga</i> .....	44
3.6.3	<i>Balance de Masas</i> .....	45
3.6.3.1	Balance de Masas Acuífero (Régimen Natural) .....	45
3.6.3.2	Balance de Masas Acuífero (Demanda Comprometida) .....	46
3.6.3.3	Balance de Masas Acuífero (Demanda Total).....	47
3.6.3.4	Balances de Masas (Sectores) .....	48
3.6.3.4.1	Sector Graneros-Rancagua .....	48
3.6.3.4.2	Sector Olivar.....	49
3.6.3.4.3	Sector Doñihue-Coinco-Coltauco.....	50
3.6.3.4.4	Sector Requinoa-Rosario-Rengo-Quinta de Tilcoco .....	51
3.6.3.4.5	Sector Pelequén-Malloa-San Vicente de Tagua Tagua.....	52
3.6.3.4.6	Sector Peumo-Pichidegua-Las Cabras .....	53
3.7	CALIDAD DEL AGUA.....	54
3.7.1	<i>Cumplimiento de las Normas Chilenas</i> .....	58
3.7.1.1	Norma Chilena NCh 409 .....	58
3.7.1.2	Norma Chilena NCh 1333 .....	61
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....</b>	<b>65</b>
4.1	DETERMINACIÓN DEL SECTOR.....	65
4.2	NIVELES ESTÁTICOS .....	66
4.2.1	<i>Variación niveles estáticos interanuales</i> .....	67
4.3	FLUJOS SUPERFICIALES .....	72
4.4	CALIDAD DEL AGUA .....	71
4.5	FLUJO SUBTERRÁNEO.....	71
4.5.1	<i>Dirección de Flujo Subterráneo</i> .....	71
4.6	CONSTANTES ELÁSTICAS .....	71
4.7	VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO .....	73
4.8	EVALUACIÓN ECONÓMICA SUB SECTOR ÓPTIMO.....	74
4.8.1	<i>Información Base</i> .....	74
4.8.2	<i>Caudal Cauce artificial y de infiltración</i> .....	74
4.8.3	<i>Métodos de infiltración</i> .....	75
4.8.3.1	Zanjas de Infiltración .....	76
4.8.3.1.1	Dimensiones zanjas sub sector óptimo.....	76
4.8.3.1.2	Caudal máximo infiltrado por zanja .....	77
4.8.3.1.3	Costo total de construcción zanja de infiltración .....	79
4.8.3.2	Pozos de infiltración .....	80
4.8.3.2.1	Dimensiones pozo de infiltración sub sector óptimo.....	80
4.8.3.2.2	Caudal máximo de infiltración por pozo .....	81
4.8.3.2.3	Costo total de construcción pozo de infiltración .....	82
4.8.4	<i>Opciones de proyectos de recarga gestionada</i> .....	83
4.8.4.1	Proyecto I.....	84
4.8.4.1.1	Análisis económico proyecto I .....	84
4.8.4.2	Proyecto II .....	86
4.8.4.2.1	Análisis económico proyecto II .....	86
4.8.4.3	Proyecto III .....	88

4.8.4.3.1	Análisis económico proyecto III .....	88
4.9	CONSECUENCIAS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PROYECTO DE RECARGA GESTIONADA EN EL ACUÍFERO .....	89
4.9.1	<i>Subida del nivel estático en el sub sector</i> .....	89
4.9.2	<i>Velocidad de desplazamiento del agua subterránea</i> .....	90
4.10	EXPANSIÓN PROYECTO .....	94
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>96</b>
<b>6</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>98</b>
<b>7</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>99</b>
<b>8</b>	<b>ANEXO</b> .....	<b>105</b>
8.1	ANEXO I: NIVELES ESTÁTICOS .....	106
8.2	ANEXO II: POZOS CUENCA RÍO CACHAPOAL .....	107
8.3	ANEXO III: CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA.....	111
8.4	ANEXO IV: RECARGA LATERAL .....	112
8.5	ANEXO V: DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS REGISTRADOS EN DGA.....	109
8.6	ANEXO VI: PERFILES GEOLÓGICOS .....	117
8.7	ANEXO VII: EVALUACIÓN ECONÓMICA EXPANSIÓN DEL PROYECTO .....	122

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Métodos de Recarga Gestionada.....	7
Tabla 2 Límites máximos de las Normas Chilenas NCh 1333 y NCh 409 .....	11
Tabla 3 Sectores acuífero del valle del río Cachapoal.....	13
Tabla 4 Correlación entre la Conductividad Hidráulica y el Coeficiente de Almacenamiento. ....	34
Tabla 5 Caudales promedios anuales en estaciones fluviométricas. ....	36
Tabla 6 Probabilidades de Excedencia y Periodos de retorno. ....	37
Tabla 7 Balance de masas régimen natural.....	45
Tabla 8 Balance de masas demanda comprometida. ....	46
Tabla 9 Balance de masas demanda total. ....	47
Tabla 10 Balance de masa sector Graneros-Rancagua. ....	48
Tabla 11 Balance de masas sector Olivar. ....	49
Tabla 12 Balance de masas sector Doñihue-Coinco-Coltauco. ....	50
Tabla 13 Balance de masas sector Requinoa-Rosario-Rengo-Quinta de Tilcoco.....	51
Tabla 14 Balance de masas sector Pelequén-Malloa-San Vicente de Tagua Tagua. ....	52
Tabla 15 Balance de masas sector Peumo-Pichidegua-Las Cabras.....	53
Tabla 16 Áreas de vigilancia de la cuenca del río Cachapoal.....	55
Tabla 17 Valor de los parámetros de acuerdo al escenario del año 2012.....	57
Tabla 18 Cumplimiento NCh 409 para agua potable y bebida animal, escenario año 2012 por tramos en la Cuenca del Río Cachapoal .....	58
Tabla 19 Porcentaje de cumplimiento de la NCh 409 para agua potable en cada área de vigilancia .....	60
Tabla 20 Cumplimiento NCh 1.333 para riego, escenario año 2012 por tramos en la Cuenca del Río Cachapoal.....	61
Tabla 21 Porcentaje de cumplimiento de la NCh 1333 para riego en cada área de vigilancia.....	63
Tabla 22 Pozos representativos de los niveles estáticos del Sub Sector Óptimo. ....	67
Tabla 23 Caudales mensuales en la estación del río Cachapoal en Puente Termas desde 1995 a 2014. ....	68
Tabla 24 Valores promedios de las constantes elásticas en el sub sector óptimo.....	72
Tabla 25 Información base para los cálculos económicos (I) .....	74
Tabla 26 Información base para los cálculos económicos (II).....	75



Tabla 27 Dimensiones zanja tipo.....	76
Tabla 28 Valores tasas de infiltración asociadas al tipo de suelo .....	78
Tabla 29 Área total de percolación, tasa de infiltración, coeficiente de seguridad y caudal de infiltración..	79
Tabla 30 Costo total de construcción por zanja de infiltración .....	79
Tabla 31 Características pozo de infiltración tipo.....	80
Tabla 32 Coeficiente de seguridad y Caudal de infiltración. ....	82
Tabla 33 Costo total de construcción por pozo de infiltración.....	83
Tabla 34 Datos generales del proyecto de recarga gestionada.....	84
Tabla 35 Inversiones, costos anuales e ingresos anuales proyecto I. ....	85
Tabla 36 Valor Actual Neto a 5 años, proyecto I.....	85
Tabla 37 Inversiones, costos anuales e ingresos anuales proyecto II. ....	86
Tabla 38 Valor Actual Neto a 5 años, proyecto II .....	87
Tabla 39 Inversiones, costos anuales e ingresos anuales proyecto III. ....	88
Tabla 40 Valor Actual Neto a 5 años, proyecto III.....	89
Tabla 41 Subida promedio del nivel estático en el sub sector óptimo .....	90
Tabla 42 Porosidad eficaz .....	91
Tabla 43 Velocidad de Darcy, velocidad real y tiempo de recorrido de los 4 segmentos .....	92
Tabla 44 Tiempos de recorrido desde el punto A a los puntos B, C, D y E.....	93
Tabla 45 Porcentajes de infiltración de la expansión del proyecto.....	94
Tabla 46 V.A.N a 5 años para cada posibilidad de expansión del proyecto. ....	95

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de la VI Región con divisoria de provincias y cuenca del río Cachapoal. ....	12
Figura 2 Sectores del valle del Cachapoal. ....	14
Figura 3 Geología de la cuenca del río Cachapoal. ....	17
Figura 4 Mapa Hidrogeológico Cuenca del Río Cachapoal .....	22
Figura 5 Perfil Estratigráfico Cuenca del Río Cachapoal. ....	23
Figura 6 Curvas de nivel acuífero Cachapoal. ....	24
Figura 7 Mapa con los niveles estáticos de 50 pozos en la cuenca del río Cachapoal.....	25
Figura 8 Espesores del acuífero Cachapoal.....	27
Figura 9 Espesor no saturado. ....	28
Figura 10 Dirección del flujo subterráneo en el acuífero de la cuenca del río Cachapoal. ....	30
Figura 11 Conductividad hidráulica media acuífero Cachapoal. ....	33
Figura 12 Coeficiente de almacenamiento acuífero Cachapoal.....	35
Figura 13 Estaciones fluviométricas cuenca del río Cachapoal.....	38
Figura 14 Recarga superficial del acuífero. ....	42
Figura 15 Recargas laterales del acuífero. ....	43
Figura 16 Distribución espacial de las áreas de vigilancia en cuenca Río Cachapoal. ....	56
Figura 17 Sector óptimo para realizar la recarga gestionada. ....	65
Figura 18 Distribución espacial pozos representativos de los niveles estáticos del Sub Sector Óptimo. ....	66
Figura 19 Variación de los niveles estáticos interanuales, Fundo San Pedro. ....	68
Figura 20 Variación de los niveles estáticos interanuales, Barrio Industrial Rancagua. ....	69
Figura 21 Variación de los niveles estáticos interanuales, APR Molinos Quemados. ....	70
Figura 22 Caudales mensuales desde 1995 a 1999. ....	69
Figura 23 Caudales mensuales desde 2000 a 2004. ....	69
Figura 24 Caudales mensuales desde 2005 a 2009.....	70
Figura 25 Caudales mensuales desde 2010 a 2014.....	70
Figura 26 Conductividad Hidráulica Media Sub Sector Óptimo. ....	72
Figura 27 Coeficiente de Almacenamiento Sub Sector Óptimo. ....	73

Figura 28 Esquema zanja de infiltración tipo.....	77
Figura 29 Valor coeficiente de seguridad.....	77
Figura 30 Esquema pozo de infiltración tipo.....	81
Figura 31 Distribución espacial proyecto I.....	84
Figura 32 Distribución espacial proyecto II.....	86
Figura 33 Distribución espacial proyecto III.....	88
Figura 34 Camino del flujo subterráneo desde el sector óptimo al punto más lejano del acuífero.....	91

# 1 CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

## 1.1 MOTIVACIÓN

Durante los últimos años se ha generado un incremento en la demanda del agua, esto debido al desarrollo socioeconómico en Chile, que involucra el crecimiento de diversos rubros en el país, como lo son la agricultura, la minería y el sector industrial, entre otros; sumado al aumento de la construcción de viviendas en los distintos sectores del país.

Sumado a esto, a medida que pasan los años, se ha generado una disminución de las precipitaciones en el país, lo que en un futuro podría llegar a provocar que los acuíferos no reciban las recargas necesarias para poder satisfacer el consumo de agua. Tanto es así, que según datos entregados por la Dirección Meteorológica de Chile, en promedio se registran 10 días menos de precipitaciones que hace 100 años, y que con el paso de los años estos descensos se acentuarán. No es tan solo que sean menos días de precipitaciones, si no que la cantidad que precipita a lo largo de los años ha disminuido de forma drástica. Según la Dirección Meteorológica de Chile, dentro de 17 años, Santiago registrará 46 mm menos de precipitación y que para el año 2.050 alcanzará unos 64 mm menos. Además, según el estudio Variabilidad Climática en Chile para el siglo XXI, realizado por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile para la CONAMA, en la zona central de Chile se prevé una pérdida generalizada de precipitaciones, llegando a pérdidas de un 20% a un 30%.

Cabe resaltar que el problema de la disminución de las precipitaciones no es constante, dado que existen tanto años secos como húmedos, sumado a que en las estaciones invernales se producen aumentos de las precipitaciones. Pero esto no afecta de gran medida la recarga del acuífero, dado que la mayoría de estas precipitaciones generan escorrentía y finalmente los ríos se llevan esta agua dulce al mar, con lo cual se pierden estos excedentes generados en esos periodos.

Tanto el aumento en las descargas que presentan los acuíferos, como las disminuciones en las recargas de este, han generado que muchas cuencas sean cerradas, por lo que ya no se entregan nuevos derechos de aprovechamientos de agua a los ya existentes, es decir, no se puede sacar más agua del acuífero de la que ya se está utilizando. Esto afecta en gran medida toda intención de generar nuevos proyectos en los diversos sectores afectados, ya que sin un derecho de aprovechamiento del agua no se puede realizar ninguna construcción, tanto empresarial o de viviendas, ni tampoco implementar nuevos sectores de cultivos o el mismo crecimiento minero, entre otras cosas.

Dado este problema, en los últimos años se ha estudiado la posibilidad de implementar proyectos de gestión de la recarga. Estos proyectos consisten en infiltrar agua superficial al acuífero, mediante distintos métodos de infiltración.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivos Generales**

- Determinar un sector óptimo dentro de la cuenca del río Cachapoal para realizar un proyecto de recarga gestionada.
- Definir si es rentable el proyecto a partir de una evaluación económica.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Para el objetivo de determinar el sector óptimo para la realización de una recarga gestionada, los objetivos específicos son:

- Determinar el espesor no saturado del acuífero del río Cachapoal.
- Realizar un análisis de las probabilidades de excedencias y los periodos de retorno para los flujos superficiales.
- Definir las consecuencias de la implementación de un proyecto de recarga gestionada en el sector escogido.
- Realizar o digitalizar los mapas del: marco geológico, marco hidrogeológico, sectores definidos para el estudio, espesor del acuífero, contantes elásticas, recargas superficiales, entre otros. Esto permite analizar las distintas características del acuífero.

Para el objetivo de determinar si es rentable el proyecto a partir de una evaluación económica, se tienen los siguientes objetivos específicos:

- Definir el caudal del cauce artificial, en donde se encontraran los mecanismos de infiltración.
- Determinar el o los métodos que se utilizaran para realizar la recarga gestionada. Y con ello, poder determinar el caudal que se infiltrará y por lo tanto, el volumen de agua que se recarga en el periodo en que se realicen estas infiltraciones.
- Definir distintas opciones de implementación del proyecto. Estas dependiendo de los mecanismos de infiltración a utilizar, como el terreno requerido para esto.
- Calcular los VAN de las distintas opciones.

### 1.3 HIPOTESIS

La hipótesis planteada para este estudio, en función de los antecedentes recopilados, es que el sector óptimo para implementar un proyecto de recarga gestionada es el sector de Graneros-Rancagua, en la zona precordillerana del acuífero. Además, se espera que este proyecto genere tanto beneficios al acuífero como económicos.

### 1.4 METODOLOGÍA

El presente estudio en su primera instancia contempló la recolección de antecedentes, tanto geológicos, hidrogeológicos, hidrológicos y estadísticos, de la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins y principalmente de la cuenca del río Cachapoal. Cabe señalar que en este trabajo no existió recolección de información en terreno.

Con la información recolectada se determinaron las variables que son relevantes en el análisis para la realización de una recarga gestionada, dentro de las cuales se encuentran: las constantes elásticas, la recarga y descarga del acuífero, los niveles estáticos, el espesor no saturado, los caudales de los flujos superficiales, la dirección del flujo subterráneo, las cotas del terreno y la calidad del agua.

Para poder concretar los objetivos específicos se deben realizar las siguientes metodologías:

- Para determinar el espesor no saturado, se utilizó el espesor del acuífero definido en el informe de la DGA del 2.005 y los niveles estáticos de 50 pozos repartidos en el acuífero.
- Para definir las probabilidades de excedencias y periodos de retorno, se recolectan los caudales de los flujos superficiales de las distintas estaciones en la cuenca del río Cachapoal, en un periodo de 20 - 25 años. Estos se encuentran online en la página de la DGA y en las juntas de vecinos del río Cachapoal (en los años que no se existe información, se rellenan esos datos en función de una regresión lineal con respecto a una estación base, que presenta todos los datos).

Con estos datos se calculan las probabilidades de excedencias y periodos de retornos para cada año de la siguiente forma: ordenando de mayor a menor cada uno de los datos de cada estación y asignando a cada uno un número de orden (m), iniciando en el 1.

Para determinar la probabilidad de excedencia, se divide el número de orden (m) por el número de datos más 1 (n + 1).

$$Pb = \frac{m}{n + 1}$$

[3]

Se busca una probabilidad de excedencia del 20%, es decir un año lluvioso o con grandes deshielos, que generan mayores caudales de los ríos.

Para determinar los periodos de retorno, se divide 1 por la probabilidad de excedencia (Pb) y se multiplica por 100 (si es que se expresó la probabilidad de excedencia en porcentaje).

$$T = \frac{1}{Pb} * 100$$

- El caudal que se desviará al cauce artificial, se determinó en función de los excedentes que se generan en los periodos con probabilidades de excedencia al 20%.
- El método o los métodos para realizar la infiltración, se definirá en base a la magnitud del caudal excedente que se desviará al cauce artificial. Los métodos a utilizar pueden ser zanjas y/o pozos de infiltración. La cantidad de cada uno de estos se fijará dependiendo del caudal excedente.
- Los caudales o volúmenes de agua que se infiltrarán, se determinaron en función de las ecuaciones que se presentan a continuación:

#### **Zanjas:**

$$V = 0,001 * C * A * f * t$$

#### **Pozos de infiltración:**

$$Q = K * C * H \quad C = \frac{2 * \pi * L}{\ln\left(\frac{2 * L}{d}\right)}$$

En donde:

- V: Volumen a infiltrar [m<sup>3</sup>]
- C: Coeficiente de seguridad
- A: Área total de percolación en la zanja [m<sup>2</sup>]
- f: Tasa de infiltración [mm/hr]
- t: Tiempo de infiltración [hr]

En donde:

- Q = Caudal a infiltrar [m<sup>3</sup>/día]
- H = Altura sobre NE [m]
- C = Factor de forma [m]
- L = Longitud del tramo filtrante [m]
- d = Diámetro de la tubería [m]
- K = Permeabilidad [m/día]

- Para la generación de mapas y digitalización, se utiliza el software ArcGis 10.1, que permite trabajar con datos georreferenciados. Además se hace uso del programa SASplanet que permite generar imágenes satelitales georreferenciadas.
- El cálculo del VAN a 5 años se realiza en función de los costos de construcción de los pozos de infiltración y zanjas que se utilizarán, de los valores de venta del agua, el valor del terreno, entre otras variables. Este cálculo se realizará para todas las opciones de implementación del proyecto.

- En relación a las consecuencias de implementar un proyecto de recarga gestionada, se considerará la subida del nivel estático que se genera debido al proyecto. La ecuación a utilizar es la siguiente:

$$\Delta H = \frac{\text{Volumen saturado}}{\text{Área de recarga}}$$

En donde:

- $\Delta H$ : Subida del nivel estático [m]
- *Área de recarga*: Área considerada para almacenamiento [m<sup>2</sup>].
- *Volumen saturado*: Volumen de agua y sedimentos [m<sup>3</sup>].

$$\text{Volumen saturado} = \frac{\text{Volumen de agua total infiltrado [m}^3\text{]}}{\text{Coeficiente de Almacenamiento}}$$

- Para determinar la velocidad del flujo subterráneo, se utiliza la Ley de Darcy. Y en función de esta velocidad de flujo, se calcula el tiempo en que tarda una gota infiltrada en el sector escogido, para llegar a la zona más lejana del acuífero.

$$\text{Velocidad real} = \frac{\text{Velocidad de Darcy}}{\text{Porosidad Eficaz}}$$

$$v = K * i$$

En donde:

- $v$ : Velocidad de Darcy [m/día].
- $K$ : Conductividad Hidráulica [m/día].
- $i$ : Gradiente Hidráulica.



## 1.5 ¿QUÉ ES LA RECARGA GESTIONADA?

La recarga gestionada consiste en la recarga de un acuífero mediante la intervención antrópica. Esta recarga se realiza en los sectores y en los periodos que convengan dependiendo del régimen de explotación que se tenga (aprovechando los flujos superficiales).

Cabe destacar que es necesaria la existencia de un acuífero que tenga: la capacidad de almacenar mayores volúmenes de agua, es decir, que no esté completamente saturado y además que se encuentre en la cercanía de alguna fuente de flujo superficial, en donde se pueda extraer el agua a infiltrar. La recarga gestionada principalmente se realiza en acuíferos freáticos.

Un punto muy importante dentro de un proyecto de recarga gestionada es el tema de la calidad del agua, ya que en primera instancia el agua que se desea infiltrar debe tener una calidad igual o mejor a la que se encuentra en el acuífero, esto para no contaminar al acuífero. Para ello, previo a cualquier infiltración se requiere de un análisis del agua superficial basado en las normas chilenas. Posteriormente si es necesario se debe realizar un tratamiento del agua.

En Estados Unidos, Australia, Israel, España, Alemania, Holanda, entre otros países, ya existen proyectos de recarga gestionada. En el caso de Chile, existen algunos estudios y proyectos, pero sigue siendo algo relativamente nuevo.

### 1.5.1 Métodos de Recarga Gestionada

Existen diversos métodos utilizados para la recarga gestionada, los cuales se pueden dividir en dos grupos: superficiales o en profundidad. A su vez, los métodos superficiales se pueden dividir en dos grupos más: dentro del cauce o fuera de este. Los distintos métodos se detallan en la tabla a continuación.

**Tabla 1** Métodos de Recarga Gestionada.

<b>Métodos Recarga Gestionada</b>		
<b>Superficiales</b>		<b>En profundidad</b>
<b>Dentro del cauce</b>	<b>Fuera del cauce</b>	
Serpenteos	Balsas o Piscinas de infiltración	Pozos de inyección
Barreras	Zanjas	Pozos de infiltración
Diques	Sobre riego de áreas	Galerías filtrantes
Escarificación del cauce		
Zanjas		

Fuente: PowerPoint, Cabrera, 2013

La determinación del método o los métodos que se utilizarán en los distintos proyectos, dependerá de las características del acuífero (profundidad de la napa, conductividad hidráulica, capacidad de almacenamiento, área superficial receptora de la recarga, singularidades existente, etc.), la disponibilidad de agua para recarga, el relieve y la topografía de la cuenca (ancho de los valles, pendientes de los cauces y acuíferos).

### **1.5.2 Ventajas y Limitantes de la Recarga gestionada**

Es importante conocer tanto las ventajas como las limitantes que presenta la recarga gestionada.

#### **1.5.2.1 Ventajas**

- Permite el almacenamiento del agua en un reservorio natural y subterráneo. Evitando la inundación de localidades, como sucede con los embalses. Además evita pérdidas de agua dulce gestionando los excedentes de las crecidas (importantes de cara al cambio global).
- No se generan pérdidas por evaporación.
- El acuífero se utiliza como embalse regulador, almacén y red de distribución.
- Dependiendo de la magnitud del proyecto, puede producir que se aminoren los efectos de la desertificación, del cambio climático y a su vez, generar una disminución de la erosión de los suelos.
- Compensa las pérdidas naturales de recarga dada la intervención antrópica.
- En algunos sectores, este proceso permite la depuración del agua utilizando el acuífero como filtro.

#### **1.5.2.2 Limitantes**

- Se deben realizar estudios de impacto ambiental previos a la implementación.
- Se debe tener un control constante durante todo el proceso, tanto en el diseño, construcción, implementación y operación de este.
- La recarga gestionada solo se realiza en periodos limitados, es decir solo cuando se tiene la disponibilidad de agua superficial apta para realizar la infiltración, como por ejemplo cuando se generan excedentes en los flujos superficiales.

### **1.5.3 Aspectos legales en Chile**

Con respecto a los derechos de aprovechamiento del agua en Chile, es importante mencionar dos artículos relevantes para la realización de un proyecto de recarga gestionada, el artículo 66 y el artículo 67 del Código de Aguas (Chile, 1981).

En relación a los aspectos medioambientales, se debe tener en cuenta el Decreto Supremo N° 46 de 2003 (D.S.N°46) y las Normas Chilenas 1333 Of.78 (NCh1333) y 409/1 Of.2005 (NCh409).

Toda la información se obtuvo de la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, Legislación Chilena del Ministerio Secretaría General de la Presidencia y del Instituto Nacional de Normalización.

#### **1.5.3.1 Artículo 66 del Código de Aguas (Chile, 1981)**

La Dirección General de Aguas podrá otorgar provisionalmente derechos de aprovechamiento en aquellas zonas que haya declarado de restricción. En dichas zonas, la citada Dirección limitará prudencialmente los nuevos derechos pudiendo incluso dejarlos sin efecto en caso de constatar perjuicios a los derechos ya constituidos. Sin perjuicio de lo establecido en el inciso primero del artículo 67, y no siendo necesario que anteriormente se haya declarado área de restricción, previa autorización de la Dirección General de Aguas, cualquier persona podrá ejecutar obras para la recarga artificial de acuíferos, teniendo por ello la preferencia para que se le constituya un derecho de aprovechamiento provisional sobre las aguas subterráneas derivadas de tales obras y mientras ellas se mantengan.

#### **1.5.3.2 Artículo 67 del Código de Aguas (Chile, 1981),**

Los derechos de aprovechamiento otorgados de acuerdo al artículo anterior, se podrán transformar en definitivos una vez transcurridos cinco años de ejercicio efectivo en los términos concedidos, y siempre que los titulares de derechos ya constituidos no demuestren haber sufrido daños. Lo anterior no será aplicable en el caso del inciso segundo del artículo 66, situación en la cual subsistirán los derechos provisionales mientras persista la recarga artificial. La Dirección General de Aguas declarará la calidad de derechos definitivos a petición de los interesados y previa comprobación del cumplimiento de las condiciones establecidas en el inciso precedente.

### **1.5.3.3 Decreto Supremo N° 46 de 2003 (D.S.N°46)**

Este decreto considera que:

- Las aguas subterráneas representan una importante fuente de suministro de agua para las ciudades. Aproximadamente el 77% del agua utilizada por los servicios de agua potable rural proviene de esta fuente, y en el caso del abastecimiento urbano es de alrededor de un 40% a nivel nacional, según estadísticas de la Superintendencia de Servicios Sanitarios al 31 de diciembre de 1995. La proporción de uso de aguas subterráneas para el abastecimiento urbano es variable, llegando a ser prácticamente en su totalidad para las ciudades del norte del país.
- Otros usos importantes de las aguas subterráneas, sobre todo entre la zona central y el norte del país, son la agricultura, la industria y la minería. Sin embargo, dada la importancia vital que tiene el consumo de agua para la población, se considera de la mayor relevancia el uso para el abastecimiento de agua potable, dentro del contexto general de la explotación de las aguas subterráneas.
- La presente norma de emisión tiene como objeto de protección prevenir la contaminación de las aguas subterráneas, mediante el control de la disposición de los residuos líquidos que se infiltran a través del subsuelo al acuífero. Con lo anterior, se contribuye a mantener la calidad ambiental de las aguas subterráneas.

El decreto 46 presenta las siguientes disposiciones generales:

- Artículo 1º: Establécese la siguiente norma de emisión que determina las concentraciones máximas de contaminantes permitidas en los residuos líquidos que son descargados por la fuente emisora, a través del suelo, a las zonas saturadas de los acuíferos, mediante obras destinadas a infiltrarlo.
- Artículo 2º: La presente norma no será aplicable a las labores de riego, a los depósitos de relaves y a la inyección de las aguas de formación a los pozos de producción en los yacimientos de hidrocarburos.
- Artículo 3º: La presente norma se aplicará en todo el territorio nacional.
- Artículo 4º: Este artículo define distintos conceptos utilizados en este decreto.

### **1.5.3.4 Normas Chilenas 1333 Of.78 (NCh1333) y 409/1 Of.2005 (NCh409)**

Estas normas establecen las concentraciones máximas de contaminantes en el agua según la aplicación de esta a diferentes usos. En el caso de la norma NCh1333 se aplica a los usos de agua referentes al riego, vida acuática, recreación y estética, y por otro lado la norma NCh409 se utiliza para el uso de agua potable.

**Tabla 2** Límites máximos de las Normas Chilenas NCh 1333 y NCh 409

<b>Parámetro</b>	<b>Límite máximo NCh 1333</b>	<b>Límite máximo NCh 409</b>	<b>Unidad</b>
Aluminio (Al)	5	-	mg/l
Arsénico (As)	0,1	0,01	mg/l
Boro (B)	0,75	-	mg/l
Cadmio (Cd)	0,01	0,01	mg/l
Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	200	400	mg/l
Cobalto (Co)	0,05	-	mg/l
Cobre (Cu)	0,2	2	mg/l
Cromo (Cr)	0,1	0,05	mg/l
Hierro (Fe)	5	0,3	mg/l
Magnesio (Mg)	-	125	mg/l
Manganeso (Mn)	0,2	0,1	mg/l
Mercurio (Hg)	0,001	0,001	mg/l
Molibdeno (Mo)	0,01	-	mg/l
Níquel (Ni)	0,2	-	mg/l
Nitrato (NiO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	-	50	mg/l
Plata (Ag)	0,2	-	mg/l
Plomo (Pb)	5	0,05	mg/l
Selenio (Se)	0,02	0,01	mg/l
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	250	-	mg/l
Zinc (Zn)	2	3	mg/l
pH	5,5 – 9,0	6,5 < pH < 8,5	-

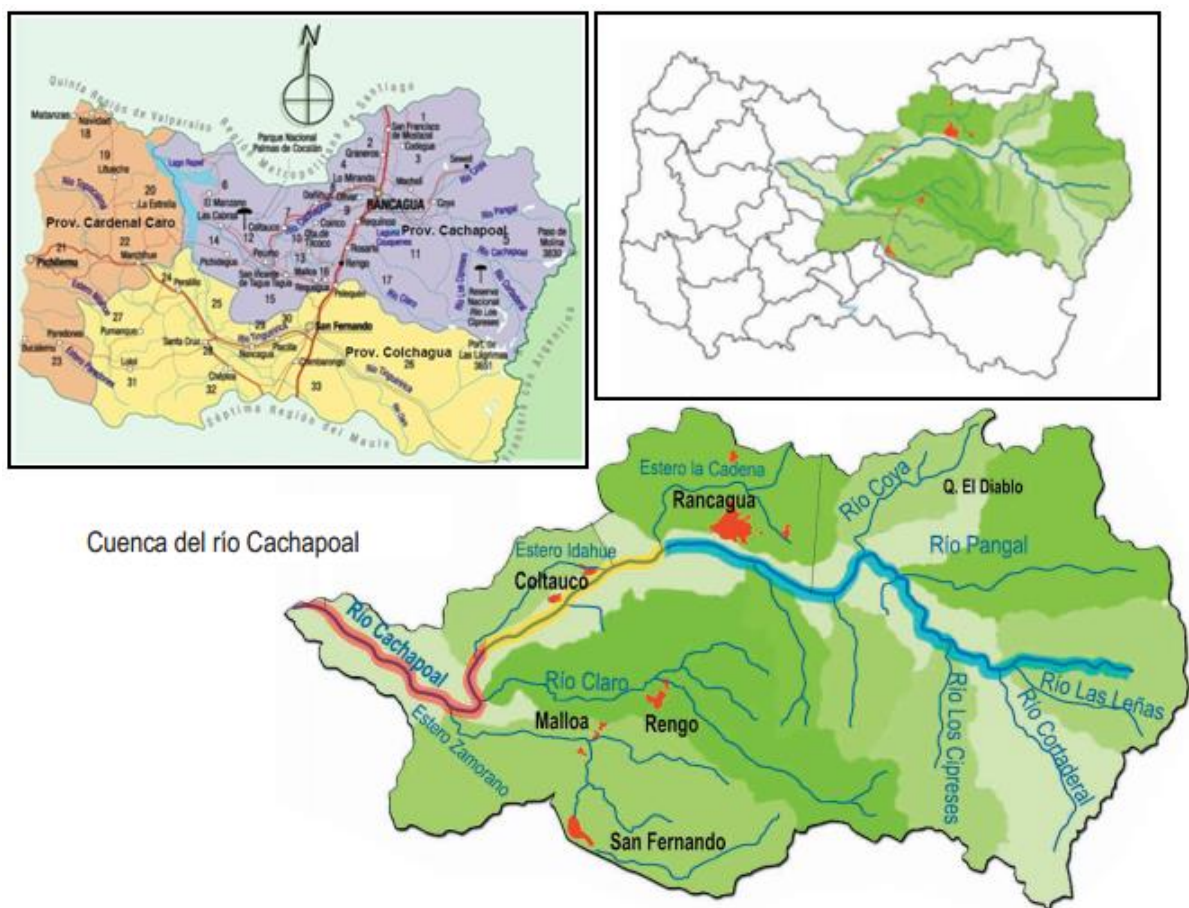
Fuente: NCh 1333, INN, 1978. NCh 409, INN, 2005.

## 2 CAPÍTULO II: MARCO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

### 2.1 UBICACIÓN ZONA DE ESTUDIO

El sector de estudio se encuentra ubicado en la zona central de Chile, en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins (VI Región), colindante en el noreste con la Región Metropolitana de Santiago (XIII Región), en el noroeste con la Región de Valparaíso (V Región) y en el sur con la Región del Maule (VII Región). Hacia el oeste se encuentra el océano pacífico y al este la Cordillera de los Andes, límite entre Chile y Argentina.

La VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, presenta una superficie de 16.387 Km<sup>2</sup>, la cual se encuentra dividida en tres provincias: Cachapoal, Cardenal Caro y Colchagua. La población que vive en esta región se estimó a partir del Censo de Población y Vivienda del 2.002 en unos 883.368 habitantes, con una densidad poblacional de 53,9 hab/Km<sup>2</sup>.



**Figura 1** Mapa de la VI Región con divisoria de provincias y cuenca del río Cachapoal.  
Fuente: Informe CNR, 2005 / Informe DGA, 2011 (Modificado).

La zona de estudio más específicamente contempla la cuenca del río Cachapoal, provincia Cachapoal (con una superficie estimada de unos 7.384,4 Km<sup>2</sup>).

El nombre de la cuenca viene dado por el río Cachapoal, el cual nace en el cerro de los Piuquenes, con una dirección principal hacia el oeste. Este río por el norte presenta afluentes del río Pangal y por el sur de los ríos Las Leñas, Cortaderal y Cipreses. Los cursos de aguas del río Claro y del estero Zamorano tributan al Cachapoal, en la Depresión Intermedia.

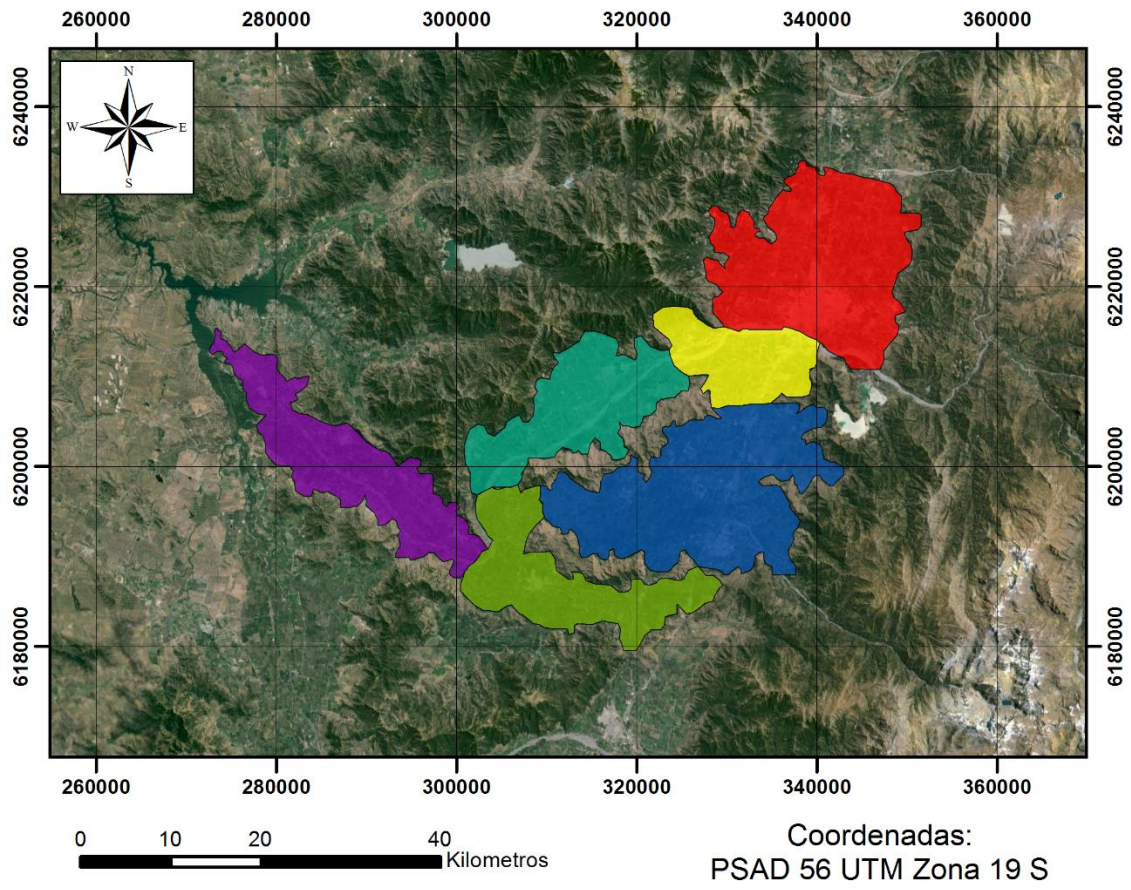
En la cuenca del río Cachapoal se encuentra el acuífero Cachapoal, este se desarrolla principalmente en depósitos fluviales (gravas, arenas y arcillas).

El acuífero de la cuenca del río Cachapoal se puede dividir en 6 sectores administrativos. Estos 6 sectores fueron definidos por la Dirección General de Aguas, en el informe de Evaluación de los recursos hídricos subterráneos de la VI Región, 2005 (Tabla 3).





**Tabla 3** Sectores acuífero del valle del río Cachapoal.

<b>Sector</b>	<b>Descripción</b>
Graneros – Rancagua (I)	Se localiza en la parte alta del relleno del acuífero del Cachapoal, es decir, al norte del río Cachapoal, entre las localidades de Graneros y Rancagua.
Olivar (II)	Consta de la localidad de Olivar y se ubica al sur de Rancagua. La localidad de Olivar está delimitada superiormente por el río Cachapoal y termina agua arribas de la división del valle hacia Doñihue y Requinoa.
Doñihue - Coinco – Coltauco (III)	Se compone de las localidades de Doñihue, Coinco y Coltauco. Sus principales fuentes superficiales son el curso intermedio del Cachapoal y el Estero Idahue.
Requinoa - Rosario - Rengo - Quinta de Tilcoco (IV)	Se constituye de las localidades de Requinoa, Rosario, Rengo y Quinta Tilcoco. Este sector está asociado a la cuenca del río Claro.
Pelequén - Malloa – San Vicente de Tagua Tagua (V)	Se compone de las localidades de Pelequén, Malloa y San Vicente de Tagua Tagua. La cuenca del Estero Zamorano es el principal aporte superficial.
Peumo - Pichidegua – Las Cabras (VI)	Se ubica en la parte inferior del río Cachapoal, se compone de las localidades de Peumo, Pichidegua y Las Cabras y representa la descarga del valle hacia el embalse Rapel.

Fuente: Informe DGA, 2005.



**Sectores**

- |   |  |
|---|--|
|  Graneros - Rancagua         |  Requinoa - Rosario - Rengo - Quinta Tilcoco    |
|  Olivar                      |  Pelequén - Malloa - San Vicente de Tagua Tagua |
|  Doñihue - Coinco - Coltauco |  Peumo - Pichidegua - Las Cabras                |

**Figura 2** Sectores del valle del Cachapoal.  
Fuente: Informe DGA, 2005 (Modificado).



## **2.2 RELIEVE DE LA REGIÓN**

La Región Libertador General Bernardo O´Higgins, está constituida por: las Planicies Litorales, la Cordillera de la Costa, la Depresión Intermedia y la Cordillera de los Andes.

La información que se presenta a continuación está basada en el informe Síntesis Geográfica de la Región del Libertador General Bernardo O´Higgins, INE 2007.

### **2.2.1 Planicies Litorales**

Dado las oscilaciones del nivel del mar generadas durante el Terciario y Cuaternario, la forma que presentan las planicies litorales es aplanada. Sus extensiones varían desde los 25 a 30 Km. La costa presenta variaciones desde playas de acumulación arenosa (dunas) a sectores de acantilados.

### **2.2.2 Cordillera de la Costa**

Se ubica al sur del río Maipo. Consta de los cerros: El Peumo (1.030 m.s.n.m), Portezuelo Enjalma (1.865 m.s.n.m), Las Cuchillas (1.887 m.s.n.m), Altos de Llivillivi (2.046 m.s.n.m), Toro Negro (1.395 m.s.n.m) y Poqui (1.821 m.s.n.m). Forma una pared occidental de la cuenca de Rancagua.

### **2.2.3 Depresión Intermedia**

Se ubica entre la Cordillera de la Costa y la Cordillera de los Andes. Presenta dos sectores principales: la cuenca de Rancagua al norte y la Depresión Intermedia propiamente tal, a partir de la Angostura de Pelequén o Rigolemú. La Depresión Intermedia se encuentra rellenada con sedimentos de origen fluvio-glacio-volcánico.

### **2.2.4 Cordillera de los Andes**

La Cordillera de los Andes en esta región presenta altitudes mayores a 4.000 m,s,n,m, dentro de las cuales se encuentran las cumbres de los cerros Picos del Barroso (5.135 m.s.n.m), de los Piuquenes (4.393 m.s.n.m), Morro del Atravesio (4.590 m.s.n.m), Volcán Palomo (4.860 m.s.n.m) y el Tinguiririca (4.280 m.s.n.m). Presenta un ancho estimado de unos 50 Km y una orientación NE-SO.

## **2.3 CLIMA DE LA REGIÓN**

La VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins presenta un clima templado a cálido con lluvias en época de invierno, es decir un clima mediterráneo. Cabe mencionar que el clima en la Planicie Litoral es relativamente distinto al que ocurre en la Depresión Intermedia o en la Cordillera, esta última en especial es la que presenta la mayor diferencia con las anteriores, dado a las grandes alturas que se encuentran en ella, en donde se generan temperaturas bajo cero.

La información que se presenta a continuación se obtuvo del informe Síntesis Geográfica de la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, INE 2007.

### **2.3.1 Clima en la Planicie Litoral**

Clima templado cálido con lluvias invernales, se caracteriza por una estación seca prolongada que alcanza de 7 a 8 meses, por una gran nubosidad, una amplitud térmica diaria y anual moderada ( $<7^{\circ}\text{C}$ ) y precipitaciones que varían entre los 500 mm y los 1.000 mm anuales. El 80% de las precipitaciones ocurren entre los meses de mayo a agosto.

### **2.3.2 Clima en la Depresión Intermedia**

Clima templado cálido con lluvias invernales, se caracteriza por una estación seca prolongada, presenta características similares a la anterior, pero en este clima ocurre una amplitud térmica mucho mayor que supera los  $13^{\circ}\text{C}$  y presenta un alza en las precipitaciones de norte a sur (por ejemplo: Rancagua 446 mm y San Fernando 773 mm).

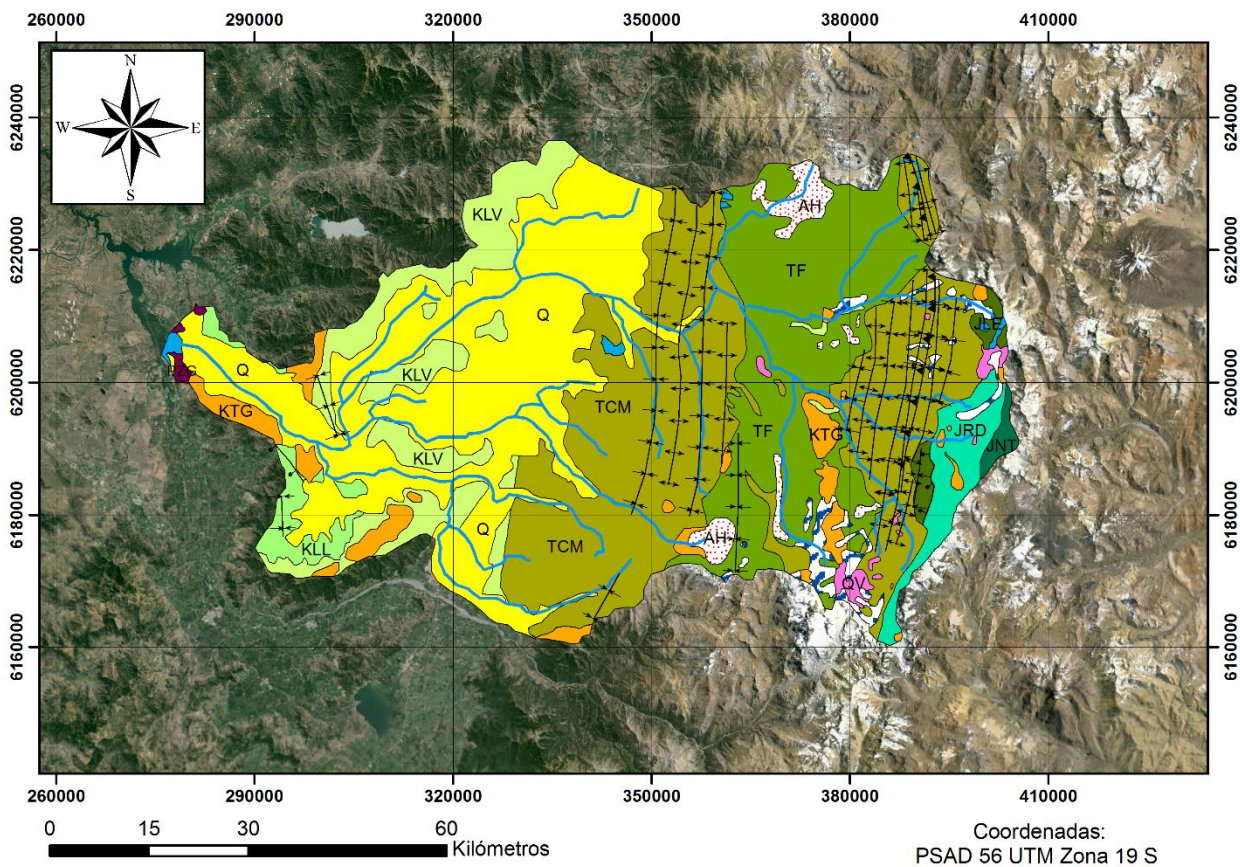
### **2.3.3 Clima en la Cordillera**

Clima templado. A medida que se asciende a mayores alturas se llega a temperaturas menores a los  $0^{\circ}\text{C}$  y las precipitaciones aumentan hasta los 2.000 mm (en alturas superiores a los 3.500 m.s.n.m). Dependiendo de la altura, se puede llegar a condiciones glaciales. Cabe destacar que en esta región se encuentra el 40% de los hielos de la zona central. Las precipitaciones en esta área son de tipo nivoso de altura, lo que genera que estas sean grandes reservorios de agua generados en el invierno y que posteriormente en las épocas de primavera y verano se produzcan el derretimiento de estos hielos, generando grandes cantidades de agua.

## 2.4 MARCO GEOLÓGICO

La geología de la zona de estudio, consta de rocas estratificadas, depósitos cuaternarios, rocas intrusivas y de estructuras asociadas. En el Figura 3 se visualiza la geología de la cuenca del río Cachapoal.

Toda la información de la geología de la zona proviene del informe de la DGA, Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos de la VI Región, 2005 y de Charrier et al., 2002.



### Leyenda


### Simbología


AH: Alteración Hidrotermal; KLV: Fm. Lo Valle; KLL: Fm. La Lajuela; KTG: Batolito Cretácico-Terciario; TF: Fm. Farellones; TCM: Fm. Coya-Machali; JNT: Fm. Nacientes del Teno; JRD: Fm. Río Damas; JLE: Fm. Leñas-Espinoza; PZG: Batolito Paleozoico; Q: Cuaternario; QV: Volcanismo post Mioceno.

**Figura 3** Geología de la cuenca del río Cachapoal.  
Fuente: Informe DGA, 2005 (Modificado).

## **2.4.1 Rocas Estratificadas**

### **2.4.1.1 JNT: Formación Nacientes del Teno (Caloviano? A Oxfordiano)**

Se ubica en la zona fronteriza, frente a Rancagua. Está constituida por sedimentos marinos clásticos organogénicos y químicos que presentan intercalaciones de material piroclástico.

### **2.4.1.2 JRD: Formación Río Damas (Kimmeridgiano)**

Se localiza en la zona fronteriza, desde Rancagua hacia el sur. Consta de grandes espesores de conglomerados y brechas de diversa composición, areniscas y sedimentos finos. Estos depósitos continentales se caracterizan por un escaso contenido de fósiles y una típica coloración rojiza.

### **2.4.1.3 JLE: Formación Leñas - Espinoza (Caloviano)**

Se encuentra en la confluencia de los ríos Leñas y Espinoza hasta el valle del río Cortaderal. Está constituida por una serie detrítica en la parte inferior y por un paquete calcáreo en la parte superior.

### **2.4.1.4 KLL: Formación La Lajuala (Titoniano? a Hauteriviano?)**

Se ubica al este de Santa Cruz, en el sector de la Laguna de San Vicente de Tagua Tagua y en el cordón al norte de la localidad de Las Cabras. Esta unidad presenta principalmente volcanitas queratofíricas y andesitas. También se han reconocido algunos niveles riolíticos constituidos por coladas y brechas con clastos con estructura fluidal.

### **2.4.1.5 KLV: Formación Lo Valle (Cretácico Superior)**

Se reconoce como una ancha franja en el margen oriental de la Cordillera de la Costa y en la Cordillera Principal al este de Rengo y San Fernando. Esta formación está constituida por secuencias volcánicas.

### **2.4.1.6 TCM: Formación Coya - Machalí (Eoceno Superior a Mioceno Inferior)**

Se ubica exclusivamente en la Cordillera Principal, formando dos franjas separadas por la franja de la Fm. Farellones. Consta de grandes series continentales predominantemente volcánicas con potentes intercalaciones sedimentarias.

#### **2.4.1.7 TF: Formación Farellones (Mioceno)**

Se reconoce en la Cordillera Principal, formando una franja continua de orientación nortesur. Es una potente serie volcánica (coladas, brechas y tobas de composición riolítica, andesítica y basáltica) con intercalaciones clásticas (conglomerados, brechas, areniscas y limolitas) continentales.

#### **2.4.1.8 QV: Volcanismo post Mioceno (Plioceno Inferior a Holoceno)**

Los depósitos se encuentran en la parte alta y en valles de las Cordillera Principal. Está constituida por toda actividad volcánica post Mioceno.

### **2.4.2 Depósitos Cuaternarios**

#### **2.4.2.1 Depósitos Fluviales y Aluviales**

Rellenan todos los valles y se presentan formando terrazas. La depresión central ha sido fuertemente rellenada por este y otros tipos de depósitos. En la actualidad presentan amplios conos aluviales en la desembocadura de los ríos.

#### **2.4.2.2 Depósitos Morrénicos**

Se encuentran exclusivamente en la Cordillera Principal, a lo largo de los cauces de los ríos.

#### **2.4.2.3 Depósitos Lacustres de tipo Fluvioglacial**

Son depósitos acumulados detrás de las morrenas frontales, una vez que se retiran los hielos. Estos lagos presentan distintos niveles de evolución geomorfológica.

### **2.4.3 Rocas Intrusivas**

Las rocas graníticas de la zona de estudio se pueden subdividir en dos grupos, uno Paleozoico y otro post Paleozoico. Las primeras (Batolito de la Costa) forman un cuerpo intrusivo que se distribuye en la parte más occidental de la zona estudiada. Son rocas de composición muy variada, predominantemente tonalíticas y grano dioríticas de grano grueso. Las segundas, se encuentran repartidas en toda el área de estudio, y se tratan principalmente de granodioritas de granos más finos y menos alterados. Debido a que estos últimos cortan la Fm. Farellones, se edad es post Mioceno.

#### **2.4.4 Estructuras**

En la Cordillera de la Costa las principales estructuras son las fallas normales que limitan hacia el este y que han permitido el hundimiento del bloque que constituye la Depresión Intermedia.

En la Cordillera Principal se reconocen tres unidades separadas por discordancias. La más antigua (que reúne a las unidades desde el Jurásico Medio al Cretácico Medio) aparece separada de la segunda unidad. En el caso de la segunda unidad (Formación Coya - Machalí), esta se encuentra frecuentemente cortada por fallas inversas con poco desplazamiento. La última unidad corresponde a la Formación Farellones y se caracteriza por plegamientos de gran amplitud.

### **2.5 MARCO HIDROGEOLÓGICO**

El marco hidrogeológico presenta dos secciones:

- Hidrogeología de la cuenca del río Cachapoal. Esta consta de tres unidades principales, los cuales se diferencian por la permeabilidad. La Unidad I tiene permeabilidad baja a nula, la Unidad II alta a media y la Unidad III alta.
- Hidrogeología del acuífero Cachapoal. Esta presenta dos estratos principales, uno inferior de niveles arenosos con grandes cantidades de arcillas y uno superior constituido por materiales gruesos, ripios, gravas y arenas, con muy escasos finos.

A continuación se detallan tanto las unidades de la hidrogeología de la cuenca como la hidrogeología del acuífero Cachapoal.

Toda la información de la hidrogeología de la zona proviene de los informes de la DGA, Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos de la VI Región (2005) y Diagnóstico de la red de aguas subterráneas región del Libertador Bernardo O'Higgins, 2011. Sumado a los informes de la DGA, se recopiló información de la Carta Hidrogeológica de la Hoja de Rancagua de escala 1:250.000 (Hauser, 1990).

## **2.5.1 Hidrogeología de la cuenca del río Cachapoal**

La Hidrogeología de la cuenca del río Cachapoal consta de tres unidades principales.

### **2.5.1.1 Unidad I**

La Unidad I está compuesta por rocas metamórficas y cuerpos intrusivos, los cuales mayoritariamente afloran como una franja de orientación N-S en la Cordillera de la Costa. Esta unidad se caracteriza por presentar una muy baja o nula permeabilidad, generando una barrera natural para el flujo del agua en la cuenca.

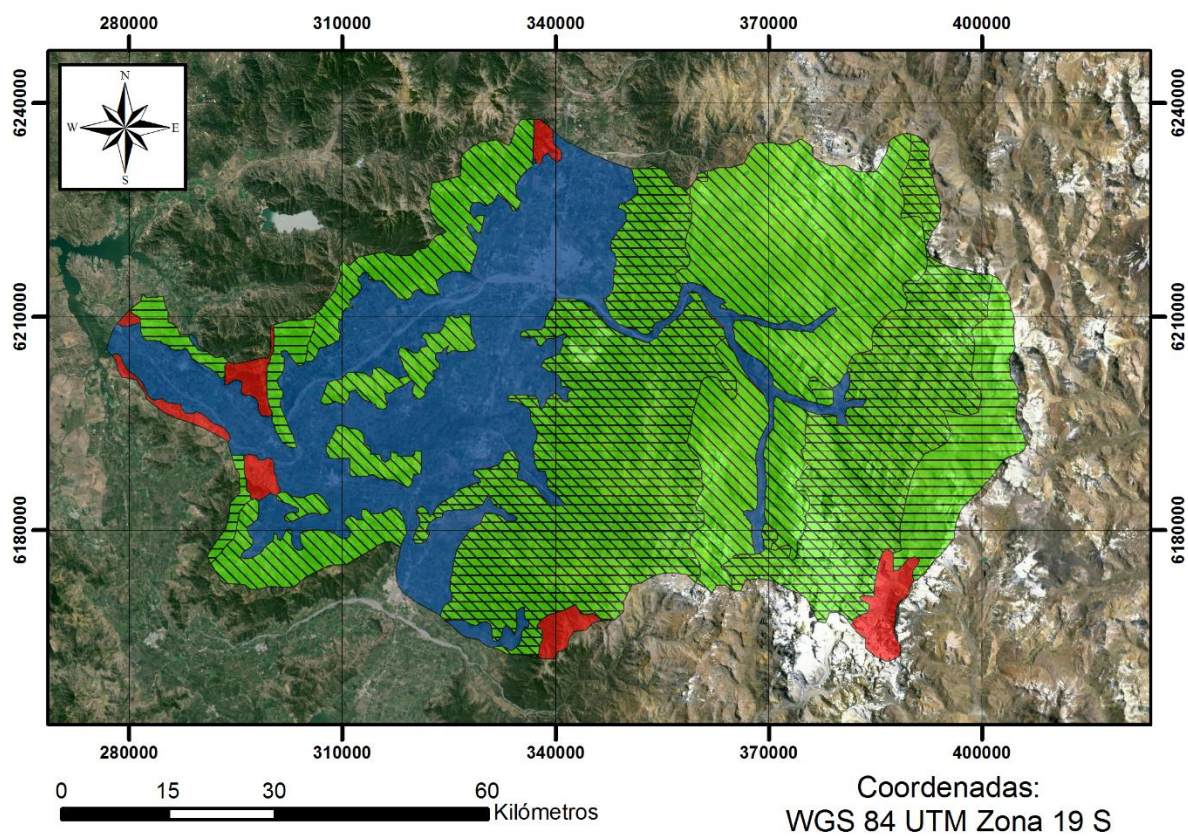
### **2.5.1.2 Unidad II**

La Unidad II consta de rocas sedimentarias y secuencias volcánicas, que se exponen en la superficie producto de la erosión y/o por la tectónica en la Cordillera de la Costa y en la Cordillera de los Andes. Esta unidad presenta una permeabilidad alta a media. Cabe resaltar que los depósitos laháricos se presentan pobremente estratificados, compactos y resistentes, lo que genera una mínima porosidad y permeabilidad. Esta unidad se puede dividir en tres sub-unidades: secuencias sedimentarias, secuencias volcánicas y por último, una secuencia volcánica sedimentaria.

### **2.5.1.3 Unidad III**

La Unidad III presenta depósitos detríticos no consolidados: fluviales, aluviales y coluviales, que se ubican principalmente en la Depresión Intermedia, estos se encuentran limitados por la Unidad II y en el sector de la Cordillera de la Costa por el basamento cristalino. Esta unidad se caracteriza por una alta permeabilidad. Dentro de ella se encuentran principalmente localizados los acuíferos de esta región.

A continuación en la Figura 4, se muestra el mapa hidrogeológico de la cuenca del río Cachapoal.



### Leyenda

- Unidad I: Permeabilidad baja a nula
- Rocas intrusivas y metamórficas
- Unidad II: Permeabilidad alta a media
- Secuencia sedimentaria
  - Secuencia volcánica
  - Secuencia volcánica sedimentaria
- Unidad III: Permeabilidad alta
- Depósitos de relleno aluvial, coluvial y fluvial

**Figura 4** Mapa Hidrogeológico Cuenca del Río Cachapoal  
Fuente: Informe DGA, 2011 (Modificado).



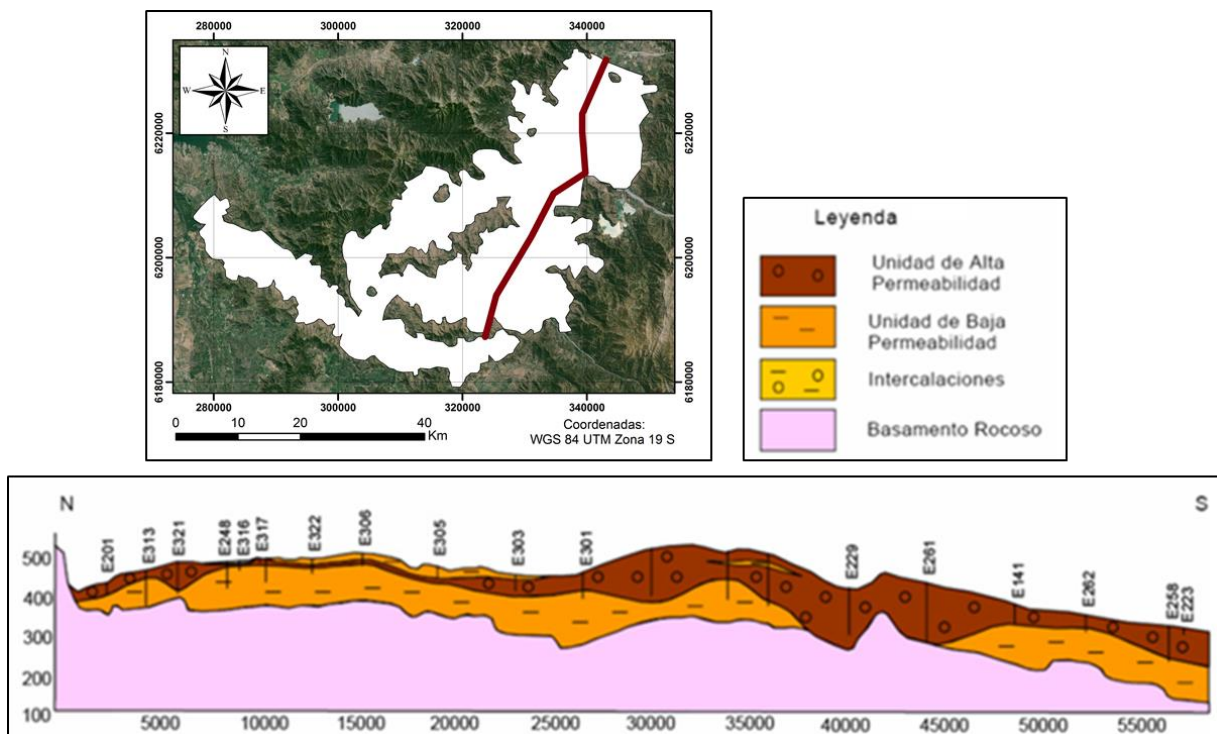
## 2.5.2 Hidrogeología del Acuífero Cachapoal

El acuífero Cachapoal se desarrolla principalmente en depósitos fluviales (gravas, arenas y arcillas), en donde se pueden distinguir dos estratos. El estrato inferior presenta una baja permeabilidad, esto dado la mayor fracción de finos, que corresponden a una alternancia de niveles arenosos con niveles de grandes cantidades de arcillas. Por su parte, el estrato superior presenta una granulometría gruesa (ripios, gravas y arenas, con muy escasos finos), con una buena permeabilidad y con un espesor de unos 100 m, el cual aumenta en la Depresión Central.

En la zona de Rancagua, el estrato superior presenta un espesor de hasta 150 m de potencia, en este sector el acuífero es de carácter freático. En el caso del sector del norte de Rancagua, el estrato mencionado tiene un espesor mucho menor, de unos 5 a 12 m, el cual se encuentra semiconfinado, dado que en su base y techo se encuentran estratos con matriz arcillosa-limosa.

En el sector de Cachapoal Bajo hacia la costa, el estrato de mayor permeabilidad presenta un espesor que varía entre los 60 y 100 m, en donde el carácter del acuífero es freático.

En la Figura 5 se muestra el perfil estratigráfico de una sección del acuífero Cachapoal. Además en el ANEXO VI se pueden observar otros perfiles estratigráficos del acuífero.



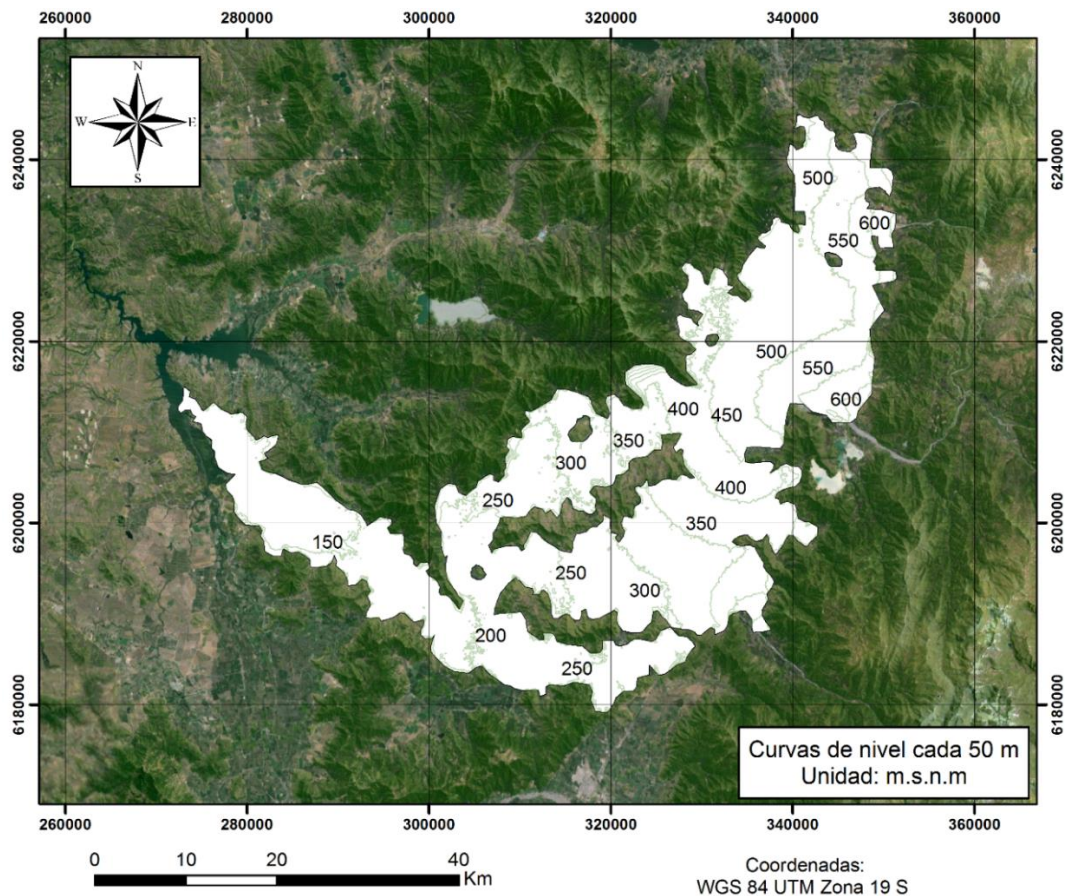
**Figura 5** Perfil Estratigráfico Cuenca del Río Cachapoal.  
Escala vertical 1:5.000 / Escala horizontal 1:100.000  
Fuente: Informe DGA, 2005 / Informe DGA, 2011 (Modificado).

### 3 CAPÍTULO III: CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA Y DEL ACUÍFERO

En este capítulo se analizan las variables más importantes que afectan al acuífero y a la cuenca, y que son relevantes para la realización de una recarga gestionada, como son: las cotas del terreno, los niveles estáticos, el espesor del acuífero y de la zona no saturada, la dirección del flujo subterráneo, las constantes elásticas acuíferas, la recarga y descarga del acuífero (balance de masas), los flujos superficiales y la calidad del agua.

#### 3.1 COTAS DEL TERRENO

Las cotas del terreno en la zona del acuífero Cachapoal están caracterizadas por las mayores alturas al noreste del acuífero, llegando a alcanzar los 600 m.s.n.m en el sureste del sector de Graneros-Rancagua, esto se debe a la cercanía con la Cordillera de los Andes. Las elevaciones van disminuyendo a medida que se va en dirección oeste, en función de la Depresión Intermedia, llegando a las menores elevaciones en el Embalse Rapel.



#### Leyenda

- Curvas de nivel
- Acuífero Cachapoal

Curvas de nivel: Digital Elevation Models  
(<http://www.viewfinderpanoramas.org>)

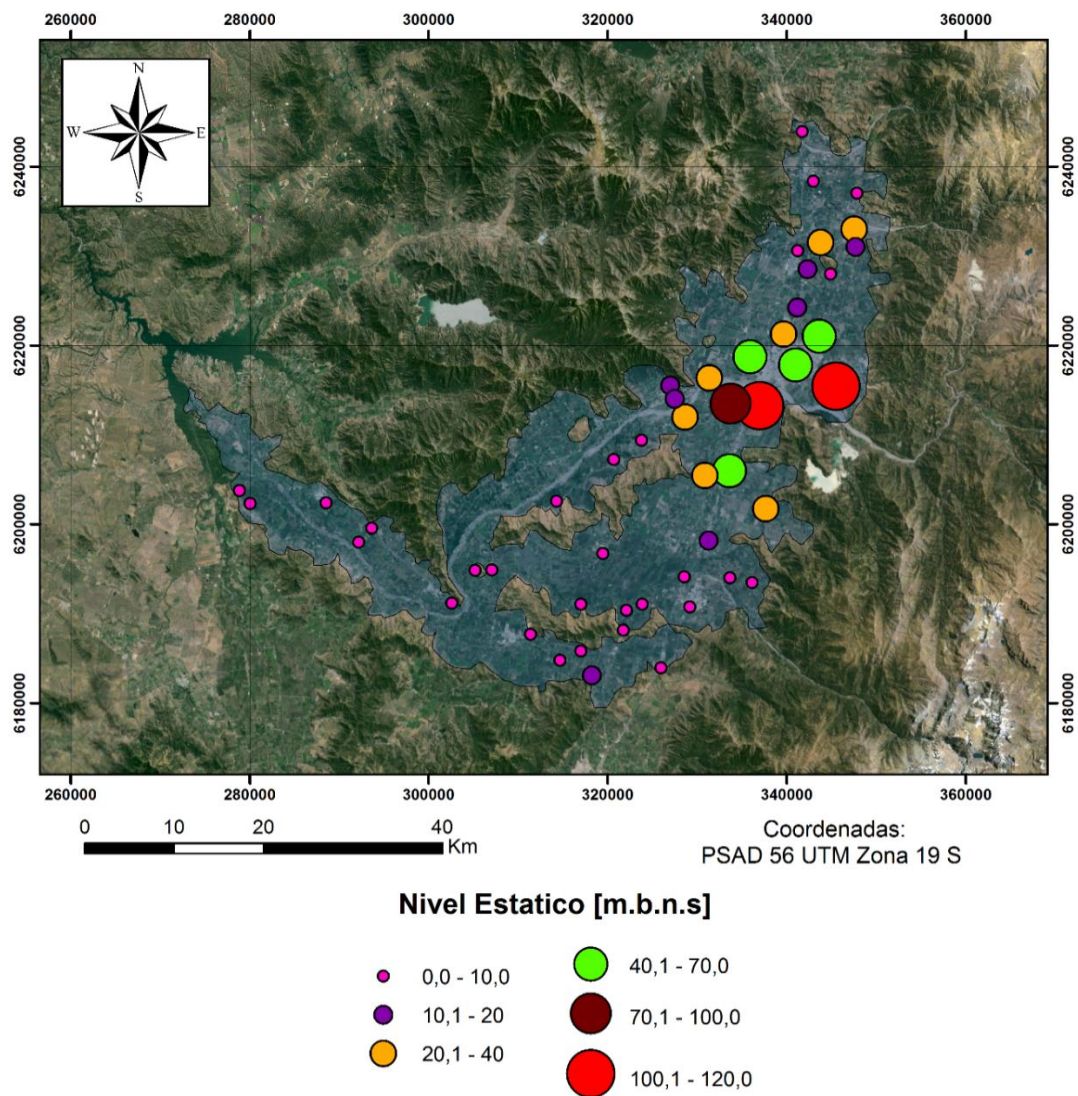
**Figura 6** Curvas de nivel acuífero Cachapoal.  
Fuente: Elaboración propia

## 3.2 NIVELES ESTÁTICOS Y ESPESOR DEL ACUÍFERO

### 3.2.1 Niveles Estáticos

Los niveles estáticos de este estudio, se analizaron en función de 50 pozos repartidos en la cuenca del río Cachapoal. La información se obtuvo del informe de la DGA, 2005.

A continuación se presenta el mapa con los distintos niveles estáticos de los 50 pozos de producción. Los pozos con niveles estáticos mayores presentan una simbología de un tamaño mayor y por lo tanto, los niveles estáticos más superficiales presentan una simbología de un tamaño menor.



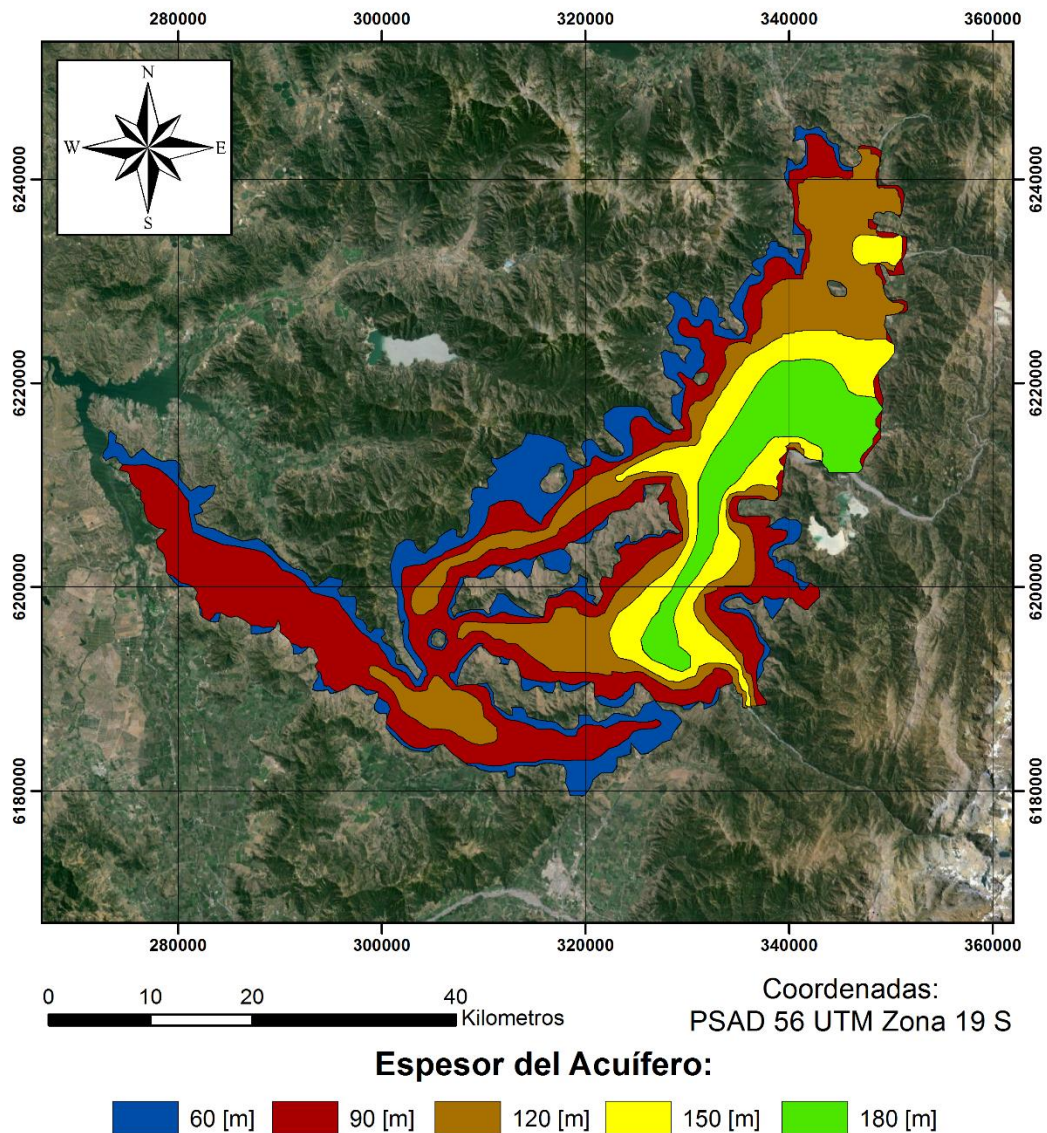
**Figura 7** Mapa con los niveles estáticos de 50 pozos en la cuenca del río Cachapoal.  
Fuente: Elaboración propia

De la observación de este mapa, se puede determinar que las zonas que presentan los niveles estáticos en una menor profundidad, se encuentran principalmente en la Depresión Central, en donde el menor nivel estático se ubica en el pozo La Rosa Sofruco 1 que se encuentra en el sector de Peumo-Pichidegua-Las Cabras con 0,7 m.b.n.s. En el caso de los mayores niveles estáticos, estos se encuentran en el sector de Graneros-Rancagua, en la zona sur, y en el norte del sector de Olivar, donde se observan niveles estáticos superiores a 100 m de profundidad, siendo el más profundo el pozo AP Rancagua Sanchina en el sector de Graneros-Rancagua con una profundidad de 119,9 m.b.n.s. En el ANEXO I se encuentran los niveles estáticos de los 50 pozos.

### 3.2.2 Espesor del acuífero

Dentro de un estudio de recarga gestionada, un tópico muy importante es el espesor del acuífero y principalmente el espesor de la zona no saturada, dado que esta representa el recipiente donde se almacenará toda el agua infiltrada.

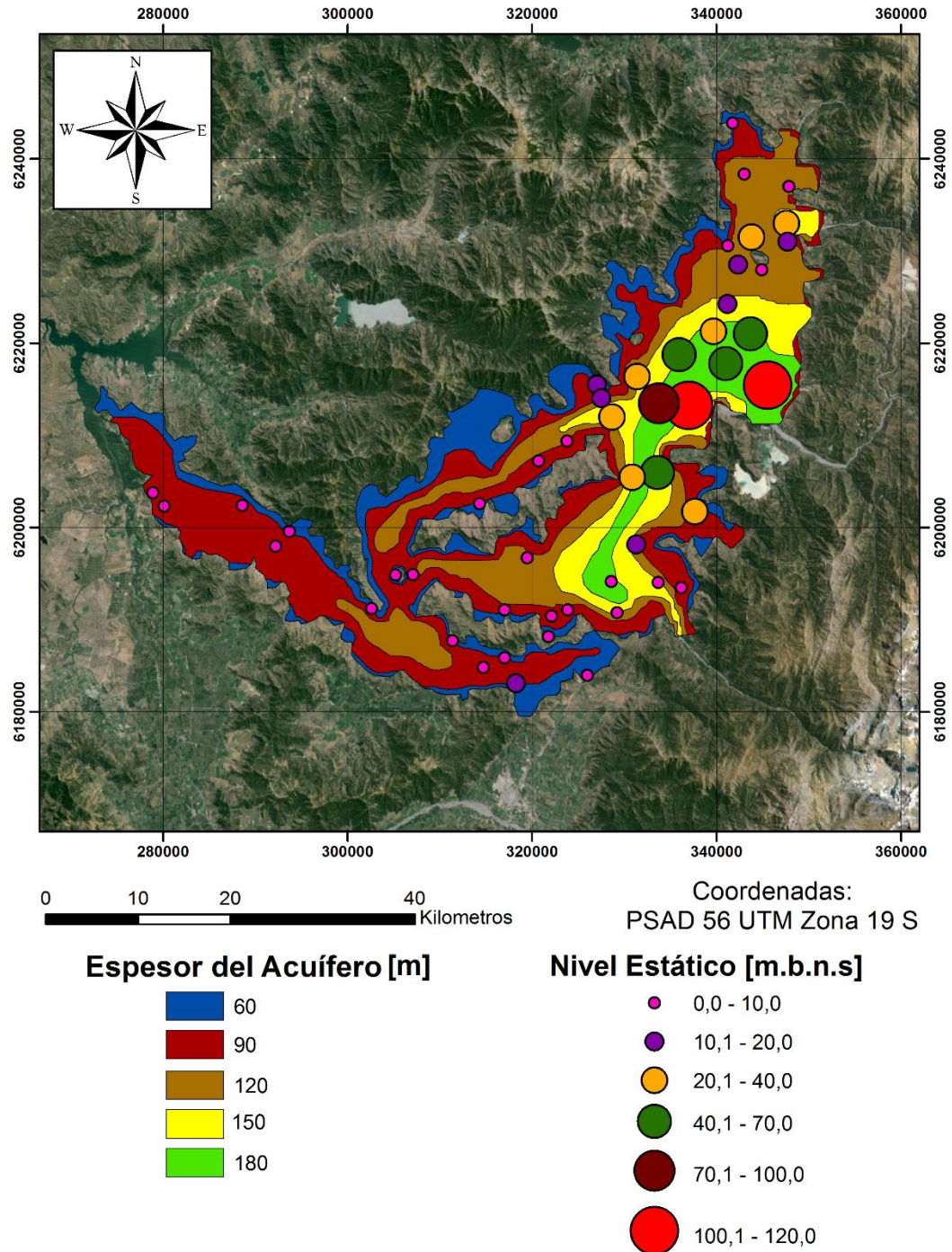
El espesor de este acuífero fue estimado por la DGA, a partir de los depósitos que se encuentran sobre las formaciones Coya-Machalí, Lo Valle y La Lajueta, y del basamento Paleozoico. El espesor del acuífero se estimó, entre 60 m y 180 m. Los mayores espesores se ubican principalmente al sureste del área de estudio, que posteriormente van disminuyendo en todas las direcciones. En la Figura 8 se muestra la distribución espacial de los diversos espesores del acuífero Cachapoal.



**Figura 8** Espesores del acuífero Cachapoal.  
Fuente: Informe DGA, 2005 (Modificado).

### 3.2.3 Espesor no saturado

Para definir el espesor no saturado, se realizó una operación de álgebra de mapas, relacionando la figura de los niveles estáticos (Figura 7), con la figura del espesor del acuífero (Figura 8). Esto permite visualizar cuales zonas presentan los mayores espesores no saturados.



**Figura 9** Espesor no saturado.  
Fuente: Informe DGA, 2005 (Modificado).

Lo que se busca determinar, es un sector en que el espesor de la zona no saturada permita almacenar el agua infiltrada durante la recarga gestionada.

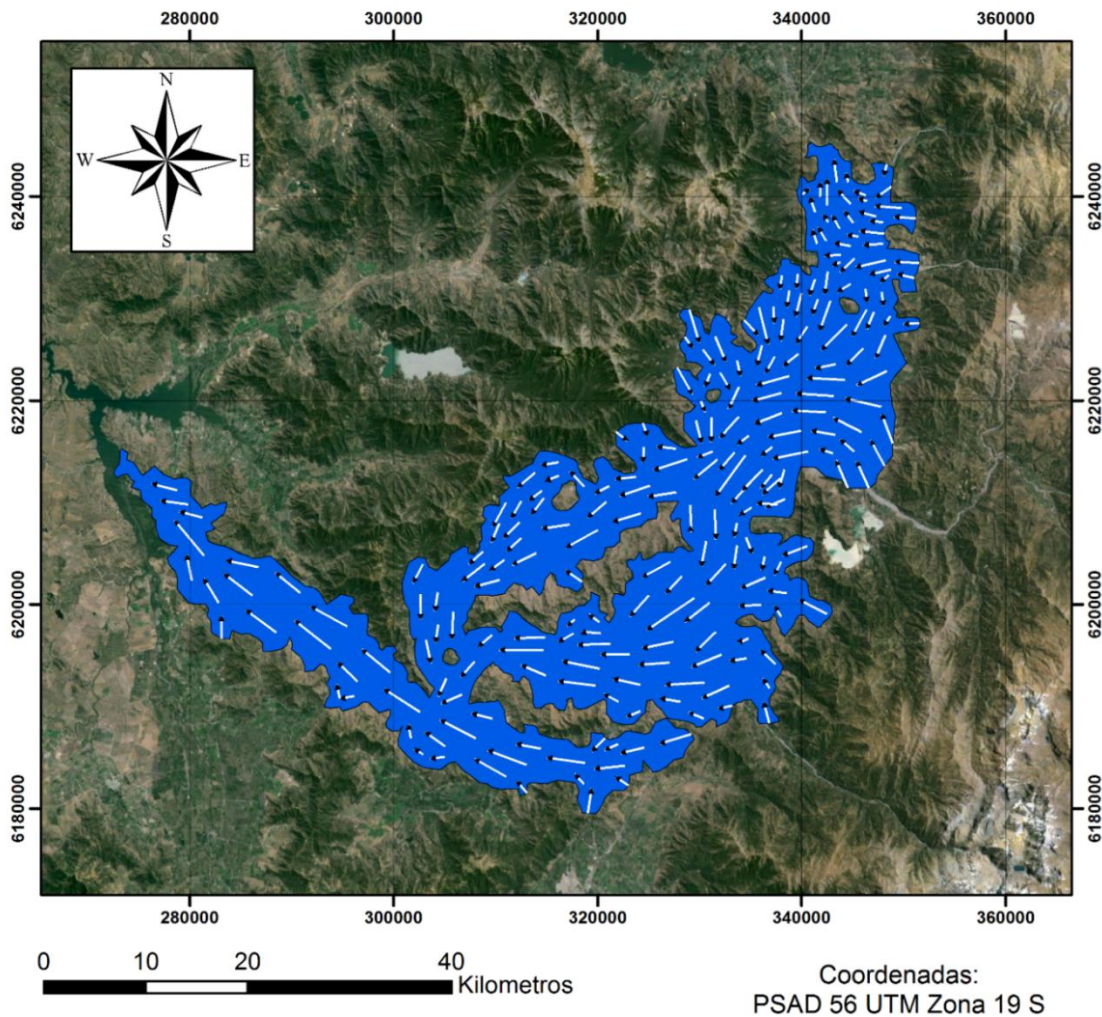
Dado que se quiere almacenar agua en la zona no saturada, las zonas con niveles estáticos muy superficiales no son consideradas aptas para el fin de este estudio. Por lo contrario, las zonas óptimas para realizar una recarga gestionada, serían los sectores que presentan el nivel estático a una profundidad mayor, es decir los sectores de Olivar y de Graneros-Rancagua, donde los niveles estáticos superan los 100 m.b.n.s. Además, en estos sectores existen los mayores espesores del acuífero, llegando a 140 m.

Es importante indicar que en gran parte del acuífero, específicamente en las zonas más cercanas al embalse Rapel, el espesor no saturado es menor a 10 metros, en cambio en las zonas precordilleranas del acuífero el espesor no saturado va desde 20 a 120 metros.

### 3.3 DIRECCIÓN DEL FLUJO SUBTERRÁNEO

La dirección del flujo subterráneo en el acuífero de la cuenca del río Cachapoal tiende a ir desde las zonas precordilleranas hacia la Depresión Intermedia, siguiendo el descenso de las cotas hidráulicas.

A continuación se puede observar la Figura 10, que presenta las direcciones locales del flujo subterráneo. Es importante señalar que la modelación de este flujo fue realizada por la DGA en el 2005, considerando un régimen permanente.



#### Simbología:

 Dirección del flujo subterráneo

**Figura 10** Dirección del flujo subterráneo en el acuífero de la cuenca del río Cachapoal.  
Fuente: Informe DGA, 2005 (Modificado).



De la modelación del movimiento del flujo subterráneo, se puede determinar que en las cercanías de la ciudad de Rancagua, las aguas subterráneas provienen de la Cordillera de los Andes (al este de Rancagua). Estas aguas subterráneas se curvan en una dirección suroeste (parte de ellas fluyen hacia el valle inferior del río Cachapoal) y que luego escurren en una dirección sur, en donde se juntan con las aguas que vienen del valle superior del río Claro, donde toman una nueva dirección hacia el oeste hasta llegar a la confluencia del río Cachapoal con el río Claro.

Posteriormente, unos 5 Km más abajo se une con los flujos subterráneos que provienen bajo el Estero Zamorano. Desde este punto hacia el embalse Rapel, el agua sigue moviéndose en la dirección que presenta el río Cachapoal. En el caso del estero Zamorano, el flujo subterráneo presenta una dirección este a oeste.

Dada la dirección del flujo subterráneo que se observa en el acuífero de la cuenca del río Cachapoal, sería ideal poder realizar la recarga gestionada en las zonas precordilleranas, para así recargar todos los sectores del acuífero, dado que al inyectar agua en esta zona, el flujo subterráneo abastecerá todos los demás sectores.

### **3.4 CONSTANTES ELÁSTICAS**

#### **3.4.1 Conductividad Hidráulica**

La Conductividad Hidráulica se estudió en función de los trabajos realizados por la DGA, predominantemente del informe DGA, 2005; en este informe se analizó la conductividad hidráulica en base a los datos de las pruebas de bombeo y su correlación cualitativa con la estratigrafía y sedimentología que presenta el acuífero Cachapoal. Los datos de las conductividades hidráulicas calculadas para cada pozo se encuentran en el ANEXO III.

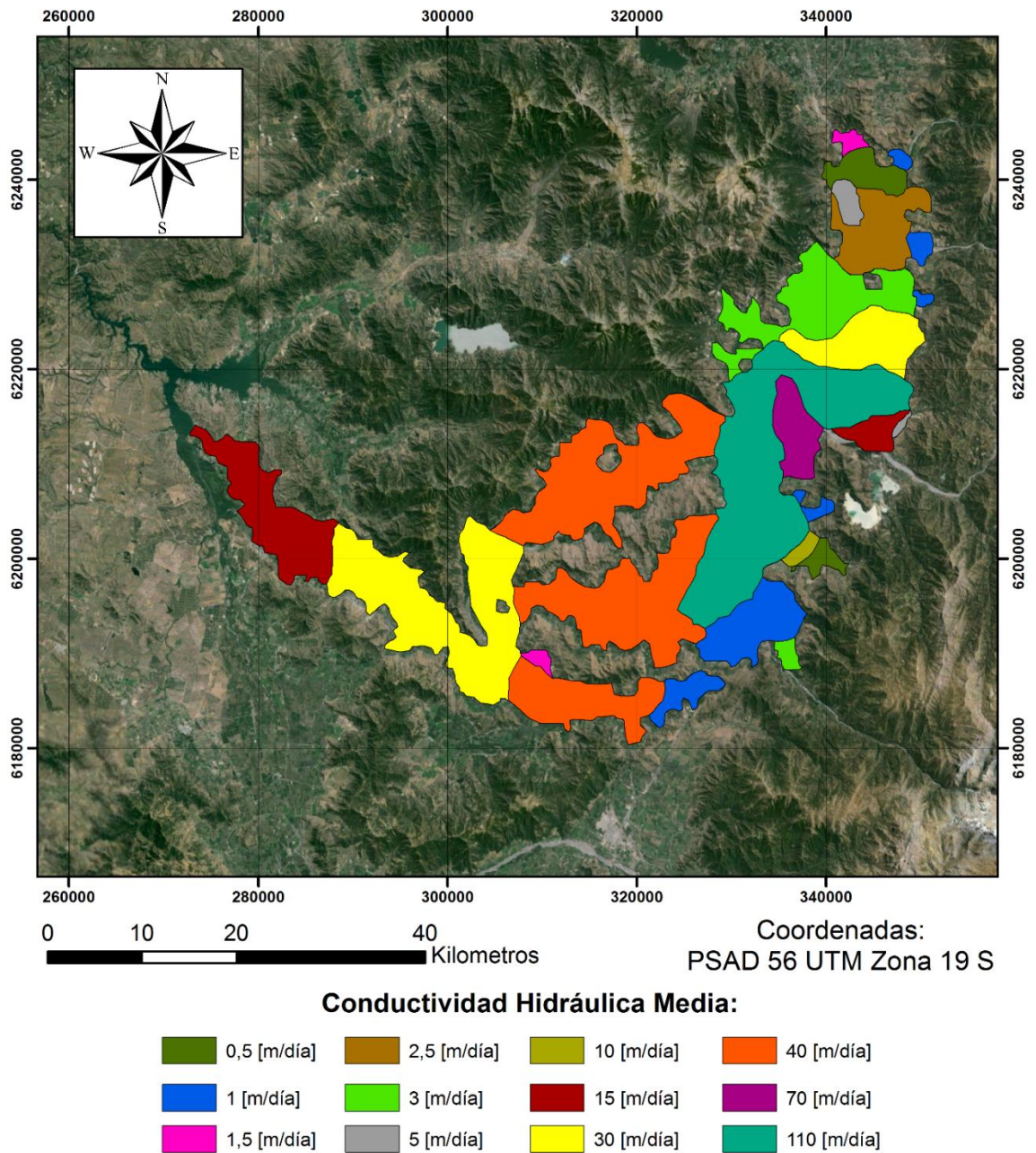
De los resultados obtenidos se pueden delimitar distintas zonas con diversas magnitudes de conductividades hidráulicas dentro del acuífero. En la zona de la Depresión Central la conductividad hidráulica presenta un crecimiento de norte a sur. En el caso del sector de Angostura, en la parte más al norte del acuífero, las conductividades hidráulicas presentan valores en torno a 1 m/día. Entre Rancagua y Rengo se presentan los mayores valores de las conductividades hidráulicas, alcanzando una conductividad de 199,74 m/día, calculada en el pozo E141, Gener S.A.

A medida que se avanza en la cuenca, desde el sector precordillerano hacia la Depresión Intermedia, se observa una disminución de las conductividades hidráulicas. Se pasa de valores cercanos a los 100 m/día en el inicio de la Depresión Central, hasta llegar a valores relativamente bajos, como por ejemplo el pozo E105, Fundo Parrales, sector Loreto, Comuna de Coltauco, con una conductividad hidráulica de tan solo 2,76 m/día. La máxima conductividad hidráulica que se observa en la Comuna de Coltauco se encuentra el pozo E102, Huerto Sta. Rosa con una conductividad de 42,26 m/día.

Además, existe una disminución lenta pero constante de las conductividades hidráulicas desde Peumo al Embalse Rapel. En Peumo se observan conductividades hidráulicas entre 20,38 y 62,5 m/día.

En el caso del estero Zamorano, las conductividades hidráulicas van desde 1,3 m/día en el sector alto, pasando a conductividades hidráulicas del orden de 24 m/día en el centro del sector y alcanzando en las cercanías de San Vicente de Tagua Tagua, una variabilidad en las conductividades, que van desde los 0,59 a 105,40 m/día.

A continuación en la Figura 11 se observa la distribución espacial de las conductividades hidráulicas medias del acuífero.



**Figura 11** Conductividad hidráulica media acuífero Cachapoal.  
Fuente: Informe DGA, 2005 (Modificado).

Los sectores que presentan las conductividades hidráulicas medias más alta se encuentran en: gran parte de la zona sur del sector de Graneros-Rancagua, la zona central del sector de Olivar y la zona noreste del sector de Requinoa-Rosario-Rengo-Quinta Tilco. Dentro de los sectores recién mencionados estaría el lugar óptimo para implementar el proyecto de recarga gestionada, dado que al presentar conductividades hidráulicas altas, esto facilita la movilidad del agua en el acuífero.

### 3.4.2 Coeficiente de Almacenamiento

El coeficiente de almacenamiento fue estimado en función de la conductividad hidráulica, esto se debe a que los datos de las pruebas de bombeo son solo de pozos de producción y por ende no permiten un cálculo correcto del coeficiente de almacenamiento.

La correlación entre la conductividad hidráulica y el coeficiente de almacenamiento, es en base a las características granulométricas de las litologías y del conocimiento previo en sectores con características similares. Esta correlación fue definida por la DGA en su informe del año 2005.

**Tabla 4** Correlación entre la Conductividad Hidráulica y el Coeficiente de Almacenamiento.  
(Valido exclusivamente para el acuífero de la cuenca del río Cachapoal)

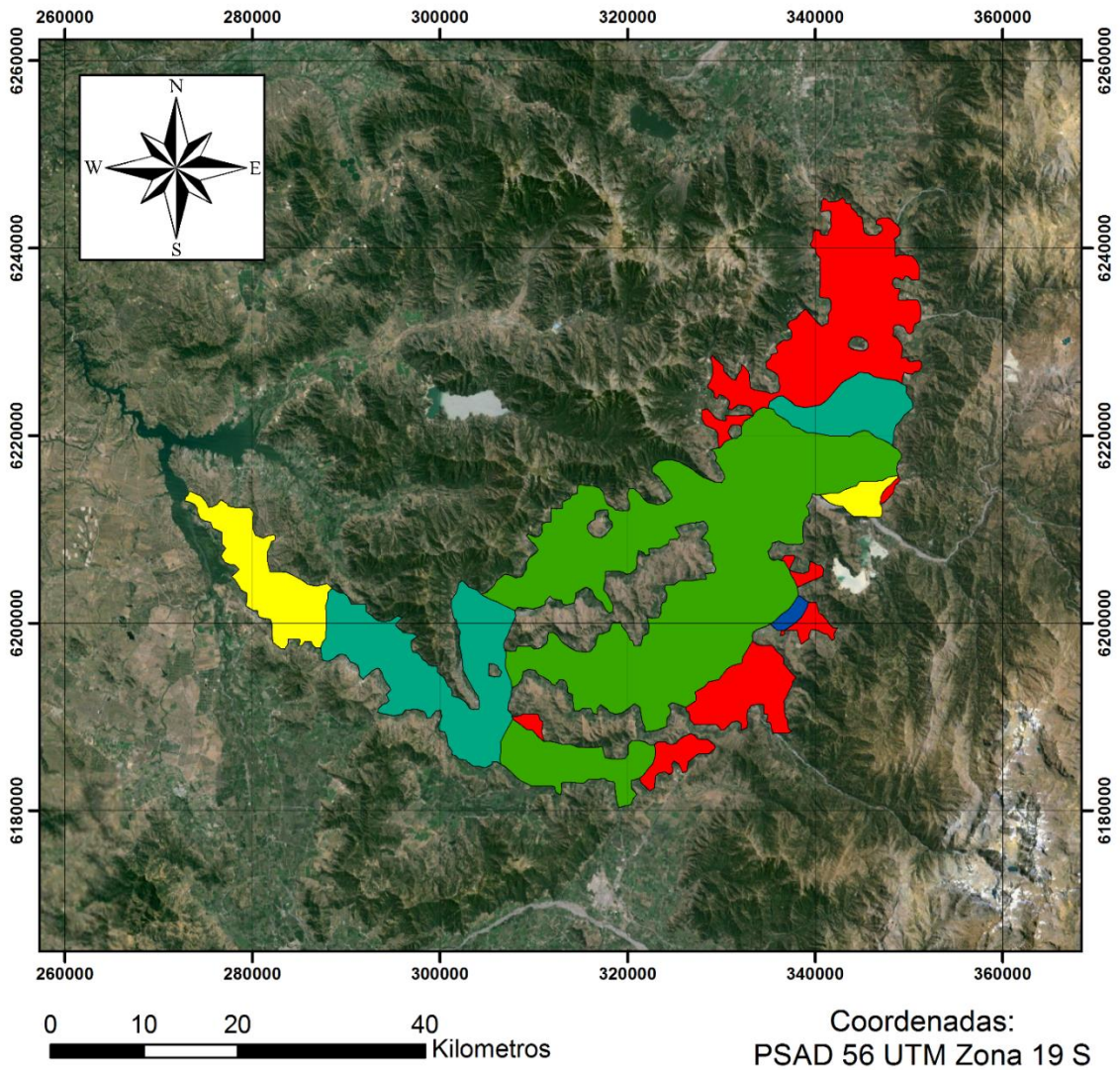
Conductividad Hidráulica	Coeficiente de Almacenamiento
$k \leq 5$ m/día	3%
$5$ m/día $< k \leq 10$ m/día	5%
$10$ m/día $< k \leq 15$ m/día	8%
$15$ m/día $< k \leq 30$ m/día	10%
$k > 30$ m/día	15%

Fuente: Informe DGA, 2005

Los sectores que presentan mayor coeficiente de almacenamiento se encuentran en la zona central del acuífero Cachapoal. Estos son: el sector de Graneros-Rancagua, el sector de Olivar, el sector de Requinoa-Rosario-Rengo-Quinta Tilcoco, el sector de Doñihue-Coinco-Colauco y el sector de Pelequén-Malloa-San Vicente de Tagua Tagua.

El acuífero al tener un coeficiente de almacenamiento del orden de 10-15% en gran parte de su territorio, indica que este acuífero es ideal para la realización de un proyecto de recarga gestionada, ya que permitire la infiltración de mayores volúmenes de agua en función del aumento del nivel estático.

Al norte de Rancagua se observan coeficientes de almacenamientos de un 3%, esto se puede deber a un mayor grado de confinamiento que existe en ese sector.



**Coeficiente de Almacenamiento:**



**Figura 12** Coeficiente de almacenamiento acuífero Cachapoal.  
Fuente: Informe DGA, 2005 (Modificado).

### 3.5 FLUJOS SUPERFICIALES

Los principales flujos superficiales que se observan en la cuenca del río Cachapoal son: el Río Cachapoal, el Río Claro y el Estero Zamorano. El Río Cachapoal por el norte presenta afluentes del Río Pangal y por el sur de los ríos Las Leñas, Cortaderal y Cipreses. Los cursos de aguas del río Claro y del Estero Zamorano tributan al Cachapoal, en la Depresión Intermedia. En la cuenca también se encuentran los esteros de La Cadena e Idahue.

A continuación se presentan los caudales promedios anuales en las estaciones fluviométricas desde al año 1991 al 2012 (Tabla 5), que permiten el análisis de los caudales de los flujos superficiales en la cuenca del río Cachapoal. Se completaron los años donde no existen antecedentes, en función de una regresión lineal con respecto a una estación base.

**Tabla 5** Caudales promedios anuales en estaciones fluviométricas.

Año	Estaciones (Caudales en m <sup>3</sup> /seg)			
	Río Claro en Tunca	Río Cachapoal en Puente Arqueado	Esteros Zamorano en Puente el Niche	Río Cachapoal en Puente Termas (Estación base)
1991	25,30	81,11	14,55	59,11
1992	32,49	141,60	25,36	68,96
1993	27,82	102,31	18,34	81,20
1994	25,57	83,38	14,96	80,67
1995	24,34	73,03	13,11	74,09
1996	19,91	30,70	5,55	48,27
1997	33,94	144,40	25,86	76,21
1998	19,57	15,17	2,78	65,77
1999	22,82	63,42	11,39	51,41
2000	38,59	182,13	32,59	74,30
2001	37,20	156,21	27,97	91,44
2002	34,28	167,84	30,04	92,43
2003	23,53	77,09	13,83	81,38
2004	23,88	59,91	14,45	67,57
2005	34,56	132,91	26,21	111,54
2006	25,77	139,65	23,10	123,47
2007	25,63	82,19	15,05	66,44
2008	30,73	125,06	22,71	88,23
2009	20,23	82,36	14,78	77,54
2010	22,80	60,04	10,79	58,67
2011	20,60	34,33	7,49	48,91
2012	21,12	55,03	8,27	56,64

Fuente: Hidrometeorología y Calidad de Aguas en línea, DGA y Junta de Vigilancia Río Cachapoal.

Usando los caudales de la tabla previa, se realizó un estudio de las probabilidades de excedencia y periodos de retorno. Se ordenan los caudales de mayor a menor y, en función de su posición, se define la probabilidad de excedencia y periodo de retorno. Los resultados y formulas se presentan a continuación.

**Tabla 6** Probabilidades de Excedencia y Periodos de retorno.

m	Estaciones (Caudales en m <sup>3</sup> /seg)				Probabilidad de Excedencia		Periodo de Retorno [años]
	Río Claro en Tunca	Río Cachapoal en Puente Arqueado	Estero Zamorano en Puente el Niche	Río Cachapoal en Puente Termas	$Pb = \frac{m}{n + 1}$	$Pb * 100$ (%)	$T = \frac{1}{Pb}$
1	38,59	182,13	32,59	123,47	0,04	4	23,00
2	37,20	167,84	30,04	111,54	0,09	9	11,50
3	34,56	156,21	27,97	92,43	0,13	13	7,67
4	34,28	144,40	26,21	91,44	0,17	17	5,75
5	33,94	141,60	25,86	88,23	0,22	22	4,60
6	32,49	139,65	25,36	81,38	0,26	26	3,83
7	30,73	132,91	23,10	81,2	0,30	30	3,29
8	27,82	125,06	22,71	80,67	0,35	35	2,88
9	25,77	102,31	18,34	77,54	0,39	39	2,56
10	25,63	83,38	15,05	76,21	0,43	43	2,30
11	25,57	82,36	14,96	74,3	0,48	48	2,09
12	25,30	82,19	14,78	74,09	0,52	52	1,92
13	24,34	81,11	14,55	68,96	0,57	57	1,77
14	23,88	77,09	14,45	67,57	0,61	61	1,64
15	23,53	73,03	13,83	66,44	0,65	65	1,53
16	22,82	63,42	13,11	65,77	0,70	70	1,44
17	22,80	60,04	11,39	59,11	0,74	74	1,35
18	21,12	59,91	10,79	58,67	0,78	78	1,28
19	20,60	55,03	8,27	56,64	0,83	83	1,21
20	20,23	43,37	7,49	51,41	0,87	87	1,15
21	19,91	34,33	5,79	48,91	0,91	91	1,10
n = 22	19,57	30,70	5,55	48,27	0,96	96	1,05

(Pb= probabilidad de excedencia; m=número de orden; n=número de datos; T= periodo de retorno)

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 13** Estaciones fluviométricas cuenca del río Cachapoal.  
Fuente: Informe DGA, 2005

A continuación se detallan los caudales de los flujos superficiales de cada sector del acuífero.

Cada flujo superficial se estudió en función de los siguientes dos casos:

- Caudales de un año promedio (probabilidad de excedencia del 50%)
- Grandes caudales, que se pueden deber a altas precipitaciones y/o a grandes deshielos (probabilidad de excedencia del 20%).



**Sector Graneros-Rancagua (I).** En este sector los flujos superficiales provienen de la suma de los flujos del río Cachapoal en Puente Termas (CPT) y del río Claro en Campamento (CC). Sumado a esto, se tiene el flujo del estero La Cadena (ELC), que se incorpora por la ribera norte.

- *Probabilidad de excedencia del 50%:*  
 $Q_{CPT} = 74,09 \text{ [m}^3/\text{s]}; Q_{CC} = 4,04 \text{ [m}^3/\text{s]}; Q_{ELC} = 6,00 \text{ [m}^3/\text{s]}$   
 $Q_{Total} = 74,09 + 4,04 + 6,00 = 84,13 \text{ [m}^3/\text{s]}$
- *Probabilidad de excedencia del 20%:*  
 $Q_{CPT} = 88,23 \text{ [m}^3/\text{s]}; Q_{CC} = 4,04 \text{ [m}^3/\text{s]}; Q_{ELC} = 6,00 \text{ [m}^3/\text{s]}$   
 $Q_{Total} = 88,23 + 4,04 + 6,00 = 98,27 \text{ [m}^3/\text{s]}$

**Sector Olivar (II).** El flujo superficial de este sector es el que se genera desde el sector Graneros-Rancagua asociado al río Cachapoal.

- *Probabilidad de excedencia del 50%:*  
 $Q_{Sector I} = 84,13 \text{ [m}^3/\text{s]}$   
 $Q_{Total} = 84,13 \text{ [m}^3/\text{s]}$
- *Probabilidad de excedencia del 20%:*  
 $Q_{Sector I} = 98,27 \text{ [m}^3/\text{s]}$   
 $Q_{Total} = 98,27 \text{ [m}^3/\text{s]}$

**Sector Doñihue-Coinco-Coltauco (III).** Los flujos superficiales que presenta este sector, se generan por la suma de los flujos del Estero Idahue con el flujo que proviene desde el sector de Olivar. En este sector se generan extracciones desde canales, los cuales disminuyen el caudal total del sector.

- *Probabilidad de excedencia del 50%:*  
 $Q_{Idahue} = 8,00 \text{ [m}^3/\text{s]}; Q_{Sector II} = 84,13 \text{ [m}^3/\text{s]}; Q_{Canales} = -14,45 \text{ [m}^3/\text{s]}$   
 $Q_{Total} = 8,00 + 84,13 - 14,45 = 77,68 \text{ [m}^3/\text{s]}$
- *Probabilidad de excedencia del 20%:*  
 $Q_{Idahue} = 8,00 \text{ [m}^3/\text{s]}; Q_{Sector II} = 98,27 \text{ [m}^3/\text{s]}; Q_{Canales} = -14,45 \text{ [m}^3/\text{s]}$   
 $Q_{Total} = 8,00 + 98,27 - 14,45 = 91,82 \text{ [m}^3/\text{s]}$

**Sector Requinoa-Rosario-Rengo-Quinta de Tilcoco (IV).** El flujo superficial de este sector se basa principalmente en el flujo del río Claro.

- *Probabilidad de excedencia del 50%:*

$$Q_{\text{RíoClaro}} = 25,30 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

$$Q_{\text{Total}} = 25,30 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

- *Probabilidad de excedencia del 20%:*

$$Q_{\text{RíoClaro}} = 33,94 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

$$Q_{\text{Total}} = 33,94 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

**Sector Pelequén-Malloa-San Vicente de Tagua Tagua (V).** En este sector el flujo superficial contempla solamente el flujo del Estero Zamorano.

- *Probabilidad de excedencia del 50%:*

$$Q_{\text{Zamorano}} = 14,78 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

$$Q_{\text{Total}} = 14,78 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

- *Probabilidad de excedencia del 20%:*

$$Q_{\text{Zamorano}} = 25,86 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

$$Q_{\text{Total}} = 25,86 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

**Sector Peumo-Pichidegua-Las Cabras (VI).** El flujo superficial de este sector, representa el fin de todos los flujos de los demás sectores, los cuales se encausan principalmente en el cauce del río Cachapoal. El caudal del flujo superficial de este sector, se determinó en la estación fluviométrica Cachapoal en Puente Arqueado (CPA).

- *Probabilidad de excedencia del 50%:*

$$Q_{\text{CPA}} = 82,19 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

$$Q_{\text{Total}} = 82,19 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

- *Probabilidad de excedencia del 20%:*

$$Q_{\text{CPA}} = 141,60 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

$$Q_{\text{Total}} = 141,60 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

Los caudales del río Claro en Campamento, del Estero La Cadena, del Estero Idahue y los canales del III sector, fueron sacados del informe “Evaluación de los recursos hídricos subterráneos de la VI Región”, DGA 2005. Esto se debe a la falta de datos de las estaciones fluviométricas o la no existencia de estas estaciones. Estos caudales se utilizaron con una probabilidad de excedencia del 50%, para los dos casos, para que estos valores no afecten el análisis.

### **3.6 RECARGA / DESCARGA DEL ACUÍFERO Y BALANCES DE MASAS**

En esta sección se detallan las recargas y descargas del acuífero Cachapoal y los respectivos balances de masas, tanto para el sistema completo (acuífero), como para cada sector por sí solo.

Esta información se obtuvo de informes de la DGA, principalmente del informe Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos de la VI Región, del 2005.

#### **3.6.1 Recarga**

La recarga del acuífero se genera mediante:

- Recarga superficial.
- Recarga subterránea.
- Recarga lateral.
- Recarga desde los ríos y esteros.

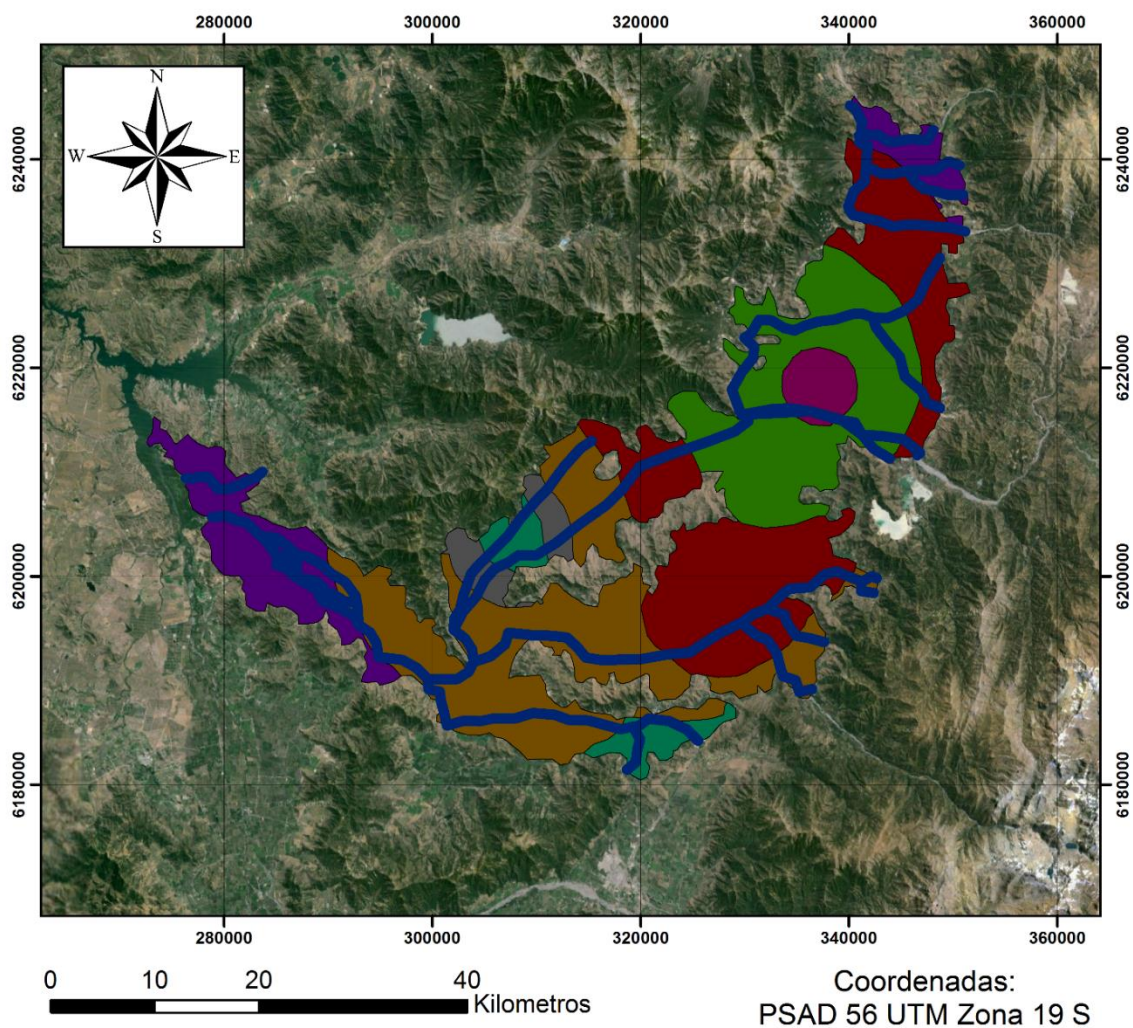
En el acuífero Cachapoal, la recarga superficial se genera producto de la infiltración por precipitaciones, la infiltración por riego y la infiltración por pérdidas que se generan en los canales de riego. La recarga superficial en su totalidad se estimó por la DGA como un 10% de las precipitaciones caídas en la zona. En la Figura 14 se observan la distribución espacial de la recarga superficial.

En el caso de la recarga subterránea, esta proviene de las zonas precordilleranas de los acuíferos, asociados a los valles de los ríos Claro, Peuco y Cachapoal y del estero Codegua al norte de la cuenca.

La recarga lateral, específicamente en el informe de la DGA 2005, fue estudiada como aportes generados en la misma cuenca pero no directamente en el acuífero (en función de 39 sub cuencas), asociadas a la infiltración por precipitaciones, que producen una recarga de piedemonte. Se estimó por la DGA que las precipitaciones generan una escorrentía del 60% y una infiltración del 20%, es decir una tasa de infiltración de un 12%. La distribución espacial de las sub cuencas de la cuenca del río Cachapoal se indica en la Figura 15.

La recarga desde los ríos y esteros se estimó por la DGA en función de la posición de la napa en profundidad, de la conductancia que presenta los ríos y esteros, y de la altura de los ríos en relación a sus bordes.

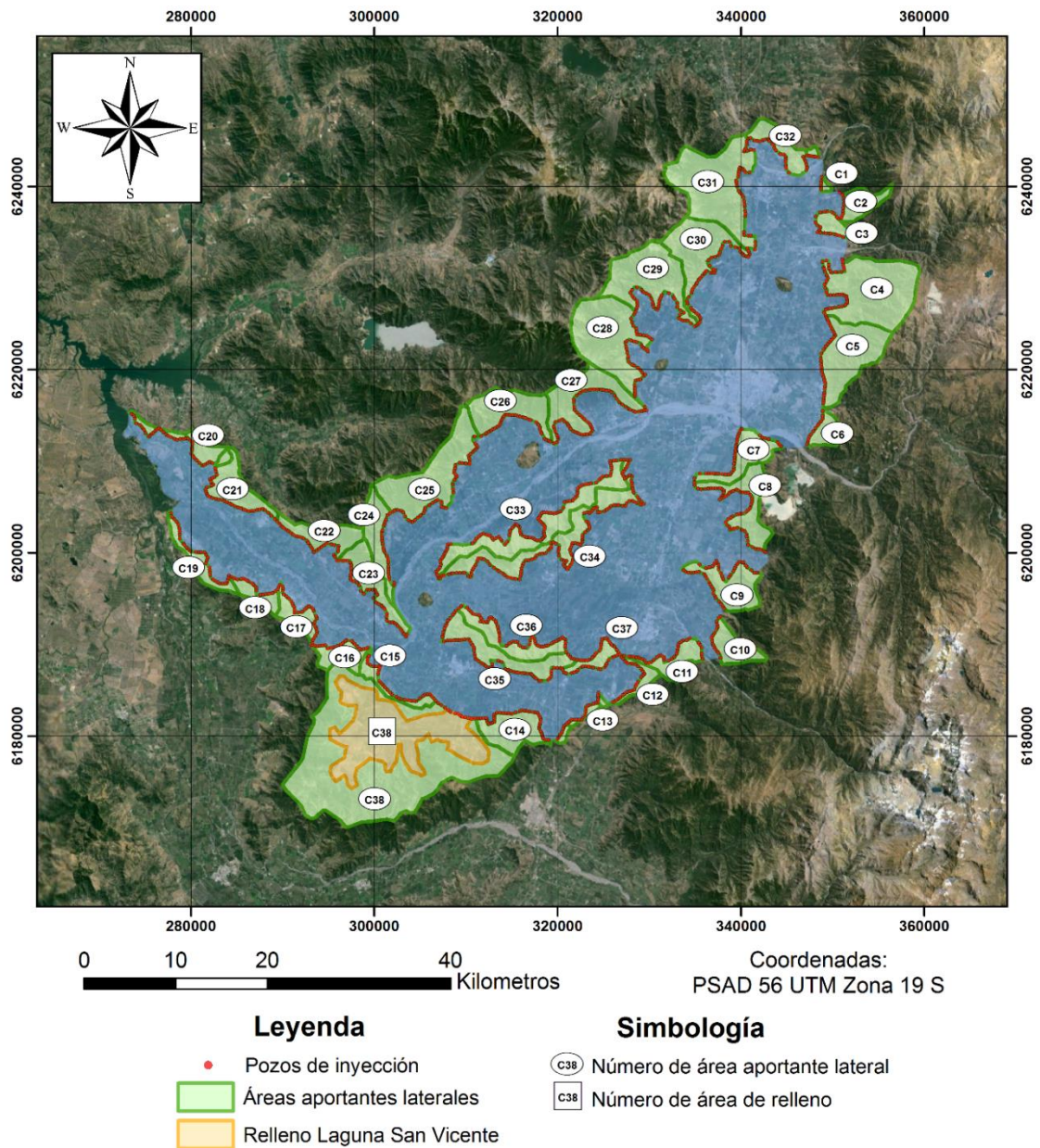
Es importante señalar que tanto los porcentajes de infiltración en la recarga superficial, como en las recargas laterales, fueron determinados en el informe de la DGA, 2005, en función de los antecedentes que ellos recopilaron.



### Recarga Superficial:



**Figura 14** Recarga superficial del acuífero.  
Fuente: Informe DGA, 2005 (Modificado).



**Figura 15** Recargas laterales del acuífero.  
Fuente: Informe DGA, 2005 (Modificado).

La modelación de las recargas laterales fueron simuladas en función de pozos de inyección en los bordes del acuífero (la simulación fue realizada por la DGA en el informe del 2005 y se basó en 1.569 pozos de inyección teóricos).

El detalle de los caudales de infiltración, sus áreas y precipitaciones medias de cada sub cuenca, se encuentran en el ANEXO IV.

### **3.6.2 Descarga**

Las descargas que presenta el acuífero Cachapoal son generadas de las siguientes maneras:

- Descarga subterránea hacia el Embalse Rapel.
- Descarga en los ríos y esteros.
- Pozos de bombeo construidos en la zona.

La descarga subterránea hacia el Embalse Rapel fue estimada por la DGA como si fuera un borde hidráulico de altura constante, esto permite simplificar el modelamiento.

La descarga en los ríos y esteros se estimó por la DGA en función de la posición de la napa en profundidad, de la conductancia que presentan los ríos y esteros, y de la altura de los ríos en relación a sus bordes.

En relación a la descarga producida por los pozos de bombeo, en la cuenca del río Cachapoal se encuentran construidos aproximadamente unos 480 pozos de bombeo y existen a lo menos 50 pozos en trámite, con un caudal total de unos 17.000 a 18.000 l/s. Los pozos de bombeo construidos en la cuenca del río Cachapoal se presentan en el ANEXO II.

### 3.6.3 Balance de Masas

Los balances de masas presentes en esta sección, tanto del acuífero, como para cada sector, consideran un régimen natural, demanda comprometida y demanda total.

Dentro de estos balances de masas se utiliza el concepto de bordes constantes, estos se refieren a los bordes hidráulicos que dan con sectores no pertenecientes al acuífero en estudio, ni a la cuenca del río Cachapoal.

#### 3.6.3.1 Balance de Masas Acuífero (Régimen Natural)

El balance de masas de régimen natural, implica un balance sin las explotaciones de las aguas subterráneas (no contempla las descargas por bombeo de pozos, entre otras cosas).

**Tabla 7** Balance de masas régimen natural.

<b>Entradas (m<sup>3</sup>/s)</b>	
Almacenamiento	0,00
Borde Constante	2,40
Recarga Lateral	2,33
Recarga Superficial	2,40
Ríos y Esteros	6,02
Flujo Subterráneo desde Codegua	0,15
<b>Total</b>	<b>13,30</b>
<b>Salidas (m<sup>3</sup>/s)</b>	
Almacenamiento	0,00
Pozos	0,00
Ríos y Esteros	13,10
Descargas Subterráneas al Embalse Rapel	0,23
<b>Total</b>	<b>13,33</b>

Fuente: Informe DGA, 2005

Dado que el caudal de salida es mayor al de entrada, este sistema no estaría en equilibrio, pero ya que la diferencia es mínima, de tan solo 0,03 m<sup>3</sup>/s, se puede considerar el sistema como si fuera un régimen permanente.

### 3.6.3.2 Balance de Masas Acuífero (Demanda Comprometida)

El balance de masas de la demanda comprometida, contempla el balance con los derechos de aguas otorgados, como lo son las extracciones de agua por pozos de bombeo.

**Tabla 8** Balance de masas demanda comprometida.

<b>Entradas (m<sup>3</sup>/s)</b>	
Almacenamiento	0,14
Borde Constante	2,56
Recarga Lateral	2,10
Recarga Superficial	2,39
Ríos y Esteros	7,06
Flujo Subterráneo desde Codegua	0,09
<b>Total</b>	<b>14,34</b>
<b>Salidas (m<sup>3</sup>/s)</b>	
Almacenamiento	0,00
Pozos	5,54
Ríos y Esteros	8,56
Descargas Subterráneas al Embalse Rapel	0,22
<b>Total</b>	<b>14,32</b>

Fuente: Informe DGA, 2005

Este balance de masas al incorporar los derechos otorgados, genera un aumento en los caudales de entrada y de salida.

El factor que se ve mayormente afectado es el de los ríos y esteros, esto se debe a que se genera una demanda externa (pozos), lo que produce que el agua que antes se entregaba a los ríos y esteros desde el acuífero sea mucho menor, ya que esta sale por otro mecanismo, que en este caso son los pozos de bombeo. En cambio la entrada de agua al acuífero mediante los ríos y esteros aumenta, esto ocurre ya que existe una mayor demanda de agua, por lo que el acuífero tiende a compensar esas pérdidas buscando agua de otros factores, como lo son los ríos y esteros.



### 3.6.3.3 Balance de Masas Acuífero (Demanda Total)

El balance de masas de la demanda total, considera tanto los derechos otorgados como los derechos en trámites.

**Tabla 9** Balance de masas demanda total.

<b>Entradas (m<sup>3</sup>/s)</b>	
Almacenamiento	0,14
Borde Constante	2,57
Recarga Lateral	2,10
Recarga Superficial	2,39
Ríos y Esteros	7,13
Flujo Subterráneo desde Codegua	0,09
<b>Total</b>	<b>14,42</b>
<b>Salidas (m<sup>3</sup>/s)</b>	
Almacenamiento	0,00
Pozos	5,90
Ríos y Esteros	8,29
Descargas Subterráneas al Embalse Rapel	0,21
<b>Total</b>	<b>14,41</b>

Fuente: Informe DGA, 2005

Al aumentar los derechos de agua, se genera un aumento en el caudal de salida por pozos, esto causa que se disminuya el caudal de los cursos superficiales, dado que se aumenta la cantidad de entrada al acuífero por ríos y estero (debido a que el sistema tiende a balancearse, en función de la salida de agua que se genera por lo pozos) y se disminuye la salida de esta. Todo esto ya se podía apreciar en el caso de la demanda comprometida, pero esto se acentúa dado la mayor cantidad de pozos.

Se aprecia que la diferencia de los caudales de entrada y de salida es mínima, es decir que la capacidad actual del acuífero se encuentra en su máximo rendimiento, lo cual no permitiría la entrega de nuevos derechos de aprovechamientos de agua. Claramente esto representa una simulación y no la realidad, pero nos da una cercanía a esta.

### 3.6.3.4 Balances de Masas (Sectores)

Dado que este estudio contempla el análisis de forma sectorial, a continuación se presentan los distintos balances de masas de cada sector.

Estos balances de masas permiten analizar las recargas y descargas de cada sector del acuífero por sí solo, generando un mejor entendimiento del comportamiento de las aguas en el acuífero en función de la ubicación dentro de la cuenca.

Además, facilita determinar cuál de los sectores se encuentra en un contexto más crítico en relación a la falta de recarga de agua al acuífero o cual sector presenta una mayor demanda de agua asociada a la descarga por pozos.

#### 3.6.3.4.1 Sector Graneros-Rancagua

**Tabla 10** Balance de masa sector Graneros-Rancagua.

<b>Entradas (m<sup>3</sup>/s)</b>			
<b>Componente</b>	<b>Régimen Natural</b>	<b>Demanda Comprometida</b>	<b>Demanda Total</b>
Almacenamiento	0,00	0,06	0,05
Borde Constante	2,28	2,43	2,44
Recarga Lateral	0,50	0,47	0,47
Recarga Superficial	0,53	0,53	0,53
Ríos y Esteros	4,00	4,00	4,00
Flujo Subterráneo desde Codegua	0,15	0,09	0,09
<b>Total</b>	<b>7,46</b>	<b>7,58</b>	<b>7,58</b>
<b>Salidas (m<sup>3</sup>/s)</b>			
<b>Componente</b>	<b>Régimen Natural</b>	<b>Demanda Comprometida</b>	<b>Demanda Total</b>
Almacenamiento	0,00	0,00	0,00
Pozos	0,00	1,52	1,57
Ríos y Esteros	0,04	0,00	0,00
Descargas Subterráneas al sector de Codegua	0,00	0,01	0,01
Descargas Subterráneas del sector I al sector II	7,42	6,05	6,00
<b>Total</b>	<b>7,46</b>	<b>7,58</b>	<b>7,58</b>

Fuente: Informe DGA, 2005

- El sector de Graneros-Rancagua presenta una demanda de agua subterránea (pozos) mayor a la recarga superficial.
- El sector no presenta descarga hacia los ríos y esteros, pero la principal recarga del acuífero en este sector proviene de ellos.

### 3.6.3.4.2 Sector Olivar

**Tabla 11** Balance de masas sector Olivar.

<b>Entradas (m<sup>3</sup>/s)</b>			
<b>Componente</b>	<b>Régimen Natural</b>	<b>Demanda Comprometida</b>	<b>Demanda Total</b>
Almacenamiento	0,00	0,02	0,02
Recarga Lateral	0,09	0,09	0,09
Recarga Superficial	0,17	0,17	0,17
Ríos y Esteros	0,71	1,02	1,03
Flujo Subterráneas del sector I al sector II	7,42	6,05	6,00
Flujo Subterráneas del sector III al sector II	0,01	0,00	0,00
Flujo Subterráneas del sector IV al sector II	0,02	0,01	0,01
<b>Total</b>	<b>8,42</b>	<b>7,35</b>	<b>7,32</b>
<b>Salidas (m<sup>3</sup>/s)</b>			
<b>Componente</b>	<b>Régimen Natural</b>	<b>Demanda Comprometida</b>	<b>Demanda Total</b>
Almacenamiento	0,00	0,00	0,00
Pozos	0,00	0,54	0,56
Ríos y Esteros	1,05	0,38	0,36
Descargas Subterráneas del sector II al sector III	1,54	1,42	1,41
Descargas Subterráneas del sector II al sector IV	5,84	5,02	4,99
<b>Total</b>	<b>8,43</b>	<b>7,35</b>	<b>7,32</b>

Fuente: Informe DGA, 2005

- El sector de Olivar presenta una demanda de agua subterránea (pozos) mayor a las recarga superficial.
- La principal entrada de agua al sector proviene de la descarga subterránea que genera el sector de Graneros-Rancagua.
- En este sector se genera una mínima descarga desde los ríos y esteros, en comparación a la entrada de agua al acuífero por este mecanismo (es aproximadamente tres veces mayor con respecto a la demanda total).

### 3.6.3.4.3 Sector Doñihue-Coinco-Coltauco

**Tabla 12** Balance de masas sector Doñihue-Coinco-Coltauco.

<b>Entradas (m<sup>3</sup>/s)</b>			
<b>Componente</b>	<b>Régimen Natural</b>	<b>Demanda Comprometida</b>	<b>Demanda Total</b>
Almacenamiento	0,00	0,00	0,02
Recarga Lateral	0,38	0,37	0,37
Recarga Superficial	0,34	0,34	0,34
Ríos y Esteros	0,56	0,72	0,72
Flujo Subterráneas del sector II al sector III	1,54	1,42	1,41
Flujo Subterráneas del sector V al sector III	0,02	0,02	0,02
<b>Total</b>	<b>2,84</b>	<b>2,87</b>	<b>2,87</b>
<b>Salidas (m<sup>3</sup>/s)</b>			
<b>Componente</b>	<b>Régimen Natural</b>	<b>Demanda Comprometida</b>	<b>Demanda Total</b>
Almacenamiento	0,00	0,00	0,00
Pozos	0,00	0,37	0,40
Ríos y Esteros	1,91	1,57	1,55
Descargas Subterráneas del sector III al sector II	0,01	0,00	0,00
Descargas Subterráneas del sector III al sector V	0,92	0,92	0,92
<b>Total</b>	<b>2,84</b>	<b>2,87</b>	<b>2,87</b>

Fuente: Informe DGA, 2005

- El sector de Doñihue-Coinco-Coltauco presenta una demanda de agua subterránea (pozos) similar a la recarga superficial, por lo que esta es suficiente para satisfacer esta demanda.
- La mayor descarga en el sector se genera debido a la salida del agua hacia los ríos y esteros.
- La mayor recarga de agua al acuífero en este sector proviene desde el sector de Olivar.

### 3.6.3.4.4 Sector Requinoa-Rosario-Rengo-Quinta de Tilcoco

**Tabla 13** Balance de masas sector Requinoa-Rosario-Rengo-Quinta de Tilcoco.

<b>Entradas (m<sup>3</sup>/s)</b>			
<b>Componente</b>	<b>Régimen Natural</b>	<b>Demanda Comprometida</b>	<b>Demanda Total</b>
Almacenamiento	0,00	0,02	0,02
Borde Constante	0,12	0,12	0,12
Recarga Lateral	0,35	0,35	0,35
Recarga Superficial	0,65	0,65	0,65
Ríos y Esteros	0,20	0,44	0,47
Flujo Subterráneas del sector II al sector IV	5,84	5,02	4,99
<b>Total</b>	<b>7,15</b>	<b>6,59</b>	<b>6,59</b>
<b>Salidas (m<sup>3</sup>/s)</b>			
<b>Componente</b>	<b>Régimen Natural</b>	<b>Demanda Comprometida</b>	<b>Demanda Total</b>
Almacenamiento	0,00	0,00	0,00
Borde Constante	0,00	0,00	0,00
Pozos	0,00	1,52	1,69
Ríos y Esteros	6,23	3,96	3,78
Descargas Subterráneas del sector IV al sector II	0,02	0,01	0,01
Descargas Subterráneas del sector IV al sector V	0,90	1,11	1,11
<b>Total</b>	<b>7,15</b>	<b>6,59</b>	<b>6,59</b>

Fuente: Informe DGA, 2005

- El sector de Requinoa-Rosario-Rengo-Quinta de Tilcoco presenta una demanda de agua subterránea (pozos) mayor a la recarga superficial.
- En este sector se observa que la mayor descarga del acuífero es hacia los ríos y esteros.
- La entrada de agua al sector se generan principalmente por el flujo subterráneo proveniente desde el sector de Doñihue-Coinco-Coltauco.

### 3.6.3.4.5 Sector Pelequén-Malloa-San Vicente de Tagua Tagua

**Tabla 14** Balance de masas sector Pelequén-Malloa-San Vicente de Tagua Tagua.

<b>Entradas (m<sup>3</sup>/s)</b>			
<b>Componente</b>	<b>Régimen Natural</b>	<b>Demanda Comprometida</b>	<b>Demanda Total</b>
Almacenamiento	0,00	0,00	0,02
Recarga Lateral	0,38	0,37	0,37
Recarga Superficial	0,34	0,34	0,34
Ríos y Esteros	0,56	0,72	0,72
Flujo Subterráneas de sector III a V	1,54	1,42	1,41
Flujo Subterráneas de sector IV a V	0,02	0,02	0,02
<b>Total</b>	<b>2,84</b>	<b>2,87</b>	<b>2,87</b>
<b>Salidas (m<sup>3</sup>/s)</b>			
<b>Componente</b>	<b>Régimen Natural</b>	<b>Demanda Comprometida</b>	<b>Demanda Total</b>
Almacenamiento	0,00	0,00	0,00
Pozos	0,00	0,37	0,40
Ríos y Esteros	1,91	1,57	1,55
Descargas Subterráneas de sector V a sector III	0,01	0,00	0,00
Descargas Subterráneas de sector V a sector VI	0,92	0,92	0,92
<b>Total</b>	<b>2,84</b>	<b>2,87</b>	<b>2,87</b>

Fuente: Informe DGA, 2005

- El sector de Pelequén-Malloa-San Vicente de Tagua Tagua presenta una demanda de agua subterránea (pozos) similar a la recarga superficial, por lo que esta es suficiente para satisfacer esta demanda.
- La mayor descarga de agua desde el acuífero está asociada a los ríos y esteros.
- La entrada de agua al sector se genera principalmente por el flujo subterráneo proveniente desde el sector de Requinoa-Rosario-Rengo-Quinta de Tilcoco.

### 3.6.3.4.6 Sector Peumo-Pichidegua-Las Cabras

**Tabla 15** Balance de masas sector Peumo-Pichidegua-Las Cabras.

<b>Entradas (m<sup>3</sup>/s)</b>			
<b>Componente</b>	<b>Régimen Natural</b>	<b>Demanda Comprometida</b>	<b>Demanda Total</b>
Almacenamiento	0,00	0,00	0,00
Borde Constante	0,00	0,01	0,01
Recarga Lateral	0,28	0,27	0,27
Recarga Superficial	0,36	0,36	0,36
Ríos y Esteros	0,43	0,71	0,72
Flujo Subterráneas del sector V al sector VI	0,55	0,45	0,45
<b>Total</b>	<b>1,61</b>	<b>1,81</b>	<b>1,81</b>
<b>Salidas (m<sup>3</sup>/s)</b>			
<b>Componente</b>	<b>Régimen Natural</b>	<b>Demanda Comprometida</b>	<b>Demanda Total</b>
Almacenamiento	0,00	0,00	0,00
Borde Constante	0,23	0,22	0,21
Pozos	0,00	0,63	0,67
Ríos y Esteros	1,39	0,96	0,93
<b>Total</b>	<b>1,61</b>	<b>1,81</b>	<b>1,81</b>

Fuente: Informe DGA, 2005

- El sector de Peumo-Pichidegua-Las Cabras presenta una demanda de agua subterránea (pozos) similar a la recarga superficial, por lo que esta es suficiente para satisfacer esta demanda.
- Se observa que la mayor salida de agua del acuífero está asociada a los ríos y esteros.
- La entrada del agua a este sector del acuífero es principalmente mediante los ríos y esteros.

### **3.7 CALIDAD DEL AGUA**

Para cualquier proyecto de recarga gestionada que se desee realizar, se debe cumplir las normativas chilenas de calidad de agua, tanto para agua potable (Norma Chilena 409) y como para riego (Norma Chilena 1333).

Toda la información de los distintos parámetros químicos analizados y los cumplimientos de la NCh 409 y la NCh 1333, provienen del informe de la DGA “Desarrollo metodológico e informe con antecedentes para la realización de los análisis de impacto económico y social de las normas secundarias de calidad de aguas de las cuencas Cachapoal, Maipo y Elqui”, 2012.

La caracterización de la calidad del agua en la cuenca del río Cachapoal, está dividida en 17 tramos o áreas de vigilancia, estas fueron propuestas en el estudio “Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua, según objetivo de calidad” desarrollado por CADE – IDEPE, 2004 y posteriormente utilizado en el informe propuesto por la Dirección Regional del SAG, VI Región, titulado “Anteproyecto de Norma Secundaria de calidad de aguas superficial de la cuenca del río Cachapoal y sus tributarios principales”, 2005.

El análisis de la calidad del agua en la cuenca del río Cachapoal, se realizó en función de los siguientes 29 parámetros: Aceites y Grasas, Aluminio, Amonio, Arsénico, Boro, Cadmio, Cianuro, Cloruro, Cobre, Coliformes Fecales, Coliformes Totales, Conductividad Eléctrica, Cromo, DBO5, Detergentes (SAAM), Fluoruro, Hierro, Manganeso, Molibdeno, Níquel, Nitrito, Oxígeno Disuelto, pH, Plomo, Selenio, Sólidos Disueltos, Sólidos Suspendidos, Sulfato y Zinc.

Muchos de estos parámetros no presentan información debido a que pueden tener problemas de límite de detección o el parámetro no está normado. Esto genera que en algunas áreas de vigilancia un parámetro “x” pueda presentar un valor y en otras no.

En la Tabla 16 se encuentran detallados los 17 tramos o áreas de vigilancia definidas. Consta del código de cada tramo y de los límites de las áreas de vigilancia dentro de los cursos superficiales de la cuenca del río Cachapoal.

Sumado a esto, en la Figura 16 se puede observar la distribución espacial de las áreas de vigilancia en la cuenca.

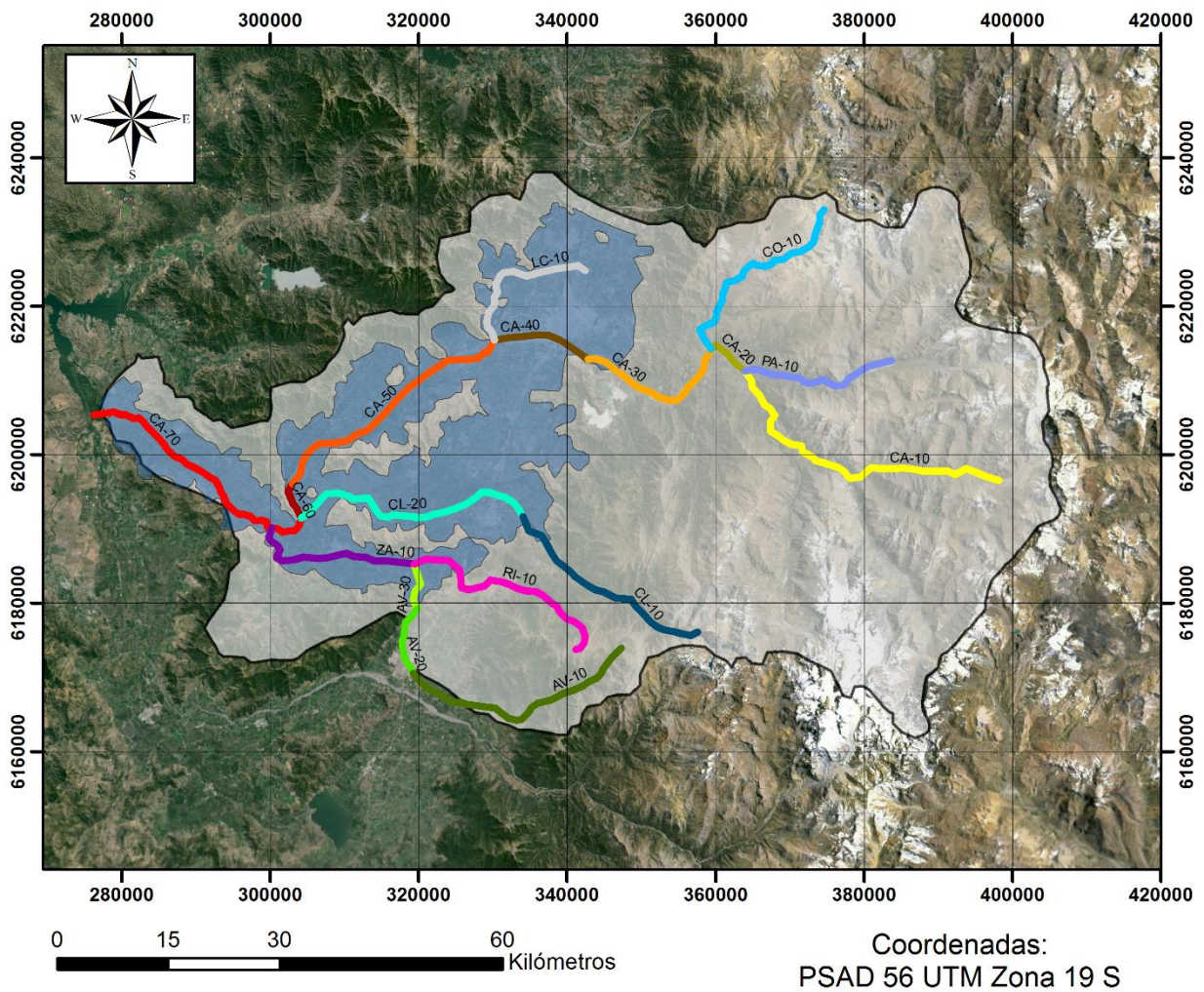
En tanto, en la Tabla 17 se presenta la caracterización de la calidad de agua en la cuenca del río Cachapoal determinadas en el año 2012, dividida en las 17 áreas de vigilancia.



**Tabla 16** Áreas de vigilancia de la cuenca del río Cachapoal

ÁREAS DE VIGILANCIA	DESDE	HASTA
CA-10	Naciente Río Cachapoal N 6.195.927 E 397.503	Confluencia con Río Pangal N 6.210.777 E 363.527
CA-20	Confluencia Río Pangal N 6.210.777 E 363.527	Confluencia Río Coya N 6.213.758 E 359.013
CA-30	Confluencia Río Coya N 6.213.764 E 359.012	Confluencia Estero Los Leones N 6.212.199 E 342.323
CA-40	Confluencia Estero Los Leones N 6.212.199 E 342.323	Confluencia Estero La Cadena N 6.215.086 E 330.172
CA-50	Confluencia Estero La Cadena N 6.215.086 E 330.172	Confluencia Estero Idahue N 6.196.137 E 302.585
CA-60	Confluencia Estero Idahue N 6.196.137 E 302.585	Confluencia Río Claro de Rengo N 6.191.304 E 304.404
CA-70	Confluencia Río Claro de Rengo N 6.191.304 E 304.404	Entrada Embalse Rapel N 6.204.849 E 281.871
PA-10	Naciente Río Pangal N 6.211.943 E 382.958	Confluencia Río Cachapoal N 6.210.777 E 363.527
CO-10	Naciente Río Coya N 6.234.931 E 376.126	Confluencia Río Cachapoal N 6.213.764 E 359.012
LC-10	Naciente Estero (confluencia esteros Machalí y Las Delicias N 6.224.229 E 342.161	Confluencia Río Cachapoal N 6.215.086 E 330.172
CL-10	Naciente Río Claro N 6.175.778 E 357.023	Puente Chanqueahue Rengo N 6.191.106 E 333.863
CL-20	Puente Chanqueahue, Rengo N 6.191.106 E 333.863	Confluencia Río Cachapoal N 6.191.304 E 304.404
ZA-10	Naciente, Puente Las Truchas, Malloa N 6.185.192 E 319.198	Confluencia Río Cachapoal N 6.189.874 E 299.576
RI-10	Naciente Estero N 6.173.237 E 340.837	Confluencia Estero Zamorano N 6.185.192 E 319.198
AV-10	Naciente Estero N 6.173.657 E 346.658	Puente Antivero, Ruta 5 Sur N 6.170.377 E 319.163
AV-20	Puente Antivero, Ruta 5 Sur N 6.170.377 E 319.163	Puente Ruta IH, después de San Fernando N 6.179.158 E 319.133
AV-30	Puente Ruta IH, después de San Fernando N 6.179.158 E 319.133	Confluencia Estero Zamorano N 6.185.147 E 319.193

Fuente: Informe Análisis del impacto económico en sector silvoagropecuario del anteproyecto de norma de calidad de aguas del río Cachapoal, 2006



### Áreas de Vigilancia

- |                     |                        |
|---------------------|------------------------|
| CA-70 Río Cachapoal | LC-10 Estero La Cadena |
| CA-60 Río Cachapoal | CL-20 Río Claro, Rengo |
| CA-50 Río Cachapoal | CL-10 Río Claro, Rengo |
| CA-40 Río Cachapoal | ZA-10 Estero Zamorano  |
| CA-30 Río Cachapoal | AV-30 Estero Antivero  |
| CA-20 Río Cachapoal | AV-20 Estero Antivero  |
| CA-10 Río Cachapoal | AV-10 Estero Antivero  |
| CO-10 Río Coya      | RI-10 Estero Ricolemu  |
| PA-10 Río Pangal    |                        |

### Legenda

- |  |                               |
|--|-------------------------------|
|  | Acuífero Cachapoal            |
|  | Cuenca Hidrográfica Cachapoal |

**Figura 16** Distribución espacial de las áreas de vigilancia en cuenca Río Cachapoal.  
Fuente: Informe DGA, 2012 (Modificado).

**Tabla 17** Valor de los parámetros de acuerdo al escenario del año 2012

ID	PARÁMETRO	UNIDAD	ÁREAS DE VIGILANCIA									
			CA-10	CA-20	CA-30	CA-40	CA-50	CA-60	CA-70	PA-10	CO-10	
1	Aceites y Grasas	mg/l	PNN								PNN	
2	Aluminio	mg/l	3,81	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	1,45	1,00	17,77	
3	Amonio	mg/l	PNN	0,098	0,083	0,083	0,460	0,175	0,188	PNN	0,108	
4	Arsénico	mg/l	0,023	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	0,012	0,012	0,027	
5	Boro	mg/l	PNN	PNN	PNN	PNN				PNN	PNN	
6	Cadmio	mg/l		PNN	PNN	PNN	PNN	PNN			PNN	
7	Cianuro	mg/l	PNN		PNN	PNN	PNN	PNN			PNN	
8	Cloruro	mg/l	50,0	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	36,1	PNN	33,6	
9	Cobre	mg/l		PNN	1,58	PNN	PNN	PNN			4,96	
10	Coliformes Fecales	NMP/100ml	PNN	PNN	PNN	80	352	500	800	PNN	204	
11	Coliformes Totales	NMP/100ml	PNN	PNN	PNN	500	3520	5000	10820	PNN	PNN	
12	Conductivid. Eléctrica	µS/cm	495	444	487	409	449	513	520	296	558	
13	Cromo	mg/l		PNN	PNN			PNN	PNN		PNN	
14	DBO <sub>5</sub>	mg/l										
15	Detergentes(SAAM)	mg/l									PNN	
16	Fluoruro	mg/l	PNN	0,10	PNN	PNN	PNN	PNN	0,10	PNN	0,20	
17	Hierro	mg/l	3,46	PNN	18,96	9,56	8,96	2,79	1,89	1,31	38,92	
18	Manganeso	mg/l	0,15	0,16	0,57	PNN	PNN	PNN	0,08	0,04	1,18	
19	Molibdeno	mg/l										
20	Níquel	mg/l		PNN	PNN	PNN	PNN	PNN			PNN	
21	Nitrito	mg/l	PNN								PNN	
22	Oxígeno Disuelto	mg/l	12,1	10,3	11,1	11,3	10,4	10,2	10,2	PNN	11,1	
23	pH	Unid.	7,8	7,6	7,4	7,7	7,8	8,2	8,3	8,0	7,3	
24	Plomo	mg/l	0,014	PNN	0,023	PNN	PNN	PNN	0,016		0,057	
25	Selenio	mg/l		PNN	PNN	PNN	PNN	PNN			PNN	
26	Sólidos Disueltos	mg/l	263,7	240,0	336,6	270,3	252,5	278,3	272,7	198,2	374,1	
27	Sólidos Suspend.	mg/l	110,8	81,8	367,1	157,8	94,7	60,1	60,6	22,8	526,8	
28	Sulfato	mg/l	144,12	PNN	143,52	PNN	PNN	PNN	93,58	70,10	177,58	
29	Zinc	mg/l		PNN	0,130	PNN	PNN	PNN			PNN	

ID	PARÁMETRO	UNIDAD	ÁREAS DE VIGILANCIA									
			LC-10	CL-10	CL-20	ZA-10	RI-10	AV-10	AV-20	AV-30		
1	Aceites y Grasas	mg/l		PNN								
2	Aluminio	mg/l	2,54	0,40	2,20	0,87	1,60	2,78	PNN	1,02		
3	Amonio	mg/l	5,038	PNN	0,116	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN		
4	Arsénico	mg/l	0,017	0,007	0,010	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN		
5	Boro	mg/l	PNN	PNN	PNN							
6	Cadmio	mg/l		PNN		PNN	PNN	PNN	PNN	PNN		
7	Cianuro	mg/l		PNN			PNN	PNN	PNN	PNN		
8	Cloruro	mg/l	35,2	PNN	31,5	15,3	PNN	PNN	9,7	PNN		
9	Cobre	mg/l	0,17								PNN	
10	Coliformes Fecales	NMP/100ml	9300	2	8000	2556	5260	1300	6200	1700		
11	Coliformes Totales	NMP/100ml	20800	158	24400	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN		
12	Conductivid. Eléctrica	µS/cm	490	93	552	419	463	PSI	PSI	PSI		
13	Cromo	mg/l		PNN				PNN	PNN	PNN	PNN	
14	DBO <sub>5</sub>	mg/l	7,7	PNN			5,06					
15	Detergentes (SAAM)	mg/l		PNN								
16	Fluoruro	mg/l	0,20	PNN	0,1	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN		
17	Hierro	mg/l	4,59	PNN	3,14	1,07	3,45	3,35	1,60	PNN		
18	Manganeso	mg/l	0,16	0,02	0,10	0,06	0,15	0,12	0,09	0,05		
19	Molibdeno	mg/l				PNN	PNN	PNN	PNN	PNN		
20	Níquel	mg/l		PNN						PNN		
21	Nitrito	mg/l	0,169	PNN		0,049	0,080				0,044	
22	Oxígeno Disuelto	mg/l	8,7	10,4	10,0	10,1	9,3	11,6	10,8	10,5		
23	pH	Unid.	7,3	7,9	7,8	7,6	7,5	8,0	7,4	7,5		
24	Plomo	mg/l	0,016		0,017							
25	Selenio	mg/l				PNN	PNN	PNN	PNN	PNN		
26	Sólidos Disueltos	mg/l	260,2	PNN	334,8	266,1	259,0	157,0	182,4	199,6		
27	Sólidos Suspend.	mg/l	82,3	PNN	65,2	31,2	87,4	67,1	33,8	27,4		
28	Sulfato	mg/l	94,42	15,38	98,21	71,72	50,20	64,62	54,06	59,34		
29	Zinc	mg/l	0,056			PNN	PNN	PNN	PNN	PNN		

	Parámetro con problema de límite de detección	PNN	Parámetro no normado
--	---	-----	----------------------

Fuente: Informe de la DGA, 2012, "Desarrollo metodológico e informe con antecedentes para la realización de los análisis de impacto económico y social de las normas secundarias de calidad de aguas de las cuencas Cachapal, Maipo y Elqui".

### 3.7.1 Cumplimiento de las Normas Chilenas

Las Normas Chilenas 409 y 1333 fueron desarrolladas por el Instituto Nacional de Normalización (INN). La Norma Chilena 409 aplicable al agua potable, presenta su primera edición en el año 2005, por su parte la Norma Chilena 1333, aplicable al riego, su primera edición fue realizada en el año 1978.

A continuación se indica que parámetros cumplen o no las Normas Chilenas NCh 409 y la NCh 1333.

Cabe señalar que algunas parámetros no presentan información, por lo que no se puede verificar si cumplen o no las normativas chilenas NCh 409 y NCh 1333.

#### 3.7.1.1 Norma Chilena NCh 409

En la Tabla 18 se detalla el cumplimiento o no de la Norma Chilena NCh 409 para cada parámetro, en las 17 áreas de vigilancia de la cuenca del río Cachapoal.

**Tabla 18** Cumplimiento NCh 409 para agua potable y bebida animal, escenario año 2012 por tramos en la Cuenca del Río Cachapoal

ID	PARÁMETRO	UNIDAD	ÁREAS DE VIGILANCIA									
			CA-10	CA-20	CA-30	CA-40	CA-50	CA-60	CA-70	PA-10	CO-10	
1	Actividad base total	Bq/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
2	Actividad beta total	Bq/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
3	Actividad alfa total	Bq/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
4	Amoniaco	mg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
5	Arsénico	mg/L	NC	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	NC	NC	NC	NC
6	Benceno	µg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
7	Bromodiclorometano	mg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
8	Cadmio	mg/L	C	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	C	PNN	C	C
9	Cianuro	mg/L	PNN	C	PNN	PNN	PNN	PNN	C	PNN	C	C
10	Cloruros	mg/L	C	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	C	PNN	C	C
11	Cobre	mg/L	C	PNN	C	PNN	PNN	PNN	C	C	NC	NC
12	Coliformes fecales	NMP/100ml	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
13	Color verdadero	Unidad Pt-Co	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
14	Compuestos fenólicos	µg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
15	Cromo total	mg/L	NC	PNN	PNN	C	PNN	PNN	C	PNN	C	C
16	DDT+DDD+DDE	µg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
17	2,4 D	µg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
18	Dibromoclorometano	mg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
19	Estroncio 90	Bq/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
20	Fluoruro	mg/L	PNN	C	PNN	PNN	PNN	PNN	C	PNN	C	C
21	Hierro	mg/L	NC	PNN	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
22	Lindano	µg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
23	Manganeso	mg/L	NC	C	NC	PNN	PNN	PNN	NC	C	NC	NC
24	Magnesio	mg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
25	Mercurio	mg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
26	Metoxicloro	µg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
27	Monocloroamina	mg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
28	Nitrato	mg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
29	Nitrito	mg/L	PNN	C	C	C	C	C	C	PNN	C	C
30	Olor	mg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
31	Pentaclorofenol	µg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
32	pH	mg/L	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
33	Plomo	mg/L	C	PNN	C	PNN	PNN	PNN	C	C	C	C
34	Radio 226	Bq/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
35	Sabor	mg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
36	Selenio	mg/L	C	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	C	PNN	C	C
37	Sólidos disueltos totales	%	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
38	Sulfato	mg/L	C	PNN	C	PNN	PNN	PNN	C	C	C	C
39	Tribromometano	mg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
40	Triclorometano	mg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
41	Tetracloroetano	µg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
42	Tolueno	µg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
43	Turbiedad	NTU	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
44	Xilenos	µg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
45	Zinc	mg/L	C	PNN	C	PNN	PNN	PNN	C	PNN	C	C

ID	PARÁMETRO	UNIDAD	ÁREAS DE VIGILANCIA							
			LC-10	CL-10	CL-20	ZA-10	RI-10	AV-10	AV-20	AV-30
1	Actividad base total	Bq/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
2	Actividad beta total	Bq/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
3	Actividad alfa total	Bq/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
4	Amoniaco	mg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
5	Arsénico	mg/L	NC	C	C	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
6	Benceno	µg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
7	Bromodichlorometano	mg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
8	Cadmio	mg/L	C	PNN	C	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
9	Cianuro	mg/L	C	PNN	C	C	PNN	PNN	PNN	PNN
10	Cloruros	mg/L	C	PNN	C	C	PNN	PNN	C	PNN
11	Cobre	mg/L	C	C	C	C	C	C	C	PNN
12	Coliformes fecales	NMP/100ml	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
13	Color verdadero	Unidad Pt-Co	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
14	Compuestos fenólicos	µg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
15	Cromo total	mg/L	NC	PNN	NC	C	PNN	PNN	PNN	PNN
16	DDT+DDD+DDE	µg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
17	2,4 D	µg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
18	Dibromoclorometano	mg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
19	Estroncio 90	Bq/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
20	Fluoruro	mg/L	C	PNN	C	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
21	Hierro	mg/L	NC	PNN	NC	NC	NC	NC	NC	PNN
22	Lindano	µg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
23	Manganeso	mg/L	NC	C	C	C	NC	NC	C	C
24	Magnesio	mg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
25	Mercurio	mg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
26	Metoxicloro	µg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
27	Monocloroamina	mg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
28	Nitrato	mg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
29	Nitrito	mg/L	C	PNN	C	C	C	C	C	C
30	Olor	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
31	Pentaclorofenol	µg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
32	pH	mg/L	C	C	C	C	C	C	C	C
33	Plomo	mg/L	C	C	C	C	C	C	C	C
34	Radio 226	Bq/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
35	Sabor	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
36	Selenio	mg/L	C	C	C	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
37	Sólidos disueltos totales	%	C	PNN	C	C	C	C	C	C
38	Sulfato	mg/L	C	C	C	C	C	C	C	C
39	Tribromometano	mg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
40	Triclorometano	mg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
41	Tetracloroetano	µg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
42	Tolueno	µg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
43	Turbiedad	NTU	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
44	Xilenos	µg/L	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN
45	Zinc	mg/L	C	C	C	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN

C Cumple  
NC No Cumple  
S/I Sin Información  
PNN Parámetro no normado

Fuente: Informe de la DGA, 2012, “Desarrollo metodológico e informe con antecedentes para la realización de los análisis de impacto económico y social de las normas secundarias de calidad de aguas de las cuencas Cachapoal, Maipo y Elqui”.

Los parámetros que no cumplen la NCh 409 son:

- El Arsénico en las áreas de vigilancia: CA-10, CA-70, PA-10, CO-10 y LC-10. No cumple la norma en 5 de las 17 áreas de vigilancia, es decir en un 29% aprox. Pero cumple la norma en las áreas de vigilancia: CL-10 y CL-20. En los demás tramos no se encuentra normado el Arsénico.
- El Cobre en el área de vigilancia: CO-10. No cumple la norma en 1 de las 17 áreas de vigilancia, es decir en un 6% aprox. Pero cumple la norma en las áreas de vigilancia: CA-10, CA-30, CA-70, PA-10, LC-10, CL-10, CL-20, ZA-10, RI-10, AV-10 y AV-20. En los demás tramos no se encuentra normado el Cobre.
- El Cromo total en las áreas de vigilancia: CA-10, LC-10 y CL-20. No cumple la norma en 3 de las 17 áreas de vigilancia, es decir en un 18% aprox. Pero cumple la norma en las áreas de vigilancia: CA-40, CA-70, CO-10 y ZA-10. En los demás tramos no se encuentra normado el Cromo total.

- El Hierro en las áreas de vigilancia: CA-10, CA-30, CA-40, CA-50, CA-60, CA-70, PA-10, CO-10, LC-10, CL-20, ZA-10, RI-10, AV-10 y AV-20. No cumple la norma en 14 de las 17 áreas de vigilancia, es decir en un 82% aprox. En los demás tramos no se encuentra normado el Hierro.
- El Manganeso en las áreas de vigilancia: CA-10, CA-30, CA-70, CO-10, LC-10, RI-10 y AV-10. No cumple la norma en 7 de las 17 áreas de vigilancia, es decir en un 41% aprox. Pero cumple la norma en las áreas de vigilancia: CA-20, PA-10, CL-10, CL-20, ZA-10, AV-20 y AV-30. En los demás tramos no se encuentra normado el Manganeso.

Sumado a analizar que parámetros no cumplen la norma NCh 409, también es importante determinar qué área de vigilancia contiene el mayor porcentaje de cumplimiento de esta norma. Esto se muestra en la Tabla 19.

**Tabla 19** Porcentaje de cumplimiento de la NCh 409 para agua potable en cada área de vigilancia

ÁREAS DE VIGILANCIA	CUMPLE (%)	NO CUMPLE (%)	PARÁMETRO NO NORMADO (%)	PARÁMETRO SIN INFORMACIÓN (%)
CA-10	20	9	71	0
CA-20	13	0	87	0
CA-30	16	4	80	0
CA-40	9	2	89	0
CA-50	7	2	91	0
CA-60	7	2	91	0
CA-70	29	7	64	0
PA-10	13	5	82	0
CO-10	27	9	64	0
LC-10	27	9	64	0
CL-10	18	0	82	0
CL-20	31	5	64	0
ZA-10	22	2	76	0
RI-10	13	5	82	0
AV-10	13	5	82	0
AV-20	18	2	80	0
AV-30	13	0	87	0

Fuente: Informe de la DGA, 2012, “Desarrollo metodológico e informe con antecedentes para la realización de los análisis de impacto económico y social de las normas secundarias de calidad de aguas de las cuencas Cachapoal, Maipo y Elqui”.

Lo que se puede extraer de esta tabla es que:

- El área de vigilancia que presenta el mayor porcentaje de cumplimiento de la NCh 409 es la CL-20 con un 31%, seguido por CA-70 con un 29% y con un menor porcentaje CO-10 y LC-10 con un 27%. Por otra parte, las áreas de vigilancia que presentan el menor porcentaje de cumplimiento de la NCh 409 son CA-50 y CA-60 con tan solo un 7%.

- Las áreas de vigilancia que presentan el mayor porcentaje de no cumplimiento de la NCh 409 son la CA-10, CO-10 y LC-10 con un 9%, seguido por CA-70 con un 7% y con un menor porcentaje PA-10, CL-20, RI-10 y AV-10 con un 5%. Por otro lado, las áreas de vigilancia que presentan el menor porcentaje de no cumplimiento de las NCh 409 son CA-20, CL-10 y AV-30 con un 0%.

Es importante destacar que el porcentaje de parámetros no normados varía entre los 64 y 91 % dependiendo del área de vigilancia. Dado que estos porcentajes son tan altos, no se puede determinar de buena forma la calidad del agua para el uso de agua potable de los flujos superficiales de la cuenca del río Cachapoal.

### 3.7.1.2 Norma Chilena NCh 1333

En la Tabla 20 se detalla el cumplimiento o no de la Norma Chilena NCh 1333 para cada parámetro, en las áreas de vigilancia de la cuenca del río Cachapoal.

**Tabla 20** Cumplimiento NCh 1.333 para riego, escenario año 2012 por tramos en la Cuenca del Río Cachapoal

ID	PARÁMETRO	UNIDAD	ÁREAS DE VIGILANCIA													
			CA-10	CA-20	CA-30	CA-40	CA-50	CA-60	CA-70	PA-10	CO-10					
1	Aluminio	mg/l	C	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	C	C	NC				
2	Arsénico	mg/l	C	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	C	C	C				
3	Bario	mg/l	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN				
4	Berilio	mg/l	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN				
5	Boro	mg/l	PNN	PNN	PNN	PNN	C	C	C	PNN	PNN	PNN				
6	Cadmio	mg/l	C	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	C	PNN	C	C				
7	Cianuro	mg/l	PNN	C	PNN	PNN	PNN	PNN	C	PNN	C	C				
8	Cloruros	mg/l	C	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	C	PNN	C	C				
9	Cobalto	mg/l	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN				
10	Cobre	mg/l	C	PNN	NC	PNN	PNN	PNN	C	C	NC	NC				
11	Coliformes fecales	NMP/100 ml	PNN	PNN	PNN	C	C	C	NC	PNN	C	C				
12	Cromo	mg/l	NC	PNN	PNN	C	PNN	PNN	C	PNN	C	C				
13	Hierro	mg/l	C	PNN	NC	NC	NC	C	C	C	NC	NC				
14	Fluoruros	mg/l	PNN	C	PNN	PNN	PNN	PNN	C	PNN	C	C				
15	Litio	mg/l	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN				
16	Litio (citrícos)	mg/l	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN				
17	Manganeso	mg/l	C	C	NC	PNN	PNN	PNN	C	C	NC	NC				
18	Mercurio	mg/l	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN				
19	Molibdeno	mg/l	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC				
20	Níquel	mg/l	C	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	C	PNN	C	C				
21	pH	Unidad	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C				
22	Plata	mg/l	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN				
23	Plomo	mg/l	C	PNN	C	PNN	PNN	PNN	C	C	C	C				
24	Selenio	mg/l	C	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	C	PNN	C	C				
25	Sodio porcentual	%	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN				
26	Sulfatos	mg/l	C	PNN	C	PNN	PNN	PNN	C	C	C	C				
27	Vanadio	mg/l	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN				
28	Zinc	mg/l	C	PNN	C	PNN	PNN	PNN	C	PNN	C	C				
29	Sólidos Disueltos totales	mg/l	C	1	C	1	C	1	C	1	C	1	C	1	C	1
30	Conductividad Eléctrica	µS/cm	C	1	C	1	C	1	C	1	C	1	C	1	C	1

ID	PARÁMETRO	UNIDAD	ÁREAS DE VIGILANCIA															
			LC-10	CL-10	CL-20	ZA-10	RI-10	AV-10	AV-20	AV-30								
1	Aluminio	mg/l	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C				
2	Arsénico	mg/l	C	C	C	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN				
3	Bario	mg/l	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN				
4	Berilio	mg/l	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN				
5	Boro	mg/l	PNN	PNN	PNN	C	C	C	C	C	C	C	C	C				
6	Cadmio	mg/l	C	PNN	C	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN				
7	Cianuro	mg/l	C	PNN	C	C	C	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN				
8	Cloruros	mg/l	C	PNN	C	C	C	PNN	PNN	PNN	C	C	C	C				
9	Cobalto	mg/l	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN				
10	Cobre	mg/l	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C				
11	Coliformes fecales	NMP/100 ml ml	NC	C	NC	NC	NC	NC	C	C	NC	NC	NC	NC				
12	Cromo	mg/l	NC	PNN	NC	C	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN				
13	Hierro	mg/l	C	PNN	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C				
14	Fluoruros	mg/l	C	PNN	C	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN				
15	Litio	mg/l	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN				
16	Litio (cítricos)	mg/l	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN				
17	Manganeso	mg/l	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C				
18	Mercurio	mg/l	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN				
19	Molibdeno	mg/l	NC	NC	NC	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN				
20	Níquel	mg/l	C	PNN	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C				
21	pH	Unidad	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C				
22	Plata	mg/l	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN				
23	Plomo	mg/l	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C				
24	Selenio	mg/l	C	C	C	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN				
25	Sodio porcentual	%	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN				
26	Sulfatos	mg/l	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C				
27	Vanadio	mg/l	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN	PNN				
28	Zinc	mg/l	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C				
29	Sólidos Disueltos totales	mg/l	C	1	PNN	C	1	C	1	C	1	C	1	C	1			
30	Conductividad Eléctrica	µS/cm	C	1	C	1	C	1	C	1	C	1	PSI		PSI		PSI	
C	Cumple	NC	No Cumple				PNN	Parámetro no normado			PSI	Parámetro sin información						
1	Agua con la cual generalmente no se observan efectos perjudiciales	2	Agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles				3	Agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadoso			4	Agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadoso						

Fuente: Informe de la DGA, 2012, “Desarrollo metodológico e informe con antecedentes para la realización de los análisis de impacto económico y social de las normas secundarias de calidad de aguas de las cuencas Cachapoal, Maipo y Elqui”.

Los parámetros que no cumplen NCh 1333 son:

- El Aluminio en el área de vigilancia: CO-10. No cumple la norma en 1 de las 17 áreas de vigilancia, es decir en un 6% aprox. Pero cumple la norma en las áreas de vigilancia: CA-10, CA-70, PA-10, LC-10, CL-10, CL-20, ZA-20, RI-10, AV-10 y AV-30. En los demás tramos no se encuentra normado el Aluminio.
- El Cobre en las áreas de vigilancia: CA-30 y CO-10. No cumple la norma en 2 de las 17 áreas de vigilancia, es decir en un 12% aprox. Pero cumple la norma en las áreas de vigilancia: CA-10, CA-70, PA-10, LC-10, CL-10, CL-20, ZA-10, RI-10, AV-10 y AV-20. En los demás tramos no se encuentra normado el Cobre.
- Los Coliformes Fecales en las áreas de vigilancia: CA-70, LC-10, CL-20, ZA-10, RI-10, AV-20 y AV-30. No cumple la norma en 7 de las 17 áreas de vigilancia, es decir en un 41% aprox. Pero cumple la norma en las áreas de vigilancia: Ca-40, CA-50, CA-60, CO-10, LC-10, CL-10, CL-20, ZA-10, RI-10, AV-10 y AV-20. En los demás tramos no se encuentra normado los Coliformes Fecales.



- El Cromo en las áreas de vigilancia: CA-10, LC-10 y CL-20. No cumple la norma en 3 de las 17 áreas de vigilancia, es decir en un 18% aprox. Pero cumple la norma en las áreas de vigilancia: CA-40, CA-70, CO-10 y ZA-10. En los demás tramos no se encuentra normado el Cromo.
- El Hierro en las áreas de vigilancia: CA-30, CA-40, CA-50 y CO-10. No cumple la norma en 4 de las 17 áreas de vigilancia, es decir en un 24% aprox. Pero cumple la norma en las áreas de vigilancia: CA-10, CA-6, CA-70, PA-10, LC-10, CL-20, ZA-10, RI-10, AV-10 y AV-20. En los demás tramos no se encuentra normado el Hierro.
- El Manganeso en las áreas de vigilancia: CA-30 y CO-10. No cumple la norma en 2 de las 17 áreas de vigilancia, es decir en un 12% aprox. Pero cumple la norma en las áreas de vigilancia: CA-10, CA-20, CA-70, PA-10, LC-10, CL-10, CL-20, ZA-10, RI-10, AV-10, AV-20 y AV-30. En los demás tramos no se encuentra normado el Manganeso.
- El Molibdeno en las áreas de vigilancia: CA-10, CA-20, CA-30, CA-40, CA-50, CA-60, CA-70, PA-10, CO-10, LC-10, CL-10 y CL-20. No cumple la norma en 2 de las 17 áreas de vigilancia, es decir en un 71% aprox. En los demás tramos no se encuentra normado el Manganeso.

Sumado a analizar que parámetros no cumplen la norma NCh 1333, también es importante determinar qué área de vigilancia contiene el mayor porcentaje de cumplimiento de esta norma. Esto se muestra en la Tabla 21.

**Tabla 21** Porcentaje de cumplimiento de la NCh 1333 para riego en cada área de vigilancia

ÁREAS DE VIGILANCIA	CUMPLE (%)	NO CUMPLE (%)	PARÁMETRO NO NORMADO (%)	PARÁMETRO SIN INFORMACIÓN (%)
CA-10	50	7	43	0
CA-20	20	3	77	0
CA-30	20	13	67	0
CA-40	17	7	76	0
CA-50	17	7	76	0
CA-60	20	3	77	0
CA-70	63	7	30	0
PA-10	33	3	64	0
CO-10	50	17	33	0
LC-10	57	10	33	0
CL-10	37	3	60	0
CL-20	57	10	33	0
ZA-10	47	3	50	0
RI-10	37	3	60	0
AV-10	37	0	60	3
AV-20	30	3	64	3
AV-30	27	3	67	3

Fuente: Informe de la DGA, 2012, "Desarrollo metodológico e informe con antecedentes para la realización de los análisis de impacto económico y social de las normas secundarias de calidad de aguas de las cuencas Cachapoal, Maipo y Elqui".

Lo que se puede extraer de esta tabla es que:

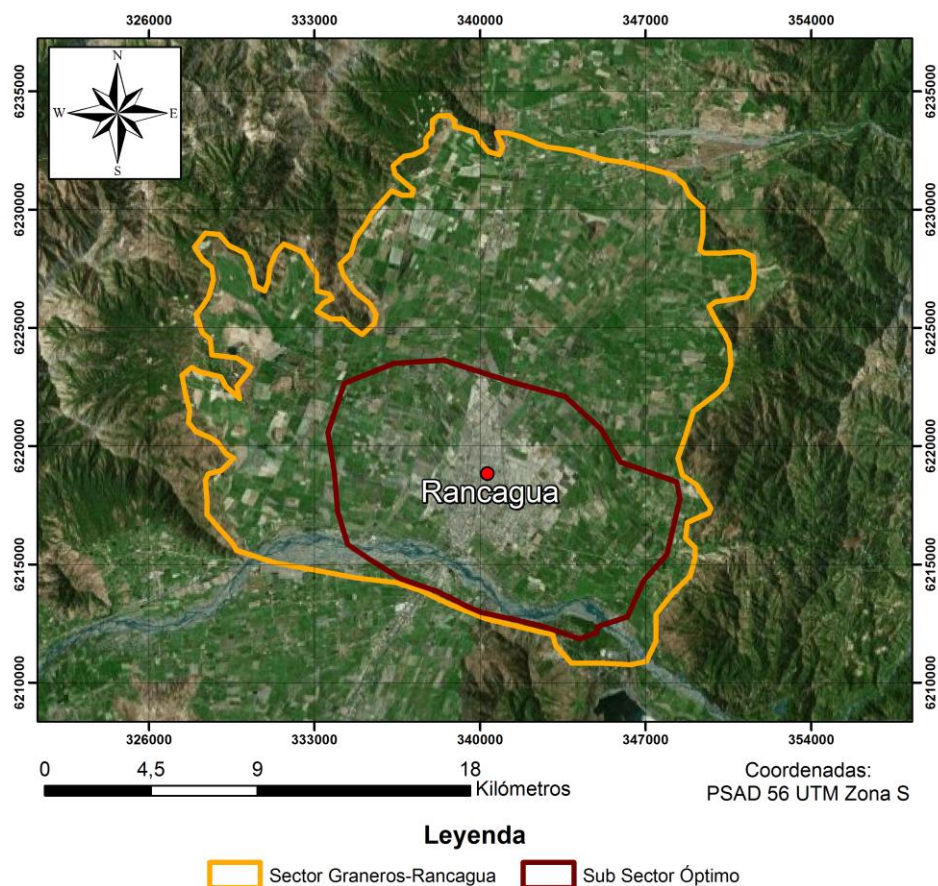
- El área de vigilancia que presenta el mayor porcentaje de cumplimiento de la NCh 1333 es la CA-70 con un 63%, seguido por LC-10 y CL-20 con un 57% y con un menor porcentaje CA-10 y CO-10 con un 50%. Por otra parte, las áreas de vigilancia que presentan el menor porcentaje de cumplimiento de la NCh 1333 son CA-40 y CA-50 con tan solo un 17%.
- El área de vigilancia que presentan el mayor porcentaje de no cumplimiento de la NCh 1333 es la CO-10 con un 17%, seguido por CA-30 con un 13% y con un menor porcentaje LC-10 y CL-20 con un 10%. Por otro lado, el área de vigilancia que presenta el menor porcentaje de no cumplimiento de las NCh 1333 es AV-10 con un 0%.

Es importante destacar que el porcentaje de parámetros no normados varia entre los 30 y 77 % dependiendo del área de vigilancia. Dado que estos porcentajes son tan altos, no se puede determinar de buena forma la calidad del agua para el uso del riego de los flujos superficiales de la cuenca del río Cachapoal.

## 4 CAPÍTULO IV: RESULTADOS

### 4.1 DETERMINACIÓN DEL SECTOR

En función de las características que presenta el acuífero de la cuenca del río Cachapoal, se determinó el sector ideal para implementar un proyecto de recarga gestionada. El lugar escogido se encuentra dentro del sector de Graneros-Rancagua, más específicamente en las cercanías del río Cachapoal. Esta zona se denominó Sub Sector Óptimo (Figura 17).



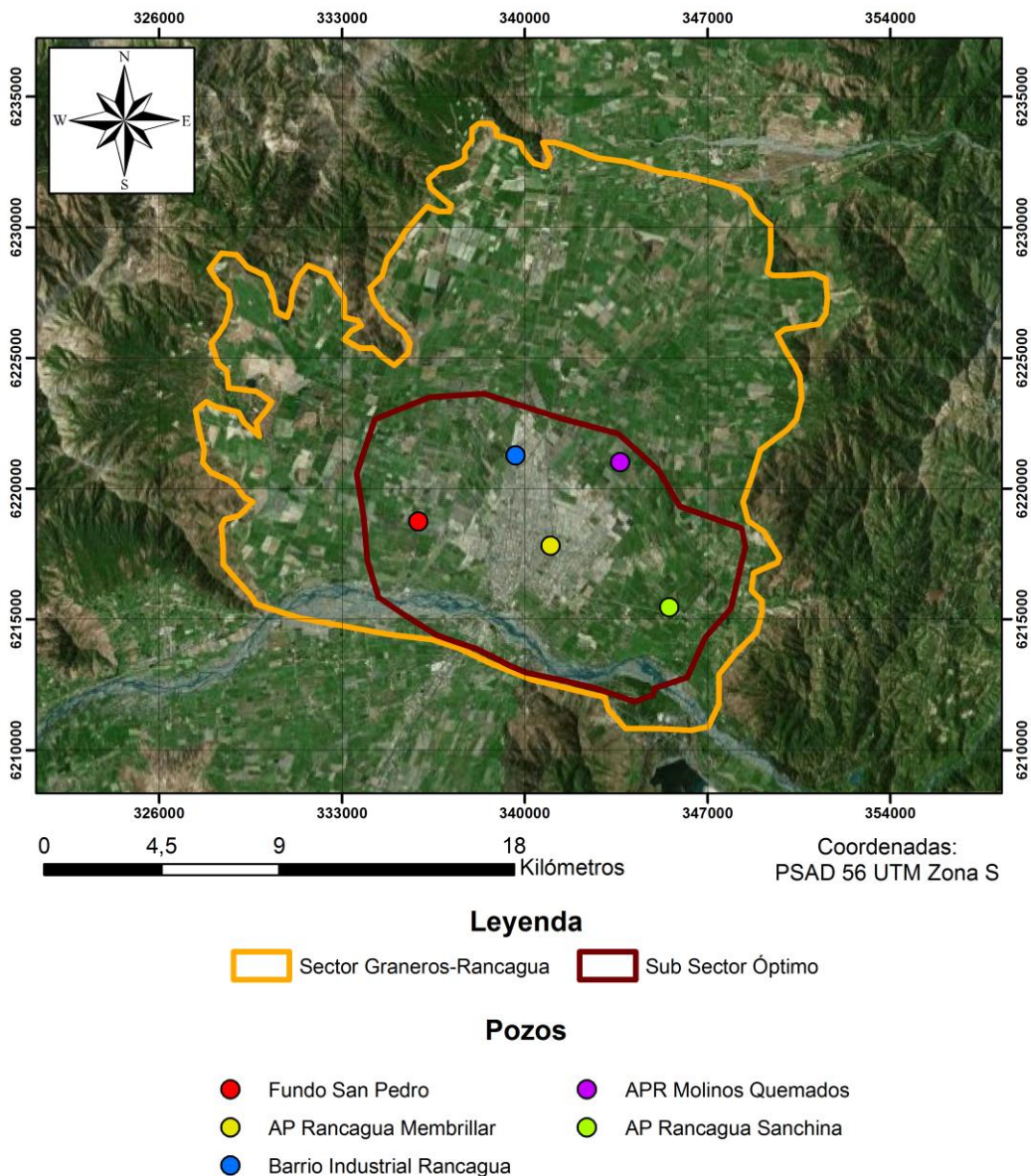
**Figura 17** Sector óptimo para realizar la recarga gestionada.  
Fuente: Elaboración propia.

El Sub Sector Óptimo se ubica en la zona sur del sector de Graneros-Rancagua. Presenta un área de 121,2 Km<sup>2</sup>. Dentro del perímetro del sub sector se encuentra la ciudad de Rancagua. Consta principalmente de depósitos detríticos no consolidados con una alta permeabilidad, mayoritariamente aluviales-fluviales y en menor medida depósitos coluviales.

## 4.2 NIVELES ESTÁTICOS

En el sector de Graneros-Rancagua y específicamente en el sub sector óptimo, se observan profundidades del nivel estático superiores a los 100 m.b.n.s. Esto permite que exista un espesor de relleno no saturado ideal para albergar grandes volúmenes de agua.

Dentro de este sub sector se definieron 5 pozos representativos de los niveles estáticos. La Figura 18 muestra la distribución espacial de estos pozos.



**Figura 18** Distribución espacial pozos representativos de los niveles estáticos del Sub Sector Óptimo.  
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 22 se indican las profundidades de los niveles estáticos de los 5 pozos del sub sector óptimo y sus respectivas coordenadas.

**Tabla 22** Pozos representativos de los niveles estáticos del Sub Sector Óptimo.

Nombre	Coordenadas PSAD 56		Nivel Estático [m.b.n.s.]
	Norte	Este	
Fundo San Pedro	6218742	335930	45,4
Ap Rancagua Membrillar	6217806	340997	69,5
Barrio Industrial Rancagua	6221266	339658	39,6
APR Molinos Quemados	6221006	343664	42,2
Ap Rancagua Sanchina	6215449	345538	119,9

Fuente: Informe DGA, 2005.

En base a esta información se determinó que en gran parte del sub sector se tienen profundidades del nivel estáticos mayores a los 40 m.b.n.s. y que el promedio de estos niveles estáticos se encuentra entre los 55 y 60 m.b.n.s. Además, se puede observar que las mayores profundidades de los niveles estáticos se ubican al sureste del sub sector.

Para que no se sobre estime el promedio del nivel estático y con ello se pueda incurrir en algún error, se determinó que el sub sector óptimo presente un nivel estático general de 50 m.b.n.s.

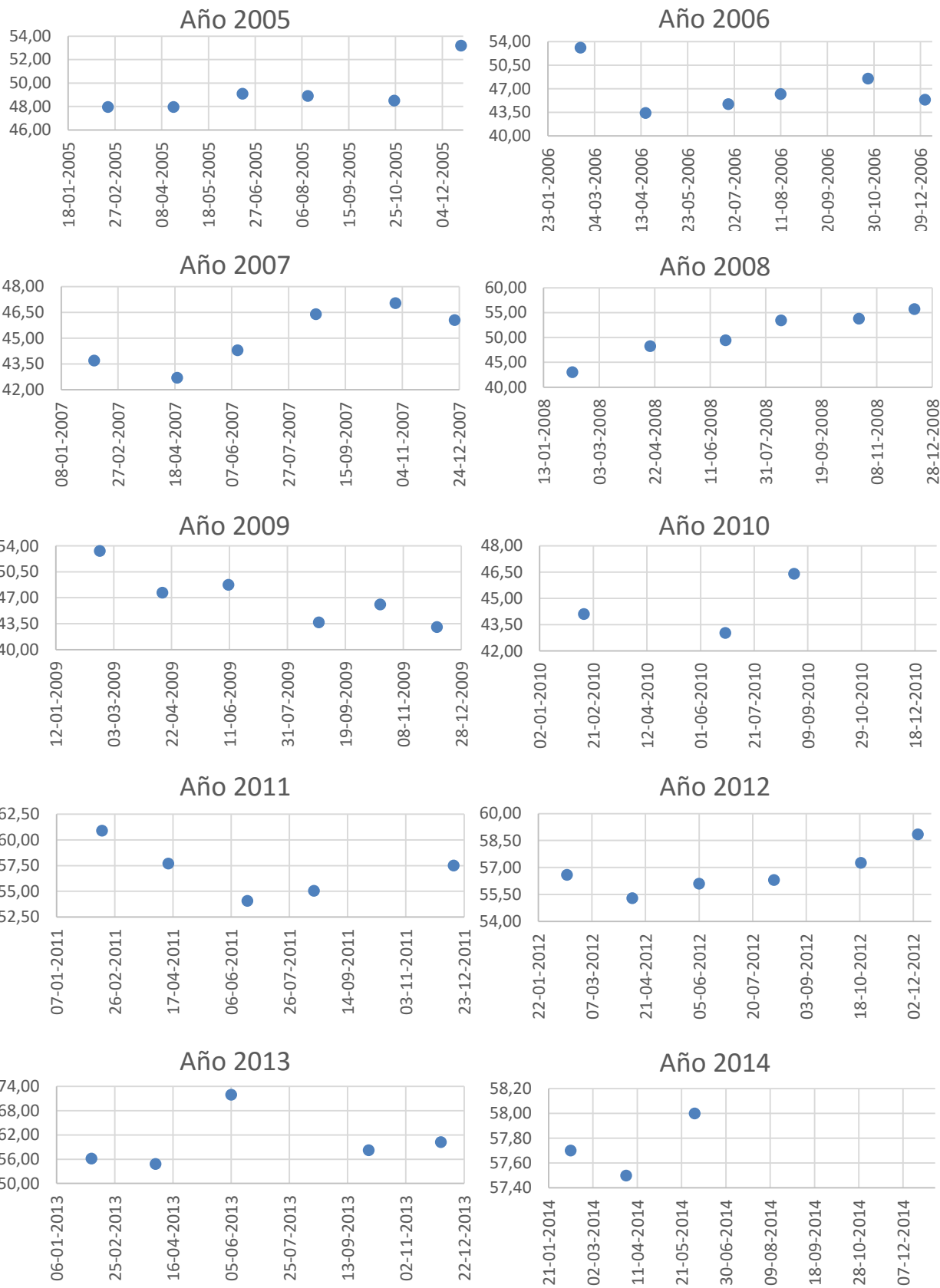
#### **4.2.1 Variación niveles estáticos interanuales**

Para los efectos de determinar en qué periodo se puede implementar el proyecto de recarga gestionada, se estudiaron las variaciones que presentan los niveles estáticos durante el año.

Esto se estudió con respecto a 3 pozos ubicados en el sector escogido, estos son: Fundo San Pedro, Barrio Industrial Rancagua y APR Molinos Quemados.

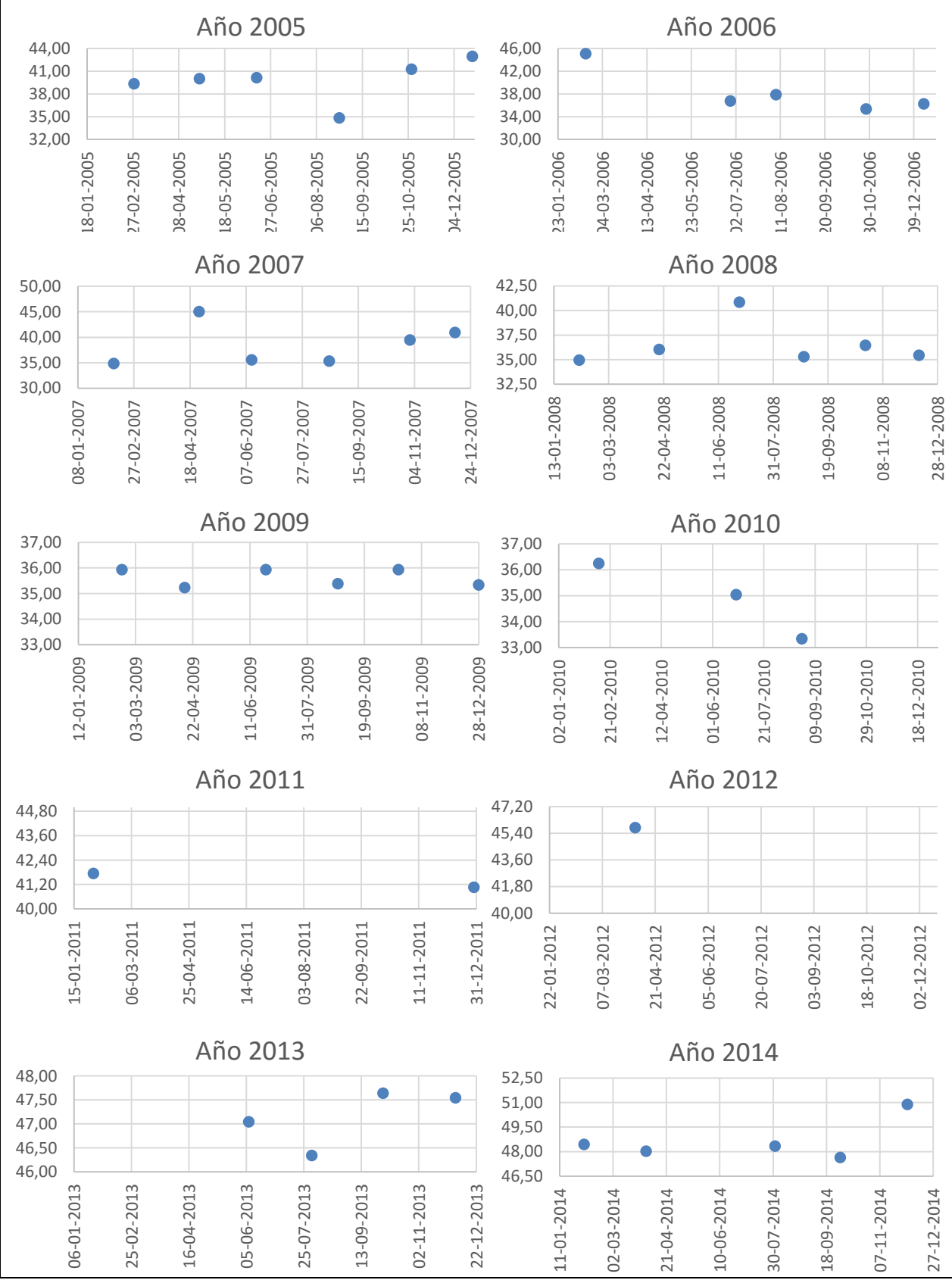
Se analizaron los niveles estáticos desde el año 2005 al 2014 para cada pozo (Figuras 19, 20 y 21).

### Pozo: Fundo San Pedro



**Figura 19** Variación de los niveles estáticos interanuales, Fundo San Pedro.  
Fuente: Elaboración propia.

### Pozo: Barrio Industrial Rancagua



**Figura 20** Variación de los niveles estáticos interanuales, Barrio Industrial Rancagua.  
Fuente: Elaboración propia.

Pozo: APR Molinos Quemados

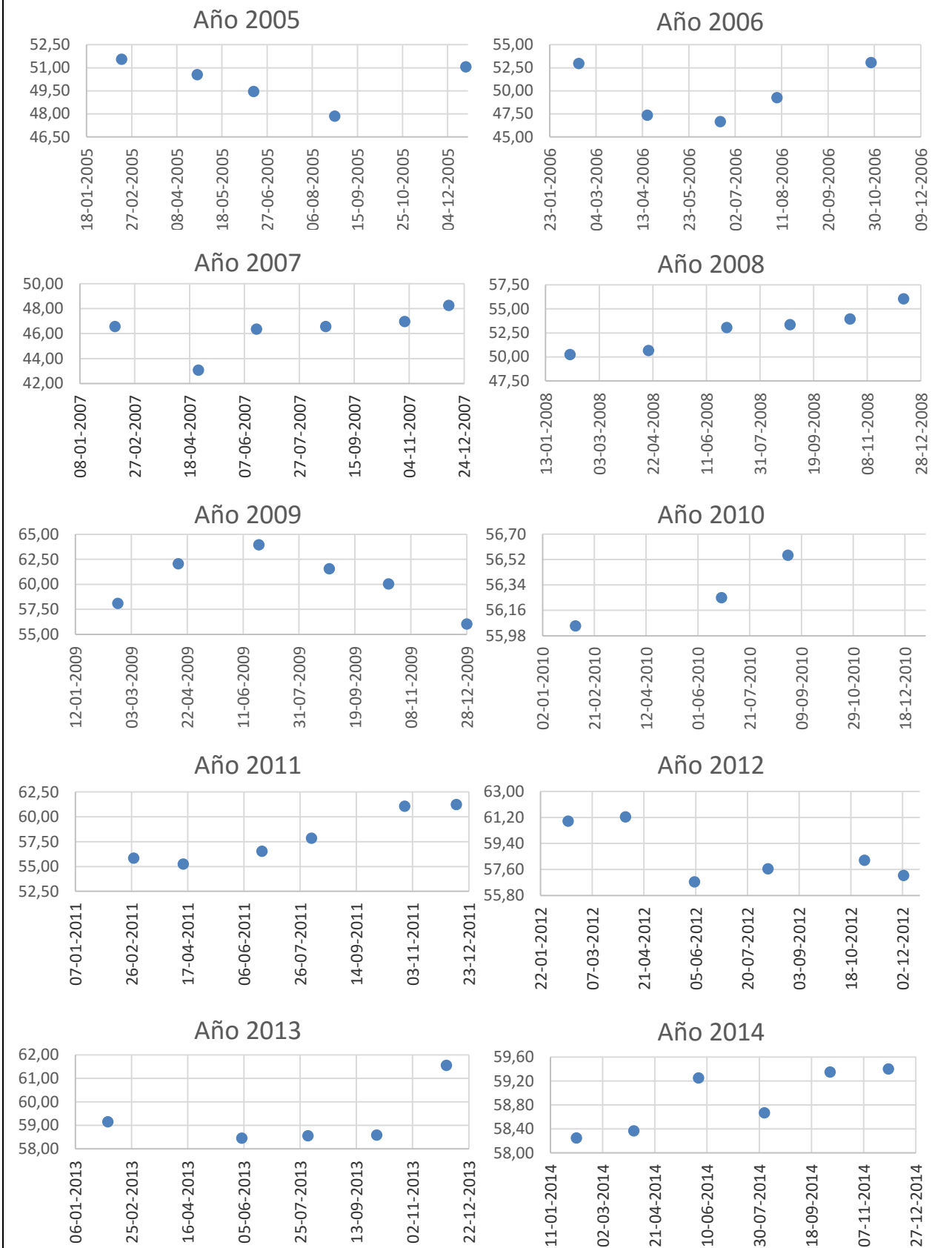


Figura 21 Variación de los niveles estáticos interanuales, APR Molinos Quemados.

Fuente: Elaboración propia.



En función de las Figuras 19, 20 y 21 se determinó que la variación de los niveles estáticos para cada pozo durante los años estudiados es de 5 a 10 m por año aproximadamente. Además, se puede apreciar que estas variaciones no presentan un patrón definido, por lo cual no se puede determinar un periodo ideal para implementar el proyecto de recarga gestionada en función de este parámetro.

Dado que los niveles estáticos para estos pozos se encuentran generalmente a una profundidad de 40 a 50 m durante todo el año, no existiría problema para implementar un proyecto de recarga gestionada en cualquier periodo del año.

### 4.3 FLUJOS SUPERFICIALES

En el sub sector óptimo se ubica el cauce del río Cachapoal. Su caudal viene dado por los flujos superficiales provenientes del río Cachapoal en Puente Termas y del río Claro en Campamento.

Para realizar una recarga gestionada en el sub sector óptimo, se debe determinar el caudal que presenta el río Cachapoal en este tramo. Esto es relevante para este estudio, debido que con respecto a los valores del caudal que presente el río Cachapoal, se definirá el caudal a encausar hacia la zona de infiltración y con esto, se determinará cuanto caudal se podrá infiltrar.

Dado que el caudal del río Cachapoal varía tanto anualmente como mensualmente, es importante determinar:

- Las probabilidades de excedencia de los caudales anuales promedio en un año normal (50%) y en un año con altas precipitaciones y/o grandes deshielos (20%).
- Los meses en donde se generan las mayores crecidas del caudal.

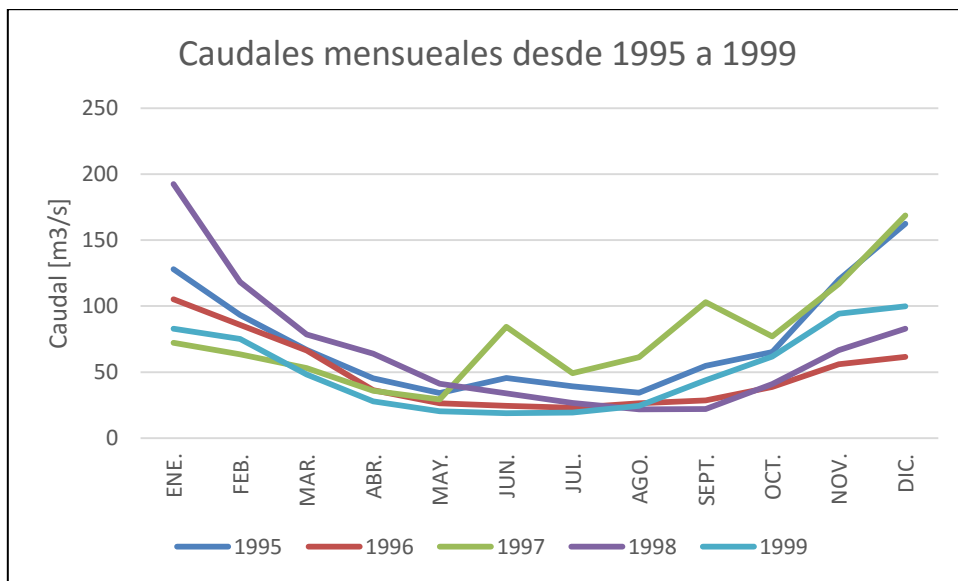
En función de los datos de la Tabla 5 y Tabla 6, se determinó el caudal anual promedio en el río Cachapoal en el sub sector escogido a una probabilidad de excedencia del 50% en 74,1 m<sup>3</sup>/s y a una probabilidad de excedencia del 20% en 88,2 m<sup>3</sup>/s.

Para determinar en qué meses el caudal del río Cachapoal presenta las mayores crecidas, se analizaron los caudales medidos en la Junta de Vigilancia del río Cachapoal en Puente Termas entre los años 1995 al 2014 (Tabla 23). En función de estos datos, se generaron 4 gráficos (Figura 22, 23, 24 y 25) que muestran visualmente los caudales mensuales en el periodo de tiempo mencionado.

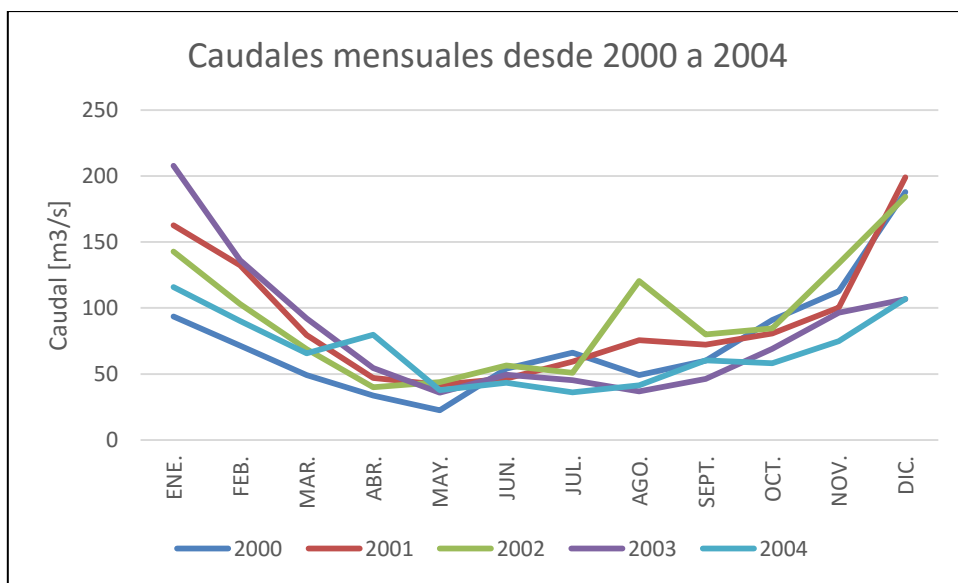
**Tabla 23** Caudales mensuales en la estación del río Cachapoal en Puente Termas desde 1995 a 2014.  
Promedios anuales y las probabilidades de excedencia del 50% y 20%.

AÑO	ENE. [m <sup>3</sup> /s]	FEB. [m <sup>3</sup> /s]	MAR. [m <sup>3</sup> /s]	ABR. [m <sup>3</sup> /s]	MAY. [m <sup>3</sup> /s]	JUN. [m <sup>3</sup> /s]	JUL. [m <sup>3</sup> /s]	AGO. [m <sup>3</sup> /s]	SEPT. [m <sup>3</sup> /s]	OCT. [m <sup>3</sup> /s]	NOV. [m <sup>3</sup> /s]	DIC. [m <sup>3</sup> /s]	PROM. ANUAL [m <sup>3</sup> /s]	Pb
1995	128,0	93,4	66,8	45,3	34,2	45,6	39,2	34,3	54,9	65,1	120,1	162,3	74,1	50%
1996	105,2	85,7	66,5	36,3	26,5	24,5	23,0	26,5	28,5	38,9	56,1	61,6	48,3	
1997	72,2	63,6	53,2	35,7	29,3	84,3	49,2	61,2	103,1	77,0	116,8	168,8	76,2	
1998	192,4	118,4	78,6	64,1	41,1	34,0	26,7	21,7	22,0	40,9	66,6	82,8	65,8	
1999	82,8	75,2	48,3	27,8	20,3	18,9	19,4	24,5	43,9	61,7	94,2	99,9	51,4	
2000	93,6	71,4	49,2	33,6	22,6	54,1	66,3	49,2	60,1	90,9	112,8	187,8	74,3	
2001	162,5	132,4	79,5	47,0	41,9	46,6	59,4	75,7	72,3	80,7	100,3	199,0	91,4	
2002	142,7	103,0	68,8	40,1	44,0	56,5	50,8	120,6	80,1	84,5	133,9	184,3	92,4	
2003	207,8	136,3	92,2	54,5	35,9	49,5	45,3	36,8	46,3	69,1	96,4	106,6	81,4	
2004	116,0	90,2	65,7	79,7	37,8	43,3	36,2	41,5	60,4	58,2	75,0	107,0	67,6	
2005	108,1	82,0	57,4	33,1	38,7	80,7	62,9	95,4	84,1	113,9	288,9	293,4	111,5	
2006	302,0	220,6	96,5	58,3	73,2	86,1	86,7	72,4	64,8	87,7	147,8	185,6	123,5	
2007	187,3	101,7	79,4	43,5	29,0	26,9	31,0	27,0	36,4	60,9	61,5	112,8	66,4	
2008	107,8	85,4	51,3	31,1	72,7	69,1	41,3	52,9	67,6	98,6	180,7	200,5	88,2	20%
2009	161,8	120,0	81,5	46,6	49,5	31,4	32,9	37,7	57,8	65,7	89,4	156,3	77,5	
2010	154,3	93,3	66,0	37,4	31,3	28,3	26,2	26,3	30,5	54,1	75,9	80,5	58,7	
2011	73,5	67,2	50,3	34,2	22,0	19,1	18,0	22,9	33,6	45,3	82,5	118,4	48,9	
2012	111,4	89,1	51,9	30,8	35,7	41,9	38,7	39,5	47,5	50,2	73,7	101,7	59,3	
2013	137,8	118,9	66,8	31,9	29,6	30,5	25,7	29,6	43,1	42,0	84,6	105,1	62,1	
2014	85,4	55,4	40,7	25,4	28,0	23,0	22,9	32,4	39,6	58,4	88,1	98,6	49,8	

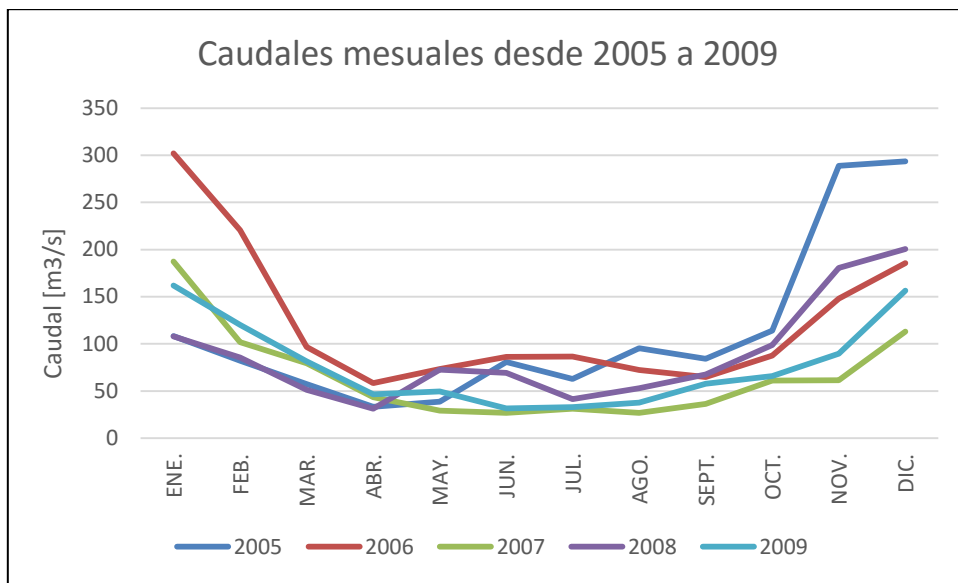
Fuente: Junta de Vigilancia río Cachapoal en Puente Termas.



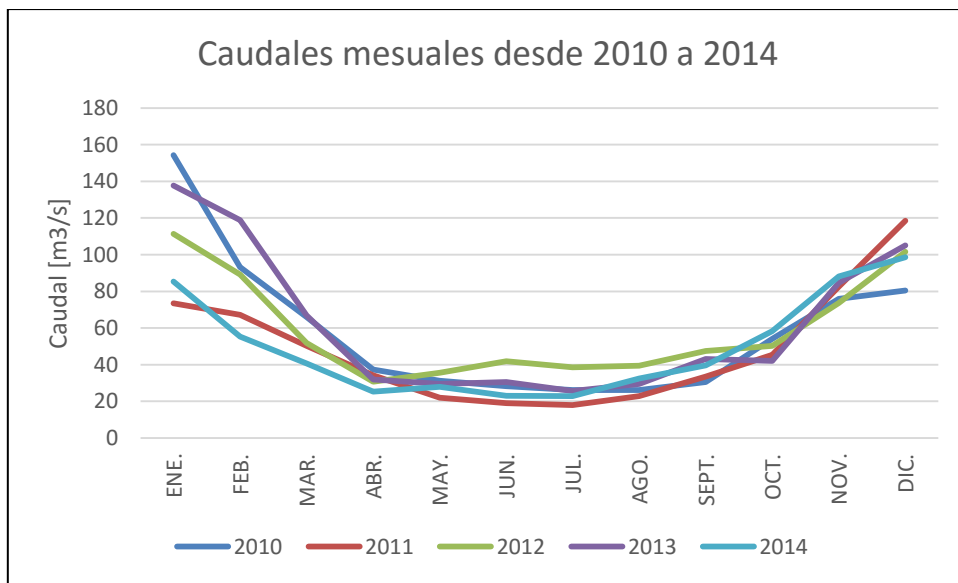
**Figura 22** Caudales mensuales desde 1995 a 1999.  
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 23** Caudales mensuales desde 2000 a 2004.  
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 24** Caudales mensuales desde 2005 a 2009.  
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 25** Caudales mensuales desde 2010 a 2014.  
Fuente: Elaboración propia.

Según lo que se observa de las Figuras 22, 23, 24 y 25, sumado a los datos que entrega la Tabla 23, los meses con los mayores caudales son: enero, febrero, noviembre y diciembre. Las crecidas del caudal del río Cachapoal en estos meses se debe a los deshielos que se generan en la Cordillera de los Andes, asociados al aumento de temperatura durante el verano, lo que produce un escurrimiento del agua desde la zona cordillerana hacia el valle y por ende a los ríos. Como solo en los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre se realizará la recarga gestionada, se debe calcular el promedio de los caudales mensuales de esos meses. Dado que se trabajará para los cálculos posteriores con el caudal con una probabilidad de excedencia del 20%, solo a esa probabilidad se calcula el promedio de los 4 meses mencionados, el cual resulta en un caudal promedio de 143,6 m<sup>3</sup>/s.

#### **4.4 CALIDAD DEL AGUA**

La calidad de agua del sub sector óptimo contempla 2 áreas de vigilancias del río Cachapoal, principalmente el tramo CA-40 y el tramo CA-30.

El área de vigilancia CA-30 no cumple la Norma Chilena 409 en los parámetros del Hierro y Manganeseo. Y no cumple la Norma Chilena 1333 en los parámetros del Cobre, Hierro, Manganeseo y Molibdeno.

En el caso del área de vigilancia CA-40, esta no cumple la Norma Chilena 409 en el parámetro del Hierro. Y no cumple la Norma Chilena 1333 en los parámetros del Hierro y Molibdeno.

El detalle de cada área de vigilancia y del cumplimiento de la norma chilena 409 y 1333, se encuentra en las Tablas 17, 18 y 20.

#### **4.5 FLUJO SUBTERRÁNEO**

El acuífero en el sub sector óptimo presenta principalmente una recarga proveniente del río Cachapoal y presenta una demanda de aguas subterráneas (pozos) mayor a las recargas superficiales. En la Tabla 10, se detalla el balance de masas del sector de Graneros-Rancagua, que se correlaciona al sub sector óptimo.

##### **4.5.1 Dirección de Flujo Subterráneo**

El sub sector óptimo se encuentra en la zona precordillerana, por lo que los flujos subterráneos tienden a fluir hacia la Depresión Intermedia, lo que permite que al infiltrar el agua en este sector, se pueda abastecer a gran parte de la cuenca del río Cachapoal.

La Figura 10 muestra el comportamiento del flujo subterráneo en todo el acuífero de la cuenca del río Cachapoal.

#### **4.6 CONSTANTES ELÁSTICAS**

El sub sector óptimo presenta constantes elásticas ideales para facilitar la infiltración y movilidad de esta dentro del acuífero. Con conductividades hidráulicas mínimas de 15 m/día y máximas de 110 m/día (Figura 26).

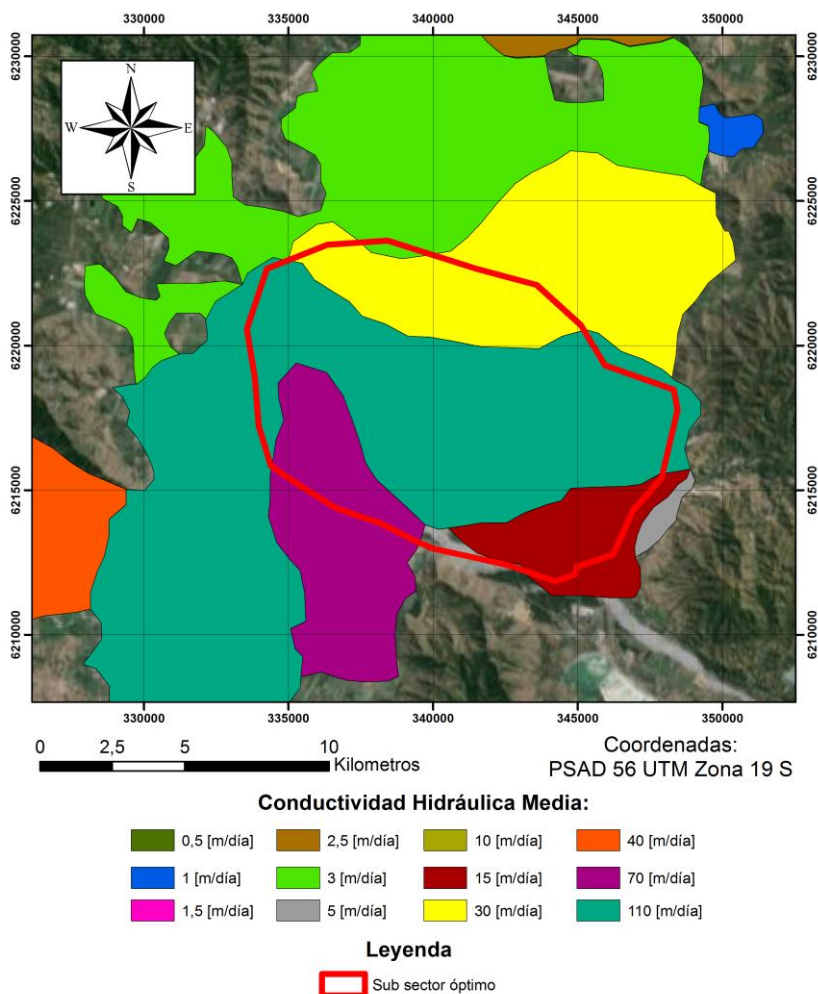
Además se caracteriza por coeficientes de almacenamientos superiores al 10% en gran parte del sub sector (Figura 27).

Con respecto al acuífero, este predominantemente presenta coeficientes de almacenamiento del orden de 10-15%, lo que es ideal para generar mayores infiltraciones sin que se afecte en demasía el ascenso de los niveles estáticos, lo que permite mayores volúmenes de agua almacenada.

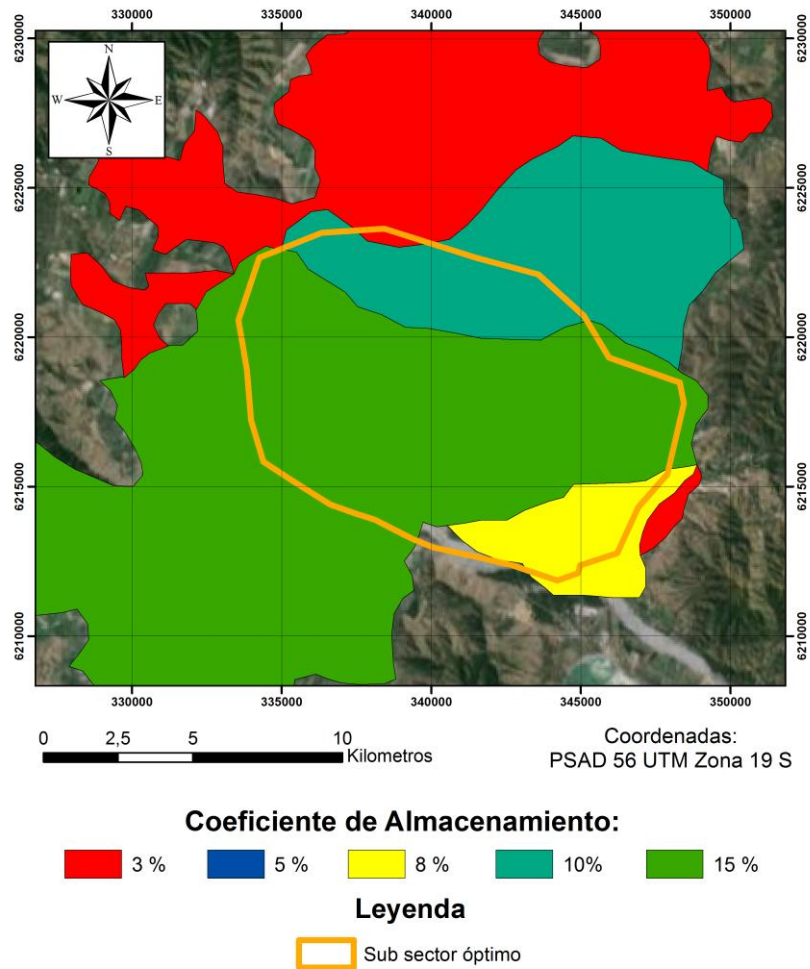
**Tabla 24** Valores promedios de las constantes elásticas en el sub sector óptimo

Valores promedios sub sector óptimo		
Constante Elástica	Valor	Unidad
Conductividad Hidráulica	81,21	m/día
Coefficiente de Almacenamiento	13,34	%

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 26** Conductividad Hidráulica Media Sub Sector Óptimo.  
Fuente: Informe DGA, 2005 (Modificado).



**Figura 27** Coeficiente de Almacenamiento Sub Sector Óptimo.  
Fuente: Informe DGA, 2005 (Modificado).

#### 4.7 VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO

Para calcular el volumen de almacenamiento ( $V_a$ ) se utiliza la siguiente ecuación:

$$V_a = A (m^2) * S * E (m)$$

- El coeficiente de almacenamiento promedio del sub sector (S) es de 13,34 %.
- El espacio disponible para el almacenamiento (E) se determinó en 50 m.b.n.s.
- El área del sub sector (A) es de 121,2 Km<sup>2</sup>.

El volumen de almacenamiento del sub sector óptimo es de 808.404.000 m<sup>3</sup> o 808.404.000.000 litros.



## 4.8 EVALUACIÓN ECONÓMICA SUB SECTOR ÓPTIMO

La información de los costos que contempla un proyecto de recarga gestionada fueron obtenidas de los informes: Manual de técnicas alternativas para soluciones de aguas lluvias en sectores urbanos, MINVU, 1996 y del Estudio diagnóstico de zonas potenciales de recarga de acuíferos en las regiones de Arica y Parinacota a la región del Maule. Realizado por GCF Ingenieros Ltda, 2013.

Para los cálculos posteriores se utilizó el valor de la UF al día 26/11/2015 en \$ 25.584,79.

### 4.8.1 Información Base

**Tabla 25** Información base para los cálculos económicos (I)

Datos	Valor	Unidad	Referencia
<b>Características del subsector</b>			
Área del subsector	121,20	km <sup>2</sup>	Cálculo de este estudio
Espesor disponible para almacenamiento	50	m	Cálculo de este estudio
Coefficiente de almacenamiento promedio del sub sector	13,34	%	Cálculo de este estudio
Volumen de almacenamiento	808.404.000	m <sup>3</sup>	Cálculo de este estudio
Tasa de infiltración	20	mm/hr	Basado en las características del suelo
<b>Costos generales</b>			
Costo del terreno en Rancagua	\$ 13.000.000	pesos/ha	Yapo.cl
Costo del agua potable en Rancagua	\$ 466	pesos/m <sup>3</sup>	ESSBIO VI S.A.
<b>Caudales considerados</b>			
Caudal promedio (Ene, Feb, Nov y Dic) (Pbex=20%)	143.600	l/s	Cálculo de este estudio
Caudal promedio anual (Pbex=50%)	74.100	l/s	Cálculo de este estudio

Fuente: Elaboración propia.

### 4.8.2 Caudal Cauce artificial y de infiltración

El caudal promedio del río Cachapoal entre los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre, con una probabilidad de excedencia del 20%, es de 143.600 l/s. Dado que no todo el caudal del cauce del río Cachapoal podría ser utilizado para ser encausado a la zona de infiltración, se debe definir un caudal mínimo que no se vea afectado al realizar este proyecto de recarga gestionada. Este caudal mínimo se determinó en 90.000 l/s. Estos 90.000 l/s representan el caudal en un año promedio, es decir sin muchas lluvias, ni muy seco (Pbex=50%), más un 20% extra (este porcentaje extra permite un margen ante cualquier imprevisto que pueda suceder).

Cabe señalar que el caudal de 90.000 l/s permite solventar todos los derechos de aprovechamientos superficiales que presenta la comuna de Rancagua, tanto privados, como públicos (ANEXO V).

Por ende, el caudal que se encausara a la zona de infiltración, corresponde a la diferencia entre el caudal máximo promedio del río Cachapoal entre los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre y el caudal mínimo que debe presentar el río Cachapoal para realizar una infiltración. Esto resulta en un caudal de 53.600 l/s. De este caudal se infiltrará un aproximado del 5% (2.680 l/s) y lo restante volverá al cauce natural del río Cachapoal.

Es importante destacar que en los años con probabilidad de excedencia del 30%, 40% o hasta 50%, también se pueden realizar recargas gestionadas, dependiendo si es que en los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre el cauce del río Cachapoal en esta zona presenta un caudal mayor a 90.000 l/s.

En el caso de que el caudal sea de una probabilidad de excedencia menor al 20% (Ej: 10%) o en algún mes se superé los 143.600 l/s, el caudal encausado será de 53.600 l/s, es decir el máximo permitido.

**Tabla 26** Información base para los cálculos económicos (II)

Datos	Valor	Unidad	Referencia
Caudal mínimo en el cauce del río Cachapoal, para realizar la recarga gestionada	90.000	l/s	Cálculo de este estudio
Caudal máximo cauce artificial	53.600	l/s	Cálculo de este estudio
Caudal a infiltrar (5%)	2.680	l/s	Cálculo de este estudio

Fuente: Elaboración propia.

### 4.8.3 Métodos de infiltración

Existen distintos métodos para realizar una recarga gestionada, algunos son superficiales dentro del cauce, superficiales fuera del cauce o en profundidad (Tabla 1).

Para este proyecto se estudiarán dos métodos principalmente, las zanjas de infiltración fuera del cauce y los pozos de infiltración. Estos se escogieron dado que permiten encausar parte del río y no interrumpen el cauce normal del río, además son los métodos más eficientes en función del área requerida para su implementación y de los caudales de infiltración que pueden generar.

### 4.8.3.1 Zanjas de Infiltración

Las zanjas de infiltración son excavaciones del suelo, a una profundidad en que se localice terreno con una mayor permeabilidad (generalmente presentan profundidades del orden de 4 a 7 m, con un ancho de no más de 1 a 2 m y de largo variable).

La infiltración de agua se genera tanto en el fondo de la zanja como en las paredes de esta, siendo esta última la que genera las mayores infiltraciones, dado que las conductividades hidráulicas laterales son mayores en los suelos sedimentarios o suelos aluviales, sumado a esto, en el fondo es donde se acumulan los sedimentos finos que puede traer el agua, lo que disminuye la capacidad de infiltración.

Para que no se colmate de sedimentos el fondo de las zanjas, se requiere colocar una capa de sedimentos gruesos, como arena o grava, que permiten filtrar en parte el agua y sobre esta, una capa de geotextil. Además, es ideal que el agua a infiltrar presente la menor cantidad de material sedimentario fino, tanto limos como arcillas, los cuales podrían obstruir las capas permeables; por eso se implementarán un sistema de filtración y decantación previo al ingreso del agua a la zanja.

#### 4.8.3.1.1 Dimensiones zanjas sub sector óptimo

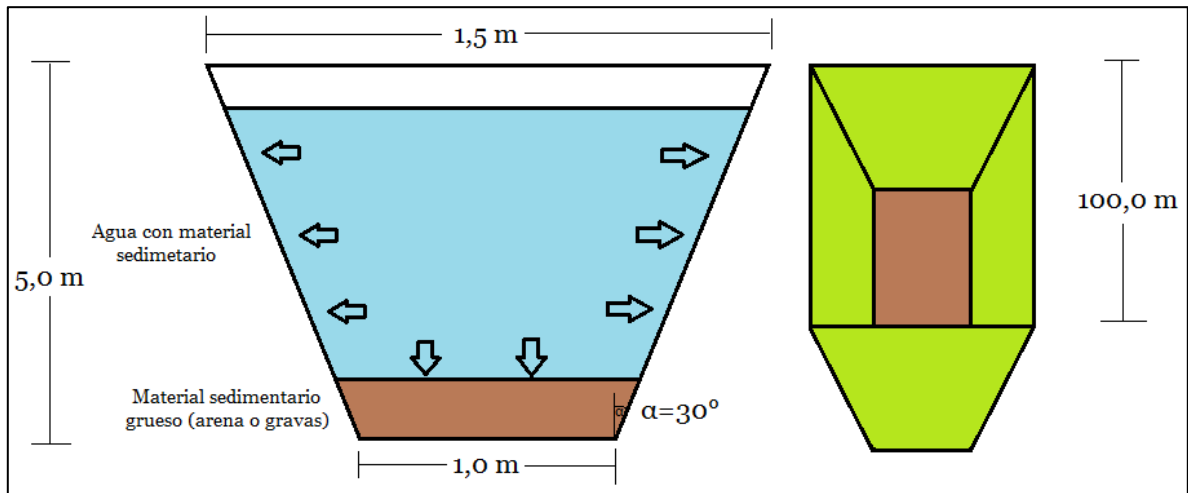
Las dimensiones de las zanjas para este estudio son:

Tabla 27 Dimensiones zanja tipo.

Medidas	Valor	Unidad
Largo	100,0	Metros
Profundidad	5,0	Metros
Ancho Inferior	1,0	Metros
Ancho Superior	1,5	Metros
Angulo Pared	30	Grados

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 28 se presenta el esquema de la zanja de infiltración tipo.



**Figura 28** Esquema zanja de infiltración tipo.  
Fuente: Elaboración propia.

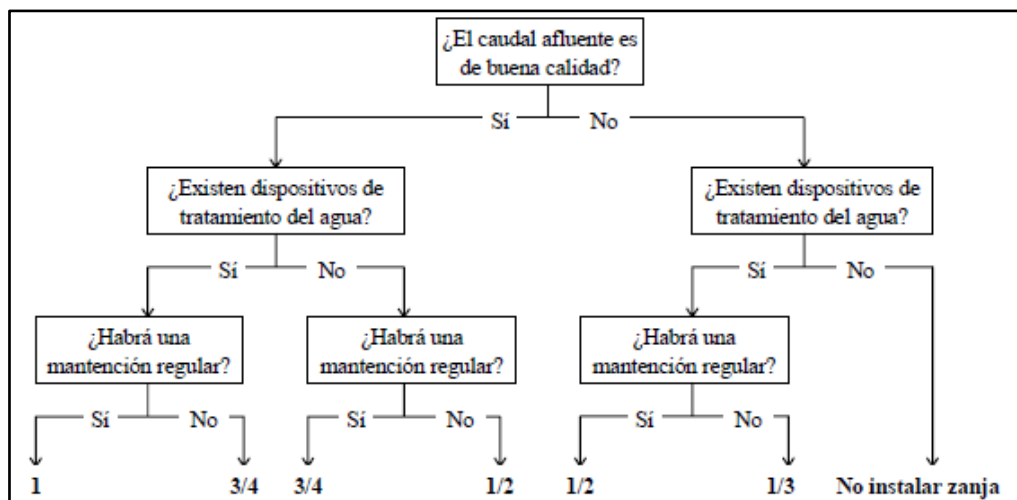
#### 4.8.3.1.2 Caudal máximo infiltrado por zanja

Para determinar el caudal de infiltración de una zanja ubicada en el sub sector óptimo con las dimensiones anteriormente mencionadas, se utilizó la ecuación que recomienda el MINVU, en el Manual de Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos, 1996. Esta ecuación es la siguiente:

$$Q = 0,001 * C * f * A$$

En donde:

- $Q$ : Caudal a infiltrar [ $m^3/hr$ ].
- $C$ : Coeficiente de seguridad (Figura 29).



**Figura 29** Valor coeficiente de seguridad.  
Fuente: MINVU, 1996.

- $f$ : Tasa de infiltración [mm/hr].

**Tabla 28** Valores tasas de infiltración asociadas al tipo de suelo

Tipo de Suelo	Tasa de Infiltración [mm/hr]
Arena	> 30
Arena limosa	20 - 30
Limo	10 - 20
Arcilla limosa	5 - 10
Arcilla	1 - 5

Fuente: MINVU, 1996.

- $A$ : Área total de percolación en la zanja [m<sup>2</sup>].

El área total de percolación de una zanja es igual a:

$$A = 2 * H (L + W) + 0,5 * L * W$$

En donde:

- $A$ : Área total de percolación en la zanja [m<sup>2</sup>].
- $L$ : Largo de la zanja [m].
- $H$ : Altura del agua en la zanja [m].
- $W$ : Ancho de la zanja [m].

Como la zanja propuesta presenta distintos anchos en función de la profundidad, el área total de percolación se expresa de la siguiente manera:

$$A = 2 * H * \left( W + \frac{W'}{2} \right) + 2 * L * \frac{H}{\cos \alpha} + 0,5 * L * W$$

En donde:

- $A$ : Área total de percolación en la zanja [m<sup>2</sup>].
- $L$ : Largo de la zanja [m].
- $H$ : Altura del agua en la zanja [m].
- $W$ : Ancho inferior de la zanja [m].
- $W'$ : Diferencia entre el ancho superior e inferior de la zanja [m].
- $\alpha$ : Angulo entre la pared de la zanja y la vertical [grados].

Para esta zanja de infiltración propuesta, se obtuvieron los siguientes datos, los cuales se indican en la Tabla 29.

**Tabla 29** Área total de percolación, tasa de infiltración, coeficiente de seguridad y caudal de infiltración.

Parámetro	Valor	Unidad	Observaciones
Área total de percolación	1.184,8	m <sup>2</sup>	Paredes de la zanja inclinadas con un ángulo de 30°.
Tasa de infiltración	20,0	mm/hr	El suelo es principalmente arenoso, con gravas y bolones, con una menor cantidad de limos y arcillas.
Coeficiente de seguridad	1,0	-	El coeficiente de seguridad para la zanja de infiltración tiene un valor de 1,0, dado que las aguas serán decantadas y filtradas previamente.
Caudal de infiltración	23,7	m <sup>3</sup> /hr	Si se filtra por 4 meses, genera un volumen infiltrado de 68.999,04 m <sup>3</sup> o 68.999.040 litros.
	6,6	l/s	

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.8.3.1.3 Costo total de construcción zanja de infiltración

Los costos para la construcción de una zanja de infiltración se obtuvieron del Manual de Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos, MINVU, 1996.

Para el cálculo de los costos para la construcción de una zanja de infiltración, se utilizó el valor de la UF al día 26/11/2015 en \$ 25.584,79.

En la Tabla 30 se detallan los distintos servicios básicos necesarios para la construcción de una zanja de infiltración.

**Tabla 30** Costo total de construcción por zanja de infiltración

M	Unidad	Precio unitario [UF]	Cantidad	Precio total [UF]	Precio total [\$]
Excavación, en terreno blando, hecha a mano, sin agotamiento ni entibación, incluye el descepe y limpieza del terreno, así como el emparejamiento, nivelación y limpieza de fondo.	m <sup>3</sup>	0,252	625	157,5	4.029.604
Transporte de excedentes de la excavación incluyendo carguío y depósito, a distancia menor a 10 km.	m <sup>3</sup>	0,063	625	39,4	1.008.041
Suministro y colocación de geotextil colocado según las especificaciones del proyecto.	m <sup>2</sup>	0,096	1000	96,0	2.456.140
Suministro y colocación de material de filtro granular de grava, tamaño medio 1 cm, colocado en una capa de 10 cm sobre el filtro geotextil de la cubierta superior.	m <sup>3</sup>	0,118	20	2,4	61.403
Costo total de construcción zanja de infiltración				295,3	7.555.188

Fuente: Precios de referencia en UF según "Lista Oficial de Precios de Obras de Pavimentación para Cobro por Gastos de Inspección año 1995", MINVU y el "Boletín de Precios N° 276 de Mayo-Junio de 1996" del SERVIU Metropolitano. MINVU, 1996.

### 4.8.3.2 Pozos de infiltración

Los pozos de infiltración son excavaciones comúnmente cilíndricas, que presentan profundidades variables, dependiendo de la profundidad en donde se encuentra la zona saturada, dado que los pozos de infiltración deben llegar a esta zona. Por lo cual pueden ser implementados en sectores con capas superiores impermeables.

Este método de recarga gestionada permite infiltrar grandes volúmenes de agua, en menor tiempo y eficiencia, que cualquier otro método.

Y dada la baja área superficial necesaria para implementar este método, es muy recomendable para zonas altamente urbanizadas.

#### 4.8.3.2.1 Dimensiones pozo de infiltración sub sector óptimo

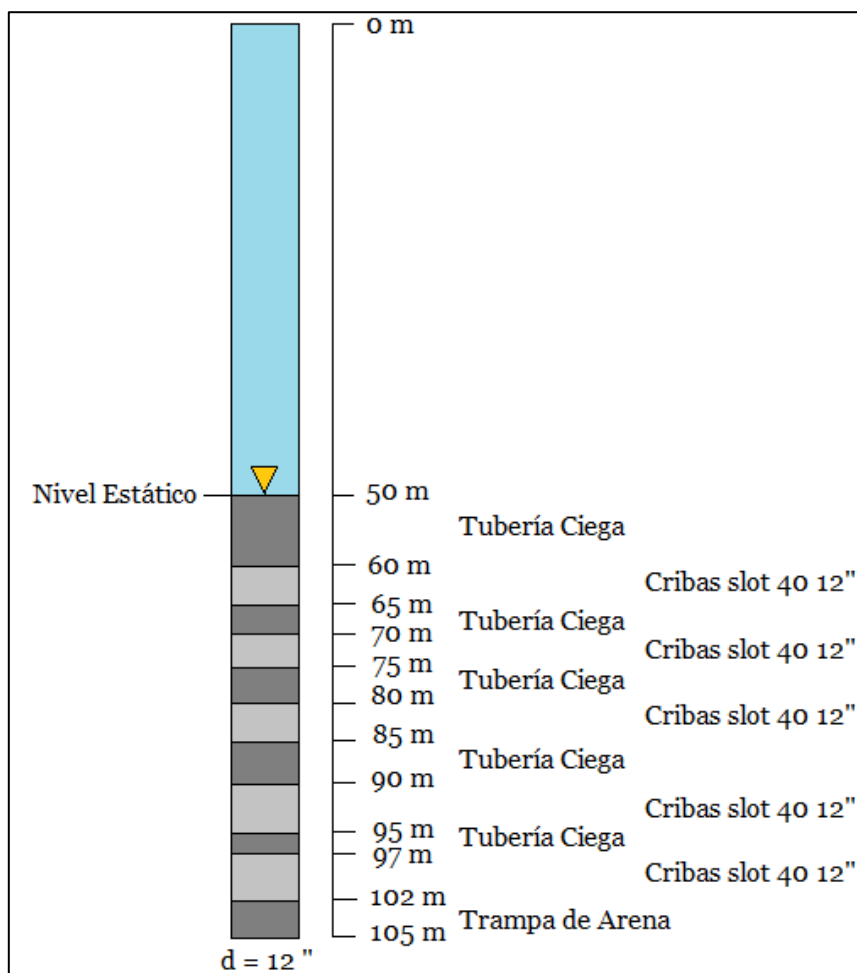
Las dimensiones para los pozos de infiltración de este estudio son:

**Tabla 31** Características pozo de infiltración tipo

<b>Medida</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Diámetro entubamiento	12	Pulgadas
Diámetro perforación	16	Pulgadas
Profundidad	105	Metros
<b>Habilitación</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Material</b>
Tubería Ciega	1 de 10 m, 3 de 5 m, 1 de 2 m y 1 de 3m	Acero
Cribas Slot 40 12"	5 de 5 m	Acero
Trampa de Arena	1 de 3 m	Arena
Espacio Anular	-	Gravilla

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 30 se observa el esquema del pozo de infiltración tipo.



**Figura 30** Esquema pozo de infiltración tipo.  
Fuente: Elaboración propia.

Es importante recordar que los niveles estáticos en el sub sector óptimo varían desde 40 m.b.n.s a 120 m.b.n.s, por lo que el pozo de la Figura 30 es solamente un esquema que permite hacer un cálculo aproximado del valor de un pozo de infiltración.

#### 4.8.3.2.2 Caudal máximo de infiltración por pozo

Para determinar el caudal de infiltración de un pozo ubicado en el sub sector óptimo con las dimensiones anteriormente mencionadas, se debe utilizar el método de Lefranc. El método es el siguiente:

$$Q = K * C * H \quad C = \frac{2 * \pi * L * F}{\ln\left(\frac{2 * L}{d}\right)}$$



En donde:

- $Q$ : Caudal a infiltrar [ $m^3/día$ ].
- $K$ : Permeabilidad [ $m/día$ ]
- $H$ : Altura sobre NE [ $m$ ]
- $C$ : Factor de Forma [ $m$ ]
- $F$ : Factor Criba
- $L$ : Longitud del tramo de criba [ $m$ ]
- $d$ : Diámetro de la tubería [ $m$ ]

Para el pozo de infiltración propuesto, se obtuvieron los siguientes datos.

**Tabla 32** Coeficiente de seguridad y Caudal de infiltración.

Parámetro	Valor	Unidad	Observaciones
Factor Criba	25	%	Cribas Slot 40 con 25% de área abierta
Factor de Forma	7,70	m	El largo total sumando todas las cribas es de 25 m.
Permeabilidad promedio sub sector óptimo (I)	81,21	m/día	Valor promedio sub sector óptimo calculado previamente.
Permeabilidad (II)	20	m/día	Valor definido (~ 50% del promedio)
Caudal de infiltración (I)	31.265,85	$m^3/día$	Si se filtra por 4 meses, genera un volumen infiltrado de 3.783.167,85 $m^3$ o 3.783.133.728 litros.
	361,87	l/s	
Caudal de infiltración (II)	7.700	$m^3/día$	Si se filtra por 4 meses, genera un volumen infiltrado de 931.700 $m^3$ o 931.696.128 litros.
	89,12	l/s	

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 32 se observan dos permeabilidades y dos caudales de infiltración. Esto se debe a que en el subsector óptimo existen zonas con permeabilidades muy bajas de 3 y 15  $m/día$  y zonas con permeabilidades muy altas de 110  $m/día$ , por lo que al calcular el promedio de permeabilidad del sub sector, estas permeabilidades muy altas producen que el promedio sea de un orden muy grande, por lo que si se quiere estimar el caudal de infiltración de los pozos, no es recomendable utilizar esta permeabilidad promedio, dado que esta no es representativa para todo el sub sector.

Por lo tanto, se determinó utilizar una permeabilidad menor, con un valor de 20  $m/día$ , lo que genera un caudal de infiltración de 89,12 l/s.

#### 4.8.3.2.3 Costo total de construcción pozo de infiltración

Los costos para la construcción de un pozo de infiltración se obtuvieron del informe “Estudio diagnóstico de zonas potenciales de recarga de acuíferos en las regiones de Arica y Parinacota a la región del Maule. Realizado por GCF Ingenieros Ltda, 2013”.

En la Tabla 33 se detallan los distintos servicios básicos necesarios para la construcción de un pozo de infiltración y sus valores asociados.

**Tabla 33** Costo total de construcción por pozo de infiltración

Servicio	Unidad	Precio unitario	Cantidad	Precio total
<b>Instalación y levante de faenas</b>				
Instalación y levante de faenas	gl	\$ 1.200.000	1	\$ 1.200.000
<b>Construcción del sondaje</b>				
Perforación Dmin = 16"	m	\$ 280.000	105	\$ 29.400.000
Entubación cañería acero D =12", e =6,3 mm.	m	\$ 80.000	80	\$ 6.400.000
Cribas acero al carbono, Slot 40, D = 12"	m	\$ 220.000	25	\$ 5.500.000
Suministro y colocación de filtro granular	m	\$ 46.700	105	\$ 4.903.500
Sello y brocal de hormigón	gl	\$ 225.000	1	\$ 225.000
Tapa del pozo según plano del proyecto	gl	\$ 50.000	1	\$ 50.000
<b>Obra de captación y filtro, y caseta</b>				
Obra de captación, bomba y obra de arte para tratamiento	gl	\$ 2.000.000	1	\$ 2.000.000
Recinto sólido y seguro de 3x6 m, metálico	gl	\$ 3.000.000	1	\$ 3.000.000
<b>Interrupción de faenas</b>				
Interrupción de faenas	hr	\$ 40.000	24	\$ 960.000
<b>Plano de construcción e informe final</b>				
Plano de construcción e informe final	gl	\$ 300.000	1	\$ 300.000
<b>Costos totales</b>				
Subtotal por pozo				\$ 53.938.500
Gastos generales, imprevistos y utilidades (45%)				\$ 24.272.325
Total Neto				\$ 78.210.825
I.V.A. (19%)				\$ 14.860.057
Costo total de construcción pozo de infiltración				\$ 93.070.882

Fuente: CNR, 2013.

#### 4.8.4 Opciones de proyectos de recarga gestionada

Se presentan 3 opciones de proyecto. Cada una de ellas consta de zanjas y pozos de infiltración, un pozo de observación, un sistema decantador, un sistema filtrador y de dos caudalímetros.

El sistema decantador y el filtrador permiten disminuir la posibilidad de que se genere una colmatación tanto de las zanjas como de los pozos de infiltración. Esto debido a que el río Cachapoal en el sub sector escogido presenta de 270,3 a 336,6 mg/l de solidos disueltos y de 157,8 a 367,1 mg/l de solidos suspendidos, lo que si no es tratado podría producir problemas de colmatación y por lo tanto suspender la actividad del proyecto.

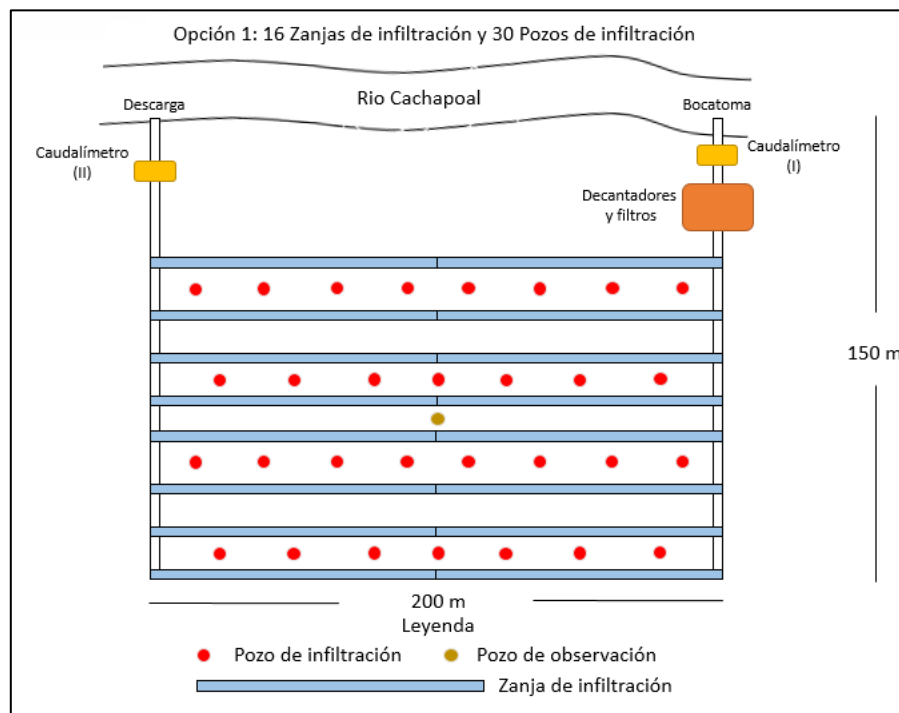
**Tabla 34** Datos generales del proyecto de recarga gestionada

Dato	Valor
Caudal a infiltrar	2.680 l/s
Duración de la infiltración	4 meses (Enero, Febrero, Noviembre y Diciembre)
Valor del Agua en Rancagua	\$466
Valor de venta del agua, proyecto recarga gestionada	\$233
Porcentaje de agua infiltrada destinada a la venta	50% del volumen infiltrado total.
Tasa de interés anual	6 %
Costos anuales de mantención y operación	10 % de la inversión

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.8.4.1 Proyecto I

El proyecto I consta de 16 zanjas de infiltración y de 30 pozos de infiltración. Esta opción permite infiltrar 2.779,2 l/s, superando los 2.680 l/s, lo que genera que en ningún momento este sistema de recarga gestionada trabaje al 100% (máximo al 96%). Contempla un área aproximada de 30.000 m<sup>2</sup>.



**Figura 31** Distribución espacial proyecto I.  
Fuente: Elaboración propia.

##### 4.8.4.1.1 Análisis económico proyecto I

En la Tabla 35 se detallan todas las inversiones que se requieren para implementar el proyecto I. Además se presentan los costos e ingresos anuales que genera este proyecto.

**Tabla 35** Inversiones, costos anuales e ingresos anuales proyecto I.

<b>Inversión</b>			
<b>Producto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Precio total</b>
Zanjas de infiltración	16	\$ 7.555.188	\$ 120.883.008
Pozos de infiltración	30	\$ 93.070.882	\$ 2.792.126.460
Pozo de observación	1	\$ 93.070.882	\$ 93.070.882
Caudalímetros	2	\$ 1.000.000	\$ 2.000.000
Decantador	1	\$ 15.000.000	\$ 15.000.000
Filtrador	1	\$ 10.000.000	\$ 10.000.000
Terreno	30.000 m <sup>2</sup>	\$ 13.000.000/Ha	\$ 39.000.000
Otros	1	\$ 10.000.000	\$ 10.000.000
Inversión total			\$ 3.082.080.350
<b>Costos Anuales</b>			
			<b>Precio total</b>
Costos anuales (10 % de la inversión)			\$ 308.208.035
<b>Ingresos Anuales</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Precio Total</b>
Caudal infiltrado	2.680	l/s	
Volumen infiltrado total	28.017.792.000	litros	
Volumen infiltrado a la venta	14.008.896	m <sup>3</sup>	
Precio agua a la venta	233	pesos/m <sup>3</sup>	
Ingreso anual			\$ 3.264.072.768

Fuente: Elaboración propia.

Para poder comparar los proyectos y analizar si son económicamente viables, se realiza una estimación del Valor Actual Neto a 5 años (V.A.N.). A continuación se muestra el cálculo del V.A.N. del proyecto I (Tabla 36).

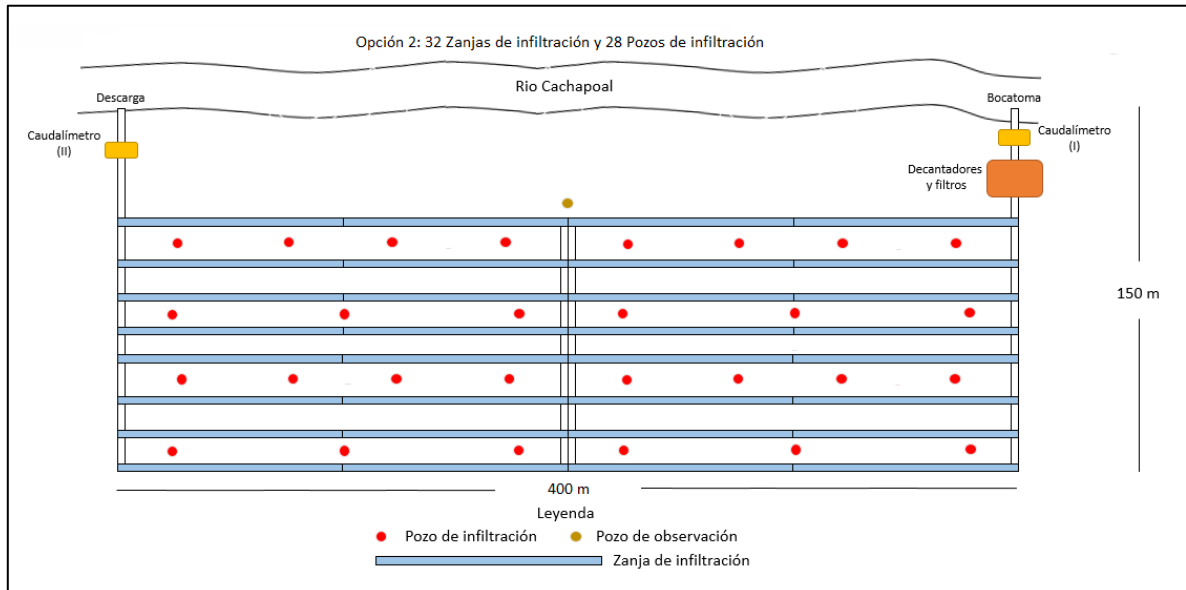
**Tabla 36** Valor Actual Neto a 5 años, proyecto I

	<b>Año 0</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>
Ingresos [\$]		3.264.072.768	3.264.072.768	3.264.072.768	3.264.072.768	3.264.072.768
Costos [\$]		308.208.035	308.208.035	308.208.035	308.208.035	308.208.035
Inversión [\$]	3.082.080.350					
Total [\$]	3.082.080.350	2.955.864.733	2.955.864.733	2.955.864.733	2.955.864.733	2.955.864.733
VAN (6 %) [\$]	9.369.097.206					

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.8.4.2 Proyecto II

El proyecto II consta de 32 zanjas de infiltración y de 28 pozos de infiltración. Esta opción permite infiltrar 2.706,6 l/s, superando los 2.680 l/s, lo que genera que en ningún momento este sistema de recarga gestionada trabaje al 100% (máximo al 99%). Contempla un área aproximada de 60.000 m<sup>2</sup>.



**Figura 32** Distribución espacial proyecto II.  
Fuente: Elaboración propia.

##### 4.8.4.2.1 Análisis económico proyecto II

En la Tabla 37 se detallan todas las inversiones que se requieren para implementar el proyecto II. Además se presentan los costos e ingresos anuales que genera este proyecto.

**Tabla 37** Inversiones, costos anuales e ingresos anuales proyecto II.

Inversión			
Producto	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Zanjas de infiltración	32	\$ 7.555.188	\$ 226.655.640
Pozos de infiltración	28	\$ 93.070.882	\$ 2.605.984.696
Pozo de observación	1	\$ 93.070.882	\$ 93.070.882
Caudalímetros	2	\$ 1.000.000	\$ 2.000.000
Decantador	1	\$ 15.000.000	\$ 15.000.000
Filtrador	1	\$ 10.000.000	\$ 10.000.000
Terreno	60.000 m <sup>2</sup>	\$ 13.000.000/Ha	\$ 78.000.000
Otros	1	\$ 10.000.000	\$ 10.000.000
Inversión total			\$ 3.055.821.594

<b>Costos Anuales</b>			
			<b>Precio total</b>
Costos anuales (10 % de la inversión)			\$ 305.582.159
<b>Ingresos Anuales</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Precio Total</b>
Caudal infiltrado	2.680	l/s	
Volumen infiltrado total	28.017.792.000	litros	
Volumen infiltrado a la venta	14.008.896	m <sup>3</sup>	
Precio agua a la venta	233	pesos/m <sup>3</sup>	
Ingreso anual			\$ 3.264.072.768

Fuente: Elaboración propia.

Para poder comparar los proyectos y analizar si son económicamente viables, se realiza una estimación del Valor Actual Neto a 5 años (V.A.N.). A continuación se muestra el cálculo del V.A.N. del proyecto II (Tabla 38).

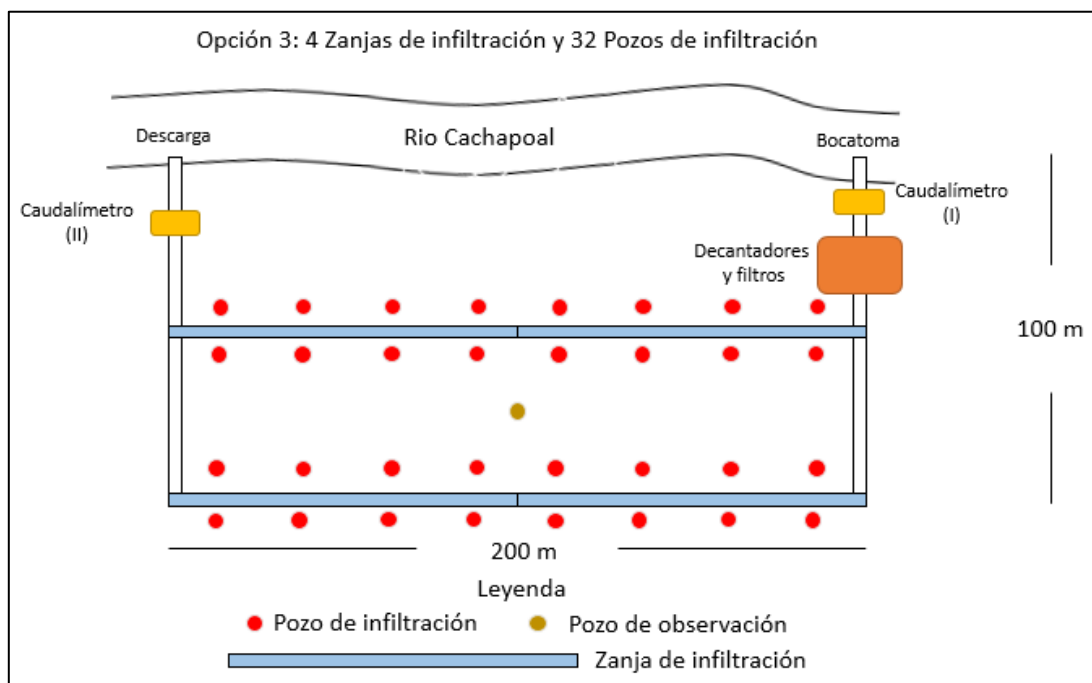
**Tabla 38** Valor Actual Neto a 5 años, proyecto II

	<b>Año 0</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>
Ingresos [\$]		3.264.072.768	3.264.072.768	3.264.072.768	3.264.072.768	3.264.072.768
Costos [\$]		305.582.159	305.582.159	305.582.159	305.582.159	305.582.159
Inversión [\$]	3.055.821.594					
Total [\$]	3.055.821.594	2.963.901.646	2.963.901.646	2.963.901.646	2.963.901.646	2.963.901.646
VAN (6 %) [\$]	9.406.417.107					

Fuente: Elaboración propia.

### 4.8.4.3 Proyecto III

El proyecto III consta de 4 zanjas de infiltración y de 32 pozos de infiltración. Esta opción permite infiltrar 2.865,0 l/s, superando los 2.680 l/s, lo que genera que en ningún momento este sistema de recarga gestionada trabaje al 100% (máximo al 94%). Contempla un área aproximada de 20.000 m<sup>2</sup>.



**Figura 33** Distribución espacial proyecto III.  
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.8.4.3.1 Análisis económico proyecto III

En la Tabla 39 se detallan todas las inversiones que se requieren para implementar el proyecto III. Además se presentan los costos e ingresos anuales que genera este proyecto.

**Tabla 39** Inversiones, costos anuales e ingresos anuales proyecto III.

Inversión			
Producto	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Zanjas de infiltración	2	\$ 7.555.188	\$ 30.220.752
Pozos de infiltración	16	\$ 93.070.882	\$ 2.978.268.224
Pozo de observación	1	\$ 93.070.882	\$ 93.070.882
Caudalímetros	2	\$ 1.000.000	\$ 2.000.000
Decantador	1	\$ 15.000.000	\$ 15.000.000
Filtrador	1	\$ 10.000.000	\$ 10.000.000
Terreno	20.000 m <sup>2</sup>	\$ 13.000.000/Ha	\$ 26.000.000
Otros	1	\$ 10.000.000	\$ 10.000.000
Inversión total			\$ 3.151.559.858

Costos Anuales			
			Precio total
Costos anuales (10 % de la inversión)			\$ 315.155.986
Ingresos Anuales			
Parámetro	Valor	Unidad	Precio Total
Caudal infiltrado	2.680	l/s	
Volumen infiltrado total	28.017.792.000	litros	
Volumen infiltrado a la venta	14.008.896	m <sup>3</sup>	
Precio agua a la venta	233	pesos/m <sup>3</sup>	
Ingreso anual			\$ 3.264.072.768

Fuente: Elaboración propia.

Para poder comparar los proyectos y analizar si son económicamente viables, se realiza una estimación del Valor Actual Neto a 5 años (V.A.N.). A continuación se muestra el cálculo del V.A.N. del proyecto III (Tabla 40).

**Tabla 40** Valor Actual Neto a 5 años, proyecto III

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos [\$]		3.264.072.768	3.264.072.768	3.264.072.768	3.264.072.768	3.264.072.768
Costos [\$]		315.155.986	315.155.986	315.155.986	315.155.986	315.155.986
Inversión [\$]	3.151.559.858					
Total [\$]	3.151.559.858	2.948.916.782	2.948.916.782	2.948.916.782	2.948.916.782	2.948.916.782
VAN (6%) [\$]	9.270.350.401					

Fuente: Elaboración propia.

## 4.9 CONSECUENCIAS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PROYECTO DE RECARGA GESTIONADA EN EL ACUÍFERO

### 4.9.1 Subida del nivel estático en el sub sector

Al realizar la recarga gestionada se generan subidas de los niveles estáticos. Para determinar aproximadamente cuanto es este aumento, se utiliza siguiente ecuación:

$$\Delta H = \frac{\text{Volumen saturado}}{\text{Área de recarga}}$$

En donde:

- $\Delta H$ : Subida del nivel estático [m]
- *Área de recarga*: Área considerada para almacenamiento [m<sup>2</sup>].
- *Volumen saturado*: Volumen de agua y sedimentos [m<sup>3</sup>].



$$\text{Volumen saturado} = \frac{\text{Volumen de agua total infiltrado [m}^3\text{]}}{\text{Coeficiente de Almacenamiento}}$$

En la Tabla 41 se indican los valores de cada parámetro y el resultado calculado de la subida promedio del nivel estático en el sub sector óptimo.

**Tabla 41** Subida promedio del nivel estático en el sub sector óptimo

Parámetro	Valor	Unidad
Volumen de agua total infiltrado	28.017.792	m <sup>3</sup>
Coeficiente de almacenamiento	13,34	%
Volumen saturado	210.028.425,8	m <sup>3</sup>
Área de recarga	121.200.000	m <sup>2</sup>
Subida promedio del nivel estático en el sub sector óptimo	1,7	m

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.9.2 Velocidad de desplazamiento del agua subterránea

Para determinar el tiempo en que una gota de agua infiltrada en el sub sector óptimo llegue al punto más lejano del acuífero, se debe determinar la velocidad del flujo subterráneo.

La velocidad del flujo subterráneo se calcula con la Ley de Darcy:

$$\text{Velocidad real} = \frac{\text{Velocidad de Darcy}}{\text{Porosidad Eficaz}}$$

$$v = K * i$$

En donde:

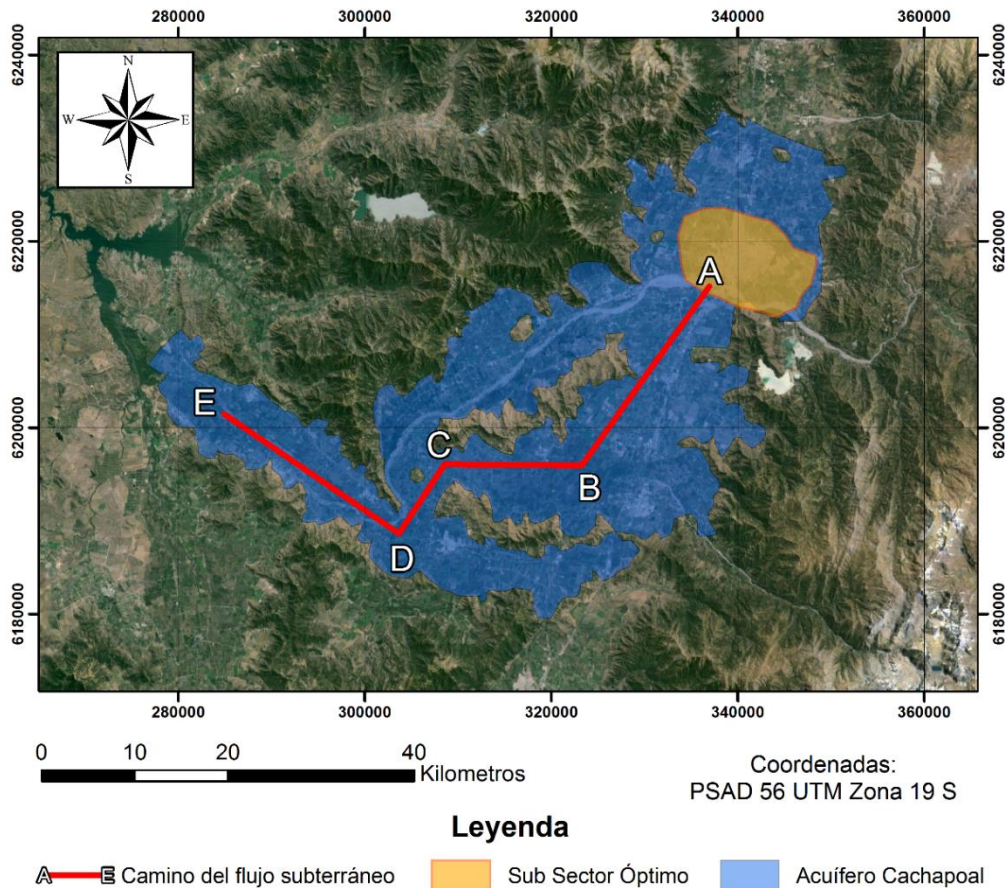
- $v$ : Velocidad de Darcy [m/día].
- $K$ : Conductividad Hidráulica [m/día].
- $i$ : Gradiente Hidráulica.
- $\text{Porosidad Eficaz}$  (Tabla 42).

**Tabla 42** Porosidad eficaz

Material	Porosidad Eficaz [%]		
	Máxima	Mínima	Media
Arcilla arenosa	18	3	7
Arena fina	28	10	21
Arena media	32	15	26
Arena gruesa	35	20	27
Arena con grava	35	20	25
Gravas finas	35	21	25
Gravas medias	26	13	23
Gravas finas	26	12	22

Fuente: Custodio-Lamas, 1983.

Dado que el acuífero Cachapoal presenta cambios en las direcciones del flujo (Figura 10), se definió un posible recorrido que podría tomar una gota infiltrada en el sub sector óptimo para llegar al punto más lejano del acuífero. En la Figura 34 se indica el camino sugerido y la segmentación de este (A-B, B-C, C-D y D-E).



**Figura 34** Camino del flujo subterráneo desde el sector óptimo al punto más lejano del acuífero.  
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 43 se indican los valores de: la velocidad de Darcy, la velocidad real y los tiempos que podría tomar una gota de agua para llegar desde el inicio de un segmento al otro.

**Tabla 43** Velocidad de Darcy, velocidad real y tiempo de recorrido de los 4 segmentos

<b>Datos Generales</b>			
<b>Datos</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Observaciones</b>
Porosidad Eficaz Media	25	%	El acuífero Cachapal consta principalmente de arenas y gravas
<b>Segmento A - B</b>			
<b>Datos</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	
Cota punto A	1.478	m.s.n.m.	
Cota punto B	437	m.s.n.m.	
Distancia A - B	25.267	metros	
Gradiente Hidráulica	4,12	%	
Conductividad Hidráulica	73	m/día	
Velocidad de Darcy	3,01	m/día	
Velocidad Real	12,04	m/día	
Tiempo A - B	2.099	días	
<b>Segmento B - C</b>			
<b>Datos</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	
Cota punto B	437	m.s.n.m.	
Cota punto C	171	m.s.n.m.	
Distancia B - C	15.825	metros	
Gradiente Hidráulica	1,68	%	
Conductividad Hidráulica	40	m/día	
Velocidad de Darcy	0,67	m/día	
Velocidad Real	2,69	m/día	
Tiempo B - C	5.883	días	
<b>Segmento C - D</b>			
<b>Datos</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	
Cota punto C	171	m.s.n.m.	
Cota punto D	154	m.s.n.m.	
Distancia C - D	9.357	metros	
Gradiente Hidráulica	0,18	%	
Conductividad Hidráulica	33	m/día	
Velocidad de Darcy	0,06	m/día	
Velocidad Real	0,24	m/día	
Tiempo C - D	38.988	días	
<b>Segmento D - E</b>			
<b>Datos</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	
Cota punto D	154	m.s.n.m.	
Cota punto E	144	m.s.n.m.	
Distancia D - E	23.289	metros	
Gradiente Hidráulica	0,04	%	
Conductividad Hidráulica	28	m/día	
Velocidad de Darcy	0,01	m/día	
Velocidad Real	0,04	m/día	
Tiempo D - E	582.225	días	

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la Tabla 44 se detallan los tiempos que tomaría una gota desde el sub sector óptimo en llegar al punto B, C, D y E.

**Tabla 44** Tiempos de recorrido desde el punto A a los puntos B, C, D y E.

<b>Tiempo Total</b>		
<b>Datos</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Tiempo A - B	2.099	días
	5,75	años
Tiempo A - C	7.982	días
	21,87	años
Tiempo A - D	46.970	días
	128,68	años
Tiempo A - E	629.195	días
	1.723,82	años

Fuente: Elaboración propia.

El tiempo que demora en recorrer una gota de agua cada uno de los segmentos en función del flujo subterráneo, va creciendo a medida que se avanza de segmento en segmento. Esto se debe a que las cotas del terreno van disminuyendo desde las zonas precordilleranas hacia la planicie intermedia, lo que genera que las gradientes hidráulicas sean también menores y por ende las velocidades de las aguas subterráneas en las cercanías del punto E sean tan bajas.

Finalmente el tiempo que demora en recorrer una gota de agua desde el sub sector óptimo al punto más lejano del acuífero (punto E) en función del flujo subterráneo es de 629.195 días o 1.723,82 años.

#### 4.10 EXPANSIÓN PROYECTO

Se propone la posibilidad de expandir el proyecto de recarga gestionada, aumentando el periodo de infiltración a la estación invernal (junio, julio, agosto y septiembre), debido a que en este periodo existe una menor demanda de los flujos superficiales, dado el nulo o escaso uso agrícola.

Similar al análisis realizado para el periodo de enero, febrero, noviembre y diciembre, se calculó el promedio de los caudales del río Cachapoal en el sub sector escogido para el periodo invernal a una probabilidad de excedencia del 20%, lo que resulta en un caudal promedio de 57,73 m<sup>3</sup>/s.

Debido a que no se tiene certeza del real uso de los derechos de aprovechamiento del caudal del río Cachapoal en la estación invernal, se realizó los cálculos con respecto a distintos porcentajes de uso de las demandas invernales, para así determinar cuánto del caudal del río Cachapoal se puede encausar al sistema de recarga gestionada. Cabe señalar que tan solo el 5% de ese caudal encausado es infiltrado al acuífero y el resto es devuelto al cauce natural del río.

Además, es importante mencionar que los niveles estáticos se encuentran a una profundidad aceptable para realizar esta recarga, esto en base al análisis de las variaciones de los niveles estáticos interanuales (Páginas 67 a 71), en donde se pudo determinar que los niveles estáticos se encuentran bajo los 40 m de profundidad a lo largo de todo el año en el sub sector escogido.

En la Tabla 45 se observan las distintas opciones de expansión del proyecto, con los caudales a encausar y a infiltrar calculados para cada una de ellas.

**Tabla 45** Porcentajes de infiltración de la expansión del proyecto.

Porcentaje encausado	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Caudal encausado [m <sup>3</sup> /s]	5,77	11,55	17,32	23,09	28,87	34,64	40,41	46,18	51,96
Caudal encausado [l/s]	5.773	11.546	17.319	23.092	28.865	34.638	40.411	46.184	51.957
Caudal a infiltrar [m <sup>3</sup> /s]	0,29	0,58	0,87	1,15	1,44	1,73	2,02	2,31	2,60
Caudal a infiltrar [l/s]	288,65	577,30	865,95	1.154,60	1.443,25	1.731,90	2.020,55	2.309,20	2.597,85

Fuente: Elaboración propia.

En función de los resultados que se observan en la Tabla 45, se analizó la factibilidad económica de implementar cada una de las opciones de expansión del proyecto. Estas se detallan en el ANEXO VII.

En la Tabla 46 se exponen los resultados del V.A.N a 5 años de cada una de las opciones de expansión del proyecto.

**Tabla 46** V.A.N a 5 años para cada posibilidad de expansión del proyecto.

<b>Porcentaje encausado</b>	<b>10%</b>	<b>20%</b>	<b>30%</b>	<b>40%</b>	<b>50%</b>
<b>Caudal a infiltrar [l/s]</b>	288,65	577,30	865,95	1.154,60	1.443,25
<b>VAN a 5 años (6 %) [\$]</b>	188.774.582	1.681.902.247	3.175.029.912	4.668.157.577	6.161.285.241

<b>Porcentaje encausado</b>	<b>60%</b>	<b>70%</b>	<b>80%</b>	<b>90%</b>
<b>Caudal a infiltrar [l/s]</b>	1.731,90	2.020,55	2.309,20	2.597,85
<b>VAN a 5 años (6 %) [\$]</b>	7.654.412.906	9.147.540.571	10.640.668.236	12.133.795.900

Fuente: Elaboración propia.

Todas las opciones de expansión del proyecto presentan un V.A.N positivo y por ende son económicamente rentables. Pero dado que no se tiene 100% claridad de las reales demandas invernales del caudal del río Cachapoal, esta sección queda como una posibilidad para ser estudiada en un futuro, y por lo tanto, no se analizaron las consecuencias de implementar alguna de estas opciones de expansión del proyecto.

## 5 CONCLUSIONES

El acuífero de la cuenca del río Cachapoal presenta características muy favorables para la implementación de un proyecto de recarga gestionada. Consta de: muy buenas conductividades hidráulicas y coeficientes de almacenamiento en gran parte de su territorio, una granulometría gruesa (ripios, gravas y arenas, con escasos finos), un espesor de relleno del orden de los 100 m, además, los sectores con niveles estáticos en mayor profundidad, se ubican en las zonas precordilleranas de la cuenca, lo que permite que sean un buen lugar para almacenar grandes volúmenes de agua y a su vez, poder llevar esta agua infiltrada a gran parte del acuífero. Sumado a todo esto, el río Cachapoal presenta caudales muy altos en toda la cuenca, lo que permite encausar grandes caudales para ser infiltrados y que esto no provoque alteraciones mayores al cauce natural del río y por ende, no se afecte los derechos de aprovechamientos de agua superficial que presenta la cuenca.

En el caso del sub sector óptimo, este presenta todas las características necesarias para realizar una recarga gestionada, dado que se caracteriza por una conductividad hidráulica promedio de 81,21 m/día, un coeficiente de almacenamiento promedio del 13,34%, un nivel estático promedio de 50 m.b.n.s., además se encuentra en las cercanías del río Cachapoal, con caudales promedios de 74,1 m<sup>3</sup>/s, entre otras tantas características que favorecen este sub sector. Es importante señalar que este sub sector se determinó en función de la información disponible al momento de realizar este estudio, por lo cual la delimitación de este sub sector podría variar ligeramente si es que se tiene mayor información de la zona de estudio, en especial de los niveles estáticos.

En relación a cuál de los tres proyectos de recarga gestionada en el sub sector óptimo es el indicado para ser implementado, se deben analizar los valores entregados por el VAN y también, cuanto terreno se requiere para su implementación. En relación al VAN, las tres opciones presentan un VAN positivo, pero el proyecto II presenta el mayor, por lo que según este factor sería el proyecto indicado para ser realizado. Pero si se analiza el espacio requerido para implementar estos proyectos, el indicado sería el proyecto III, dado que tan solo requiere un aproximado de unos 20.000 m<sup>2</sup> (esto es importante dado que permite una mayor facilidad en encontrar un terreno para implementar el proyecto). Pero si se analiza en conjunto estos dos factores, el proyecto a escoger sería el proyecto I, ya que presenta un VAN un poco menor al proyecto II, pero requiere de una superficie de tan solo 30.000 m<sup>2</sup>, en cambio el proyecto II requiere una superficie de 60.000 m<sup>2</sup>.

Es importante señalar que este proyecto no tan solo consta de vender el 50% del volumen infiltrado, sino que también permite generar una recarga al acuífero de forma gratuita (porcentaje restante del volumen infiltrado). Por ende genera beneficios tanto económicos, como para el ecosistema.

Finalmente, se puede concluir que al ser implementado el proyecto de recarga gestionada en el sub sector óptimo, este no generará una gran subida del nivel estático, el cual es de tan solo 1,7 m por año, lo que permitiría analizar un aumento de los caudales de infiltración en el caso de que se quiera realizar un proyecto de una envergadura mayor a la que presenta este estudio o analizar la posibilidad de aumentar el periodo de infiltración, a la estación invernal como se analizó previamente.



## 6 RECOMENDACIONES

- Este estudio se basó principalmente en el informe “Evaluación de los recursos hídricos subterráneos de la VI Región – Modelación Hidrogeológica de los Valles de Alhué, Cachapoal y Tinguiririca”, realizado por el DICTUC para la DGA en el 2005. Este informe se publicó hace 11 años, por lo cual se recomienda realizar nuevos estudios de los sectores, como del sub sector óptimo y principalmente del terreno escogido para realizar la recarga gestionada (trabajo en terreno). Contemplando estudios geofísicos, hidrogeológicos, hidrológicos, geomorfológicos, sedimentarios, entre otros. Con ello poder obtener las estratigrafías de las zonas, tener un mayor detalle de las características del acuífero, poder determinar exactamente las tasas de infiltración, entre otras tantas cosas.
- Realizar un estudio detallado de la calidad del agua del río Cachapoal, principalmente en la zona donde se realizará la recarga gestionada, en donde se analicen todos los parámetros de las Normas Chilenas 409 y 1333. Con estos resultados, se debe efectuar un tratamiento del agua, previo a ser infiltrada, para que así se cumplan estas normas. Además, se debe tener un enfoque especial a los parámetros del Cobre, Hierro, Manganeso y Molibdeno, dado que estos no cumplen las normas, en el sub sector óptimo.
- Implementar un seguimiento del comportamiento de los pozos de la zona y de las zonas aledañas por posibles inundaciones.
- Con la información de la estratigrafía de la zona en donde se realizará la recarga gestionada, se debe definir la habilitación y la profundidad correcta de los pozos de infiltración, dado que en este estudio se definió un esquema del pozo, que es simplemente un ejemplo, pero puede que no presente las características correctas al lugar definido.
- Realizar un estudio económico más detallado, debido a que en este trabajo los valores fueron sacados de los antecedentes recolectados, pero en ningún caso estos datos son exactos. Solamente permiten estimar en parte los valores requeridos.
- Determinar las reales demandas de los flujos superficiales en el sub sector escogido, para así analizar de mejor manera una posible expansión del periodo de infiltración del proyecto de recarga.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

ARDILES, M. 2013. Recarga artificial de acuíferos en el valle del Aconcagua. [Diapositiva].DOH, Dirección de Obras Hidráulicas.

AZZOUT, Y., S. BARRAUD, E. ALFAKIH Y F. N. CRES, 1994 Techniques Alternatives en Assainissement Pluvial. Technique et Documentation, Lavoisier, París.

BOUWER, H. 2002. Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering. Hydrogeology Journal, volume 10, n°2, abril 2002.

CABRERA, G, 2013. Aspectos generales de la recarga artificial de acuíferos en Chile. Tercera Jornada Técnica 2013. Asociación Latinoamericana de Hidrología Subterránea para el Desarrollo (ALHSUD). [Diapositiva] Santiago, Chile.

CHARRIER, R., BAEZA, O., ELGUETA, S., FLYNN, J. J., GANS, P., KAY, S. M., MUÑOZ, N., SWISHER, C. C. III, WYSS, A. R. AND ZURITA, E., 2002. Evidence for extensional basin development and tectonic inversion in the southern central Andes, Chile (33°-36° S). Journal of South American Sciences, Vol 15, N° 1, p. 117-139

CHILE. Ministerio de justicia. 1981. Decreto con Fuerza de Ley 1122: Código de Aguas, 29 de agosto de 1981. 71p.

CHILE. Ministerio Secretaria General de la Presidencia. 2003. Decreto 46: Establece Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas. 17 de enero del 2003. 21p.

COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO. CNR, 2005. Gestión Integrada de los Recursos Hídricos y algunas experiencias de organizaciones de usuarios del agua.

COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (CEPAL). 2009. La Economía del Cambio Climático en Chile. Santiago.

COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (CEPAL). 2012. La Economía del Cambio Climático en Chile. Documento de proyecto. Santiago.

COMISIÓN NACIONAL DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA (CONICYT – CHILE) [sin año]. El sector frutícola en Chile Capacidades de investigación y áreas de desarrollo científico-tecnológico.

COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO. CNR, 2013. Estudio diagnóstico de zonas potenciales de recarga de acuíferos en las regiones de Arica y Parinacota a la región del Maule. Realizado por GCF Ingenieros Ltda.

COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE, CONAMA, 2004. Guía CONAMA para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y marinas. Gobierno de Chile. Chile. [En línea]. < [http://www.bcn.cl/carpeta\\_temas/temas\\_portada.2005-1227.4449440028/GuiaNormaPract.pdf](http://www.bcn.cl/carpeta_temas/temas_portada.2005-1227.4449440028/GuiaNormaPract.pdf) > [15 de agosto del 2015]

COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE, CONAMA, 2005. Anteproyecto de normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Cachapoal. Santiago, Chile.

COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE, CONAMA, 2006. Estudio de la variabilidad climática en Chile para el siglo XXI. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Geofísica.

CORFO, Instituto de investigación de recursos naturales, 1964. Suelos, descripción de proyecto aerofotogrametrico.

CUSTODIO, E y LLAMAS, M. R., 1983. Hidrogeología subterránea. Barcelona. Ed Omega. 2 vols: 1-2450.

DILLON, P., 2005. Future management of aquifer recharge. Hydrogeology Journal 13, 313 – 316.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS, DGA, 1988. Balance Hídrico de Chile.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS, DGA, 1992. Análisis estadístico de caudales en los ríos de Chile.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS, DGA, 2004. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca del río Cachapoal. Realizado por CADE- IDEPE Consultores en Ingeniería.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. DGA, 2005. Evaluación de los recursos hídricos subterráneos de la VI Región – Modelación Hidrogeológica de los Valles de Alhué, Cachapoal y Tinguiririca. Estudio realizado por el DICTUC.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. DGA, 2011. Diagnóstico de la red de aguas subterráneas región del Libertador Bernardo O'Higgins.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. DGA, 2012. Desarrollo metodológico e informe con antecedentes para la realización de los análisis de impacto económico y social de las normas secundarias de calidad de aguas de las cuencas Cachapoal, Maipo y Elqui.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. DGA, 2015. Información Oficial Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas en Línea [en línea] <<http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes>> [20 de octubre del 2015]

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. DGA, 2015. Mapa de las estaciones satelitales en la región del Libertador Bernardo O'Higgins [en línea] <[http://dgsatel.mop.cl/onemi/mapas\\_todas/B.%20O'HIGGINS.pdf](http://dgsatel.mop.cl/onemi/mapas_todas/B.%20O'HIGGINS.pdf)> [21 de octubre del 2015]

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. DGA, 2015. Derechos de aprovechamiento de aguas registrados en DGA, VI [en línea] <[http://www.dga.cl/productosyservicios/derechos\\_historicos/Paginas/default.aspx](http://www.dga.cl/productosyservicios/derechos_historicos/Paginas/default.aspx)> [03 de noviembre del 2015]

DIRECCIÓN METEOROLÓGICA DE CHILE. DMC, 2006. Clima de la Región Libertador General Bernardo O'Higgins. [en línea] <[http://www.meteochile.cl/climas/climas\\_sexta\\_region.html](http://www.meteochile.cl/climas/climas_sexta_region.html)> [06 de febrero del 2015]

DE LA FUENTE A., LEÓN A., MARCHANT R., PARRA E., 2006. Análisis del impacto económico en sector silvoagropecuario del Anteproyecto de Norma de Calidad de Aguas del Rio Cachapoal.

DEL PILAR B. 2015. Análisis para la infiltración artificial de agua en la cuenca de Santiago. Memoria para optar al título de geóloga. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

ESCOBAR et al. 1977. Avance Geológico de las Hojas Rancagua-Curicó, Talca-Linares y Concepción-Chillán (inédito). Instituto de Investigaciones Geológicas, 20 p. Santiago, Chile.

ESSBIO VI S.A., 2015. Tarifas del agua potable y otros, en las localidades de Rancagua, San Fernando, Graneros, Machalí y Rengo [en línea] < [http://www.siss.gob.cl/577/articles-4682\\_ESSBIO\\_VI\\_G1\\_Sep2015.pdf](http://www.siss.gob.cl/577/articles-4682_ESSBIO_VI_G1_Sep2015.pdf) > [15 de noviembre del 2015]

FIGUEROA R. 2008. Efectos del cambio climático en la disponibilidad de recursos hídricos a nivel de cuenca – implementación de un modelo integrado a nivel superficial y subterráneo. Tesis para optar al grado de magister en ciencias de la ingeniería, mención recursos y medio ambiente hídricos. Memoria para optar al título de ingeniero civil. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

FERNÁNDEZ, A., GARCÍA M. y VILLARROYA F, 2005. Inventario de experiencias de recarga artificial de acuíferos en el mundo.

FRYCKLUND, C. 1992: Artificial groundwater recharge: state of the art. VA-Forsk Report No 1992-04. 55 pp.

GARCÍA, T, 2012. Propuesta de índices de calidad de agua para ecosistemas hídricos de Chile. Tesis para optar al título de ingeniero civil. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 157p.

GOVERNMENT OF INDIA. 2007. Manual in artificial recharge of ground water. Ministry of water resources.

HAUSER, 1990. Carta Hidrogeológica de la Hoja de Rancagua de escala 1:250.000. Chile. Elaborado por el SERNAGEOMIN.

HIDROPLUVIALES, 2015. Infiltración para recarga de acuíferos [en línea] < <http://hidropluviales.com/infiltracion/> > [25 de noviembre del 2015]

IGM, 2015. Instituto Geográfico Nacional [en línea] < <http://www.igm.cl/> > [6 de octubre del 2015]

INE. 2007. Síntesis Geográfica de la Región Libertador General Bernardo O'Higgins. [en línea] <<http://www.ineohiggins.cl/archivos%5Cfiles%5Cpdf%5CDivisionPoliticoAdministrativa%5Cohiggins.pdf>> [06 de febrero del 2015]

INE. 2010. Síntesis Geográfica Regional. [en línea] <[http://www.ine.cl/canales/menu/publicaciones/compendio\\_estadistico/pdf/2010/sintesisgeoregional2010.pdf](http://www.ine.cl/canales/menu/publicaciones/compendio_estadistico/pdf/2010/sintesisgeoregional2010.pdf)> [06 de febrero del 2015]

INN, Instituto Nacional de Normalización. 1987. Norma Chilena Oficial NCh1333 Of78, Requisitos de calidad del agua para diferentes usos.15p.

INN, Instituto Nacional de Normalización. 2005. Norma Chilena Oficial NCh409/1. Of2005, Requisitos de calidad del agua potable.12p.

JIMÉNEZ, G. 2013. Caracterización de la cuenca del río san José en Arica para la evaluación a nivel de perfil de un sistema de recarga artificial de acuíferos. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil. Santiago. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

JUNTA DE VIGILANCIA RÍO CACHAPOAL, 2015. Junta de vigilancia río Cachapoal en Puente Termas. [en línea] < <http://www.jvigilancia.cl/sistema/infotecnica.php> > [21 de septiembre del 2015]

MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO, MINVU, 1996. Técnicas alternativas para soluciones de aguas lluvias en sectores urbanos, guía de diseño. Santiago. Realizado por DICTUC Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas.

MORENO. D. 2015. Recarga artificial de acuíferos en la cuenca del río Maule: determinación de sectores favorables y evaluación económica. Memoria para optar al título de geóloga. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

MURRAY, E. C. y TREDoux, G. 1998. Artificial recharge: A technology for sustainable water resource development. Water Research Commission Report No 842/1/98, Pretoria, ISBN 1 86845 450 9.

MURRAY, R. 2009. A check-list for implementing successful artificial recharge projects. Department of Water Affairs, Republic of SouthAfrica.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN, LA CIENCIA Y LA CULTURA (UNESCO). 2005. Estrategias para la Gestión de Recarga de Acuíferos (GRA) en zonas semiáridas. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, International Hydrological Programme (IHP).

VALDÉS, J.L. 1992. Experiencias de recarga artificial en los acuíferos del Río Llobregat y Río Besòs. Aguas de Barcelona (AGBAR), Barcelona.

VIEWFINDER PANORAMAS, 2015. Digital Elevation Models. [en línea] <[http://www.viewfinderpanoramas.org/Coverage%20map%20viewfinderpanoramas\\_org3.htm](http://www.viewfinderpanoramas.org/Coverage%20map%20viewfinderpanoramas_org3.htm) > [05 de julio de 2015]

## **8 ANEXO**



## 8.1 ANEXO I: NIVELES ESTÁTICOS

Fuente: DGA, 2005.

Nº	Nombre	Norte	Este	Cota Terreno	N. E.	Fecha N.E.	Cota N. E.
1	AP San Francisco de Mostazal	6.238.350	343.000	474,0	2,4	Mar-69	471,6
2	AP La Punta	6.237.000	347.850	520,0	3,4	Mar-67	516,6
3	APR Angostura	6.243.890	341.730	426,0	3,5	Ago-77	422,5
4	AP Codegua	6.233.012	347.566	562,0	37,8	-	524,2
5	Parcela Las Dos Marías	6.231.504	343.794	506,2	23,0	Oct-69	483,2
6	Fundo Santa Filomena	6.231.013	347.700	542,3	14,5	Ago-68	527,8
7	APR Punta de Cortés	6.216.369	331.363	442,0	33,0	Abr-82	409,0
8	AP Graneros Santa Ana	6.230.585	341.230	481,0	4,7	Sep-68	476,3
9	Indura Graneros	6.228.522	342.356	472,7	12,5	Ago-69	460,2
10	APR La Compañía	6.227.983	344.899	492,0	1,7	Mar-67	490,3
11	AP Rancagua Sanchina	6.215.449	345.538	563,0	119,9	Sep-69	443,1
12	Fiat Chilena	6.224.250	341.197	465,2	20,0	Abr-69	445,2
13	Barrio Industrial Rancagua	6.221.266	339.658	474,6	39,6	May-69	435,0
14	APR Molinos Quemados	6.221.006	343.664	495,0	42,2	Mar-81	452,8
15	Fundo San Pedro	6.218.742	335.930	473,6	45,4	Jul-68	428,2
16	AP Rancagua Membrillar	6.217.806	340.997	510,0	69,5	-	440,5
17	Centro Frutícola O'Higgins	6.213.269	336.978	502,4	106,0	Nov-68	396,4
18	APR Olivar Bajo - Rincón del Abra	6.211.994	328.659	416,0	29,1	Mar-69	386,9
19	AP El Olivar	6.213.493	333.749	470,0	71,3	Ene-70	398,7
20	AP Requínoa	6.205.972	333.621	427,0	61,7	-	365,3
21	APR Los Boldos	6.201.737	337.672	383,0	20,3	Jul-83	362,7
22	APR El Abra	6.205.434	330.862	404,0	37,7	Ago-67	366,3
23	APR Lo de Lobos	6.194.010	333.676	355,0	6,4	Mar-71	348,6
24	AP Rosario	6.198.169	331.290	345,0	12,4	Oct-54	332,6
25	APR Lo Cartagena	6.194.134	328.585	310,0	1,7	Sep-66	308,3
26	APR Huilquío de Cerrillos	6.193.459	336.157	387,0	2,2	Oct-68	384,8
27	Fundo La Granja	6.190.757	329.197	318,8	5,7	Ene-58	313,1
28	APR Caracoles	6.190.392	322.117	270,0	1,2	Sep-77	268,8
29	APR Corcolén	6.191.048	317.026	249,0	1,5	Jul-79	247,5
30	APR Panquehue de Malloa	6.191.052	323.878	282,0	2,5	Ago-66	279,5
31	AP Pelequén	6.183.950	325.980	277,8	4,9	Mar-68	272,9
32	AP Lo Miranda	6.215.530	327.024	405,1	11,8	Ago-67	393,3
33	Fundo El Bosque	6.214.024	327.491	404,5	14,4	Nov-63	390,1
34	APR Copequén	6.209.386	323.778	365,1	6,3	Sep-66	358,8
35	AP Coinco	6.207.233	320.695	333,1	5,4	Ene-68	327,7
36	APR El Rulo	6.202.598	314.307	280,6	1,8	Sep-66	278,8
37	AP Quinta de Tilcoco	6.196.710	319.467	278,0	8,7	Sep-70	269,3
38	AP Malloa	6.188.154	321.782	263,0	1,3	Jul-74	261,7
39	APR Zúñiga	6.194.887	307.091	220,1	4,2	Mar-68	215,9
40	APR Toquihua	6.194.848	305.201	207,1	4,3	May-68	202,8
41	APR Requehua	6.185.841	317.032	233,8	1,7	Abr-67	232,1
42	APR El Tambo	6.183.091	318.236	252,1	11,0	Ago-68	241,1
43	APR Rastrojos	6.184.809	314.704	226,4	1,9	Sep-66	224,5
44	APR Pueblo de Indios	6.187.701	311.378	212,2	3,4	Ene-67	208,8
45	AP Peumo	6.191.187	302.595	182,9	5,1	Ago-66	177,8
46	La Rosa Sofruco 1	6.199.550	293.650	146,0	0,7	Abr-69	145,3
47	La Rosa Sofruco 2	6.197.982	292.192	145,2	3,0	Jun-69	142,2
48	AP Las Cabras	6.202.377	288.569	133,4	4,0	-	129,4
49	Fundo Las Juntas	6.203.756	278.865	110,0	2,3	Mar-66	107,7
50	APR Cerro Pueblo Patagua	6.202.305	280.076	121,1	6,2	Ene-67	114,9

## 8.2 ANEXO II: POZOS CUENCA RÍO CACHAPOAL

Fuente: DGA, 2005.

Código	Nombre	Coordenadas (PSAD 56)		Profundidad (m)	Se alcanza Roca
		Este	Norte		
E101	Fundo Quimávida	315.918	6.212.642	43,5	no
E102	Huerto Sta. Rosa	315.675	6.212.279	43	42
E103	Fundo El Pidén, Hijuela del Medio s/n	314.292	6.212.031	41,5	no
E104	A.P.R. Rinconada de Parral	310.250	6.208.000	35	no
E105	Fundo Parrales (sector Loreto)	309.800	6.208.950	50	no
E117	José Jorquera Díaz	273.342	6.214.515	52	no
E119	Fundo Quilicura	288.490	6.209.380	47,6	no
E120	A.P. Pelequén	325.980	6.183.950	40	no
E121	Fundo El Nogal, Carretera 5 Sur km. 122	325.540	6.184.350	61	no
E123	Viña Sta. Natalia	326.700	6.192.850	24	no
E127	Fundo La Granja s/n	300.509	6.191.300	35	no
E128	Parcela el Molle Abajo. Sector La Esperanza	290.322	6.203.114	50	no
E129	Viña Concha y Toro S.A.	297.070	6.194.780	45	no
E130	Parcela n°43, parcelación Rosario de Codao	294.329	6.195.821	12	no
E131	Sector Oficina	299.565	6.193.952	43,5	no
E132	ESSEL S.A.	292.731	6.195.235	55	no
E133	La Viña s/n	319.596	6.199.387	50	no
E134	Fundo Pichiguao, sector Rosario	331.600	6.196.950	50	no
E135	Parcela n°10, sector Camarico	326.050	6.196.200	25	no
E136	Fundo El Nogal, sector Rinconada de Malambo	329.641	6.189.321	120	no
E137	Fundo El Peñón	332.068	6.190.139	80	80
E138	Vitivinícola del Maipo S.A.	328.725	6.191.392	45	no
E139	San Rafael de Apalta	329.376	6.201.792	64	no
E140	Fundo Pichiguao, sector Rosario	331.751	6.197.298	50	no
E141	Gener S.A.	332.700	6.201.550	100	no
E164	Parcela Los Carrizos	310.080	6.185.811	36	no
E165	Fundo Reserva Los Maitenes	306.950	6.185.250	8	no
E166	Fundo Rucahue	308.500	6.190.190	80	no
E167	Fundo Rucahue	310.023	6.189.941	80	no
E168	Reserva La Posada	308.038	6.187.248	65	no
E171	Parcelas n° 69 y 70, sector El Tambo	317.900	6.184.250	32	no
E175	Parcela n°60 y 61, sector El Tambo	318.350	6.185.000	43	no
E176	APR Tunca del Medio	307.350	6.192.800	30	no
E178	Viña Gracia S.A.	334.755	6.199.323	70	no
E179	Fundo San José Requinoa - Parcela 24	332.302	6.206.159	116	no
E180	Hijuela 4 el Crucero	338.200	6.223.176	43	no
E181	Fundo La Primavera, camino a San Ramón	333.565	6.219.218	104	no
E182	Fundo La Primavera, camino a San Ramón	333.786	6.219.148	50	no
E201	APR Angostura	341.730	6.243.890	30	no
E202	O`Higgins Del Pilay	348.456	6.242.628	30	no

Código	Nombre	Coordenadas (PSAD 56)		Profundidad	Se alcanza Roca
		Este	Norte	(m)	
E203	Ex Fundo La Punta	349.699	6.237.337	80	no
E204	Los Robles	341.800	6.237.900	60	no
E205	APR Molinos Quemados	343.664	6.221.006	65	no
E206	Miraflores de Codegua	347.970	6.222.881	90	no
E207	APR La Compañía	344.899	6.227.983	19,8 y 91	no
E208	La Leonera - Alto Codegua	350.014	6.231.106	80	no
E209	Tuniche	338.718	6.224.747	35	no
E210	La Gonzalina	337.360	6.219.907	65	no
E211	La Palma	341.682	6.223.802	40	no
E212	San Joaquín de Los Mayos	342.082	6.214.591	148	no
E213	El Bosque de San Ramón	332.527	6.219.425	60	no
E214	APR Punta de Cortés	331.363	6.216.369	48 y 42,5	no
E215	California	322.035	6.211.908	20	no
E216	APR Olivar Bajo - Rincón del Abra	328.659	6.211.994	70	no
E217	APR Copequén	323.778	6.209.386	16	no
E218	Chillehue	317.718	6.205.158	60	no
E219	APR El Rulo	314.307	6.202.598	18	no
E220	Salsipuedes	319.646	6.192.347	25,3	no
E221	APR El Abra	330.862	6.205.434	47	no
E222	Pueblo Hundido	327.362	6.194.500	20	no
E223	APR Lo Cartagena	328.585	6.194.134	14,5	no
E224	La Chimba	333.828	6.191.263	15	no
E225	Chanqueahue	336.084	6.190.475	126	no
E226	APR Lo de Lobos	333.676	6.194.010	103,4	no
E227	Totihue	337.874	6.199.533	50	no
E228	APR Los Boldos	337.672	6.201.737	60	no
E229	El Vaticano - Las Mercedes	335.370	6.209.513	114	no
E230	Los Lirios	336.490	6.212.816	135	no
E231	Lo Conty	337.892	6.214.333	120	no
E232	Yungay Gultro Antiguo	338.504	6.214.791	123	no
E233	Yungay Gultro Nuevo	338.665	6.214.009	160	no
E248	AP San Francisco de Mostazal	343.000	6.238.350	60, 60 y 65	no
E249	AP La Punta	347.850	6.237.000	90	no
E250	AP Codegua	347.566	6.233.012	62,5	no
E251	AP Graneros Santa Ana	341.230	6.230.585	60	no
E252	Graneros - Carretera	341.991	6.228.919	60	no
E253	AP Rancagua Membrillar	340.997	6.217.806	120	no
E254	AP Rancagua Sanchina	345.538	6.215.449	150	no
E255	Baquedano	337.597	6.218.321	100	no
E256	Olivar	333.749	6.213.493	102	no
E257	Rengo - La Isla	330.336	6.192.755	85, 154 y 85	no
E258	Rengo - Carretera (Las Rosas)	329.291	6.194.420	90	no
E259	Malloa	321.782	6.188.154	50	no

Código	Nombre	Coordenadas (PSAD 56)		Profundidad	Se alcanza Roca
		Este	Norte	(m)	
E260	AP Lo Miranda	327.024	6.215.530	75	no
E261	AP Requínoa	333.621	6.205.972	150, 105 y 105	no
E262	Rosario - Delicias	331.290	6.198.169	41	no
E263	AP Quinta de Tilcoco	319.467	6.196.710	30.2 y 45	no
E264	AP Coinco	320.695	6.207.233	60 y 47.5	no
E268	AP Pelequén	325.980	6.183.950	37 y 37.2	no
E301	Barrio Industrial Rancagua	339.658	6.221.266	66	no
E302	Central Fruticola O'higgins	336.978	6.213.269	131	no
E303	Fiat Chilena	341.197	6.224.250	43.7	no
E304	Fundo San Pedro	335.930	6.218.742	70	no
E305	Indura Graneros	342.356	6.228.522	42,5	no
E306	Parcela Las Dos Marías	343.794	6.231.504	34	no
E310	Fundo la granja	s/i	s/i	71	no
E311	Fundo pichiguo	s/i	s/i	55,5	no
E312	Indac Rengo	s/i	s/i	90	no
E313	Inmobiliaria Campos Angostura	s/i	s/i	84	no
E314	Fundo El Recurso	s/i	s/i	60	no
E315	Viña Camino Real	s/i	s/i	75	no
E316	CMS Chile	s/i	s/i	25	no
E317	Pca. tatao	s/i	s/i	15	no
E318	Pca. picarquín	s/i	s/i	20	no
E319	Agrícola Super	s/i	s/i	85	no
E320	La Candelaria	s/i	s/i	103,5	no
E321	Pca. 6 San Pedro	s/i	s/i	82,5	no
E322	Chacra Sta. Teresita	s/i	s/i	40	no
E325	APR El Tambo	318.236	6.183.091	39	no
E326	APR Corcolén	317.026	6.191.048	15	no
E327	Malloa SA Consorcio Agroindustrial	320.780	6.186.100	60	no
E525	SENDOS Lo de Cuevas	314.000	6.208.000	40	no
E526	Sucesión Luz Maria Aspillaga	314.740	6.195.440	40	no
E527	Valdes Valdes Orlando	317.710	6.194.040	40	no
E528	Invertec Agrofood S.A.	315.680	6.206.858	56	55
E529	Cruz Unzueta Monica	320.405	6.194.552	4	no
E530	ESSEL S.A.	311.543	6.206.196	50	no
E531	Gorriño Ugalde Guillermo	305.972	6.193.114	4	no
E532	GUISELA LUISA ARAYA BRAVO yOtros	308.832	6.194.769	34	no
E533	A.D.O. AGRICOLA LTDA.	305.702	6.197.672	4	no
E534	AGUA POTABLE RURAL MOLINO ALAMO	315.513	6.207.267	50	no
E535	MARIA VERONICA BIGGS HENNING	320.380	6.207.900	53	no
E536	Soc. Agrícola La Rosa Sofruco S.A.	292.350	6.199.550	30	no
E537	Soc. Agrícola La Rosa Sofruco S.A.	293.500	6.196.850	55	no
E538	Soc. Agrícola La Rosa Sofruco S.A.	294.458	6.197.880	50	no
E539	Soc. Agrícola La Rosa Sofruco S.A.	292.192	6.197.982	50	no

Código	Nombre	Coordenadas (PSAD 56)		Profundidad (m)	Se alcanza Roca
		Este	Norte		
E540	Soc. Agrícola La Rosa Sofruco S.A.	293.650	6.199.550	50	no
E541	SENDOS Pataguas Orilla	283.000	6.202.000	30,1	no
E542	Hoces Copelli Antonio	285.615	6.202.742	40	no
E543	Hoces Copelli Antonio	286.815	6.202.192	40	no
E544	Sánchez Rivas Gonzalo	287.834	6.195.683	27	no
E545	Barrientos V. Osvaldo	291.455	6.195.941	41	no
E546	Ossa Errázuriz Ismael	292.320	6.200.830	40	no
E547	Escobar Pérez Eleodor	290.046	6.202.435	50	no
E548	PATRICIO E. FRESNO MUJICA	284.084	6.204.582	50	no
E549	GONZALO SÁNCHEZ RIVAS	288.516	6.196.284	58	no
E550	GONZALO SÁNCHEZ RIVAS	288.090	6.196.148	32	no

### 8.3 ANEXO III: CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA

Fuente: DGA, 2005.

Código	Nombre	Coordenadas (WGS 56)		K (m/día)
		Este	Norte	
E101	Fundo Quimávida	315.918	6.212.642	31,48
E102	Huerto Sta. Rosa	315.675	6.212.279	42,26
E103	Fundo El Pidén, Hijueta del Medio s/n	314.292	6.212.031	20,35
E104	A.P.R. Rinconada de Parral	310.250	6.208.000	6,12
E105	Fundo Parrales (sector Loreto)	309.800	6.208.950	2,76
E117	José Jorquera Díaz	273.342	6.214.515	0,62
E119	Fundo Quilicura	288.490	6.209.380	3,95
E120	A.P. Pelequén	325.980	6.183.950	1,33
E121	Fundo El Nogal, Carretera 5 Sur Km. 122	325.540	6.184.350	1,26
E123	Viña Sta. Natalia	326.700	6.192.850	55,45
E127	Fundo La Granja s/n	300.509	6.191.300	62,50
E128	Parcela el Molle Abajo. Sector La Esperanza	290.322	6.203.114	15,72
E129	Viña Concha y Toro S.A.	297.070	6.194.780	20,38
E130	Parcela n°43, parcelación Rosario de Codao	294.329	6.195.821	44,78
E131	Sector Oficina	299.565	6.193.952	29,59
E132	ESSEL S.A.	291.731	6.195.235	17,59
E133	La Viña s/n	319.596	6.199.387	109,83
E135	Parcela n°10, sector Camarico	326.050	6.196.200	58,80
E136	Fundo El Nogal, sector Rinconada Malambo	329.641	6.189.321	8,41
E137	Fundo El Peñón	332.068	6.190.139	4,00
E138	Vitivinícola del Maipo S.A.	328.725	6.191.392	16,81
E139	San Rafael de Apalta	329.376	6.201.792	7,49
E140	Fundo Pichigauo, sector Rosario	331.751	6.197.298	114,62
E141	Gener S.A.	332.700	6.201.550	199,74
E164	Parcela Los Carrizos	310.080	6.185.811	2,70
E165	Fundo Reserva Los Maitenes	306.950	6.185.250	105,40
E166	Fundo Rucahue	308.500	6.190.190	1,80
E167	Fundo Rucahue	310.023	6.189.941	0,59
E168	Reserva La Posada	308.038	6.187.248	10,40
E171	Parcelas n°69 y 70, sector el Tambo	317.900	6.184.250	24,27
E175	Parcelas n°60 y 61, sector el Tambo	318.350	6.185.000	23,67
E178	Viña Gracia S.A.	334.755	6.199.323	14,54
E179	Fundo San José Requinoa – Parcela 24	332.302	6.206.159	39,41
E180	Hijueta 4 el Crucero	338.200	6.223.176	114,53
E181	Fundo La Primavera, camino a San Ramón	333.565	6.219.218	54,33
E182	Fundo La Primavera, camino a San Ramón	333.786	6.219.148	8,34
E206	Miraflores de Codegua	347.970	6.222.881	44,75
E208	La Leonera – Alto Codegua	350.014	6.231.106	2,50
E255	Baquedano	337.597	6.218.321	80,92
E258	Rengo – Carretera (Las Rosas)	329.291	6.194.420	21,21
E262	Rosario – Delicias	331.290	6.198.169	72,39
E313	Inmobiliaria Capos Angostura	s/i	s/i	0,80
E315	Viña Camino Real	s/i	s/i	3,44
E320	La Candelaria	s/i	s/i	4,06
E321	Pca. 6 San Pedro	s/i	s/i	1,96

## 8.4 ANEXO IV: RECARGA LATERAL

Fuente: DGA, 2005.

Nº Area	Area (Km <sup>2</sup> )	P. Media (mm/año)	Caudal (m <sup>3</sup> /d)	Fac. Esc. (%)	Fac. Inf. (%)	Caudal Infiltración (m <sup>3</sup> /d)	Nº Pozos de inyección	Caudal Infiltración unitario (m <sup>3</sup> /d)
C1	1,06	592,5	1.723	0,6	0,2	207	5	41,35
C2	11,58	607,5	19.266	0,6	0,2	2.312	10	231,20
C3	2,94	585	4.706	0,6	0,2	565	22	25,67
C4	60,93	592,5	98.910	0,6	0,2	11.869	42	282,60
C5	39,73	570	62.045	0,6	0,2	7.445	36	206,82
C6	9,10	562,5	14.022	0,6	0,2	1.683	13	129,44
C7	15,14	510	21.149	0,6	0,2	2.538	41	61,90
C8	26,58	555	40.411	0,6	0,2	4.849	62	78,22
C9	25,83	592,5	41.927	0,6	0,2	5.031	50	100,63
C10	14,79	660	26.748	0,6	0,2	3.210	17	188,81
C11	13,25	630	22.878	0,6	0,2	2.745	37	74,20
C12	8,09	630	13.957	0,6	0,2	1.675	25	66,99
C13	6,05	667,5	11.073	0,6	0,2	1.329	36	36,91
C14	26,62	652,5	47.579	0,6	0,2	5.710	42	135,94
C15	12,52	577,5	19.807	0,6	0,2	2.377	38	62,55
C16	13,83	570	21.604	0,6	0,2	2.592	21	123,45
C17	12,80	570	19.986	0,6	0,2	2.398	34	70,54
C18	9,75	570	15.221	0,6	0,2	1.826	22	83,02
C19	14,12	577,5	22.342	0,6	0,2	2.681	36	74,47
C20	12,79	585	20.500	0,6	0,2	2.460	42	58,57
C21	21,92	570	34.239	0,6	0,2	4.109	38	108,12
C22	18,14	585	29.072	0,6	0,2	3.489	30	116,29
C23	20,72	600	34.067	0,6	0,2	4.088	45	90,84
C24	22,38	615	37.714	0,6	0,2	4.526	27	167,62
C25	55,47	622,5	94.598	0,6	0,2	11.352	51	222,58
C26	31,52	570	49.219	0,6	0,2	5.906	35	168,75
C27	34,97	517,5	49.581	0,6	0,2	5.950	65	91,53
C28	58,02	502,5	79.879	0,6	0,2	9.586	45	213,01
C29	49,21	510	68.763	0,6	0,2	8.252	44	187,54
C30	40,08	517,5	56.822	0,6	0,2	6.819	51	133,70
C31	60,09	562,5	92.611	0,6	0,2	11.113	42	264,60
C32	12,36	592,5	20.068	0,6	0,2	2.408	35	68,81
C33	52,74	585	84.527	0,6	0,2	10.143	112	90,56
C34	50,44	577,5	79.809	0,6	0,2	9.577	134	71,47
C35	31,96	600	52.536	0,6	0,2	6.304	74	85,19
C36	25,98	600	42.702	0,6	0,2	5.124	57	89,90
C37	8,94	592,5	14.515	0,6	0,2	1.742	45	38,71
Total						175.989	1.561	
C38a	155,89	607,5	259.467	0,6	0,2	31.136		
C38b	89,64	585	143.663	-	0,1	14.366		
Total C38						45.502	8	5.687,79
						221.491	1.569	

## 8.5 ANEXO V: DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS REGISTRADOS EN DGA

Fuente: Derechos de aprovechamiento de aguas registrados en la DGA de la provincia de Cachapoal, comuna de Rancagua.

Código de Expediente	N° Solicitud	Nombre Solicitante	Tipo Derecho	Natural eza del Agua	Clasificación Fuente	Uso del Agua	Fuente	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Ejercicio del Derecho	Caudal Anual Prom	Unidad de Caudal
NR-0601-2096	1	EMILIO DE SOLMINIHAC GONZALEZ	Consumitivo	Subterránea	Acuífero			19,00	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	Permanente y Continuo	19	Lt/s
VPC-0601-2027	3	ESSBIO S.A.	Consumitivo	Subterránea	Acuífero			18,00	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	Permanente y Continuo	18	Lt/s
UA-0601-810211	1	JULIAN VALLES GONZALEZ	Consumitivo	Superficial y Corriente	Rio/Estero	Riego		60,00	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	Permanente y Continuo	60	Lt/s
UA-0601-814111	2	GUILLERMO BRADEN	No Consumitivo	Superficial y Corriente	Rio/Estero	Uso Industrial		122,00	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	Permanente y Continuo	122	Lt/s
UA-0601-814112	3	GUILLERMO BRADEN	No Consumitivo	Superficial y Corriente	Rio/Estero	Uso Industrial		38,00	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	Permanente y Continuo	38	Lt/s
UA-0601-814113	4	GUILLERMO BRADEN	No Consumitivo	Superficial y Corriente	Rio/Estero	Uso Industrial		44,00	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	Permanente y Continuo	44	Lt/s
ND-0601-4306	1	INMOBILIARIA SAN RAMON S.A.	Consumitivo	Subterránea	Acuífero			12,00	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	Perm. y Cont. y Provisionales	12	Lt/s
ND-0601-1431	1	TOMAS GARCIA KOHLER	Consumitivo	Subterránea	Acuífero	Riego		102,00	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	Permanente y Continuo	102	Lt/s
ND-0601-4431	1	VIVEROS RICHTER CHILE LTDA.	Consumitivo	Subterránea	Acuífero	Riego	Acuífero	30,00	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	Perm. y Cont. y Provisionales	30	Lt/s
UA-0601-807997	1	JUAN CARLOS FERRER ARTIGAS	Consumitivo	Superficial y Corriente	Rio/Estero	Riego		0,41	0,4122	0,4122	0,4122	0,4122	0,4122	0,4122	0,4122	0,4122	0,4122	0,4122	0,4122	Permanente y Continuo	0,4122	Lt/s
ND-0601-1679	1	HECTOR EDUARDO PEÑA GOMEZ	Consumitivo	Subterránea	Acuífero			20,00	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	Permanente y Continuo	20	Lt/s



ND-0601-2050	1	ENERPLUS S.A.	Consumitivo	Subterránea	Acuífero			100,00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	Permanente y Continuo	100	Lt/s	
UA-0601-805890	1	BRADEN COPPER COMPANY	No Consumitivo	Subterránea	Acuífero	Uso Industrial		45,00	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	Permanente y Continuo	45	Lt/s
ND-0601-4318	1	SOCIEDAD AGRICOLA AMANCAY LTDA.	Consumitivo	Subterránea	Acuífero	Riego	Acuífero	47,00	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	Perm. y Cont. y Provisionales	47	Lt/s
UA-0601-808258	1	EMPRESA NACIONAL DE ELECTRICIDAD S.A., ENDESA	No Consumitivo	Superficial y Corriente	Rio/Estero	Energía Hidroeléctrica	Rio Claro De Cauquenes	7000,00	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	Eventual y Continuo	7000	Lt/s
UA-0601-814288	1	EMPRESA NACIONAL DE ELECTRICIDAD S.A.	No Consumitivo	Superficial y Corriente	Rio/Estero	Energía Hidroeléctrica	Rio Claro De Cauquenes	7000,00	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	Permanente y Continuo	7000	Lt/s
UA-0601-805935	1	CIA.CHILENA DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS S.A.I.	No Consumitivo	Subterránea	Acuífero	Uso Industrial		50,00	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	Permanente y Continuo	50	Lt/s
ND-0601-4092	1	COMITE DE AGUA POTABLE RURAL LA PALMA	Consumitivo	Subterránea	Acuífero			18,81	18,810	18,810	18,810	18,810	18,810	18,810	18,810	18,810	18,810	18,810	18,810	18,810	18,810	18,810	18,810	Permanente y Continuo	18,810	Lt/s
ND-0601-2407	1	COMITE DE AGUA POTABLE RURAL PUNTA DE CORTES	Consumitivo	Subterránea	Acuífero			50,00	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	Permanente y Continuo	50	Lt/s
ND-0601-2567	1	COMITE DE AGUA POTABLE RURAL CHANCON-HUILMAY	Consumitivo	Subterránea	Acuífero	Bebida/Uso Doméstico/Saneamiento		24,00	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	Permanente y Continuo	24	Lt/s
UA-0601-810174	1	MANUEL GONZALEZ Y OTRO	Consumitivo	Superficial y Corriente	Rio/Estero	Riego		75,00	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	Permanente y Continuo	75	Lt/s
ND-0601-2082	1	FRUTICOLA RAMIRANA LIMITADA	Consumitivo	Subterránea	Acuífero			40,00	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	Permanente y Continuo	40	Lt/s
UA-0601-807978	1	MILAD RAMON JOTTAR MEREB	Consumitivo	Superficial y Corriente	Rio/Estero	Riego		0,44	0,448	0,448	0,448	0,448	0,448	0,448	0,448	0,448	0,448	0,448	0,448	0,448	0,448	0,448	0,448	Permanente y Continuo	0,448	Lt/s
ND-0601-2454	1	SENDOS SEXTA REGION	Consumitivo	Subterránea	Acuífero	Bebida/Uso Doméstico/Saneamiento		4,40	4,400	4,400	4,400	4,400	4,400	4,400	4,400	4,400	4,400	4,400	4,400	4,400	4,400	4,400	4,400	Permanente y Continuo	4,400	Lt/s
ND-0601-419	1	RENTA NACIONAL COMPAÑIA DE SEGUROS DE VIDA S.A.	Consumitivo	Subterránea	Acuífero			42,00	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	Permanente y Continuo	42	Lt/s
UA-0601-814287	1	EMPRESA NACIONAL DE ELECTRICIDAD S.A.	No Consumitivo	Superficial y Corriente	Rio/Estero	Energía Hidroeléctrica	Rio Cachapoal 1° Sección	4500,00	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	Permanente y Continuo	4500	Lt/s
UA-0601-807953	1	MANUEL CORREA VALENZUELA	Consumitivo	Superficial y Corriente	Rio/Estero	Riego		105,00	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	Permanente y Continuo	105	Lt/s
ND-0601-2964	1	COMITE DE AGUA POTABLE RURAL LOS MOLINOS QUEMADOS	Consumitivo	Subterránea	Acuífero	Bebida/Uso Doméstico/Saneamiento		11,60	11,600	11,600	11,600	11,600	11,600	11,600	11,600	11,600	11,600	11,600	11,600	11,600	11,600	11,600	11,600	Permanente y Continuo	11,600	Lt/s

UA-0601-814289	1	EMPRESA NACIONAL DE ELECTRICIDAD S.A.	No Consumivo	Superficie y Corriente	Rio/Estero	Energía Hidroeléctrica	Rio Coya	500,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	Eventual y Continuo	50,00	Lt/s			
ND-0601-800112	1	ESSBIO S.A.	Consumivo	Subterránea	Acuífero			16,50	16,50	16,50	16,50	16,50	16,50	16,50	16,50	16,50	16,50	16,50	16,50	16,50	16,50	16,50	16,50	16,50	Permanente y Continuo	16,50	Lt/s
ND-0601-800111	1	ESSBIO S.A.	Consumivo	Subterránea	Acuífero			8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	Permanente y Continuo	8,50	Lt/s
ND-0601-4379	1	JORGE FERNANDEZ VALDES	Consumivo	Subterránea	Acuífero		Acuífero	70,00	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	Perm. y Cont. y Provisionales	70	Lt/s
ND-0601-2449	4	ESSBIO S.A.	Consumivo	Subterránea	Acuífero	Bebida/Uso Doméstico/Saneamiento		19,20	19,20	19,20	19,20	19,20	19,20	19,20	19,20	19,20	19,20	19,20	19,20	19,20	19,20	19,20	19,20	19,20	Permanente y Continuo	19,20	Lt/s
ND-0601-2449	2	ESSBIO S.A.	Consumivo	Subterránea	Acuífero	Bebida/Uso Doméstico/Saneamiento		21,00	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	Permanente y Continuo	21	Lt/s
ND-0601-2448	1	ESSBIO S.A.	Consumivo	Subterránea	Acuífero	Bebida/Uso Doméstico/Saneamiento		93,00	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	Permanente y Continuo	93	Lt/s
ND-0601-2449	6	ESSBIO S.A.	Consumivo	Subterránea	Acuífero	Bebida/Uso Doméstico/Saneamiento		60,00	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	Permanente y Continuo	60	Lt/s
ND-0601-2449	3	ESSBIO S.A.	Consumivo	Subterránea	Acuífero	Bebida/Uso Doméstico/Saneamiento		20,50	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50	20,50	Permanente y Continuo	20,50	Lt/s
ND-0601-2449	5	ESSBIO S.A.	Consumivo	Subterránea	Acuífero	Bebida/Uso Doméstico/Saneamiento		55,00	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	Permanente y Continuo	55	Lt/s
ND-0601-104	1	GONZALO VIAL VIAL	Consumivo	Subterránea	Acuífero	Riego		90,00	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	Permanente y Continuo	90	Lt/s
UA-0601-814115	2	BRADEN COPPER	Consumivo	Superficie y Corriente	Rio/Estero			900,00	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	Permanente y Continuo	900	Lt/s
ND-0601-2122	1	COLEGIO INFANTES DE O'HIGGINS LTDA.	Consumivo	Subterránea	Acuífero			25,00	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	Permanente y Continuo	25	Lt/s
ND-0601-2154	1	SOCIEDAD INMOBILIARIA MELENDEZ CARDOSO Y CIA. LTDA	Consumivo	Subterránea	Acuífero			6,40	6,40	6,40	6,40	6,40	6,40	6,40	6,40	6,40	6,40	6,40	6,40	6,40	6,40	6,40	6,40	6,40	Permanente y Continuo	6,40	Lt/s
ND-0601-2470	1	ENRIQUE SALMAN SAJURIA	Consumivo	Superficie y Corriente	Rio/Estero	Riego	Rio Cachapoal 1° Sección	51,00	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	Permanente y Continuo	51	Lt/s
ND-0601-2094	1	GONZALO VIAL VIAL	Consumivo	Subterránea	Acuífero			60,00	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	Permanente y Continuo	60	Lt/s
ND-0601-87	1	CORPORACION NACIONAL DEL COBRE DE CHILE, DIVISION EL TENIENTE	Consumivo	Subterránea	Acuífero			50,00	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	Permanente y Continuo	50	Lt/s

ND-0601-4095	1	COMITE DE AGUA POTABLE RURAL PUNTA DE CORTES	Consumitivo	Subterránea	Acuífero			10,00	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	Permanente y Continuo	10	Lt/s	
ND-0601-2043	1	DOLE CHILE S.A.	Consumitivo	Subterránea	Acuífero			20,00	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	Permanente y Continuo	20	Lt/s
ND-0601-2043	2	DOLE CHILE S.A.	Consumitivo	Subterránea	Acuífero			18,00	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	Permanente y Continuo	18	Lt/s
UA-0601-814117	2	BRADEN COPPER	No Consumitivo	Superficial y Corriente	Rio/Estero	Uso Industrial	Rio De Los Cipreses	2900,00	2900	2900	2900	2900	2900	2900	2900	2900	2900	2900	2900	2900	2900	2900	2900	2900	Permanente y Continuo	2900	Lt/s
UA-0601-814374	1	CARLOS OSCAR RECKMANN ARC						10,31	10,307	10,307	10,307	10,307	10,307	10,307	10,307	10,307	10,307	10,307	10,307	10,307	10,307	10,307	10,307	10,307	Permanente y Continuo	10,307	Acciones
ND-0601-2493	1	FUNDACION DE SALUD EL TENIENTE	Consumitivo	Subterránea	Acuífero	Bebida/Usodoméstico/Saneamiento		40,00	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	Permanente y Continuo	40	Lt/s
UA-0601-808908	1	BRADEN COOPER COMPANY	No Consumitivo	Superficial y Corriente	Rio/Estero	Uso Industrial	Quebrada sin Nombre	420,00	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	Eventual y Continuo	420	Lt/s
ND-0601-431	1	COMPAÑIA GENERAL DE ELECTRICIDAD S.A.	Consumitivo	Subterránea	Acuífero			13,50	13,500	13,500	13,500	13,500	13,500	13,500	13,500	13,500	13,500	13,500	13,500	13,500	13,500	13,500	13,500	13,500	Permanente y Continuo	13,500	Lt/s
ND-0601-800145	1	AGROTUNICHE S.A.	Consumitivo	Subterránea	Acuífero			15,00	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	Permanente y Continuo	15	Lt/s
VPC-0601-2034	1	ESSBIO S.A.	Consumitivo	Subterránea	Acuífero			5,00	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	Permanente y Continuo	5	Lt/s
ND-0601-2422	1	ESSBIO S.A.	Consumitivo	Superficial y Corriente	Rio/Estero	Riego	Rio Cachapoal	8,25	8,250	8,250	8,250	8,250	8,250	8,250	8,250	8,250	8,250	8,250	8,250	8,250	8,250	8,250	8,250	8,250	Permanente y Continuo	8,250	Acciones
ND-0601-2422	2	ESSBIO S.A.	Consumitivo	Superficial y Corriente	Rio/Estero	Riego	Rio Cachapoal	0,00	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	Permanente y Continuo	0,004	Lt/s
ND-0601-800146	1	INVERSIONES Y ASESORIAS QUEULAT LIMITADA	Consumitivo	Subterránea	Acuífero			9,50	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	9,500	Permanente y Continuo	9,500	Lt/s
ND-0601-2010	2	SOCIEDAD AGRICOLA LA PRIMAVERA S. A.	Consumitivo	Subterránea	Acuífero			90,00	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	Permanente y Continuo	90	Lt/s
ND-0601-2010	1	SOCIEDAD AGRICOLA LA PRIMAVERA S. A.	Consumitivo	Subterránea	Acuífero			50,00	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	Permanente y Continuo	50	Lt/s
ND-0601-2010	3	SOCIEDAD AGRICOLA LA PRIMAVERA S. A.	Consumitivo	Subterránea	Acuífero			67,00	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	Permanente y Continuo	67	Lt/s
ND-0601-1307	1	GONZALO VIAL VIAL	Consumitivo	Subterránea	Acuífero	Riego		40,00	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	Permanente y Continuo	40	Lt/s
ND-0601-1307	3	GONZALO VIAL VIAL	Consumitivo	Subterránea	Acuífero	Riego		80,00	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	Permanente y Continuo	80	Lt/s

ND-0601-115	1	GONZALO VIAL VIAL	Consumitivo	Subterránea	Acuífero	Riego		20,00	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	Permanente y Continuo	20	Lt/s	
ND-0601-2144	1	FRUTICOLA RAMIRANA LIMITADA	Consumitivo	Subterránea	Acuífero			33,00	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	Permanente y Continuo	33	Lt/s
ND-0601-4319	1	COMPAÑIA CERVECERIAS UNIDAS S.A.	Consumitivo	Subterránea	Acuífero			49,00	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	Perm. y Cont. y Provisionales	49	Lt/s
ND-0601-2177	1	CONGREGACION PEQUEÑA OBRA DE LA DIVINA PROVIDENCIA	Consumitivo	Subterránea	Acuífero			15,00	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	Permanente y Continuo	15	Lt/s
UA-0601-814116	2	BRADEN COPPER	No Consumitivo	Superficial y Corriente	Rio/Estero	Uso Industrial	Rio Blanco	2300,00	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	Permanente y Continuo	2300	Lt/s
UA-0601-810178	1	DARIO SCHIATTINO	No Consumitivo	Superficial y Corriente	Rio/Estero	Uso Industrial	Rio Blanco	3500,00	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	Permanente y Continuo	3500	Lt/s
ND-0601-4347	1	MARIA ELENA CARBONELL BELISMELIS	Consumitivo	Subterránea	Acuífero		GRANEROS - RANCAGUA	12,00	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	Perm. y Cont. y Provisionales	12	Lt/s
UA-0601-807974	1	VICENTE VALDIVIESO DAVILA	Consumitivo	Superficial y Corriente	Rio/Estero	Riego		0,44	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	Permanente y Continuo	0,439	Lt/s
UA-0601-809138	1	SOCIEDAD MINERA EL TENIENTE S.A.	No Consumitivo	Superficial y Corriente	Rio/Estero	Uso Industrial	Rio Cachapoal	240,00	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	Permanente y Continuo	240	Lt/s
ND-0601-3884	1	JAIME ECHENIQUE WIGHTMAN	Consumitivo	Superficial y Corriente	Derrame	Riego	Estero sin Nombre	28,00	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	Permanente y Continuo	28	Lt/s
ND-0601-189	1	COMAFRI S.A.	Consumitivo	Subterránea	Acuífero	Riego		18,00	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	Permanente y Continuo	18	Lt/s
UA-0601-814315	1	INMOBILIARIA RENTA S.A.	Consumitivo	Superficial	Rio/Estero		Estero La Cadena	49,00	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	Permanente y Continuo	49	Lt/s
UA-0601-807948	1	BELISARIO FUENZALIDA	Consumitivo	Superficial y Corriente	Rio/Estero	Riego		45,00	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	Permanente y Continuo	45	Lt/s
UA-0601-808897	1	GUILLERMO BRADEN	No Consumitivo	Superficial y Corriente	Rio/Estero	Uso Industrial	Rio Coya	14000,00	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	Permanente y Continuo	14000	Lt/s
UA-0601-808898	1	BRADEN COPPER COMP.	No Consumitivo	Superficial y Corriente	Rio/Estero	Uso Industrial	Rio Pangal	5600,00	5600	5600	5600	5600	5600	5600	5600	5600	5600	5600	5600	5600	5600	5600	5600	5600	Permanente y Continuo	5600	Lt/s
UA-0601-814373	1	GERMAN ERNESTO RECKMANN ARCE Y OTROS						21,49	21,493	21,493	21,493	21,493	21,493	21,493	21,493	21,493	21,493	21,493	21,493	21,493	21,493	21,493	21,493	21,493	Permanente y Continuo	21,493	Acciones
ND-0601-568	2	AGRICOLA PUNTA DE CORTES LTDA.	Consumitivo	Subterránea	Acuífero			1,50	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	Permanente y Continuo	1,500	Lt/s

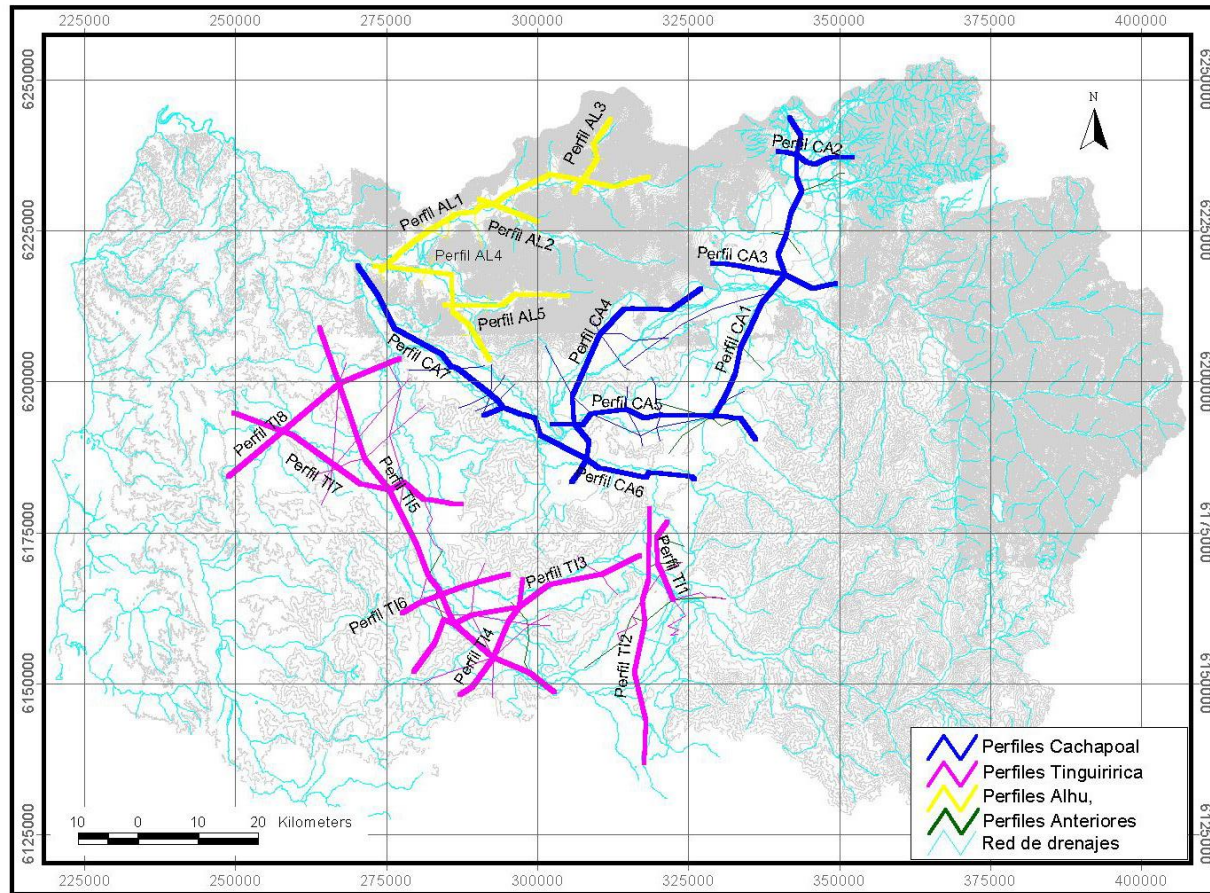
ND-0601-568	1	AGRICOLA PUNTA DE CORTES LTDA.	Consumtivo	Subterránea	Acuífero			1,50	1,5000	1,5000	1,5000	1,5000	1,5000	1,5000	1,5000	1,5000	1,5000	1,5000	1,5000	1,5000	Permanente y Continuo	1,5000	Lt/s	
VPC-0601-2052	1	AGROTUNICHE S.A.	Consumtivo	Subterránea	Acuífero	Riego	Acuífero	5,00	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	Permanente y Continuo	5	Lt/s
UA-0601-810212	1	FRANCISCO IRARRAZAVAL	Consumtivo	Superficie y Corriente	Rio/Estero	Riego		0,00				1000	1000	1000							Permanente y Discontinuo	250	Lt/s	
UA-0601-805898	1	FISCO	Consumtivo	Superficie y Corriente	Rio/Estero	Riego		160,00	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	Permanente y Continuo	160	Lt/s
ND-0601-4348	1	SOCIEDAD COMERCIAL INDUSTRIAL Y SERVICIOS CLEANWORK LTDA	Consumtivo	Subterránea	Acuífero	Riego	Acuífero	10,00	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	Perm. y Cont. y Provisionales	10	Lt/s
114/6	1	COMUNIDAD OVALLE HÖRMANN	Consumtivo	Superficie y Corriente	Rio/Estero	Riego	Estero Codegua	120,00	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	Permanente y Continuo	120	Lt/s
ND-0601-2768	1	FELIPE GARATE SALINAS	Consumtivo	Subterránea	Acuífero			0,71	0,7100	0,7100	0,7100	0,7100	0,7100	0,7100	0,7100	0,7100	0,7100	0,7100	0,7100	0,7100	0,7100	Permanente y Continuo	0,7100	Lt/s
ND-0601-2614	1	FELIPE GARATE SALINAS	Consumtivo	Subterránea	Acuífero			0,22	0,2200	0,2200	0,2200	0,2200	0,2200	0,2200	0,2200	0,2200	0,2200	0,2200	0,2200	0,2200	0,2200	Permanente y Continuo	0,2200	Lt/s
ND-0601-386	1	GARCIA KOHLER RODOLFO	Consumtivo	Subterránea	Acuífero			100,00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	Permanente y Continuo	100	Lt/s
ND-0601-1547	1	AGROGAS SOCIEDAD ANONIMA COMERCIAL	Consumtivo	Subterránea	Acuífero			47,00	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	Permanente y Continuo	47	Lt/s
ND-0601-1336	1	JAVIER ANGEL GIL SALAYA	Consumtivo	Subterránea	Acuífero	Riego		27,00	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	Permanente y Continuo	27	Lt/s
ND-0601-2022	1	SERVICIOS CHIQUITA ENZACHILE LTDA.	Consumtivo	Subterránea	Acuífero			50,00	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	Permanente y Continuo	50	Lt/s
VPC-0601-2009	2	ESSBIO S.A.	Consumtivo	Subterránea	Acuífero			12,50	12,5000	12,5000	12,5000	12,5000	12,5000	12,5000	12,5000	12,5000	12,5000	12,5000	12,5000	12,5000	12,5000	Permanente y Continuo	12,5000	Lt/s
VPC-0601-2009	1	ESSBIO S.A.	Consumtivo	Subterránea	Acuífero			12,50	12,5000	12,5000	12,5000	12,5000	12,5000	12,5000	12,5000	12,5000	12,5000	12,5000	12,5000	12,5000	12,5000	Permanente y Continuo	12,5000	Lt/s
UA-0601-810182	1	LUIS A. MOLINA	Consumtivo	Superficie y Corriente	Rio/Estero	Riego		60,00	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	Permanente y Continuo	60	Lt/s
UA-0601-808896	1	EDELMIRA ESPINOLA V.DE LETELIER	No Consumtivo	Superficie y Corriente	Rio/Estero	Uso Industrial	Estero Peralillo	100,00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	Permanente y Continuo	100	Lt/s
NR-0601-2105	1	INMOBILIARIA RENTA S.A.	Consumtivo	Subterránea	Acuífero			17,30	17,3000	17,3000	17,3000	17,3000	17,3000	17,3000	17,3000	17,3000	17,3000	17,3000	17,3000	17,3000	17,3000	Permanente y Continuo	17,3000	Lt/s

ND-0601-2513	2	MARIA CRISTINA CONCHA SOLAR	Consumitivo	Subterránea	Acuífero			15,00	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	Permanente y Continuo	15	Lt/s	
ND-0601-2513	1	MARIA CRISTINA CONCHA SOLAR	Consumitivo	Subterránea	Acuífero			8,00	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	Permanente y Continuo	8	Lt/s
UA-0601-814375	1	VIAL Y VIAL AGRICOLA LIMITADA	Consumitivo	Superficie y Corriente	Rio/Estero		Estero Puren o Idahue	12,00	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	Permanente y Continuo	12	Acciones
ND-0601-800128	1	AGROPECUARIA FIORALBA LIMITADA	Consumitivo	Subterránea	Acuífero			50,00	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	Permanente y Continuo	50	Lt/s
ND-0601-755	1	AGRICOLA Y FORESTAL CANADA LTDA.	Consumitivo	Subterránea	Acuífero	Riego		55,00	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	Permanente y Continuo	55	Lt/s
ND-0601-4459	1	SOCIEDAD INMOBILIARIA Y DE INVERSIONES M Y G LTDA.	Consumitivo	Subterránea	Acuífero	Riego	Acuífero	59,00	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	Perm. y Cont. y Provisionales	59	Lt/s
ND-0601-421	1	SOC. INMOBILIARIA Y DEPORTIVA CENTRO ESPAÑOL RGUA.	Consumitivo	Subterránea	Acuífero			10,00	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	Permanente y Continuo	10	Lt/s
UA-0601-808899	1	ALEJANDRO HUNNEUS M.	No Consumitivo	Superficie y Corriente	Rio/Estero	Uso Industrial	Estero Paine o Panama	200,00	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	Permanente y Continuo	2000	Lt/s
UA-0601-805911	1	SOC.AGRICOLA VIDA EL MOLINO LTDA.	Consumitivo	Subterránea	Acuífero	Riego		60,00	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	Permanente y Continuo	60	Lt/s
UA-0601-814395	1	HIDROELECTRICA CACHAPOAL S.A.	Consumitivo	Superficie y Corriente	Vertiente		Rio Pangal	750,00	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500	Permanente y Continuo	7500	Lt/s
ND-0601-4081	1	COMITE DE AGUA POTABLE RURAL EL BOSQUE-SAN RAMON	Consumitivo	Subterránea	Acuífero	Bebida/Uso Doméstico/Saneamiento		12,00	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	Permanente y Continuo	12	Lt/s
ND-0601-3858	1	JORGE FERNANDEZ VALDES	Consumitivo	Subterránea	Acuífero			70,00	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	Perm. y Cont. y Provisionales	70	Lt/s
ND-0601-2163	1	SOCIEDAD VIVERO RANCAGUA S.A.	Consumitivo	Subterránea	Acuífero			43,00	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	Permanente y Continuo	43	Lt/s
ND-0601-2494	1	AGRICOLA SUPER LIMITADA	Consumitivo	Subterránea	Acuífero			18,00	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	Permanente y Continuo	18	Lt/s
UA-0601-805885	1	M. LUISA PALMA VDA. DE VIAL	Consumitivo	Superficie y Corriente	Rio/Estero	Riego	Estero Las Cadenas	300,00	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	Permanente y Continuo	300	Lt/s
ND-0601-1131	1	ESSBIO S.A.	Consumitivo	Subterránea	Acuífero			65,00	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	Permanente y Continuo	65	Lt/s
ND-0601-4453	1	FUNDICION TALLERES LTDA.	Consumitivo	Subterránea	Acuífero	Riego	Acuífero	22,40	2240	2240	2240	2240	2240	2240	2240	2240	2240	2240	2240	2240	2240	2240	2240	Perm. y Cont. y Provisionales	2240	Lt/s

ND-0601-2212	1	MAXIMO ROBERTO BAEZA HERNANDEZ	Consumitivo	Subterránea	Acuífero			8,90	8,9000	8,9000	8,9000	8,9000	8,9000	8,9000	8,9000	8,9000	8,9000	8,9000	8,9000	8,9000	8,9000	8,9000	Permanente y Continuo	8,9000	Lt/s	
UA-0601-805908	1	FERNANDO MILLER C.	Consumitivo	Superficial y Corriente	Rio/Estero	Riego		0,48	0,4757	0,4757	0,4757	0,4757	0,4757	0,4757	0,4757	0,4757	0,4757	0,4757	0,4757	0,4757	0,4757	0,4757	0,4757	Permanente y Continuo	0,4757	Lt/s
ND-0601-2081	1	AGRICOLA SUPER LIMITADA	Consumitivo	Subterránea	Acuífero			80,00	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	Permanente y Continuo	80	Lt/s
ND-0601-2081	2	AGRICOLA SUPER LIMITADA	Consumitivo	Subterránea	Acuífero			95,00	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	Permanente y Continuo	95	Lt/s

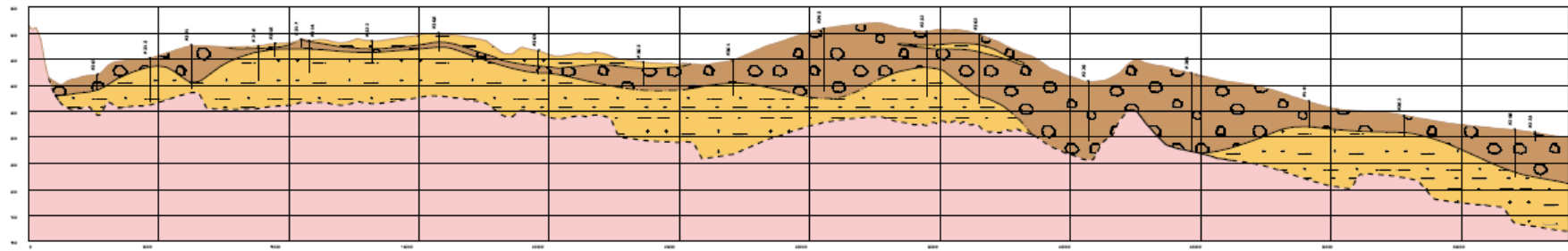
## 8.6 ANEXO VI: PERFILES GEOLÓGICOS

Fuente: DGA, 2005.

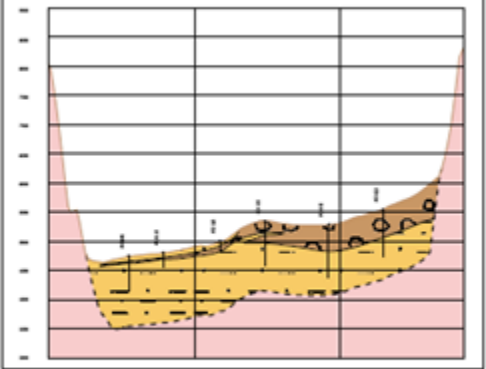




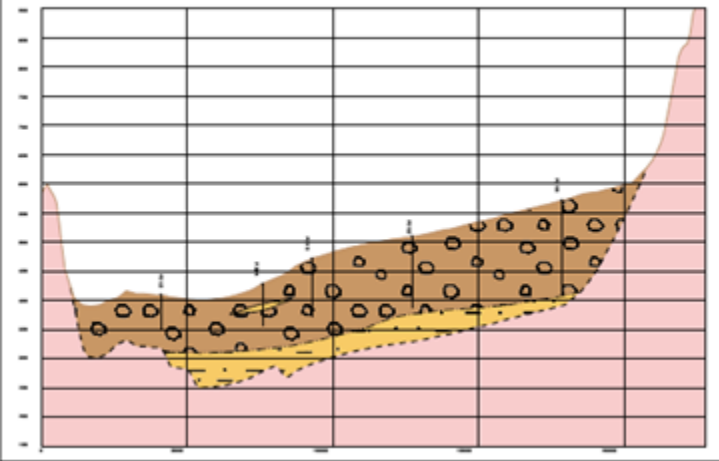
Perfil CA 1

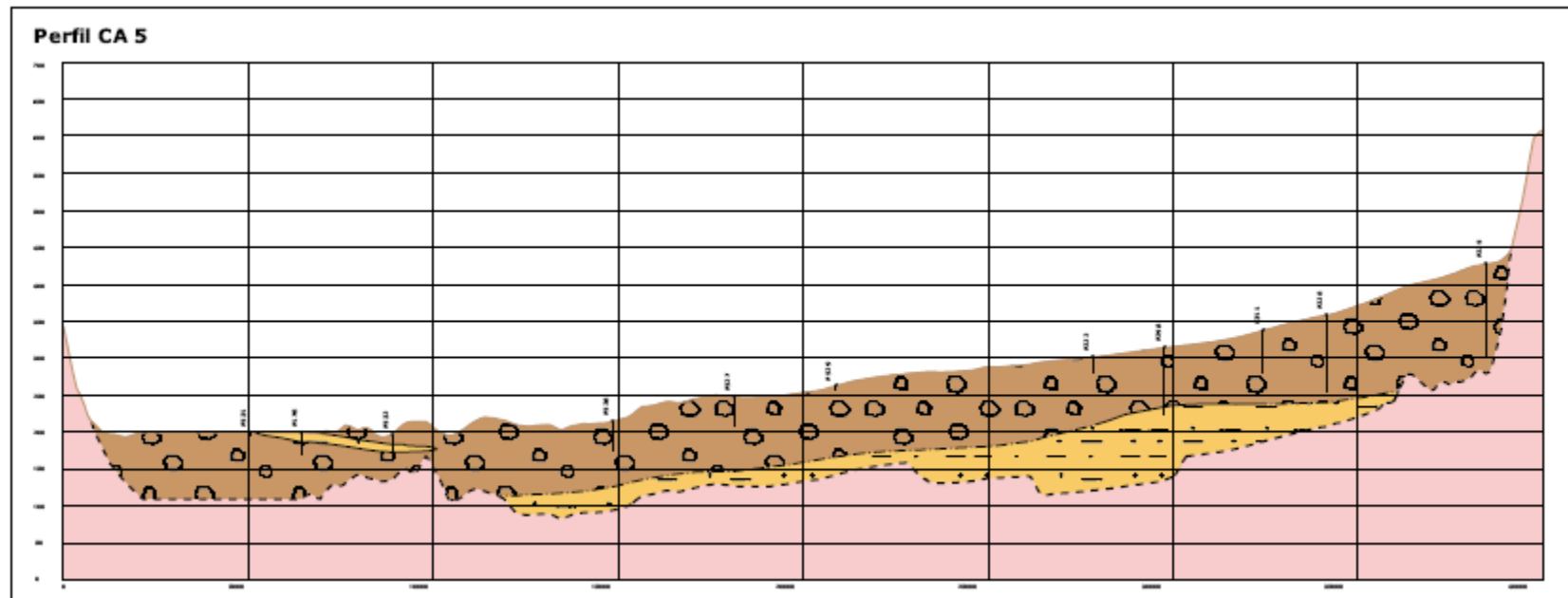
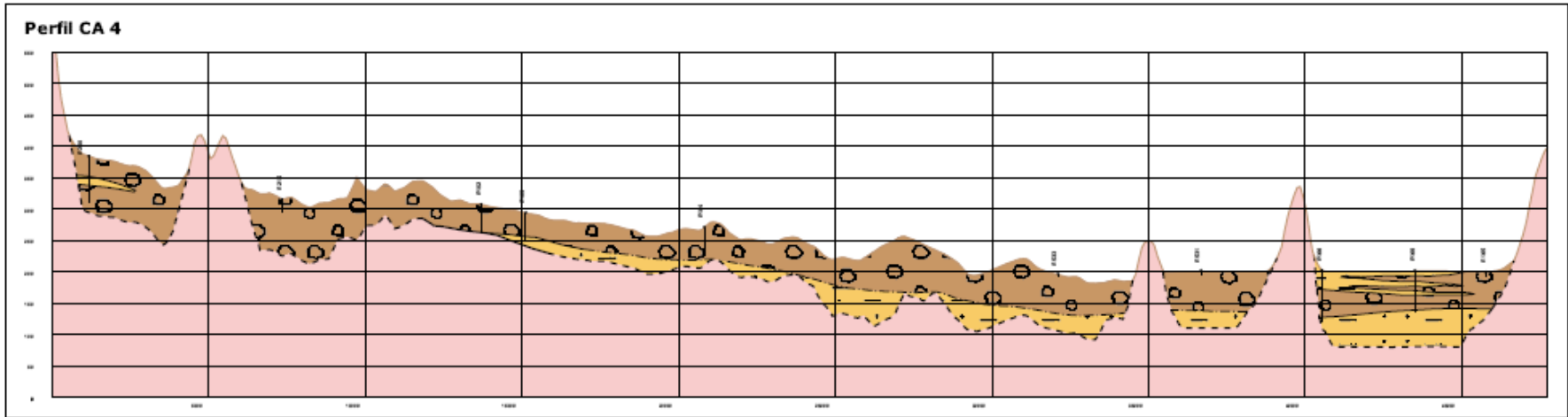


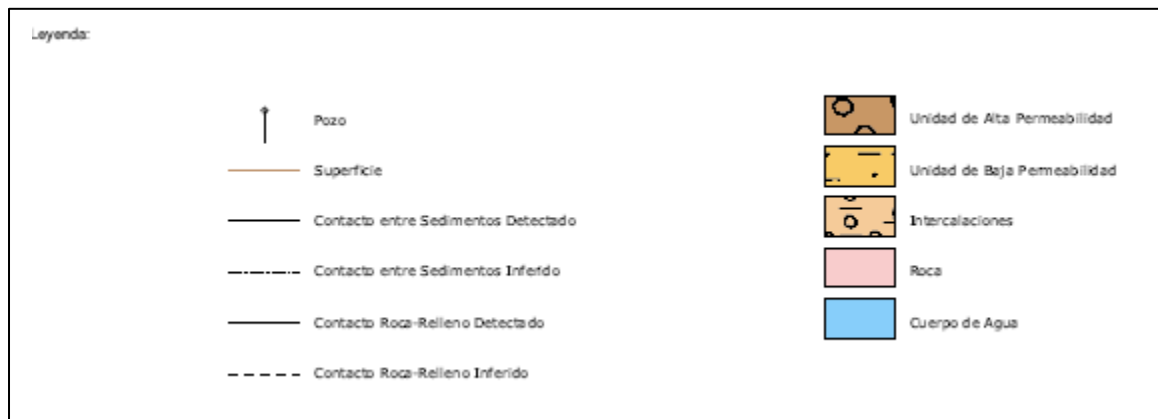
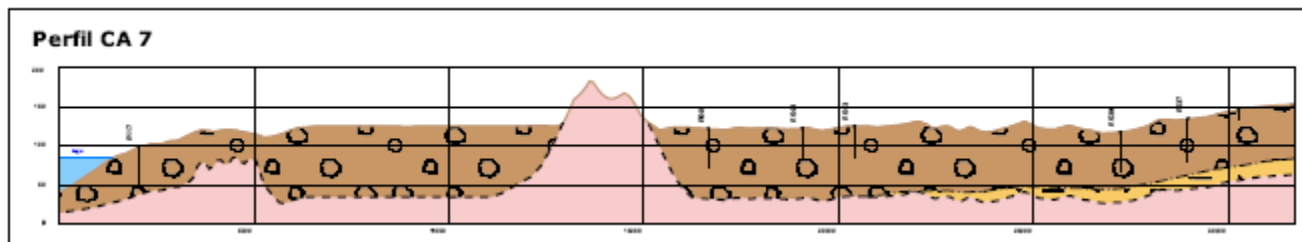
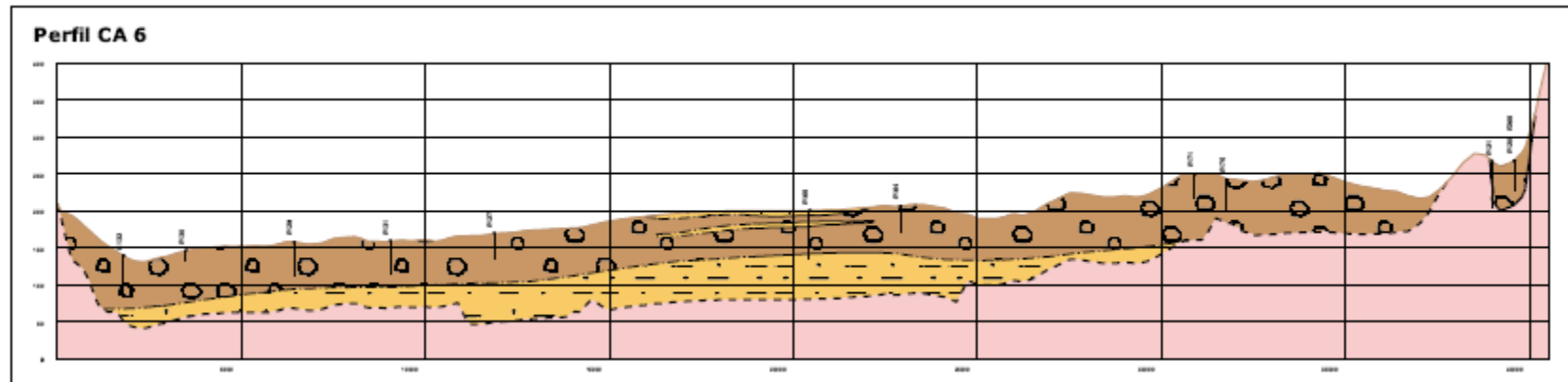
Perfil CA 2



Perfil CA 3







<p>Proyecto:</p> <p><b>Modelación Hidrogeológica de los Acuíferos del Valle Central de la VI Región</b></p>	<p>Escala horizontal:</p> <p><b>1:100.000</b></p> <p>Escala vertical:</p> <p><b>1:5.000</b></p>	<p>Fecha:</p> <p><b>Marzo de 2005</b></p>
<p>Lámina:</p> <p><b>Perfiles Estratigráficos Cuenca del Río Cachapoal</b></p>	<p>Consultor:</p> <p><b>DICTUC S.A DIVISION INGENIERIA HIDRAULICA Y AMBIENTAL AREA AGUAS SUBTERRANEAS</b></p>	

## 8.7 ANEXO VII: EVALUACIÓN ECONÓMICA EXPANSIÓN DEL PROYECTO

### Porcentaje Encausado: 10%

Inversión			
Inversión total			\$ 0
Costos Anuales			
			<b>Precio total</b>
Costos anuales (Promedio de los costos anuales de las tres opciones)			\$ 309.648.727
Ingresos Anuales			
Parámetro	Valor	Unidad	Precio Total
Caudal infiltrado	288,65	l/s	
Volumen infiltrado total	3.042.601.920	litros	
Volumen infiltrado a la venta	1.521.301	m <sup>3</sup>	
Precio agua a la venta	233	pesos/m <sup>3</sup>	
Ingreso anual			\$ 354.463.133

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos [\$]		354.463.133	354.463.133	354.463.133	354.463.133	354.463.133
Costos [\$]		309.648.727	309.648.727	309.648.727	309.648.727	309.648.727
Inversión [\$]	0					
Total [\$]	0	44.814.406	44.814.406	44.814.406	44.814.406	44.814.406
VAN (6 %) [\$]	188.774.582					

### Porcentaje Encausado: 20%

Inversión			
Inversión total			\$ 0
Costos Anuales			
			<b>Precio total</b>
Costos anuales (Promedio de los costos anuales de las tres opciones)			\$ 309.648.727
Ingresos Anuales			
Parámetro	Valor	Unidad	Precio Total
Caudal infiltrado	577,3	l/s	
Volumen infiltrado total	6.085.203.840	litros	
Volumen infiltrado a la venta	3.042.602	m <sup>3</sup>	
Precio agua a la venta	233	pesos/m <sup>3</sup>	
Ingreso anual			\$ 708.926.266

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos [\$]		708.926.266	708.926.266	708.926.266	708.926.266	708.926.266
Costos [\$]		309.648.727	309.648.727	309.648.727	309.648.727	309.648.727
Inversión [\$]	0					
Total [\$]	0	399.277.539	399.277.539	399.277.539	399.277.539	399.277.539
VAN (6 %) [\$]	1.681.902.247					

### Porcentaje Encausado: 30%

Inversión			
Inversión total			\$ 0
Costos Anuales			
			<b>Precio total</b>
Costos anuales (Promedio de los costos anuales de las tres opciones)			\$ 309.648.727
Ingresos Anuales			
Parámetro	Valor	Unidad	Precio Total
Caudal infiltrado	865,95	l/s	
Volumen infiltrado total	9.127.805.760	litros	
Volumen infiltrado a la venta	4.563.903	m <sup>3</sup>	
Precio agua a la venta	233	pesos/m <sup>3</sup>	
Ingreso anual			\$ 1.063.389.399

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos [\$]		1.063.389.399	1.063.389.399	1.063.389.399	1.063.389.399	1.063.389.399
Costos [\$]		309.648.727	309.648.727	309.648.727	309.648.727	309.648.727
Inversión [\$]	0					
Total [\$]	0	753.740.672	753.740.672	753.740.672	753.740.672	753.740.672
VAN (6 %) [\$]	3.175.029.912					

### Porcentaje Encausado: 40%

Inversión			
Inversión total			\$ 0
Costos Anuales			
			<b>Precio total</b>
Costos anuales (Promedio de los costos anuales de las tres opciones)			\$ 309.648.727
Ingresos Anuales			
Parámetro	Valor	Unidad	Precio Total
Caudal infiltrado	1.154,60	l/s	
Volumen infiltrado total	12.170.407.680	litros	
Volumen infiltrado a la venta	6.085.204	m <sup>3</sup>	
Precio agua a la venta	233	pesos/m <sup>3</sup>	
Ingreso anual			\$ 1.417.852.532

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos [\$]		1.417.852.532	1.417.852.532	1.417.852.532	1.417.852.532	1.417.852.532
Costos [\$]		309.648.727	309.648.727	309.648.727	309.648.727	309.648.727
Inversión [\$]	0					
Total [\$]	0	1.108.203.805	1.108.203.805	1.108.203.805	1.108.203.805	1.108.203.805
VAN (6 %) [\$]	4.668.157.577					

### Porcentaje Encausado: 50%

Inversión			
Inversión total			\$ 0
Costos Anuales			
			<b>Precio total</b>
Costos anuales (Promedio de los costos anuales de las tres opciones)			\$ 309.648.727
Ingresos Anuales			
Parámetro	Valor	Unidad	Precio Total
Caudal infiltrado	1.443,25	l/s	
Volumen infiltrado total	15.213.009.600	litros	
Volumen infiltrado a la venta	7.606.505	m <sup>3</sup>	
Precio agua a la venta	233	pesos/m <sup>3</sup>	
Ingreso anual			\$ 1.772.315.665

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos [\$]		1.772.315.665	1.772.315.665	1.772.315.665	1.772.315.665	1.772.315.665
Costos [\$]		309.648.727	309.648.727	309.648.727	309.648.727	309.648.727
Inversión [\$]	0					
Total [\$]	0	1.462.666.938	1.462.666.938	1.462.666.938	1.462.666.938	1.462.666.938
VAN (6 %) [\$]	6.161.285.241					

### Porcentaje Encausado: 60%

Inversión			
Inversión total			\$ 0
Costos Anuales			
			<b>Precio total</b>
Costos anuales (Promedio de los costos anuales de las tres opciones)			\$ 309.648.727
Ingresos Anuales			
Parámetro	Valor	Unidad	Precio Total
Caudal infiltrado	1.731,90	l/s	
Volumen infiltrado total	18.255.611.520	litros	
Volumen infiltrado a la venta	9.127.806	m <sup>3</sup>	
Precio agua a la venta	233	pesos/m <sup>3</sup>	
Ingreso anual			\$ 2.126.778.798

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos [\$]		2.126.778.798	2.126.778.798	2.126.778.798	2.126.778.798	2.126.778.798
Costos [\$]		309.648.727	309.648.727	309.648.727	309.648.727	309.648.727
Inversión [\$]	0					
Total [\$]	0	1.817.130.071	1.817.130.071	1.817.130.071	1.817.130.071	1.817.130.071
VAN (6 %) [\$]	7.654.412.906					

### Porcentaje Encausado: 70%

Inversión			
Inversión total			\$ 0
Costos Anuales			
			<b>Precio total</b>
Costos anuales (Promedio de los costos anuales de las tres opciones)			\$ 309.648.727
Ingresos Anuales			
Parámetro	Valor	Unidad	Precio Total
Caudal infiltrado	2.020,55	l/s	
Volumen infiltrado total	21.298.213.440	litros	
Volumen infiltrado a la venta	10.649.107	m <sup>3</sup>	
Precio agua a la venta	233	pesos/m <sup>3</sup>	
Ingreso anual			\$ 2.481.241.931

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos [\$]		2.481.241.931	2.481.241.931	2.481.241.931	2.481.241.931	2.481.241.931
Costos [\$]		309.648.727	309.648.727	309.648.727	309.648.727	309.648.727
Inversión [\$]	0					
Total [\$]	0	2.171.593.204	2.171.593.204	2.171.593.204	2.171.593.204	2.171.593.204
VAN (6 %) [\$]	9.147.540.571					

### Porcentaje Encausado: 80%

Inversión			
Inversión total			\$ 0
Costos Anuales			
			<b>Precio total</b>
Costos anuales (Promedio de los costos anuales de las tres opciones)			\$ 309.648.727
Ingresos Anuales			
Parámetro	Valor	Unidad	Precio Total
Caudal infiltrado	2.309,20	l/s	
Volumen infiltrado total	24.340.815.360	litros	
Volumen infiltrado a la venta	12.170.408	m <sup>3</sup>	
Precio agua a la venta	233	pesos/m <sup>3</sup>	
Ingreso anual			\$ 2.835.705.064

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos [\$]		2.835.705.064	2.835.705.064	2.835.705.064	2.835.705.064	2.835.705.064
Costos [\$]		309.648.727	309.648.727	309.648.727	309.648.727	309.648.727
Inversión [\$]	0					
Total [\$]	0	2.526.056.337	2.526.056.337	2.526.056.337	2.526.056.337	2.526.056.337
VAN (6 %) [\$]	10.640.668.236					



## Porcentaje Encausado: 90%

Inversión			
Inversión total			\$ 0
Costos Anuales			
			Precio total
Costos anuales (Promedio de los costos anuales de las tres opciones)			\$ 309.648.727
Ingresos Anuales			
Parámetro	Valor	Unidad	Precio Total
Caudal infiltrado	2.597,85	l/s	
Volumen infiltrado total	27.383.417.280	litros	
Volumen infiltrado a la venta	13.691.709	m <sup>3</sup>	
Precio agua a la venta	233	pesos/m <sup>3</sup>	
Ingreso anual			\$ 3.190.168.197

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos [\$]		3.190.168.197	3.190.168.197	3.190.168.197	3.190.168.197	3.190.168.197
Costos [\$]		309.648.727	309.648.727	309.648.727	309.648.727	309.648.727
Inversión [\$]	0					
Total [\$]	0	2.880.519.470	2.880.519.470	2.880.519.470	2.880.519.470	2.880.519.470
VAN (6 %) [\$]	12.133.795.900					

