

**MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS**

**INVESTIGACIÓN RECARGA ARTIFICIAL DE
ACUÍFEROS CUENCAS DEL RÍO CHOAPA Y
QUILIMARÍ, REGIÓN DE COQUIMBO**

INFORME FINAL

REALIZADO POR:

AC INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

S.I.T. N°292

Santiago, Diciembre de 2012

**MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
DIVISIÓN DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN**

**Ministra de Obras Públicas
Abogada Sra. Loreto Silva Rojas**

**Director General de Aguas
Abogado Sr. Francisco Echeverría Ellsworth**

**Jefe División de Estudios y Planificación
Ingeniero Civil Sr. Adrián Lillo Zenteno**

**Inspector Fiscal
Ingeniero Civil Sr. Miguel Caro Hernández**

**Profesional DGA
Ingeniero Constructor Sr. Horacio Aguirre Zepeda**

AC INGENIEROS CONSULTORES LTDA.:

**Jefe de Proyecto
Ingeniero Civil Guillermo Cabrera Fajardo**

**Profesionales
Ingeniero Civil Sergio Matus García
Ingeniero Civil Lem Mimica Viladrich
Ingeniero Civil Iván Rivera Romero
Ingeniero Civil Javiera Pérez Jara
Ingeniero Civil Josefina León Salas**

ÍNDICE

	Pág.
1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
2 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES	3
2.1 Mejoramiento de Aguas Subterráneas para Riego Ligua y Petorca. CNR – GCF Ingenieros, 2011-2012.....	4
2.2 Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos de la Cuenca del Choapa: Informe Técnico, DGA – DARH, SDT N°248, 2007.....	5
2.3 Aplicación de Metodologías para Determinar la Eficiencia de Uso del Agua, Estudio de Caso en la Región de Coquimbo. Cazalac, Diciembre de 2006.	8
2.3.1 Recopilación de Antecedentes en Terreno	9
2.3.2 Recopilación de Antecedentes en Gabinete	10
2.4 Evaluación de la Explotación Máxima Sustentable de Aguas Subterráneas en la Cuenca del Rio Quilimarí. S.I.T. N°152. Departamento de Administración de Recursos Hídricos, DGA – MOP, Octubre de 2008.	11
2.5 Análisis de Oferta y Demanda de Recursos Hídricos en Cuencas Críticas de Choapa, Pupío, Quilimarí, Petorca y Ligua. REG Ing. Consultores Ltda., DGA 1996.	15
2.6 Estudio Hidrogeológico y Balance Hídrico, Valle del Río Quilimarí. AC Ingenieros Consultores Ltda., DGA – MOP, 1998.....	18
2.7 Ampliación y Mejoramiento Agua Potable de Illapel, Estudio Hidrogeológico. AC Ingenieros Consultores Ltda., ESSCO S. A., 1995.	19
2.8 Estudio Hidrogeológico de Fuentes de Agua Potable Rural y Proyectos de Desarrollo Agrícola – Informe Hidrogeológico – Localidad Las Cañas de Michío. AC Ingenieros Consultores Ltda., ESSCO S. A., 1999.	20
2.9 Informe Hidrogeológico y Diseño de Fuentes de Agua Potable Rural en Varias Localidades de la IV Región – Localidad de Huintil. Hidrosan Chile Ingenieros Consultores, ESSCO S. A., 1999.	21
2.10 Informe Hidrogeológico y Diseño de Fuentes de Agua Potable Rural en Varias Localidades de la IV Región – Localidad de Limahuida. Hidrosan Chile Ingenieros Consultores, ESSCO S. A., 1999.	21
2.11 Minuta Hidrogeológica Planta Santa Rosa de Salamanca. AC Ingenieros Consultores Ltda., ESSCO S. A., 1995.....	22
2.12 Informe Hidrogeológico Zona Localidad Rural Tambo Viejo, Comuna de Salamanca, Provincia de Choapa. Ing. y Geotecnia Ltda., MOP – SENDOS, 1988.....	22
2.13 Informe Hidrogeológico de San Agustín, IV Región, Provincia de Choapa. Agua Ingenieros Consultores Ltda., MOP – SENDOS, 1981.....	23
2.14 Informe Hidrogeológico de El Tebal, IV Región, Provincia de Choapa. Agua Ingenieros Consultores Ltda., MOP – SENDOS, 1981.....	23
2.15 Informe Hidrogeológico de Cuncumén, IV Región, Provincia de Choapa. Agua Ingenieros Consultores Ltda., MOP – SENDOS, 1981.....	24
2.16 Informe Hidrogeológico de Chuchiñi, IV Región, Provincia de Choapa. Agua Ingenieros Consultores Ltda., MOP – SENDOS, 1978.....	24

ÍNDICE

	Pág.
2.17 Informe Hidrogeológico de Mincha Sur, IV Región, Provincia de Choapa. Agua Ingenieros Consultores Ltda., MOP – SENDOS, 1978.....	25
2.18 Informe Hidrogeológico de Asiento Viejo, IV Región, Provincia de Choapa. Agua Ingenieros Consultores Ltda., MOP – SENDOS, 1978.....	25
2.19 Informe Hidrogeológico del Pueblo de Cárcamo, Provincia de Choapa – IV Región, DOS – Departamento de Estudios, 1977.....	26
2.20 Informe Hidrogeológico del Pueblo de Cuzcuz, Provincia de Choapa – IV Región, DOS – Departamento de Estudios, 1977.....	26
2.21 Bibliografía Técnica sobre Recarga Artificial de Acuíferos.....	26
3 IDENTIFICACIÓN PRELIMINAR SECTORES CON POTENCIALIDAD DE RECARGA ARTIFICIAL .	29
3.1 Cuenca del Río Choapa.....	29
3.1.1 Sector Choapa 1	30
3.1.2 Sector Choapa 2	33
3.1.3 Sector Choapa 3	39
3.1.4 Sector Choapa 4	40
3.1.5 Sector Choapa 5	42
3.1.6 Sector Choapa 6	43
3.2 Cuenca del Río Quilimarí	43
3.2.1 Sector Quilimarí 1.....	44
3.2.2 Sector Quilimarí 2.....	45
3.2.3 Sector Quilimarí 3.....	46
3.2.4 Sector Quilimarí 4.....	47
3.2.5 Sector Quilimarí 5.....	49
3.2.6 Sector Quilimarí 6.....	49
3.2.7 Sector Quilimarí 7.....	49
4 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA.....	51
4.1 Catastro de Captaciones.....	51
4.2 Prospecciones Geofísicas Cuenca del Río Choapa	59
4.2.1 Introducción	59
4.2.2 Trabajo de Terreno.....	59
4.2.3 Resultados	59
4.3 Prospecciones Geofísicas Cuenca del Río Quilimarí.....	60
4.3.1 Introducción	60
4.3.2 Trabajo de Terreno.....	60
4.3.3 Resultados y Conclusiones	62
4.4 Análisis de Calidad de Aguas	64
5 COMPLEMENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE	71
5.1 Caracterización Hidrológica.....	71
5.2 Caracterización Hidrogeológica.....	72
5.2.1 Cuenca del Río Choapa.....	72

ÍNDICE

	Pág.
5.2.2 Cuenca del Río Quilimarí	74
6 ANTECEDENTES TÉCNICOS Y LEGALES GENERALES DE LA RECARGA ARTIFICIAL	77
6.1 Objetivos, Condiciones y Ventajas de la Recarga Artificial	77
6.2 Requerimientos de Información	78
6.3 Métodos o Dispositivos de Recarga	81
6.3.1 Dispositivos Superficiales	81
6.3.2 Dispositivos Profundos.....	84
6.3.3 Consideraciones sobre Alternativas de Recarga	85
6.3.4 Identificación de Opciones.....	86
6.4 Aspectos Legales	89
6.4.1 Disposiciones del Código de Aguas	89
6.4.2 Disposiciones Relativas a Medio Ambiente	97
7 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DETALLADA.....	100
7.1 Antecedentes Geológicos.....	100
7.1.1 Cuenca del Río Choapa.....	100
7.1.2 Cuenca del Río Quilimarí	101
7.2 Resultados Mediciones Geofísicas	104
7.2.1 Cuenca del Río Choapa.....	104
7.2.2 Cuenca del Río Quilimarí	107
7.3 Prospecciones (Pozos Someros Excavados)	107
7.3.1 Cuenca del Río Choapa (Cal-1 a Cal-10)	111
7.3.2 Cuenca del Río Quilimarí (Cal-11 a Cal-15).....	114
7.4 Determinación de Parámetro Característicos.....	116
7.4.1 Pruebas de Infiltración	116
7.4.2 Pruebas de Bombeo en Pozos Existentes	118
7.4.3 Resumen por Sector	120
7.5 Análisis de Niveles Freáticos	122
8 MODELACIÓN DEL FLUJO SUBTERRÁNEO DE LOS SISTEMAS HÍDRICOS	125
8.1 Cuenca del Río Choapa	125
8.1.1 Generalidades.....	125
8.1.2 Representación de la Geometría Acuífera	125
8.1.3 Representación de Componentes Hídricas del Sistema Subterráneo	129
8.1.4 Propiedades Físicas del Medio Subterráneo	133
8.1.5 Calibración del Modelo	136
8.1.6 Profundidad Actual del Nivel Freático	139
8.1.7 Disponibilidad Hídrica Superficial.....	140
8.1.8 Operación del Modelo.....	155
8.1.9 Priorización de Zonas Acuíferas	156
8.2 Cuenca del Río Quilimarí	158
8.2.1 Generalidades.....	158

ÍNDICE

	Pág.
8.2.2 Representación de la Geometría Acuífera	159
8.2.3 Representación de Componentes Hídricas del Sistema Subterráneo	162
8.2.4 Propiedades Físicas del Medio Subterráneo	163
8.2.5 Calibración del Modelo	164
8.2.6 Profundidad Actual del Nivel Freático	166
8.2.7 Disponibilidad Hídrica Superficial.....	166
8.2.8 Priorización de Zonas Acuíferas	166
9 IDENTIFICACIÓN DE SECTORES CON POTENCIALIDAD PARA RECARGA ARTIFICIAL.....	168
10 ELABORACIÓN DE MAPAS CON ZONAS DE INTERÉS.....	174
11 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA RECARGA ARTIFICIAL.....	175
11.1 Resumen de los Métodos Utilizados Habitualmente.....	175
11.2 Ventajas y Desventajas.....	177
11.3 Estado del Arte y Experiencias Internacionales	178
11.3.1 Estado del Arte	178
11.3.2 Experiencias Internacionales.....	179
12 EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS SELECCIONADAS.....	182
12.1 Alternativa 1: Piscina de Infiltración	183
12.1.1 Dimensionamiento de las Obras	183
12.1.2 Cubicaciones y Costos	184
12.1.3 Estimación Beneficios Agrícolas y Otros	187
12.1.4 Evaluación Económica.....	190
12.2 Alternativa 2: Zanjas de Infiltración	193
12.2.1 Dimensionamiento de las Obras	193
12.2.2 Cubicaciones y Costos	193
12.2.3 Estimación Beneficios Agrícolas y Otros	196
12.2.4 Evaluación Económica.....	198
12.3 Comparación de Alternativas.....	201
13 PROPUESTA DE PROYECTO PILOTO Y TR (ET)	202
14 CONCLUSIONES Y COMENTARIOS	204

ÍNDICE

ANEXOS

- Anexo 1: Información Básica Relevante del Estudio de Cazalac, 2006.
Anexo 2: Información Geológica del Estudio SIT N°152, 2008.
Anexo 3: Información Hidrológica del Estudio AC, 1998.
Anexo 4: Estudio Geofísico.
Anexo 5: Análisis de Calidad de Aguas.
Anexo 6: Álbum de Fotos de los Pozos Excavados
Anexo 7: Análisis Granulométricos (Material de los Pozos Excavados)
Anexo 8: Antecedentes de Recarga Artificial de Acuíferos en otros Países
Anexo 9: Especificaciones Técnicas Generales Proyecto Piloto
Anexo 10: Especificaciones Técnicas Especiales Proyecto Piloto
Anexo 11: Presupuesto de Referencia Proyecto Piloto
Anexo 12: Análisis de Crecidas Río Choapa y Río Chalinga

Anexo Digital:

- Proyecto SIG Choapa y Quilimarí
Incluye: Catastro de Captaciones de Aguas Subterráneas
Sectorización Acuífera Utilizada en la Modelación
Curvas Equipotenciales
- Archivos ModFlow correspondientes a la Modelación

PLANOS

- Plano 1: Catastro de Captaciones de Aguas Subterráneas, Cuenca Río Choapa.
Plano 2: Catastro de Captaciones de Aguas Subterráneas, Cuenca Río Quilimarí.
Plano 3: Zona de Interés Choapa-1
Plano 4: Zona de Interés Choapa-2
Plano 5: Zona de Interés Choapa-3
Plano 6: Zona de Interés Choapa-4
Plano 7: Zona de Interés Choapa-5
Plano 8: Zona de Interés Quilimarí-1
Plano 9: Zona de Interés Quilimarí-2
Plano 10: Zona de Interés Quilimarí-3
Plano 11: Zona de Interés Quilimarí-4
Plano 12: Zonas de Interés Quilimarí-5 y Quilimarí-6
Plano 13: Vista General y Detalles Proyecto Piloto de Recarga Sector CH-4

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El aumento permanente de la actividad económica sumado a la incertidumbre y la variabilidad de la disponibilidad hídrica producen déficit cada vez mas importantes respecto de los recursos hídricos sustentables, lo que ha conducido en muchos casos a una sobre explotación de las fuentes naturales y un aumento en los conflictos entre los usuarios.

Si bien existen opciones para avanzar en la solución de lo señalado, algunas son de alto costo, como la desalación y las grandes obras de regulación y otras presentan menor desarrollo en el país, como la recarga artificial de acuíferos, principalmente debido a que no se había hecho necesario abordar el tema.

Para elaborar proyectos de recarga se requiere de información de base que permita el análisis y evaluación de este tipo de alternativas. Si bien en muchos casos se dispone de información de carácter hidrogeológico a nivel de cuenca, la recarga artificial de acuíferos corresponde a un proceso de carácter más localizado que requiere conocer, entre otros aspectos, características hidrogeológicas y calidad de aguas, tanto de la fuente de recarga como del acuífero receptor.

La implementación de proyectos, públicos o privados, de recarga, requiere de un mapeo de sectores con potencialidad o atractivo que permita focalizar el desarrollo de los estudios específicos de diseño.

Esta información no existe en el país, por lo que en este contexto, la Dirección General de Aguas ha contratado a AC Ingenieros Consultores Ltda. para desarrollar el estudio denominado “Investigación Recarga Artificial Acuíferos Cuencas del Río Choapa y Quilimarí, Región de Coquimbo”, para avanzar en esta materia.

En la Figura 1-1 se muestra la ubicación de las cuencas que conforman el área de estudio.

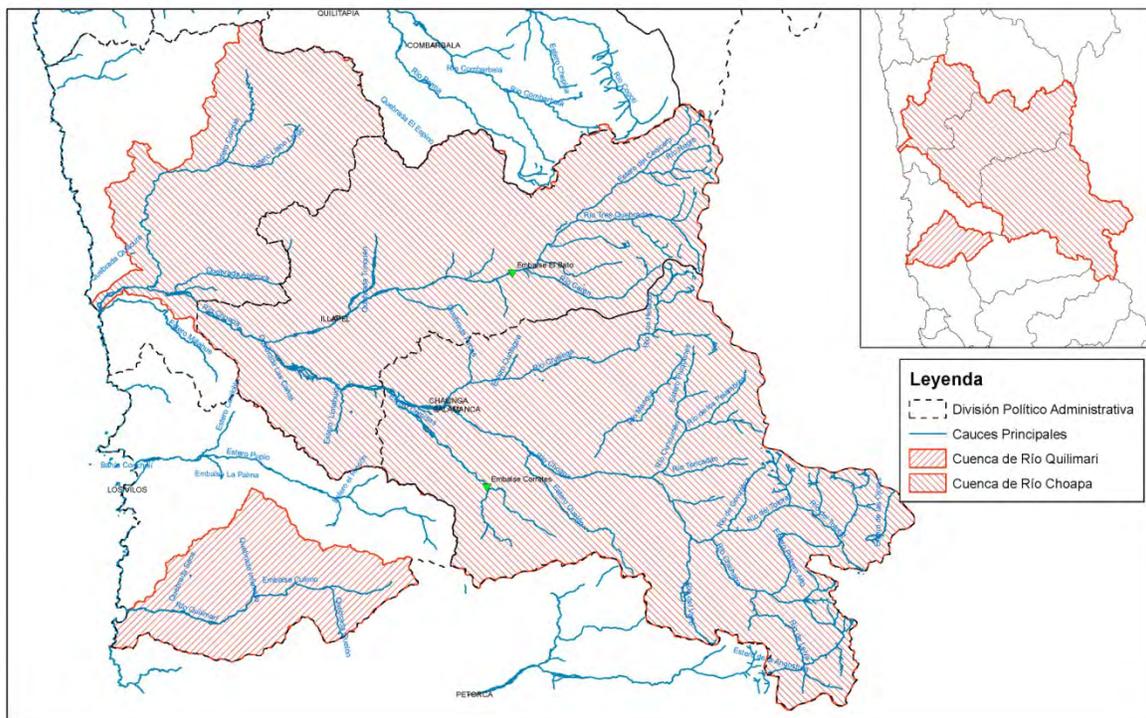
El objetivo principal del trabajo es la identificación de zonas de infiltración relevantes de los acuíferos de las cuencas del Choapa y Quilimarí para la implementación de obras de recarga artificial en el cauce principal o en otros sectores que se proponga.

Mientras que los objetivos específicos, son los siguientes.

- Efectuar una revisión de la información hidrológica e hidrogeológica disponible.
- Complementar las evaluaciones hidrológicas e hidrogeológicas existentes y realizar nuevas si no existieran.
- Identificar sectores con potencialidad para implementar recarga artificial.
- Realizar un catastro de niveles de agua subterránea. Efectuar Pruebas de infiltración.
- Efectuar una caracterización detallada en los sectores seleccionados para recarga.
- Generar un mapa de las zonas con potencialidad para recarga con sus parámetros característicos.

- Identificar las distintas opciones técnicas aplicables en la zona para recarga artificial.
- Evaluar técnica y económicamente las alternativas de recarga.
- Desarrollar las especificaciones técnicas para la implementación de un proyecto piloto.

Figura 1-1
Mapa de Ubicación del Área de Estudio
Provincia de Choapa – Región de Coquimbo



El presente informe incluye los temas que han sido desarrollados para concretar el trabajo, los principales son los siguientes: Recopilación y análisis de antecedentes, levantamiento de información complementaria, antecedentes técnicos y legales respecto a la recarga artificial de acuíferos, caracterización hidrogeológica y modelación de los flujos subterráneos en el área de estudio, identificación de sectores con potencial para recarga artificial, análisis y evaluación de alternativas de recarga artificial y propuesta de un proyecto piloto.

2 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES

Se ha desarrollado un proceso de recopilación y análisis de información contenida en estudios realizados previamente en el área de estudio; la información recabada corresponde principalmente a antecedentes hidrológicos e hidrogeológicos.

En forma complementaria, se ha incluido una recopilación de literatura técnica relacionada con el tema de la recarga artificial de acuíferos.

Los estudios que han sido recopilados, revisados y analizados son los siguientes:

1. Mejoramiento de Aguas Subterráneas para Riego Ligua y Petorca. CNR – GCF Ingenieros, 2011-2012. (en ejecución).
2. Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos de la Cuenca del Choapa: Informe Técnico, DGA – DARH, SDT N°248, 2007.
3. Aplicación de Metodologías para Determinar la Eficiencia de Uso del Agua, Estudio de Caso en la Región de Coquimbo. Cazalac, Diciembre de 2006.
4. Evaluación de la Explotación Máxima Sustentable de Aguas Subterráneas en la Cuenca del Río Quilimarí. S.I.T. N°152. Departamento de Administración de Recursos Hídricos, DGA – MOP, Octubre de 2008.
5. Análisis de la Oferta y Demanda de Recursos Hídricos en Cuencas Críticas de Choapa, Pupío, Quilimarí, Petorca y La Ligua. REG Ingenieros Consultores Ltda., DEP DGA – MOP, 1996.
6. Estudio Hidrogeológico y Balance Hídrico Valle del Río Quilimarí. AC Ingenieros Consultores Ltda. para el Departamento de Estudios y Planificación de la DGA – MOP, 1998.
7. Ampliación y Mejoramiento Agua Potable de Illapel, Estudio Hidrogeológico. AC Ingenieros Consultores Ltda., ESSCO S. A., 1995.
8. Estudio Hidrogeológico de Fuentes de Agua Potable Rural y Proyectos de Desarrollo Agrícola – Informe Hidrogeológico – Localidad Las Cañas de Michío. AC Ingenieros Consultores Ltda., ESSCO S. A., 1999.
9. Informe Hidrogeológico y Diseño de Fuentes de Agua Potable Rural en Varias Localidades de la IV Región – Localidad de Huintil. Hidrosan Chile Ingenieros Consultores, ESSCO S. A., 1999.
10. Informe Hidrogeológico y Diseño de Fuentes de Agua Potable Rural en Varias Localidades de la IV Región – Localidad de Limahuida. Hidrosan Chile Ingenieros Consultores, ESSCO S. A., 1999.
11. Minuta Hidrogeológica Planta Santa Rosa de Salamanca. AC Ingenieros Consultores Ltda., ESSCO S. A., 1995.
12. Informe Hidrogeológico Zona Localidad Rural Tambo Viejo, Comuna de Salamanca, Provincia de Choapa. Ingeniería y Geotecnia Ltda., MOP – SENDOS, 1988.
13. Informe Hidrogeológico de San Agustín, IV Región, Provincia de Choapa. Agua Ingenieros Consultores Ltda., MOP – SENDOS, 1981.

14. Informe Hidrogeológico de El Tebal, IV Región, Provincia de Choapa. Agua Ingenieros Consultores Ltda., MOP – SENDOS, 1981.
15. Informe Hidrogeológico de Cuncumén, IV Región, Provincia de Choapa. Agua Ingenieros Consultores Ltda., MOP – SENDOS, 1981.
16. Informe Hidrogeológico de Chuchiñi, IV Región, Provincia de Choapa. Agua Ingenieros Consultores Ltda., MOP – SENDOS, 1978.
17. Informe Hidrogeológico de Mincha Sur, IV Región, Provincia de Choapa. Agua Ingenieros Consultores Ltda., MOP – SENDOS, 1978.
18. Informe Hidrogeológico de Asiento Viejo, IV Región, Provincia de Choapa. Agua Ingenieros Consultores Ltda., MOP – SENDOS, 1978.
19. Informe Hidrogeológico del Pueblo de Cárcamo, Provincia de Choapa – IV Región, DOS – Departamento de Estudios, 1977.
20. Informe Hidrogeológico del Pueblo de Cuzcuz, Provincia de Choapa – IV Región, DOS – Departamento de Estudios, 1977.
21. Bibliografía Técnica Sobre Recarga Artificial de Acuíferos.

A continuación se presenta un breve resumen de los principales antecedentes contenidos en cada uno de ellos.

2.1 Mejoramiento de Aguas Subterráneas para Riego Ligua y Petorca. CNR – GCF Ingenieros, 2011-2012.

El objetivo general de este trabajo es analizar alternativas y desarrollar, a nivel de prefactibilidad, proyectos de recarga artificial, en las cuencas de los ríos La Ligua y Petorca, para su uso en riego, proponiendo obras que permitan el uso racional del recurso superficial y subterráneo.

Entre los objetivos específicos se tiene:

- Determinar zonas hidrogeológicamente favorables para la recarga de los acuíferos en las cuencas de La Ligua y Petorca.
- Estimar disponibilidad de aguas superficiales para ser usados en recargar napas.
- Establecer específicamente la calidad del agua a utilizar para recarga.
- Cuantificar la capacidad real de los acuíferos para recibir la recarga y los volúmenes de acuíferos susceptibles de llenarse con las recargas artificiales.
- Identificar prioritariamente áreas de bienes nacionales o lugares en los que sería factible proyectar las obras de recarga.
- Definir tipos de obras susceptibles de ser implementados para proponer; ubicaciones, dimensiones y número de ellas.
- Establecer con claridad el marco legal para poder utilizar los recursos disponibles para la recarga.
- Desarrollar a nivel de prefactibilidad los diseños de obras para recarga artificial de los acuíferos.

- Modelar el sistema con las alternativas seleccionadas.
- Evaluar económicamente las alternativas desarrolladas.

Durante el desarrollo del estudio se hizo una definición preliminar de proyectos de recarga en cada cuenca. (7 en Petorca y 13 en La Ligua). Luego se hizo un recorrido de terreno para validar o descartar proyectos, se descartaron algunos, manteniéndose 5 en Petorca y 7 en La Ligua.

Se hizo una evaluación de la disponibilidad de aguas superficiales en el período invernal, para diferentes probabilidades de excedencia, determinándose que en el caso de Petorca, solo se podría utilizar recursos de carácter eventual para abastecer dos proyectos de recarga. En el caso de La Ligua, habría alguna disponibilidad de recursos permanentes para abastecer un proyecto y recursos eventuales para abastecer dos proyectos de recarga artificial.

Desde el punto de vista agronómico, se desarrollaron las siguientes actividades para las áreas de influencia de los proyectos:

- Actualización de la información de suelos,
- Uso actual de suelos,
- Estudio de mercados, comercialización y precios,
- Diagnóstico de la situación actual,
- Definición de la situación agropecuaria futura y
- Determinación de los flujos agroeconómicos para cada proyecto, para la posterior evaluación económica de los mismos.

Complementariamente, se hizo una estimación de los costos de las obras y se desarrolló un análisis ambiental preliminar.

En el tema de Participación Ciudadana, se realizó una serie de entrevistas a informantes clave en las cuencas de La Ligua y Petorca. Las entrevistas incluyeron a representantes de servicios públicos, consultores y representantes de los agricultores. El objetivo fue informar sobre el estudio y obtener información respecto al interés e inquietudes de los potenciales beneficiarios de los proyectos que están siendo elaborados.

2.2 Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos de la Cuenca del Choapa: Informe Técnico, DGA – DARH, SDT N°248, 2007.

El objetivo principal del estudio en cuestión es estimar, de manera preliminar, la oferta de aguas subterráneas en el acuífero asociado a la cuenca del río Choapa.

El estudio contempló una revisión de los antecedentes relevantes para su desarrollo que existen para la cuenca del Choapa. Los antecedentes considerados son los siguientes:

- *Análisis Estimativo de la Disponibilidad de Recursos Subterráneos en la Cuenca Del Río Choapa.*
- *Análisis de Afección en los Caudales Pasantes en Estación DGA Choapa en Salamanca, Producto de la Explotación Legal Vigente, Actual y Futura, en la Cuenca del Río Choapa.*
- *Demanda de Aguas Subterráneas levantada por la DGA al 31 de diciembre de 2005.*

Luego de una descripción general de la zona de interés, el estudio divide la cuenca del río Choapa en seis zonas de interés hidrogeológico asociadas a las siguientes subcuencas:

- *Choapa Alto*
- *Chalinga*
- *Choapa Medio*
- *Illapel*
- *Choapa Bajo*
- *Canela*

Para el estudio hidrogeológico, el informe en cuestión utiliza la subdivisión que presenta el estudio “Diagnóstico Actual del Riego y Drenaje en Chile y su Proyección. IV Región” (CNR, 2003), que identifica los siguientes sectores hidrogeológicos de interés:

- *Valle Río Choapa, entre Mincha y Desembocadura.*
- *Valle Río Choapa, entre Coyuntagua y Tunga Norte.*
- *Valle Río Choapa, entre Salamanca y Las Juntas.*
- *Valle Río Choapa, entre Cuncumén y Salamanca.*
- *Valle Río Illapel, entre Huintil y Las Juntas.*
- *Valle Estero Chalinga, entre San Agustín y Salamanca.*
- *Valle Estero Camisas, entre el Canal Buzeta y el Río Choapa.*
- *Valle Estero Canela, entre el nacimiento y Canela Baja.*

Las características de cada uno de los sectores hidrogeológicos mencionados se incluyen en el SDT N°248. La caracterización considera una descripción de las formaciones acuíferas, la estimación de la profundidad de los niveles estáticos y el análisis de los antecedentes disponibles para la determinación de los parámetros representativos de cada sector acuífero.

Las demandas de aguas subterráneas que presenta el estudio son las que se presentan en la Tabla 2.2-1.

Tabla 2.2-1
Demandas sectores Choapa al 31 de diciembre de 2005.

SECTOR	Demanda Comprometida (l/s)	Demanda Total(l/s)
Choapa Alto	1433,1	2576,3
Chalinga	26,0	88,7
Choapa Medio	268,8	404,6
Illapel	813,3	1150,2
Choapa Bajo	158,8	174,2
Canela	170,4	173,5
TOTAL	2870,3	4567,5

La columna 1 muestra la demanda comprometida de los derechos de agua al 31 de diciembre de 2005, en tanto, la columna 2 muestra la demanda total de los derechos a la misma fecha. Se entiende como demanda comprometida a la suma de todos los derechos otorgados y en trámite cuya fecha de ingreso es anterior al último derecho aprobado sin considerar los 4º y 6º Transitorios.

La gran mayoría de los valles asociados a la cuenca del río Choapa y sus afluentes presentan una conexión hidráulica muy marcada con el río. Lo anterior es relevante, ya que la disponibilidad de aguas superficiales se encuentra agotada y no se debe perjudicar los derechos de los usuarios de aguas superficiales.

El estudio “Análisis Estimativo de la Disponibilidad de Recursos Subterráneos en la Cuenca del Río Choapa” presenta el cálculo de la disponibilidad para cada sector acuífero, considerando que no se puede afectar los caudales superficiales más del 10% del $Q_{85\%}$. La Tabla 2.2-2 presenta los valores de disponibilidad de aguas subterráneas.

Tabla 2.2-2
Oferta de Aguas Subterráneas

Sector	Estación Fluviométrica	Oferta [l/s]
Choapa Alto	Choapa en Salamanca	230
Chalinga (*)	Chalinga en La Palmilla	14
Choapa Medio	Choapa en Puente Negro	68
Illapel	Illapel en el Peral	43
Choapa Bajo	Choapa arriba Canela	0
Canela (*)	Canela	30
Total		385

Para el análisis realizado en la Tabla 2.2-2, se utilizó la información disponible en las estaciones fluviométricas Choapa en Salamanca, Choapa en Puente Negro, Illapel en el Peral y Choapa arriba Canela. En los casos de Chalinga y Canela, que no presentan estaciones

fluviométricas representativas de sus zonas aportantes, se utilizó el método de transposición de caudales utilizando el área y caudal de la estación Illapel en el Peral.

Finalmente, el estudio presenta la oferta o volúmenes totales anuales posibles de otorgar como derechos de agua subterránea en el Acuífero de Choapa.

Tabla 2.2-3
Oferta de Volúmenes Anuales Aguas Subterráneas

Sector	Vol. Total Sustentable [m ³ /año]
Choapa Alto	7.253.280
Chalinga (*)	441.504
Choapa Medio	2.144.448
Illapel	1.356.048
Choapa Bajo	0
Canela (*)	946.080
Total	12.141.360

2.3 Aplicación de Metodologías para Determinar la Eficiencia de Uso del Agua, Estudio de Caso en la Región de Coquimbo. Cazalac, Diciembre de 2006.

Este estudio tiene como objetivo conocer la forma en que se usa el agua en una zona árida o semiárida, como lo es la IVª Región. Además, realiza un diagnóstico sobre la eficiencia de uso, y entrega recomendaciones acerca de cómo aumentar dicha eficiencia.

El estudio se divide en seis partes, las que se describen a continuación.

La primera parte corresponde a la definición de una metodología para identificar la eficiencia del uso del agua, definir cuatro tipos de eficiencia, y, a partir de ello, lograr desprender algunas recomendaciones y proposiciones de mejoramiento para la misma.

La recopilación de antecedentes constituye la segunda parte del estudio. Todos los antecedentes con posibilidad de representarse espacialmente, se incluyeron en un SIG y configuran sus bases de datos.

La tercera parte del estudio la constituye el diagnóstico de los diferentes tipos de eficiencia, a los diferentes niveles de análisis, para los diferentes usos. El diagnóstico se realiza individualmente para cada una de las cuencas, Elqui, Limarí y Choapa.

La cuarta parte del estudio utiliza modelos de simulación de cada cuenca para desprender recomendaciones para mejorar la eficiencia en el uso del agua. Mediante los modelos, se simuló el efecto físico de determinadas medidas, ya sea de gestión como de obras, que modifican las condiciones de operación.

Las dos partes finales del estudio corresponden al desarrollo de dos proyectos, y el programa de difusión. Los proyectos que se desarrollaron fueron el proyectar un entubamiento, por un lado, y apoyar a la DGA en la formulación de los Términos de Referencia para un estudio hidrogeológico de los acuíferos de la cuenca del Choapa, por otro lado. Esto último, debido a que en esta cuenca aparecía la posibilidad física de sacar mayor partido a este recurso almacenado, y a que efectivamente existía esta inquietud en la región.

De particular interés para el presente estudio es la recopilación de antecedentes que presenta el estudio de Cazalac, por lo que a continuación se describe su contenido.

2.3.1 Recopilación de Antecedentes en Terreno

Se realizó una recopilación de antecedentes en terreno para cumplir con los siguientes objetivos:

- Generar información de base para la modelación hídrica.
- Generar información de base para la modelación económica.
- Conseguir información para caracterizar la administración del recurso.
- Recabar información sobre aspectos ambientales.
- Recopilar información sobre objetivos y metas para la cuenca, para guiar el planteamiento de escenarios futuros a modelar.
- Identificar las restricciones o condicionantes a tener en cuenta en futuras proposiciones.

La información de interés para el presente trabajo corresponde a la información hidrológica presentada en el estudio de Cazalac, la que incluye:

- Estadísticas de operación de embalses, la cual se solicitó en la DOH y en las juntas de vigilancia respectivas. Esta información se obtuvo para los embalses Puclaro, Paloma, Corrales y Cogotí. Solamente la Asociación del embalse Recoleta no entregó información.
- Estadísticas de operación de canales: desmarques y políticas de reparto en los ríos y canales de los diferentes sistemas de riego en cada una de las cuencas.
- Actualización de los derechos y acciones por parte de las Juntas de Vigilancia.
- Catastro de pozos que maneja la DGA Regional.
- Forma del uso del agua por parte de los usuarios: uso de pozos, distribución de agua por canales, turnos.
- Estado de las obras, estimación de pérdidas por ineficiencias.
- Características físicas de los cauces modelados.
- Participación de los usuarios en el mercado de aguas.
- Verificación y actualización de la estructura de cultivos.

2.3.2 Recopilación de Antecedentes en Gabinete

Los antecedentes recopilados en gabinete son los siguientes:

Antecedentes Básicos Georreferenciados, los que incluyen un Mosaico satelital Landsat de la IV Región, año 2003, con resolución de 15 m., Catastro Frutícola IVª Región actualizado al año 1999, SIG de la Comisión Nacional de Riego, SIG de la Dirección General de Aguas y SIG de Serplac.

Antecedentes básicos de monitoreo hídrico, obtenidos desde el CIRH de la DGA, y que incluyen, para la cuenca del Choapa:

- Estadística de precipitaciones de 13 estaciones.
- Estadística de evaporación en 4 estaciones.
- Estadística de temperatura en 4 estaciones.
- Estadística de caudales en 8 estaciones.
- Estadística de niveles estáticos en 12 pozos.
- Información de Calidad de aguas superficiales y subterráneas para 10 estaciones superficiales y 3 pozos.
- Estadísticas del estado del embalse Corrales en los últimos 15 años de funcionamiento.
- Estadística histórica de caudales en canales.

Antecedentes sobre empresas mineras, obtenidos de Sernageomin.

Antecedentes sobre uso de agua potable urbana, actual y proyectada, determinados a partir de Planes de Desarrollo de Aguas del Valle S.A.

Antecedentes sobre agua potable rural de todas las localidades de la IVª Región que cuentan con agua potable rural.

Investigación de la experiencia internacional sobre eficiencia en el uso del agua en zonas áridas, realizada a través de internet.

Información contenida en *Estudios Anteriores* que fuese de importancia para el desarrollo del estudio de Cazalac. En este apartado se incluye los parámetros que permiten caracterizar los acuíferos del sistema, los que se obtuvieron del Estudio Integral de Riego Valle de Choapa, Ingendesa, 1995.

En el Anexo 1 se presenta la información básica relevante para el presente trabajo que ha sido obtenida a partir del estudio de Cazalac.

2.4 Evaluación de la Explotación Máxima Sustentable de Aguas Subterráneas en la Cuenca del Río Quilimarí. S.I.T. Nº152. Departamento de Administración de Recursos Hídricos, DGA – MOP, Octubre de 2008.

Este estudio presenta el desarrollo de un modelo hidrogeológico de parte de la cuenca del río Quilimarí. El área que comprende el modelo se define a partir del depósito sedimentario ubicado en el llano principal de la cuenca, aguas abajo del embalse Culimo. La zona aguas arriba del embalse es tratada con un balance hídrico, considerando las extracciones existentes y la recarga a los someros acuíferos existentes.

Existe muy poca información técnica factible de ser utilizada para configurar y validar el modelo hidrogeológico, por lo que en este estudio se ha realizado una exhaustiva recopilación de antecedentes tanto en gabinete como en terreno, orientada a recoger y validar el máximo de antecedentes posible.

Los antecedentes de interés para el presente trabajo que entrega este estudio corresponden a información hidrológica e hidrogeológica.

La información hidrológica corresponde a un análisis de las precipitaciones medias mensuales de las estaciones pluviométricas presentes en el área de estudio, que se muestra en las Tablas 2.4-1 y 2.4-2, y un análisis de los caudales medios mensuales de la estación río Quilimarí en Los Cóndores, que se presenta en las Tablas 2.4-3 y 2.4-4.

Tabla 2.4-1
Información General de Estaciones Meteorológicas

Estación	UTM Norte (m)	UTM Este (m)	Tipo	Vigencia	Altitud [m.s.n.m.]	Extensión	Años de Registros
Culimo Embalse	6.449.939	289.169	Pluviométrica	V	580	1972-2006	34
Quelón	6.440.827	295.650	Pluviométrica	V	960	1972-2006	34
El Naranjo	6.453.795	296.964	Pluviométrica	S	850	1977-1989	12
Infiernillo	6.449.806	282.874	Pluviométrica	S	570	1977-1989	12
Los Cóndores	6.444.228	281.420	Climatológica	V	260	1977-2006	29
Quilimarí	6.443.841	264.118	Pluviométrica	V	25	1979-2006	27
Quebrada El Manzano	6.436.733	276.864	Pluviométrica	S	300	1977-1989	12
Quebrada Seca	6.449.565	271.858	Pluviométrica	S	350	1976-1989	13

Tabla 2.4-2
Precipitación Media Mensual y Anual en Estaciones Rellenadas

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media Anual
Culimo Embalse	1	2	28	85	354	629	775	442	176	71	41	0	2.597
Quelón	4	0	44	92	480	709	886	495	223	99	57	7	3.087
El Naranjo	14	30	68	122	440	641	815	495	207	77	56	36	2.995
Infiernillo	12	16	49	86	472	658	815	459	212	78	46	12	2.906
Los Cóndores	6	4	35	66	409	565	741	401	142	84	50	14	2.509
Quilimarí	19	26	49	94	436	773	785	441	182	111	87	23	3.029
Quebrada el Manzano	31	31	53	107	459	599	832	419	187	92	84	28	2.920
Quebrada Seca	23	17	71	101	418	622	822	439	181	103	100	30	2.927

Tabla 2.4-3
Información General de Estación Fluviométrica

Estación Río Quilimarí en Los Cóndores	
Coordenada Norte	6.446.144
Coordenada Este	284.527
Tipo	Fluviométrica
Vigencia	S
Altitud [m.s.n.m.]	200
Extensión	1964-1978
Años de registro	13

Tabla 2.4-4
Caudales Medios Mensuales para Distintas Probabilidades de Excedencia
Estación Río Quilimarí en Los Cóndores [m³/s]

P.exc [%]	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
95%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,05	0,04	0,00	0,00	0,00
80%	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,13	0,14	0,11	0,03	0,01	0,01
65%	0,02	0,02	0,01	0,01	0,04	0,06	0,24	0,26	0,19	0,08	0,03	0,03
50%	0,04	0,04	0,03	0,03	0,10	0,15	0,40	0,44	0,31	0,20	0,07	0,06
35%	0,09	0,07	0,06	0,07	0,23	0,35	0,66	0,74	0,50	0,47	0,16	0,13
20%	0,21	0,17	0,13	0,18	0,66	0,99	1,22	1,37	0,88	1,32	0,41	0,32
10%	0,47	0,39	0,28	0,45	1,83	2,67	2,20	2,47	1,54	3,57	1,00	0,75
5%	0,92	0,76	0,54	0,96	4,23	6,08	3,58	4,03	2,43	8,11	2,08	1,52
3%	1,42	1,18	0,83	1,58	7,30	10,36	4,90	5,53	3,27	13,82	3,34	2,39

En cuanto a información hidrogeológica, el S.I.T. N°152 presenta información geológica, la que se entrega en el Anexo 2. Por otro lado, se presenta en la Tabla 2.4-5 los valores de parámetros representativos del acuífero determinados en base a la información de pruebas de bombeo disponibles en la zona de estudio.

Tabla 2.4-5
Conductividad Hidráulica y Transmisividad en Pozos Seleccionados

Nº	Expediente	UTM Este [m]	UTM Norte [m]	Profundidad [m]	K [m/día]	T [m ² /día]
1	ND-0403-203	271679	6443891	15,0	24,9	286,6
2	ND-0403-163	279005	6443119	3,8	94,7	235,9
3	ND-0403-234	296832	6448680	6,0	36,6	190,1
4	ND-0403-238	277550	6442503	10,2	53,6	105,6
5	ND-0403-241	264550	6444206	4,1	155,5	329,8
6	ND-0403-185	279226	6443323	20,0	2,8	36,4
7	ND-0403-237	277480	6442602	12,0	136,8	550,1
8	ND-0403-260	276668	6442422	11,0	17,9	122,0
9	ND-0403-260	276629	6442363	10,7	37,4	200,2
10	ND-0403-349	297070	6448892	8,8	69,5	163,4
11	ND-0403-275	292487	6448708	9,0	57,5	391,1
12	ND-0403-275	292537	6448712	9,0	72,7	508,6
13	ND-0403-275	293275	6448730	8,5	39,5	253,5
14	ND-0403-275	293355	6448777	8,4	63,5	384,0
15	ND-0403-275	293509	6448752	8,9	45,9	321,4
16	ND-0403-275	296662	6448760	8,3	59,8	366,4
17	ND-0403-249	278902	6442726	5,7	92,6	339,0
18	ND-0403-249	279326	6442885	5,8	83,8	289,2
19	ND-0403-108	265500	6444500	32,2	3,8	115,6
20	ND-0403-196	264807	6443876	6,7	13,1	60,3
21	ND-0403-197	281755	6443780	5,1	109,5	416,2
22	ND-0403-287	272981	6443764	6,2	31,3	122,1
23	ND-0403-287	272644	6443966	6,7	10,1	45,1
24	ND-0403-253	270382	6444366	9,4	132,6	967,7
25	ND-0403-253	270735	6444339	5,7	468,3	1030,3
26	ND-0403-242	264180	6444220	6,0	29,2	75,2
27	ND-0403-244	297543	6448545	41,0	1,8	63,7
28	ND-0403-248	296738	6448394	8,0	61,3	432,0
29	ND-0403-250	277187	6442206	7,0	52,1	156,2
30	ND-0403-252	296994	6448922	6,0	116,1	298,3

Las coordenadas que se muestran en los Cuadros anteriores se encuentran en el Datum PSAD 1956.

El coeficiente de almacenamiento no pudo ser determinado mediante las pruebas de bombeo, ya que sólo consideran mediciones de niveles en el pozo de producción. Sin embargo, se ha determinado una definida entre el coeficiente de almacenamiento y el valor de conductividad hidráulica, la cual se presenta en la Tabla 2.4-6.

Tabla 2.4-6
Correlación entre Permeabilidad y Almacenamiento

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

A partir de la información recopilada en el estudio, se presenta un modelo hidrogeológico Modflow que representa aproximadamente el funcionamiento del acuífero del valle del río Quilimarí.

Mediante el análisis hidrológico e hidrogeológico, el acuífero se dividió en nueve sectores, ocho de los cuales (Pangalillo, El Llano, Infiernillo, Los Cóndores, Guangualí, El Ajial, Los Maquis y Quilimarí) que se encuentran aguas abajo del embalse Culimo fueron incorporados al modelo Modflow, mientras que el sector aguas arriba del embalse fue trabajado a través de un balance hídrico y no se incluyó en el modelo.

En base a los análisis y simulaciones, la disponibilidad de aguas subterráneas en el sector aguas arriba del embalse Culimo es de 6.253.008 m³/año, mientras que en los acuíferos del río Quilimarí es la siguiente.

Tabla 2.4-7
Disponibilidad de Aguas Subterráneas – Cuenca Quilimarí

SECTOR	VOLUMEN SUSTENTABLE [m ³ /año]
Pangalillo	126.144
El Llano	63.072
Infiernillo	756.863
Los Cóndores	567.648
Guangualí	567.648
El Ajial	1.040.68
Los Maquis	378.432
Quilimarí	3.878.92

2.5 Análisis de Oferta y Demanda de Recursos Hídricos en Cuencas Críticas de Choapa, Pupío, Quilimarí, Petorca y Ligua. REG Ing. Consultores Ltda., DGA 1996.

Este estudio tiene como objetivo el definir si corresponde la declaración de agotamiento del aprovechamiento de recursos hídricos superficiales en ríos de situación crítica, ya sea, en todo el río o parte de él, definiendo los recursos de carácter permanente y eventual.

Los antecedentes relevantes para el presente trabajo que se presentan en el estudio de REG ingenieros tienen relación con información hidrológica.

La información hidrológica mencionada corresponde a caudales medios mensuales de las estaciones presentes en el área de estudio. En la Tabla 2.5-1 se muestran las estaciones que son de interés para el presente estudio. Además, en el informe de REG Ingenieros se presenta la estadística del volumen embalsado en el embalse Culimo, la que se muestra en la Tabla 2.5-2, y la estimación de caudales afluentes al embalse Culimo, la que se muestra en la Tabla 2.5-3.

Tabla 2.5-1
Nómina de Estaciones Fluviométricas en Cuencas de los Ríos Choapa y Quilimarí

Código BNA	Nombre Estación	Fechas		Altura [msnm]	Coordenadas UTM (Datum WGS 1984)		Área [km ²]
		Instalación	Supresión		Norte (m)	Este (m)	
04700001-7	Est. El Soldado En Lag. El Pelado	01/03/50	01/02/85	3.500	6.458.753	375.623	66
04703001-3	Río Choapa Sobre El Río Valle	01/12/65	01/12/82	1.260	6.460.286	351.978	878
04703002-1	Río Choapa En Cuncumén	01/12/18		960	6.462.088	348.801	1.176
04704002-7	R. Cuncumén Antes Boc. Canales	01/10/65		1.360	6.476.869	348.583	225
04711001-7	Río Choapa En Salamanca	01/10/74		500	6.481.843	313.777	2.253
04711002-5	Canal Caracha En Bocatoma	01/11/85	01/07/87	500	6.481.843	313.777	0
04713001-8	Río Chalinga En San Agustín	01/01/69	27/01/03	850	6.489.428	324.701	428
04713002-6	Río Chalinga En Potr. Maitenes	01/12/28	10/05/02	0	6.494.834	316.705	0
04713003-4	Río Chalinga En Chalinga	01/11/28		0	6.483.662	312.165	0
04714001-3	Est. Camisas En Desembocadura	01/01/68		400	6.483.515	304.272	463
04715001-9	Río Choapa En Mal Paso	01/12/60	01/02/69	330	6.485.302	301.078	3.431
04716001-4	Río Choapa En Lamahuida	01/06/46		275	6.487.058	296.305	3.811
04716002-2	Río Choapa En Puente FF.CC.	01/12/46	01/11/52	0	6.488.779	289.949	0
04716003-0	Canal Tamelcura	01/12/62	01/06/63	0	6.602.123	304.448	0
04716004-9	Río Choapa En Puente Negro	01/01/68		200	6.492.378	285.134	3.725
04721001-1	Río Illapel En Las Burras	01/05/65		1.079	6.513.501	327.460	597
04723001-2	Río Illapel En Huintil	01/01/68		775	6.505.864	313.344	928
04726001-9	Río Illapel En El Peral	01/05/83		0	6.494.226	285.095	0
04726002-7	Río Illapel En Santa Cruz	01/12/28	10/05/02	0	6.496.171	289.799	0
04730001-0	R Choapa A. Arriba Est. La Canela	01/12/61		40	6.503.054	265.919	6.197
04901001-K	Río Quilimarí En Los Cóndores	01/01/68	23/07/02	200	6.446.144	284.527	0

Tabla 2.5-2
Embalse Culimo - Volumen Embalsado [m³ x 10⁶]

Año	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Máx
1933 -34	-	-	1,29	1,95	3,10	3,47	3,53	3,50	3,39	3,26	3,15	3,05	3,53
1934 -35	2,69	5,28	8,64	8,62	8,60	8,60	8,50	8,26	-	-	-	-	8,64
1935 -36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00
1936 -37	-	-	-	-	5,56	7,75	7,72	6,70	5,85	5,17	4,52	3,72	7,75
1937 -38	3,08	2,64	2,43	2,41	3,14	4,14	-	-	-	-	-	-	4,14
1938 -39	0,83	-	-	-	2,41	-	2,30	1,63	1,26	0,94	0,66	0,58	2,41
1939 -40	0,33	0,25	0,22	0,30	0,50	0,60	0,60	-	-	0,30	0,30	0,28	0,60
1940 -41	0,21	0,16	0,42	3,30	6,20	7,68	7,78	7,26	6,55	5,74	5,00	4,40	7,78
1941 -42	4,46	7,50	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	9,80	9,14	8,44	7,40	6,44	10,00
1942 -43	5,86	5,59	6,21	7,40	10,00	10,00	10,00	9,58	9,21	8,31	7,44	6,38	10,00
1943 -44	5,64	5,14	5,10	5,35	6,70	6,55	6,00	5,29	4,39	-	-	-	6,70
1978 -79	1,50	1,20	0,50	5,00	5,50	5,60	5,40	5,30	5,10	4,70	4,40	4,00	5,60
1979 -80	3,80	3,60	3,50	3,30	3,20	3,00	2,70	2,40	2,10	1,70	1,30	1,00	3,80
1980 -81	0,90	0,90	0,90	1,60	3,10	3,20	4,90	4,90	4,70	4,30	4,00	3,80	4,90
1981 -82	3,70	3,70	3,70	3,80	3,90	3,70	3,40	3,10	2,70	2,30	2,00	1,70	3,90
1982 -83	1,40	1,50	5,20	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	9,30	8,90	8,40	8,00	10,00
1983 -84	7,70	7,50	7,70	10,00	10,00	10,00	9,90	9,60	9,20	8,70	8,10	7,70	10,00
1984 -85	7,30	7,20	5,20	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	9,40	8,40	7,50	6,80	10,00
1985 -86	6,10	5,80	5,70	5,70	5,70	5,50	4,80	4,00	3,50	3,10	2,90	2,80	6,10
1986 -87	2,40	3,40	4,30	4,70	4,80	4,70	3,70	3,10	2,50	2,50	1,60	1,40	4,80
1987 -88	1,20	1,20	1,10	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	9,40	8,90	10,00
1988 -89	8,40	7,90	8,00	8,10	8,50	8,60	7,90	6,80	6,00	5,10	4,30	3,60	8,60
1989 -90	2,90	2,80	2,70	2,80	3,50	3,80	3,70	3,20	2,50	5,00	1,70	1,60	5,00
1990 -91	1,40	1,20	1,10	1,00	1,00	1,00	0,90	1,00	0,80	0,60	0,50	0,30	1,40
1991 -92	0,10	0,00	2,10	4,00	4,90	5,50	5,40	4,50	3,70	2,90	0,22	1,60	5,50
1992 -93	1,40	1,60	6,70	9,00	10,00	10,00	10,00	10,00	8,50	7,70	6,40	6,30	10,00
1993 -94	5,00	5,80	5,90	6,10	5,50	5,40	5,00	4,50	3,70	-	-	-	6,10

Tabla 2.5-3
Caudales Afluentes a Embalse Culimo para Distintas Probabilidades de Excedencia [l/s]

P.exc. [%]	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	Q med. Anual	Variac. Anual
10%	181	540	1.540	1.500	2.200	1.400	212	230	115	80	40	27	181	672	770
20%	12	350	580	1.020	1.050	620	200	120	95	45	20	8	12	343	350
30%	0	135	460	600	600	290	115	60	60	15	12	0	0	196	200
40%	0	115	310	425	350	230	80	35	25	15	8	0	0	133	130
50%	0	40	240	310	270	170	60	30	23	12	5	0	0	97	100
60%	0	25	150	270	210	130	50	25	17	5	0	0	0	74	80
70%	0	0	135	240	190	75	40	15	10	0	0	0	0	59	70
80%	0	0	110	170	150	50	20	8	5	0	0	0	0	43	60
90%	0	0	40	100	95	15	10	0	0	0	0	0	0	22	50

2.6 Estudio Hidrogeológico y Balance Hídrico, Valle del Río Quilimarí. AC Ingenieros Consultores Ltda., DGA – MOP, 1998.

El objetivo principal de este estudio es la identificación de los aspectos más relevantes para la cuantificación de las necesidades de agua de los usuarios y la elaboración de herramientas de apoyo que permitan realizar recomendaciones para lograr un aprovechamiento razonable de los recursos hídricos.

En el estudio de AC Ingenieros se presenta, como antecedente relevante para el presente trabajo, información hidrológica e hidrogeológica de la cuenca del río Quilimarí.

En el estudio pluviométrico de este informe se presenta, como resultado final, la estadística pluviométrica revisada, corregida y completada de las estaciones Hacienda Los Cóndores y Embalse Culimo. Además, se presenta la precipitación anual correspondiente a las subcuencas en que fue dividida el área de estudio, como se muestra en la Tabla 2.6-1.

Tabla 2.6-1
Lluvias Anuales Promedio en Valle de Quilimarí

Subcuenca	Área [km ²]	Precipitación Anual [mm]
Embalse Culimo	220	290
Culimo a Infiernillo	263	252
Infiernillo a Maimalicán	263	252
Maimalicán a Quilimarí	98	251
Quilimarí al mar	171	246

La información fluviométrica contenida en este estudio corresponde a los registros de caudales medios diarios en la estación Río Quilimarí en Los Cóndores, y la estadística de caudales medios mensuales de las estaciones Río Quilimarí en Retama y Río Quilimarí en Chivato. Además, se presenta la estadística de caudales medios mensuales en cuencas no controladas, las que fueron generadas mediante la aplicación de un modelo de generación de caudales medios mensuales en cuencas pluviales (MPL) desarrollado por el ingeniero Pablo Isensee M.

La información hidrológica mencionada se presenta en el Anexo 3.

La información hidrogeológica que se presenta en este estudio incluye una descripción de la morfología de la cuenca del río Quilimarí, así como de las unidades morfológicas que la componen.

Se presenta, también, una descripción geológica de la cuenca del río Quilimarí, identificando las formaciones geológicas que la componen. También se incluye la identificación de los depósitos sedimentarios que forman parte del relleno del valle.

Para realizar la caracterización geométrica del basamento rocoso y las características estratigráficas del valle, se presentan ocho perfiles gravimétricos transversales al cauce y tres perfiles microsísmicos longitudinales a él, así como la interpretación de ellos.

En el estudio de AC Ingenieros se presenta, además, una caracterización de las formaciones acuíferas identificando cuatro zonas que constituyen embalses subterráneos. Dichas zonas corresponden al sector central de la hoya hidrográfica a la altura de Guangualí, el extremo occidental de la cuenca en el sector del pueblo de Quilimarí, el sector ubicado al oeste de Tilama y, finalmente, el sector entre Los Cóndores y El Llano.

Finalmente, se presenta un catastro de captaciones subterráneas actualizado a la fecha del estudio, una caracterización de niveles de aguas subterráneas en la cuenca de interés y un análisis de constantes elásticas del acuífero basado en estudios anteriores.

2.7 Ampliación y Mejoramiento Agua Potable de Illapel, Estudio Hidrogeológico. AC Ingenieros Consultores Ltda., ESSCO S. A., 1995.

El objetivo de esta consultoría fue determinar de manera precisa la capacidad y potencial hidrogeológico de nuevas fuentes de abastecimiento de agua potable para la ciudad de Illapel.

El área de estudio comprende la cuenca del río Choapa, y, más específicamente, la hoya hidrográfica del río Illapel. El aporte del sector medio y alto del río Illapel, es controlado por la estación hidrométrica de Huintil, ubicada 24 km aguas arriba de la ciudad de Illapel. Según la estadística de esta estación, el gasto promedio del río en ese lugar es de 3,5 m³/s para el período comprendido entre 1927 y 1992.

La información de importancia para el presente estudio que está contenida en este informe corresponde a la contenida en su estudio hidrológico e hidrogeológico.

La información pluviométrica presentada corresponde a la estadística observada de precipitaciones mensuales de las estaciones ubicadas dentro y en torno al área de estudio, la que queda definida por la confluencia de los ríos Choapa e Illapel por el Oeste, y la cabecera del estero del Carnicero por el Este.

A partir de la información pluviométrica mencionada, se determina que la precipitación media anual en el área de estudio corresponde a 196,8 mm.

Para la caracterización del régimen hidrológico del río Illapel se utilizó la estadística de la estación Illapel en Huintil. En la Tabla 2.7-1 se presenta la variación estacional del caudal medio mensual de la estación río Illapel en Huintil.

Tabla 2.7-1

Variación Estacional de Caudal Medio Mensual en Estación Río Illapel En Huintil [m³/s]

Mes	Probabilidad de Excedencia (%)										
	5	10	20	30	40	50	60	70	85	90	95
Abril	3,98	3,03	2,39	1,72	1,58	1,15	0,72	0,50	0,30	0,27	0,24
Mayo	3,18	2,81	2,35	1,93	1,38	1,09	0,83	0,70	0,50	0,37	0,28
Junio	3,41	2,91	2,48	2,01	1,78	1,39	1,12	1,00	0,58	0,44	0,31
Julio	5,42	3,77	3,00	2,62	2,03	1,82	1,48	1,30	0,64	0,47	0,43
Agosto	7,12	4,37	2,88	2,14	1,85	1,62	1,41	1,22	0,69	0,56	0,47
Septiembre	16,25	7,24	4,86	3,30	2,25	1,56	1,36	1,16	0,77	0,59	0,44
Octubre	16,53	9,85	6,12	5,11	4,12	2,07	1,29	1,20	0,81	0,54	0,48
Noviembre	22,54	16,12	11,62	9,01	4,57	2,24	1,52	1,06	0,63	0,49	0,41
Diciembre	32,70	20,56	13,14	9,26	4,38	1,61	1,14	0,90	0,46	0,32	0,27
Enero	15,54	12,18	6,79	4,27	2,93	1,14	1,03	0,77	0,45	0,32	0,26
Febrero	7,34	5,24	3,07	2,49	1,81	1,04	0,87	0,70	0,37	0,27	0,17
Marzo	4,69	3,57	2,29	1,87	1,62	1,00	0,66	0,51	0,29	0,23	0,16

Con respecto a la caracterización hidrogeológica, se distinguen dos tipos de depósitos fluviales en el área de estudio:

Depósitos fluviales antiguos, parcialmente cubiertos por espesores de alrededor de 1 m de materiales meteorizados y que presentan permeabilidades estimadas de alrededor de 10^{-5} m/s.

Depósitos fluviales modernos, que constituyen acuíferos cuyo nivel de aguas se sitúa normalmente a no más de 3 m, y que presentan permeabilidades cuyo valor supera los 10^{-4} m/s.

Adicionalmente, en este estudio se presenta un catastro de sondajes y drenes en el sector, pero que al haberse realizado mediante una campaña en terreno durante Septiembre de 1994, se encuentra desactualizado con respecto a la información que se presenta en otros estudios revisados.

2.8 Estudio Hidrogeológico de Fuentes de Agua Potable Rural y Proyectos de Desarrollo Agrícola – Informe Hidrogeológico – Localidad Las Cañas de Michío. AC Ingenieros Consultores Ltda., ESSCO S. A., 1999.

El objetivo principal de este estudio es la caracterización hidrológica e hidrogeológica de la localidad Las Cañas de Michío. Dicha localidad se encuentra ubicada en la comuna de Illapel, a unos 4 km. al este de Illapel.

La red de drenaje del sector está constituida sólo por la quebrada Las Cañas de Michío y sus afluentes, que conducen recursos superficiales casi todo el año.

En este estudio se presenta una somera descripción geológica y geomorfológica del sector donde se ubica la localidad objeto del estudio.

La información relevante para el presente trabajo que se entrega en este estudio, corresponde a lo que se presenta en el análisis hidrogeológico. Las únicas formaciones acuíferas de interés en el sector corresponden a sedimentos cuaternarios localizados en las proximidades del lecho de la quebrada Las Cañas.

Las propiedades hidráulicas de los depósitos del sector se obtuvieron de una prueba de bombeo realizada en una calicata especialmente excavada para tal efecto. La interpretación de la prueba entregó como resultado una transmisibilidad de $5,85 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ y una permeabilidad de $1,95 \times 10^{-4} \text{ m/s}$. El nivel estático se ubicó a 0,36 m de profundidad.

2.9 Informe Hidrogeológico y Diseño de Fuentes de Agua Potable Rural en Varias Localidades de la IV Región – Localidad de Huintil. Hidrosan Chile Ingenieros Consultores, ESSCO S. A., 1999.

El objetivo principal de este estudio es la caracterización hidrológica e hidrogeológica de la localidad Huintil. Dicha localidad se encuentra ubicada en la comuna de Illapel, a unos 19 km. en línea recta al Noreste de la ciudad de Illapel.

El área de la cuenca aportante del río Illapel es igual a 1.088 km^2 y la precipitación media anual es de 220 mm. El caudal medio anual correspondiente a una sección del río Illapel frente al poblado de Huintil es de $2 \text{ m}^3/\text{s}$.

El relleno fluvial moderno del río Illapel está constituido por una mezcla variada de gravas y arenas fluviales con poco contenido de finos y con una permeabilidad de $2,3 \times 10^{-4} \text{ m/s}$.

La recarga del sistema acuífero se realiza, principalmente, por las aguas que escurren por el río Illapel y el flujo propio de la napa subterránea ubicada bajo el lecho del río.

2.10 Informe Hidrogeológico y Diseño de Fuentes de Agua Potable Rural en Varias Localidades de la IV Región – Localidad de Limahuida. Hidrosan Chile Ingenieros Consultores, ESSCO S. A., 1999.

El objetivo principal de este estudio es la caracterización hidrológica e hidrogeológica de la localidad Limahuida. Dicha localidad se encuentra ubicada en la comuna de Illapel, a unos 13,5 km. en línea recta al Sur de la ciudad de Illapel.

La precipitación media anual es de 140 mm. El caudal medio anual correspondiente a una sección del río Choapa frente al poblado de Limahuida es de 6,54 m³/s.

El relleno fluvial moderno del río Chapa está constituido por una mezcla variada de gravas y arenas fluviales con poco contenido de finos y con una permeabilidad de 1,54 x 10⁻³ m/s.

La recarga del sistema acuífero se realiza, principalmente, por las aguas que escurren por el río Choapa y el flujo propio de la napa subterránea ubicada bajo el lecho del río.

2.11 Minuta Hidrogeológica Planta Santa Rosa de Salamanca. AC Ingenieros Consultores Ltda., ESSCO S. A., 1995.

El objetivo principal de este estudio es la evaluación del sistema de captación de agua potable de Salamanca. Para ello se ha efectuado una descripción hidrogeológica del sector y una cuantificación de los recursos hídricos disponibles.

La ciudad de Salamanca se localiza en la ribera Norte del río Choapa, en la comuna de Salamanca, Provincia de Choapa.

La información relevante para el presente estudio que se entrega en la minuta analizada corresponde a la cuantificación de recursos de agua subterránea.

De acuerdo a este estudio, el espesor del estrato superficial del acuífero es de 20 m y su transmisibilidad es de aproximadamente 1.000 m²/día. Suponiendo la pendiente de la napa igual a la del terreno, es decir 1,5%, y el ancho del valle como 1.000 m, de la ecuación de Darcy se obtiene que el caudal propio de la napa es de 173 l/s.

Adicionalmente, se presenta la información e interpretación de una prueba de recuperación realizada a la captación existente de agua potable de la planta Santa Rosa de Salamanca. De dicha prueba se concluye que la permeabilidad del acuífero es la siguiente:

$$K = 5,68 \times 10^{-4} [m/s]$$

2.12 Informe Hidrogeológico Zona Localidad Rural Tambo Viejo, Comuna de Salamanca, Provincia de Choapa. Ing. y Geotecnia Ltda., MOP – SENDOS, 1988.

El objetivo de este informe fue establecer las condiciones hidrogeológicas de la zona de Tambo Viejo y estimar el potencial de recursos de aguas susceptible de ser usados para el establecimiento de un servicio de agua potable.

La localidad de Tambo Viejo se ubica en la comuna de Salamanca, provincia de Choapa, a unos 25 km al Noroeste de la ciudad de Illapel.

Se identifican tres tipos de depósitos en el área de estudio, sedimentos fluviales antiguos (Qa), sedimentos fluviales recientes (Qr) y escombreras de faldeos de cerros (Qe).

La unidad Qa presenta baja permeabilidad, pequeño espesor potencial de explotación de sólo 3 a 5 l/s.

La unidad Qr presenta permeabilidad mediana a alta, espesores de 25 a 30 m y potencial de explotación de 10 a 30 l/s.

La unidad Qe presenta permeabilidad mediana hasta los 3 m de profundidad, sonde presentan acuíferos someros y modestos que son recargados por infiltración de canales de riego, donde existen. Bajo los 3 m esta unidad carece de expectativas acuíferas de algún interés.

2.13 Informe Hidrogeológico de San Agustín, IV Región, Provincia de Choapa. Agua Ingenieros Consultores Ltda., MOP – SENDOS, 1981.

San Agustín del río Chalinga se encuentra en la comuna de Salamanca, provincia de Choapa. Esta localidad se localiza en la hoya hidrográfica del río Chalinga, afluente del río Choapa.

El río Chalinga tiene un escurrimiento permanente, cuyo caudal medio anual alcanza a 0,79 m³/s, medido en la estación San Agustín.

Hidrogeológicamente, el sistema subterráneo del río Chalinga se encuentra enmarcado dentro de los sedimentos aluviales que han sido depositados por el río Chalinga.

En los rellenos fluviales del río Chalinga se reconoce la existencia de un acuífero que se ubica en los sectores superiores del paquete sedimentario. El espesor de esta estructura hidrogeológica se estima en unos 35 a 40 m.

La transmisibilidad se estima en unos 350 m²/día, y, estimando una pendiente de la napa de 1,5% y un ancho del valle de 500 m, se obtiene que el caudal potencial que escurre a través del acuífero es del orden de los 30 l/s.

2.14 Informe Hidrogeológico de El Tebal, IV Región, Provincia de Choapa. Agua Ingenieros Consultores Ltda., MOP – SENDOS, 1981.

El Tebal se encuentra en la comuna de Salamanca, provincia de Choapa. Esta localidad se localiza en la hoya hidrográfica del río Chalinga, afluente del río Choapa.

El río Chalinga tiene un escurrimiento permanente, cuyo caudal medio anual alcanza a 0,79 m³/s.

Hidrogeológicamente, el sistema subterráneo del río Chalinga se encuentra enmarcado dentro de los sedimentos aluviales que han sido depositados por el río Chalinga. A su vez, la quebrada Manquehua, principal tributario del río Chalinga, próxima a El Tebal, tiene un sistema hidrogeológico enmarcado en los sedimentos depositados por esa quebrada.

El acuífero del río Chalinga, en el área de El Tebal, presenta buena continuidad areal, exhibiendo contaminaciones de finos sólo hacia las vertientes del valle, donde tributan quebradas secundarias. La permeabilidad de esta unidad es buena, y no varía a lo largo y ancho del sector.

2.15 Informe Hidrogeológico de Cuncumén, IV Región, Provincia de Choapa. Agua Ingenieros Consultores Ltda., MOP – SENDOS, 1981.

Cuncumén se ubica en la comuna de Salamanca, provincia de Choapa. Esta localidad se localiza en la hoya hidrográfica del río Choapa, donde le tributa el río Cuncumén.

El río Choapa tiene un escurrimiento permanente, cuyo caudal medio anual alcanza a 8,25 m³/s.

Hidrogeológicamente, el sistema subterráneo del río Choapa se encuentra enmarcado dentro de los sedimentos aluviales que ha depositado este río en el fondo del valle.

En la zona de Cuncumén existen depósitos fluviales de los ríos Choapa, Cuncumén y Tencadán. Estos ríos han depositado en el sector un complejo conjunto de sedimentos, cuya potencia total se estima en más de 80 m.

En los primeros 30 a 40 m la permeabilidad es aceptable, pero, a medida que aumenta la profundidad, la permeabilidad disminuye debido a la contaminación de fracciones de limos y arcillas.

Debido a que en la cabecera del río Cuncumén se encuentra el yacimiento Pelambres, lo que implica un alto riesgo de contaminación de las aguas subterráneas, este estudio no ahonda en los antecedentes concernientes a la hidrogeología del sector.

2.16 Informe Hidrogeológico de Chuchiñi, IV Región, Provincia de Choapa. Agua Ingenieros Consultores Ltda., MOP – SENDOS, 1978.

Chuchiñi se encuentra ubicado en la comuna de Salamanca, provincia de Choapa. Esta localidad se localiza en la hoya hidrográfica del río Choapa.

El río Choapa tiene un escurrimiento permanente, cuyo caudal medio anual alcanza a 8,9 m³/s.

Hidrogeológicamente, el sistema subterráneo del río Choapa se encuentra enmarcado en rocas fundamentales cretácicas, sobre las cuales se han dispuesto sedimentos de granulometría gruesa y fina interestratificados. Los sedimentos gruesos conforman un acuífero en el sector más superficial y con un espesor de alrededor de 20 m. Este acuífero presenta una transmisibilidad de 600 m²/día y un coeficiente de almacenamiento estimado en 0,1.

2.17 Informe Hidrogeológico de Mincha Sur, IV Región, Provincia de Choapa. Agua Ingenieros Consultores Ltda., MOP – SENDOS, 1978.

Mincha Sur se encuentra ubicado en la comuna de Mincha, provincia de Choapa. Esta localidad se localiza sobre la ribera sur del río Choapa.

El río Choapa tiene un escurrimiento permanente, cuyo caudal medio anual alcanza a 4,2 m³/s en el sector.

Hidrogeológicamente, el sistema subterráneo del río Choapa se encuentra enmarcado en rocas fundamentales paleozoicas y jurásicas, sobre las cuales se han dispuesto sedimentos fluviales plio – pleistocénicos poco permeables, que conforman la base del sistema hidrogeológico. Dicho sistema se encuentra compuesto por sedimentos fluviales modernos con un espesor de alrededor de 20 m. Este acuífero presenta una transmisibilidad de 350 m²/día y un coeficiente de almacenamiento estimado en 0,1.

2.18 Informe Hidrogeológico de Asiento Viejo, IV Región, Provincia de Choapa. Agua Ingenieros Consultores Ltda., MOP – SENDOS, 1978.

Asiento Viejo se encuentra ubicado en la comuna de Illapel, provincia de Choapa. Esta localidad se localiza en la hoya hidrográfica del río Illapel.

El río Illapel mantiene un escurrimiento permanente, cuyo caudal medio anual alcanza a 2,99 m³/s en el sector.

Hidrogeológicamente, el sistema subterráneo del río Choapa se encuentra enmarcado en rocas graníticas mesozoicas, sobre las cuales se han dispuesto sedimentos aluviales que conforman el acuífero, con un espesor de alrededor de 26 a 28 m. Este acuífero se encuentra saturado, y presenta una transmisibilidad media de 1.200 m²/día.

2.19 Informe Hidrogeológico del Pueblo de Cárcamo, Provincia de Choapa – IV Región, DOS – Departamento de Estudios, 1977.

El pueblo de Cárcamo se localiza en el curso inferior del valle de la quebrada homónima y junto a su confluencia con el río Illapel. Está situado en una zona cuyos terrenos contienen rocas fundamentales, predominantemente graníticas, y donde las cubiertas de sedimentos corresponden a materiales meteorizados in situ de las mismas rocas, escombreras y depósitos fluviales antiguos y recientes.

Con excepción de los depósitos fluviales recientes, todos los materiales restantes son de escaso interés como acuífero.

Los sedimentos fluviales recientes del valle del río Illapel alcanzan un espesor de unos 30 m frente a Cárcamo. Este acuífero presenta niveles que varían considerablemente según la situación pluviométrica, es decir, se ubican casi en la misma superficie durante períodos con precipitaciones abundantes y tienden a deprimirse varios metros durante períodos secos.

2.20 Informe Hidrogeológico del Pueblo de Cuzcuz, Provincia de Choapa – IV Región, DOS – Departamento de Estudios, 1977.

El pueblo de Cuzcuz se extiende por la ribera norte del río Illapel, desde el límite urbano occidental de la ciudad hasta el puente El Peral.

Cuzcuz ocupa terrenos que están caracterizados, en el sector septentrional, por rocas fundamentales graníticas en partes cubiertas por sedimentos aluviales de quebradas que confluyen al río Illapel o por sedimentos fluviales cuaternarios antiguos asociados al río de referencia. El sector meridional queda tipificado por sedimentos cuaternarios recientes y ligados al cauce actual del Illapel.

Las rocas graníticas, los sedimentos aluviales de quebradas y el relleno fluvial antiguo del Illapel carecen de expectativas para mantener acuíferos interesantes.

Los sedimentos recientes del valle de Illapel, con espesor máximo de 40 a 45 m hacia el centro de dicho valle frente a Cuzcuz, mantienen acuíferos que son capaces de rendir 3 l/s permanentes durante períodos de sequía, y mucho más en el transcurso de años pluviométricamente normales.

2.21 Bibliografía Técnica sobre Recarga Artificial de Acuíferos

Se realizó una revisión de bibliografía técnica sobre el tema, seleccionándose algunos de los documentos revisados, los principales temas tratados en cada título son los siguientes:

- “Recarga Artificial de Acuíferos en Cuencas Fluviales. Aspectos Cualitativos y Medioambientales. Criterios Técnicos Derivados de la Experiencia en la Cubeta de Santiuste (Segovia)”. E. Fernández. Ecosistemas, Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente, Septiembre 2005.

Este trabajo fue desarrollado para comprobar la efectividad de la técnica de recarga artificial de acuíferos y estudiar sus ventajas e inconvenientes en un laboratorio experimental natural en España.

El autor concluye que en dicho país, aun cuando la plataforma legal para su aplicación es idónea, la recarga artificial de acuíferos está infrautilizada, en un estado incipiente o experimental, a diferencia de otros países del mundo, como Holanda, Estados Unidos, Australia, etc., donde es una actividad de primer orden.

- “Gestión de Recarga Artificial de Acuíferos como Práctica Alternativa a la gestión Hidráulica. El Proyecto DINA-MAR”. Congreso Nacional del Medio Ambiente – CONAMA 8.

Se exponen antecedentes del proyecto DINA-MAR, con objeto de determinar los acuíferos de España susceptibles para la recarga artificial. El programa, tras conocer el “estado del arte” a nivel mundial, ha desarrollado un proceso de cálculo, apoyado en una fuerte componente GIS, para determinar mediante análisis vectorial aquellos acuíferos más proclives para aplicar procesos de gestión de recarga artificial (Managed Aquifer Recharge o MAR). Para ello se consideraron más de 30 parámetros (p.ej. regadío con aguas subterráneas, cercanía a cauces fluviales, datos hidrológicos, climáticos, mapas hidrogeológicos, masas forestales, circunstancias socio-económicas, etc.).

Conocidas las zonas susceptibles, se determina el dispositivo más idóneos para alcanzar la máxima efectividad, en principio basándose en la técnica de escenarios análogos y adoptando unas “zonas piloto” en distintos tipos de acuíferos para realizar experimentos controlados de la eficiencia de los distintos dispositivos (superficiales, profundos, etc.).

Las actividades tienen un proceso de detección de impactos ambientales, bajo la máxima de planificar las actuaciones en el marco del desarrollo sostenible y en una adecuada política medioambiental, con especial consideración a los caudales ecológicos de los cauces fluviales de toma. Para ello se han diseñado indicadores medioambientales y se está estudiando cómo regenerar humedales degradados mediante operaciones MAR.

El proyecto DINA-MAR prevé una fase de desarrollo tecnológico para el diseño e implementación de dispositivos específicos, que permitan alcanzar unas tasas de infiltración altas, estudiar técnicas de tratamiento de suelo y acuífero (Soil and Aquifer Treatment o SAT), nuevos materiales y energías alternativas, tanto para la alimentación de los dispositivos como para la producción de energía eléctrica a pequeña escala.

- “Introducción a la Recarga Artificial de Acuíferos”. R. Fernández, Universidad Politécnica de Madrid, 2007.

Este documento presenta la definición y objetivos de la recarga artificial, analiza cuáles son los factores condicionantes del proceso de recarga, las que están dadas por las características: del agua de recarga, del acuífero receptor, de la hidroclimatología y de las condiciones ambientales del entorno.

Se definen los distintos dispositivos de recarga; superficiales, tanto en cauces como fuera de ellos y profundos.

Se describe la técnica de depuración de aguas mediante recarga y finalmente, se plantea la colmatación como el principal problema que presentan las instalaciones de recarga artificial.

- “La Recarga Artificial de Acuíferos: Técnicas de Divulgación y Educación Ambiental”. Tecnología y Desarrollo – Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Volumen IV, Año 2006.

La tesis del documento es que la divulgación y la educación ambiental juegan un papel estratégico muy importante para acercar la técnica de la recarga artificial de acuíferos a la población. Se plantea que el grado de conocimiento de la técnica es bastante bajo en la actualidad, al haber adquirido mayor popularidad los trasvases, y en menor medida, la desalación y la reutilización como principales métodos de gestión hídrica. En este artículo se presenta el estado de la cuestión de la educación ambiental y se proponen unas líneas de actuación para su aplicación, basadas en propuestas de estrategias de información, formación y divulgación, dirigidas a distintos sectores de la población agrupados en grupos homogéneos.

3 IDENTIFICACIÓN PRELIMINAR SECTORES CON POTENCIALIDAD DE RECARGA ARTIFICIAL

Al comienzo del estudio (Junio 2012) se realizó un proceso de revisión de imágenes satelitales (Google Earth) que permitió definir preliminarmente una serie de sectores que aparecían como favorables para recarga artificial.

El principal criterio utilizado para dicha selección fue que los sectores se ubicarán aguas abajo de los embalses (El Bato y Corrales en la cuenca del río Choapa y Culimo en la cuenca del río Quilimarí) y que se tratara de áreas vecinas al lecho de los cauces (Choapa, Illapel, Quilimarí y afluentes), donde se observase espacio disponible como para construir obras de recarga de acuíferos mediante dispositivos superficiales (lagunas de infiltración), que de acuerdo a las características del área y a la experiencia del Consultor en estudios similares, resultan más convenientes que los dispositivos de recarga profunda (pozos de inyección).

El total de sitios identificados fue de 12 (6 en la cuenca del río Choapa y 6 en la cuenca del río Quilimarí, Ver Figuras 3-1 y 3-2).

Posteriormente, durante la primera semana de Julio de 2012, se realizó un recorrido de las cuencas, para identificar nuevos sectores (se agregó uno en la cuenca del río Quilimarí) y para verificar las características y validar o desechar los sectores definidos preliminarmente.

3.1 Cuenca del Río Choapa

La cuenca del río Choapa cuenta con dos embalses para regular los recursos que se usan en riego, el embalse Corrales sobre el estero Camisas y el embalse El Bato sobre el río Illapel. Estas obras le dan seguridad de riego a las áreas agrícolas que abastecen y permiten que el proceso de recarga natural por excedentes de riego se produzca de manera relativamente estable y continua.

Si se considera además que desde el punto de vista del uso de las aguas subterráneas la cuenca está subexplotada y en general tiene un valle estrecho, con algunos angostamientos, que hacen más superficiales los niveles freáticos, generando incluso afloramientos en varios sectores, se puede afirmar que generar proyectos de recarga artificial en esta cuenca no parece necesario y no será sencillo, pues deben conjugarse varios factores, como por ejemplo: disponibilidad de aguas superficiales para ser infiltradas, disponibilidad de terrenos ribereños para emplazar las obras, capacidad de infiltración adecuada de los terrenos, niveles freáticos suficientemente profundos como para que las aguas infiltradas puedan ser recibidas en el acuífero y se mantengan como tales sin aflorar unos pocos metros aguas abajo.

En atención a lo señalado es que se ha realizado en esta etapa el recorrido de terreno para identificar sectores que cumplan al menos las condiciones físicas (disponibilidad de espacio)

para luego, en etapas posteriores del estudio, determinar mediante pruebas de terreno la capacidad de infiltración y mediante la modelación hidrogeológica, caracterizar el comportamiento que tendrían los diferentes sectores identificados frente a la recarga artificial.

En la Figura 3-1 se muestran los sectores visitados en la cuenca del río Choapa.

3.1.1 Sector Choapa 1

El sector Choapa 1 se ubica sobre el río Illapel, a la altura de la localidad de La Colonia, aproximadamente entre 3 y 9 km aguas arriba de la ciudad de Illapel. Corresponde a una franja de 200 m de ancho por 6200 m de largo.

El extremo de aguas abajo del sector corresponde a un badén sobre el río Illapel. El caudal en este sector era del orden de los 100 l/s. Aproximadamente 2 km aguas arriba hay otro cruce del río, donde el cauce es más ancho, esto se muestra en la Foto 1.

Foto 1
Río Illapel en camino a La Colonia



El inicio del sector (extremo de aguas arriba), se caracteriza por que el río presenta un caudal mayor.

Se identificó un área que podría tener las condiciones para implementar obras de recarga artificial. Se analizará la red de distribución a través de canales que se alimentan desde El Bato, para ver la factibilidad de comprar derechos y alimentar un futuro proyecto.

En la Foto 2 se aprecia uno de los canales que abastecen de riego los predios del sector.

Figura 3-1
Sectores de Interés para Proyectos de Recarga
Cuenca del Río Choapa

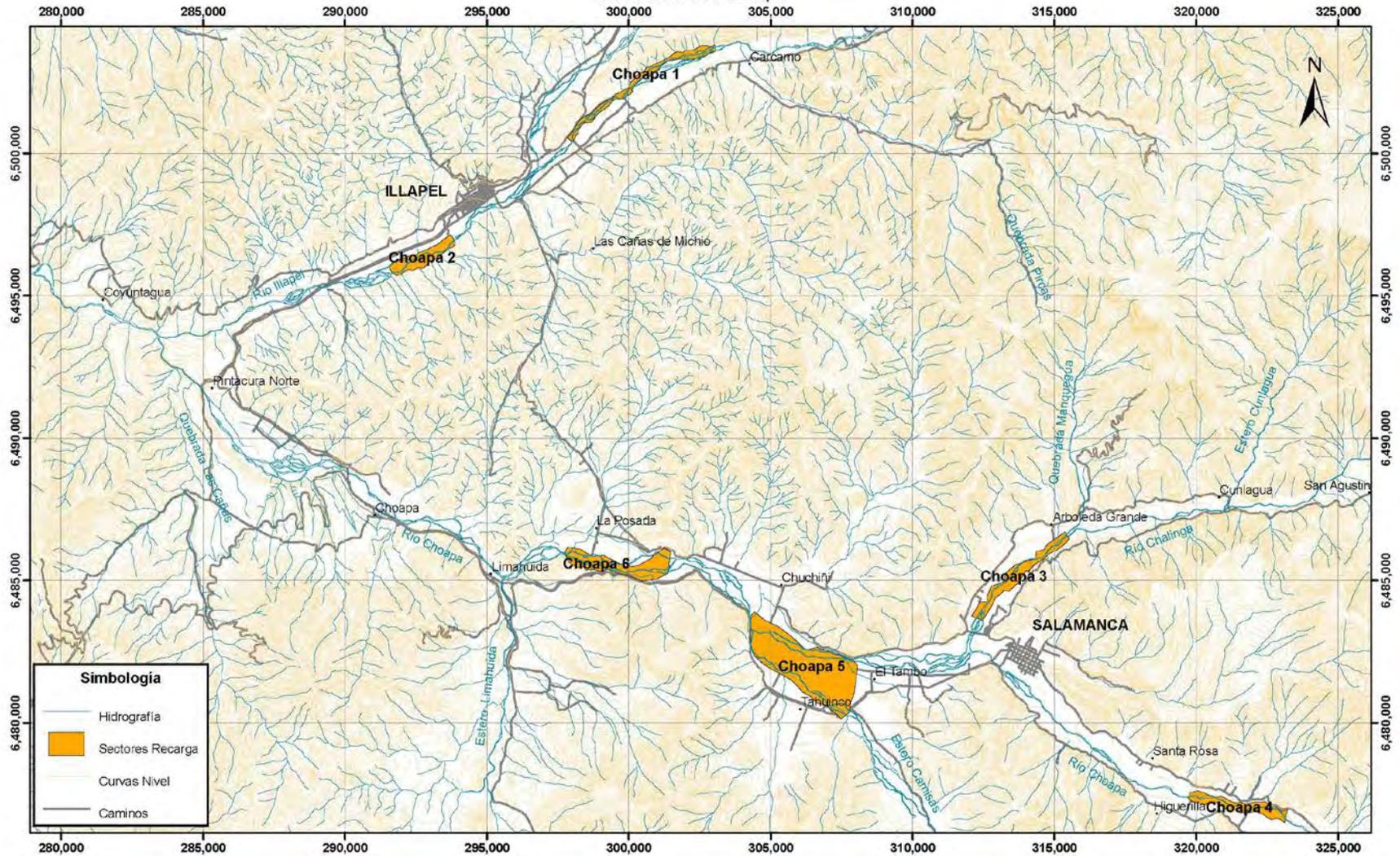


Foto 2
Canal de riego sector Choapa 1, cercano a La Colonia.



En la Foto 3 se observa el área señalada donde se podría implementar un proyecto de recarga artificial.

Foto 3
Área favorable para implementar proyecto de recarga artificial



La superficie del sector es de aproximadamente 300 m x 80 m.

En la Foto 4 se aprecia la zona donde se podría ubicar un proyecto en la ribera derecha y el área con parcelas y muchas laderas, en la ribera izquierda.

Foto 4
Área donde podría ubicarse un proyecto de recarga artificial
y parcelas en laderas de la ribera opuesta



En la Foto 5 se aprecia con más claridad las parcelas en laderas existentes en la ribera izquierda (sur) del río Illapel, frente a lo que se identificó como área favorable para implementar un proyecto de recarga artificial.

Foto 5
Parcelas en laderas de la ribera izquierda del río Illapel



Desde esta zona hasta el límite de aguas abajo del sector Choapa 1, se repite lo observado en cuanto a que las zonas aptas para recarga artificial (terrenos planos), están siendo utilizados en plantaciones con riego.

El sitio donde se ubicarían las obras corresponde a terrenos privados ubicados en la ribera derecha del río Illapel. En este sector se contempla realizar 2 pruebas de infiltración.

3.1.2 Sector Choapa 2

El sector Choapa 2 se ubica justo aguas abajo de la ciudad de Illapel y corresponde a una franja de entre 300 y 400 m de ancho y de 2400 m de largo, sobre el río Illapel, que se inicia en el puente Illapel 2.

Bajo el puente Illapel 2, el río presenta un caudal pequeño. En la ribera derecha, aguas arriba principalmente, se observa una zona de afloramientos.

Se identificó un sector apropiado para la instalación de obras de recarga artificial, justo aguas abajo del puente, en la ribera derecha, donde se aprecia un sector más ancho. La superficie disponible es del orden de 100 m x 100 m. Las obras quedarían protegidas. En las Fotos 6 y 7 se aprecia el cauce y el sector donde se podrían instalar las obras de recarga. En las Fotos 8 y 9 se aprecia el tipo de material existente.

Foto 6: Cauce río Illapel hacia aguas abajo, desde puente Illapel 2



Foto 7
Área favorable para implementar obras de recarga en ribera derecha,
justo aguas abajo del puente Illapel 2



Foto 8
Material representativo del sector donde se instalarían las obras



Foto 9

Material representativo del sector donde se instalarían las obras



Se requerirá chequear la información de niveles de napa en el sector (Planta Aguas del Valle).

Se deberá revisar la información de curvas de nivel para definir dónde podría ubicarse la toma para traer agua por canal hasta el área donde se instalarían las obras.

En este sector se contempla realizar 2 pruebas de infiltración.

La planta de agua potable de Aguas del Valle que se ubica en el sector (Planta Santa Herminia), capta mediante un dren perimetral no muy profundo, aproximadamente 3 m según el plantero, José Mellado. El dren funciona en general sin problemas, pero el rendimiento bajó en el año 2010, que fue un año seco.

El recinto se ubica aproximadamente entre 150 y 600 m aguas abajo del puente. El agua del río tiene una cota que no parece mucho menor al terreno en el sector. El cauce presenta mucha vegetación, como se aprecia en la Foto 10.

El río tiene caudal por aportes desde el embalse El Bato, que estaría entregando entre 600 y 1200 l/s.

Foto 10

Abundante vegetación en el cauce, frente al sector Pta. Aguas del Valle



Otra alternativa que se observa en el sector es utilizar las antiguas lagunas de estabilización que están sin uso en la planta de Aguas del Valle para infiltrar directamente desde ellas. Esto también requiere chequear los niveles de napa pues la tercera laguna (la de aguas abajo) presenta afloramientos, lo que indica que el nivel freático está muy superficial. En la Foto 11 se aprecia la laguna 1, mientras que en las Fotos 12 y 13 se aprecian las lagunas 2 y 3, respectivamente.

Foto 11

Laguna de Estabilización 1, Planta Santa Herminia – Aguas del Valle



Foto 12

Laguna de Estabilización 2, Planta Santa Herminia – Aguas del Valle



Foto 13

Laguna de Estabilización 3, Planta Santa Herminia – Aguas del Valle



Hacia aguas abajo, se observan parcelas, con buen abastecimiento de riego que sería atribuible a los aportes del embalse El Bato. Se observa agua en los canales de riego, siendo Julio y a pesar de que ha llovido poco.

Al final del tramo el material del lecho parece apto para la infiltración, sin embargo, la napa parece muy superficial, lo que se evidencia por la existencia de zonas húmedas. En la Foto 14 se aprecia el tipo de material del lecho en el tramo final del sector.

Otra alternativa de recarga en este sector sería implementar meandros en el lecho, pero tiene el inconveniente que el cauce no está bien definido, tal como se observa en la Foto 15, por lo que primero habría que definirlo, lo que requeriría un movimiento de tierras considerable.

Foto 14

Material del lecho en tramo final del sector



En las dos alternativas señaladas, los sitios donde se ubicarían las obras corresponden a terrenos privados ubicados en la ribera derecha del río Illapel.

Foto 15

Irregularidades en lecho del río Illapel, No hay un cauce bien definido



3.1.3 Sector Choapa 3

Corresponde a una franja de 4500 m de largo y aproximadamente 300 m de ancho sobre el estero Chalinga, que se ubica aguas arriba de la ciudad de Salamanca, entre Arboleda Grande y la confluencia con el río Choapa.

En el extremo de aguas arriba del sector se observa el lecho del estero Chalinga con un ancho suficiente como para implementar obras de recarga artificial, por lo que se puede pensar en construir un pretil que permita generar una zona de infiltración en los terrenos que se ubican entre las viñas existentes, el camino y el cauce, sobre la ribera derecha.

En la Foto 16 se observa la zona descrita.

Foto 16

Área favorable para proyecto, estero Chalinga, frente a Arboleda Grande



El sitio donde se ubicarían las obras corresponde a parte del lecho del estero Chalinga, es decir, serían terrenos fiscales ubicados en la ribera derecha del estero. En este sector se contempla realizar 2 pruebas de infiltración.

Hacia aguas abajo del sector, el cauce se presenta en condiciones similares aunque un poco más estrecho y con menos facilidades de acceso, por lo que se ha seleccionado este sector como el más favorable del área para implementar obras de recarga artificial.

3.1.4 Sector Choapa 4

Este sector corresponde a un tramo de 3500 m de largo y aproximadamente 300 m de ancho, sobre el río Choapa y sus riberas, que se ubica aguas arriba de la ciudad de Salamanca, entre la localidad de Panguecillo y la localidad de Higuierilla.

En el extremo de aguas arriba del sector se observa el río Choapa con un lecho de un ancho importante hacia la ribera izquierda. Luego, debido a la morfología de los cerros que se ubican en la ribera derecha, el río se desvía hacia la izquierda, dando origen a una zona que se observa apta para implementar obras de recarga artificial, la que además quedaría parcialmente protegida por la curva del cauce y la forma del cerro, por lo que requeriría menos obras de protección que si se ubicase en la ribera opuesta.

El sitio donde se ubicarían las obras correspondería a terrenos privados ubicados en la ribera derecha del río Choapa. En este sector se contempla realizar 2 pruebas de infiltración.

En la Foto 17 se observa la ribera izquierda del río Choapa y hacia el sur la localidad de Panguecillo y laderas con plantaciones.

Foto 17
Área identificada para proyecto de recarga artificial frente a Panguecillo
(Extremo derecho de la foto)



3.1.5 Sector Choapa 5

Este sector se ubica entre las localidades de El Tambo y Tahuinco, y corresponde a las áreas ribereñas del estero Camisas y del río Choapa.

El sector tiene una longitud de 4.500 m y un ancho total, incluyendo los dos cauces, de aproximadamente 1000 m.

En este sector, que se ubica justo antes del angostamiento donde se produce la confluencia del estero Camisas con el río Choapa, se observa todos los terrenos agrícolas con cultivos y plantaciones.

La condición que impone el angostamiento, en cuanto a hacer más superficiales los niveles de napa queda en evidencia al observar afloramientos que se producen en algunos pozos areneros existentes en la zona, especialmente en el lecho del río Choapa.

Hacia el poblado de Tahuinco, en la ribera del estero Camisas, se observa casi todos los campos cultivados, con la seguridad de las aguas que entrega el embalse Corrales. El estero presenta un cauce pequeño.

En la Foto 18 se observa un predio ubicado en la ribera izquierda del estero, justo aguas abajo del puente, que aparece como favorable para implementar obras de recarga artificial. La ubicación permite afirmar que las obras quedarán más seguras frente a eventuales crecidas.

El sitio donde se ubicarían las obras corresponde a terrenos privados ubicados en la ribera izquierda del estero Camisas. En este sector se contempla realizar 2 pruebas de infiltración.

Al observar el caudal del estero Camisas hacia aguas debajo de Tahuinco se observan incrementos importantes, esto confirmado que el extremo poniente del sector corresponde a un área de afloramientos.

Foto 18

Predio en ribera derecha del estero Camisas, aguas abajo del puente, cercano a Tahuinco



3.1.6 Sector Choapa 6

El sector Choapa 6, identificado preliminarmente sobre el río Choapa, frente a la localidad de La Posada, aproximadamente 15 km aguas abajo de la ciudad de Salamanca, se encuentra abajo de la zona de afloramientos del angostamiento donde confluyen el estero Camisas y el río Choapa, por lo que corresponde a una zona que no tiene condiciones como para implementar obras de recarga artificial.

3.2 Cuenca del Río Quilimarí

Esta cuenca, a diferencia de la del río Choapa, es muy deficitaria en recursos superficiales, principalmente por tratarse de una cuenca pluvial, por las bajas precipitaciones registradas en la zona, especialmente los últimos años y porque se han constituido derechos de aguas subterráneas, por caudales del orden de los 150 l/s en una cuenca evidentemente deficitaria, en captaciones que se ubican justo aguas arriba del embalse, sin considerar el efecto que ellos tienen sobre los flujos que alimentan el embalse.

El valle del río Quilimarí aguas abajo del embalse es bastante estrecho, con un cauce no muy desarrollado y numerosos angostamientos que generan pequeños acuíferos independientes que, cuando hay agua disponible, afloran al encontrarse con los macizos rocosos que se acercan a la superficie, incluso quedando a la vista en varios de ellos.

Desde el punto de vista de las condiciones del terreno para implementar obras de recarga artificial, la cuenca presenta características muy singulares. Tal como se indicó, los angostamientos generan sectores acuíferos independientes, por lo que las aguas recargadas tenderán a aflorar en el próximo angostamiento. Esto hace que el objetivo de la recarga de

acuíferos en este caso deba ser entendido en un sentido más amplio, cobrando importancia el hecho de retardar el flujo de las aguas de invierno hacia la zona costera, permitiendo disponer de ellas en el período donde el riego es más intenso.

Se ha realizado el recorrido de terreno y se identificó los sectores aptos para implementar obras de recarga. Sin embargo, en esta cuenca el problema principal es la disponibilidad de agua para recarga, que es lo que condicionará la factibilidad de los proyectos que serán elaborados.

En la Figura 3-2 se muestran los sectores visitados en la cuenca del río Quilimarí.

3.2.1 Sector Quilimarí 1

Corresponde a un tramo del río Quilimarí ubicado 650 m aguas abajo del embalse Culimo. Tiene una longitud de aproximadamente 500 m y un ancho medio de 100 m.

El área resulta apropiada para implementar obras de recarga artificial del tipo muro fusible, que podría ser uno o dos en serie, para retener los flujos superficiales que pudiese existir en el período invernal de algunos años húmedos, infiltrarlos y así retardar su desplazamiento hacia la zona costera, permitiendo su aprovechamiento en la temporada de riego.

El sitio donde se ubicarían las obras corresponde a parte del lecho del río Quilimarí, es decir, serían terrenos fiscales ubicados en la ribera izquierda del cauce. En este sector se contempla realizar 2 pruebas de infiltración.

En la Foto 19 se observa el sector descrito, y el muro del embalse Culimo, al fondo.

Figura 3-2
Sectores de Interés para Proyectos de Recarga
Cuenca del Río Quilimarí

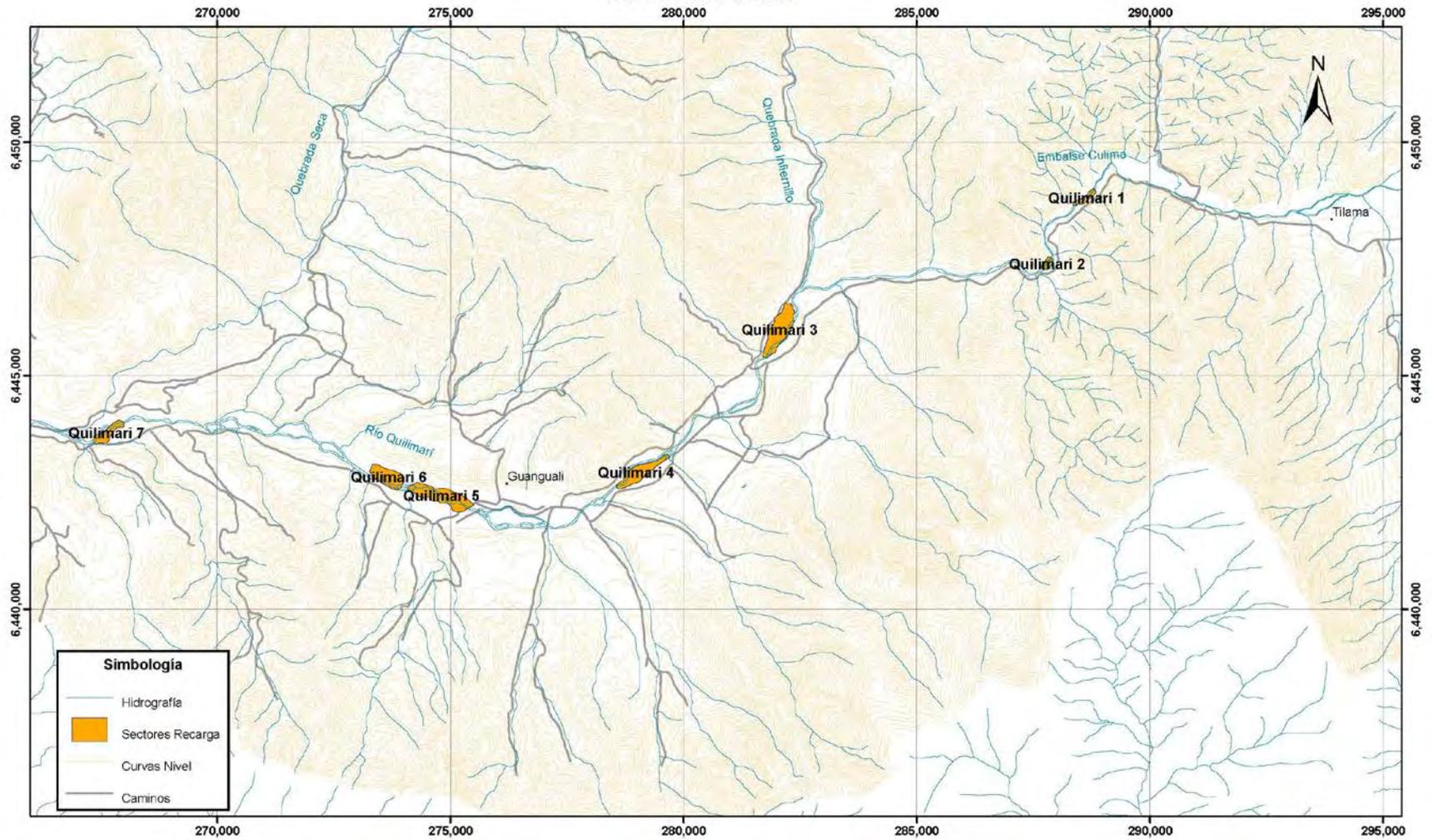


Foto 19

Sector favorable para implementar obras de recarga, aguas abajo del embalse Culimo



3.2.2 Sector Quilimarí 2

El sector Quilimarí 2 se ubica aproximadamente 1500 m aguas abajo del sector anterior, corresponde a un tramo de 300 m de largo por 150 m de ancho sobre el río Quilimarí.

Por condiciones morfológicas, el sector parecía apto para implementar obras de recarga, sin embargo, al analizar las condiciones de los terrenos que se ubican aguas abajo, se observa que a muy corta distancia hay un angostamiento, por lo que en caso de generarse la recarga, los volúmenes infiltrados tenderían a aflorar en dicho sector, perdiéndose el objetivo del proceso.

En la Foto 20 se observa el sector identificado preliminarmente y que luego de la visita a terreno fue descartado.

Foto 20
Sector y angostamiento aguas abajo



3.2.3 Sector Quilimarí 3

Este sector se ubica sobre el río Quilimarí, justo aguas abajo de la confluencia con la quebrada Infiernillo. Corresponde a un tramo de aproximadamente 1200 m de largo por 300 m de ancho.

En el sector, el material del lecho presenta cantos semiagudos, lo que indica que la permeabilidad del material no es tan alta como en sectores donde se observan cantos redondeados.

En este sector se podrían implementar obras de recarga artificial mediante la construcción de pretilos para generar lagunas de infiltración, en la ribera derecha del cauce del río Quilimarí.

En la Foto 21 se observa el sector descrito, desde la ribera izquierda.

El sitio donde se ubicarían las obras corresponde a parte del lecho del río Quilimarí, es decir, serían terrenos fiscales ubicados en la ribera izquierda del cauce. . En este sector se contempla realizar 2 pruebas de infiltración.

Foto 21

Sector favorable para implementar obras de recarga artificial, Quilimarí-Infiernillo



3.2.4 Sector Quilimarí 4

El sector identificado se ubica sobre el cauce del río Quilimarí, aproximadamente 4 km aguas abajo de la confluencia con la quebrada Infiernillo. Corresponde a una franja de 1300 m de largo por 150 m de ancho.

En este sector se observa el cauce cargado hacia la derecha, por lo que queda una superficie disponible que podría utilizarse para implementar obras de recarga en la ribera izquierda.

El área de proyecto se ubicaría en la zona baja del tramo ya que la zona media y de aguas arriba presenta un lecho estrecho. En el extremo de aguas abajo del sector, el cauce es un poco más ancho.

Se observa también una zona con plantaciones, que muestran un déficit de riego.

En las Fotos 22 y 23 se aprecia el sector descrito, visto desde aguas arriba y desde aguas abajo, respectivamente.

Aproximadamente 100 m aguas abajo del fin del sector identificado se observa un afloramiento rocoso, por lo que la recarga, de concretarse en este sector, tendería a aflorar rápidamente.

Foto 22

Sector identificado para implementar obras de recarga, visto desde aguas arriba.



Foto 23

Sector identificado para implementar obras de recarga, visto desde aguas abajo.



El sitio donde se ubicarían las obras corresponde a parte del lecho del río Quilimarí, es decir, serían terrenos fiscales ubicados en la ribera izquierda del cauce.

3.2.5 Sector Quilimarí 5

El sector identificado se ubica sobre el cauce del río Quilimarí, justo aguas abajo del badén de acceso a la localidad de Guangualí, por la ruta D-875 que une Quilimarí y Tilama. Corresponde a una franja de 1400 m de largo por 200 m de ancho.

En este sector se observa el cauce cargado levemente hacia la derecha, en el extremo de aguas arriba, por lo que queda una superficie disponible que podría utilizarse para implementar obras de recarga en la ribera izquierda. Hacia aguas abajo, el cauce es más disperso, presentando varios brazos que ocupan el ancho disponible.

En la Foto 24 se aprecia el área favorable para implementar obras de recarga artificial, en la ribera izquierda y el cauce del río Quilimarí, aguas abajo del badén de acceso a Guangualí.

El área de proyecto se ubicaría en la zona alta del tramo, justo aguas abajo del badén. El sitio donde se ubicarían las obras corresponde a parte del lecho del río Quilimarí, es decir, serían terrenos fiscales ubicados en la ribera izquierda del cauce.

3.2.6 Sector Quilimarí 6

El sector se ubica sobre el cauce del río Quilimarí, inmediatamente aguas abajo del sector Quilimarí 5 y corresponde a una franja de 800 m de largo por 300 m de ancho.

En este sector se observa el cauce cargado hacia la derecha, por lo que queda una superficie disponible que podría utilizarse para implementar obras de recarga en la ribera izquierda. Las riberas están aterrazadas, por lo que las obras a proyectar requerirían un volumen de excavación importante para generar una zona apta en cuanto a cotas.

En la Foto 25 se aprecia el área descrita. El sitio donde se ubicarían las obras corresponde a parte del lecho del río Quilimarí, es decir, serían terrenos fiscales ubicados en la ribera izquierda del cauce.

3.2.7 Sector Quilimarí 7

El último sector identificado se ubica sobre el río Quilimarí, 4,5 km aguas arriba de la desembocadura. El sector, cumple algunas condiciones (ubicación y disponibilidad de espacio), pero el material del lecho no parece tan apropiado, por lo que se contempla realizar una prueba de infiltración para verificar cómo es la capacidad de infiltración, comparativamente con las de los otros sectores identificados y en función de ello, mantenerlo o desecharlo.

El sitio donde se ubicarían las obras corresponde a parte del lecho del río Quilimarí, es decir, serían terrenos fiscales ubicados en la ribera izquierda del cauce.

Foto 24
Sector aguas abajo de Guangualí, ribera izquierda. Sector Quilimarí 5



Foto 25
Área favorable para implementar obras de recarga artificial. Sector Quilimarí 6



4 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

4.1 Catastro de Captaciones

Con el objetivo de generar información de niveles freáticos, se ha realizado un catastro de captaciones de aguas subterráneas en el área de estudio, específicamente en los sectores que se ubican aguas abajo de los embalses de riego en las cuencas de Choapa y Quilimarí.

Los catastros desarrollados han permitido obtener un registro de niveles, caudales y de las principales características de los pozos y norias existentes en la zona, resultados que se presentan en las Tablas 4.1-1 y 4.1-2 siguientes.

En los Planos N°1 y N°2 se presenta la ubicación de las captaciones catastradas en el área de interés de las cuencas de Choapa y Quilimarí, respectivamente.

La información recopilada a través de los catastros será utilizada en la etapa siguiente del estudio, como antecedentes para calibrar los modelos que permitirán evaluar la respuesta de los acuíferos a diferentes escenarios de recarga .

Como resultado de los catastros se puede señalar que se identificó un total de 315 captaciones de aguas subterráneas, distribuidas de acuerdo a lo que se indica:

Total Captaciones Choapa:	222
<u>Total Captaciones Quilimarí:</u>	<u>93</u>
Total Captaciones Catastradas:	315

Choapa:	Total Pozos:	49
	Total Norias:	172
	<u>Sin Inform.:</u>	<u>1</u>
	Total:	222

Quilimarí:	Total Pozos:	11
	Total Norias:	74
	<u>Sin Inform.:</u>	<u>8</u>
	Total:	93

Respecto a la situación de niveles estáticos, en el caso de la cuenca del Choapa, en la gran mayoría de las captaciones se midieron entre 0 y 5 m, registrándose sólo unos pocos casos específicos sobre dicho valor y hasta 15 m.

En el caso de Quilimarí, los niveles estáticos se ubican a profundidades que varían entre 1 y 18 m, mostrando más dispersión.

Tabla 4.1-1: Catastro de Capaciones de Aguas Subterráneas, Cuenca Río Choapa

Nº	Coords. UTM (WGS84)		Propietario	Nombre Predio	Ubicación	Tipo	Uso	Cota (msnm)	P. Perf. (m)	P. Hab. (m)	Diám (m)	Constructor	Año	Pot. Bomba	D. Imp.	Caudal	N.E.	N.D.
	E (m)	N (m)											Constr.	(HP)	(")	(l/s)	(m)	(m)
1	325149	6507121	BERTA VEGA VARAS - PRESIDENTA		SANTA VIRGINIA	N	P	958	15	15	2,2	COMITÉ APR	2005		2.5"			11,2
2	321490	6506774			LA CAPILLA	N	P	820	13	13	2	MOP	2009		2.5"			0,3
3	318412	6505093			LA CAPILLA	N	P	780	13	13	1,1	MUNICIPALIDAD	2006	10	2.5"			2,1
4	312436	6505875	JAIME VALLE CÁCERES - PRESIDENTE		HUINQUIL SUR	P	P	630	60	60	10"			3x3	2" - 2"			2,72
5	310192	6500247	ENTREVISTADO	PARCELA Nº179 - HIJUELA 5	QUEBRADA DE CARCAMO	N	R	775	4	4	1	INDAP	2006	1	1"			3,8
6	310107	6500275		HIJUELA 2	QUEBRADA DE CARCAMO	N	S/I	775	3	3	1,5	PROPIETARIO	1998	6,5	1"			2,61
7	310053	6500276	ENTREVISTADO	HIJUELA Nº1	QUEBRADA DE CARCAMO	N	P	786	2,5	2,5	3x2	PROPIETARIO	1996	0,5	1"			1,4
8	310032	6500275	ENTREVISTADO	HIJUELA Nº5	QUEBRADA DE CARCAMO	N	R	771	3	3	4x3	PROPIETARIO	1998		2"			1,9
9	310031	6500294	ENTREVISTADO	HIJUELA Nº5	QUEBRADA DE CARCAMO	N	P	772	3	3	1	PROPIETARIO	1990	0,5	1"			2,5
11	309073	6500563		HIJUELA Nº3	QUEBRADA DE CARCAMO	N	P	728	3	3	2x2	PROPIETARIO ANTERIOR	2006	2	1"			2,67
12	309053	6500627	MARIA MANTUPIL CALLUPAI	HIJUELA Nº3	QUEBRADA DE CARCAMO	N	P	728	3,5	3,5	3x2	PROPIETARIO	2012	0,5	1"			3,01
13	308826	6500673		HIJUELA Nº1	QUEBRADA DE CARCAMO	N	R	711	3	3	4x4	PROPIETARIO	2002		2"			1,77
14	308907	6500684	ENTREVISTADO	HIJUELA Nº2 - PARCELA Nº174 - LOTE A	QUEBRADA DE CARCAMO	N	R	713	4	4	1	INDAP	38609	1,5	1.5"	1,8		2,36
15	308902	6500708	ENTREVISTADO	HIJUELA Nº2 - PARCELA 174 - LOTE A	QUEBRADA DE CARCAMO	N	R	722	5	5	1	PROPIETARIO	1990	1	1.5"			2,5
16	308887	6500634	ENCARGADO	HIJUELA Nº1 - LOTE A	QUEBRADA DE CARCAMO	N	P	720	7	7	1,8	PROYECTO GOBIERNO	1995	2	1,5			5,1
17	308465	6500776	CARLOS ROJAS	PARCELA Nº173	QUEBRADA DE CARCAMO	P	SU	702	3	3	11"	PROPIETARIO	2009					1,84
18	308476	6500768	CARLOS ROJAS	PARCELA Nº173	QUEBRADA DE CARCAMO	N	P	710	3	3	0,5	PROPIETARIO		1	1"			1,96
19	308893	6500792	CARLOS ROJAS	PARCELA Nº173	QUEBRADA DE CARCAMO	N	R	703	3	3	0,5	PROPIETARIO	2008	1,5	2"			2,5
20	308365	6500950	JOEL NAVEA CEBRA		QUEBRADA DE CARCAMO	N	R	698	4	4	1	PROPIETARIO	2007	1,5	1"			2,1
21	308037	6501104	SILVANO MOYANO		QUEBRADA DE CARCAMO	N	R	704	5	0	1			1,5	1.5"			0,93
22	308029	6501140	SILVANO MOYANO		QUEBRADA DE CARCAMO	N	S/I	686	5	0	1							1,61
23	307929	6501121	VICTOR ROJA		QUEBRADA DE CARCAMO	N	S/I	685	4	4	0,6			1	1"			1,1
24	307875	6501129	TERESA MOYANO	HIJUELA Nº2	QUEBRADA DE CARCAMO	N	R	683	4	4	1	INDAP	2010	2	1,5			1,78
25	307737	6501316	ABRAHAM CASTILLO	PARCELA Nº172 - HIJUELA Nº8	QUEBRADA DE CARCAMO	N	P	672	2,5	2,5	1	PROPIETARIO	2006	1	1"			0,25
26	307011	6501379	GEORGINA HENRIQUEZ BAEZ	PARCELA Nº172	QUEBRADA DE CARCAMO	N	SU	634	0	0	1.70 x 1.50	PROPIETARIO	2006	0,5	1"			0,75
27	306912	6501412	JORGE HENRIQUEZ CONTRERAS	PARCELA S/N	QUEBRADA DE CARCAMO	N	SU	635	3	3	1	PROPIETARIO	2008					1,65
28	306653	6501523		PARCELA Nº172 - HIJUELA Nº2	QUEBRADA DE CARCAMO	N	R	622	3,5	3,5	5,74	PROPIETARIO	2003		1"			1,28
29	306261	6501666	SAIDA MARTÍNEZ Y LISLER ORREGO	PARCELA Nº170 - SITIO Nº2	QUEBRADA DE CARCAMO	N	R-SU	599	3	3	2 x 1	PROPIETARIO	1975		2"			0,25
30	305572	6501917	NEFTALI NAVEZ - PRESIDENTE		QUEBRADA DE CARCAMO	N	P	583	7	7	1,5	PROY. GOBIERNO	2000		1.5"			0,91
31	304281	6502929	MIGUEL ANGEL REBOLLEDO	PARCELA Nº157	QUEBRADA DE CARCAMO	N	R	510	6	6	2 x 5	PROPIETARIO	2006	10	2"			3,34
32	309819	6503983	HUMBERTO ALVAREZ	HACIENDA ILLAPEL PARCELA Nº12	HUINTIL NORTE	N	R-P	0	5	5	1	PROPIETARIO	1999	1,5	1" Y 2"			3,13
33	311351	6506146	LEONIDAS SALINA	PARCELA Nº23	HUINTIL NORTE	N	P	618	6	6	1	INDAP	2010	2	1"			3,01
34	309192	6504704	RENE SOTO OLIVARES	PARCELA Nº20	HUINTIL NORTE	N	SU	567	4	4	1,2	PROY. INDAP	2007					1,51
35	308055	6504478	PEDRO CASTILLO	PARCELA Nº16	HUINTIL NORTE	N	R-SU	541	5	5	1	PROPIETARIO	38525	1	1"			2,08
36	307349	6504110	JULIO CACERES	PARCELA Nº14	HUINTIL NORTE	P	R	534	10	10	10"	PROPIETARIO		2	1"			0,54
37	306717	6504003	EMILIANO MONTERO CASTILLO	PARCELA Nº10	HUINTIL NORTE	N	R	519	2	2	5 x 3	PROPIETARIO	2007	1,5	1"			0,56
38	306608	6503962	TEODORO BRAVO HUERTA	PARCELA Nº11	HUINTIL NORTE	N	R	519	3	3	1	PROPIETARIO	1995	1,5	1.5"			1,59
39	305840	6503861	ELBA BUGUEÑO FERNANDEZ	PARCELA Nº8	HUINTIL NORTE	N	R	505	3	3	2 x 2	PROPIETARIO	2006					2,5
40	305363	6503752	PROPIETARIO (INSCRITO)	PARCELA Nº6	HUINTIL NORTE	N	R-SU	496	3	3	3 x 2	PROPIETARIO	2009					0,72
41	305099	6503996	RAMON TAPIA SALINA	PARCELA Nº4	HUINTIL NORTE	N	R	459	3,5	3,5	1	PROPIETARIO	2005	2	1.5"			2,71
42	304931	6504054	HÉCTOR SALINA RAMIREZ	PARCELA Nº3	HUINTIL NORTE	N	R	496	4,3	4,3	1	PROPIETARIO	2004	1,5	1"			2,6
43	304438	6503963	HUGO MONTERO PIÑONES	PARCELA Nº1	HUINTIL NORTE	N	R	481	4	4	1	PROPIETARIO	2006	2	2"			1,5
44	303411	6503577	ELISEO VERGARA PEREZ - PRESIDENTE	TERRENO COMUN	CARCAMO	P	P	463	30	30	8"	COMITÉ	1978	10	4"	2,5		4,43
45	304646	6502607	GRACIELA CARDEMIL CABRERA	PARCELA Nº179 "SACURA"	CARCAMO	N	S/I	537	9	9	1,5	PROPIETARIO	2002					2,39
46	304368		JOSÉ CASTILLO	PARCELA Nº179 "SACURA"	CARCAMO	N	SU	513	3	3	1,2	PROPIETARIO	2002					3,05
47	304282	6503202	GRACIELA CARDEMIL CABRERA	PARCELA Nº179 "SACURA"	CARCAMO	N	SU	507	5	5	0,6	PROPIETARIO	2002					1,84
48	302411	6503344	LUIS AZOCAR RAMOS	PARCELA Nº146	CARCAMO	N	R-SU	453	4	4	2 x 3	PROPIETARIO	1979		3"			1,3
49	302498	6503045	LUIS AZOCAR RAMOS	PARCELA Nº146	CARCAMO	N	R-SU	469	5	5	1,2	PROPIETARIO	1979					4
50	301956	6502893	JUANA ESTAY	PARCELA STA. CAROLINA	CARCAMO	N	SU	447	3	3	40 x 3	PROPIETARIO	NS		3"			0,85
51	301899	6502822	JUAN POOLEY	PARCELA Nº142	CARCAMO	N	SU	444	6	6	1,2	PROPIETARIO	1992	4	1,5			1,12
52	301754	6503092	JUAN POOLEY	PARCELA Nº142	CARCAMO	N	SU	440	6	6	1,2	PROPIETARIO	1992					1,92
53	301165	6503027	JUANA ESPINOSA	PARCELA Nº141 - LOTE Nº1	LA COLONIA	N	SU	432	2,5	2,5	10 x 3	PROPIETARIO	2003					1,1
54	301360	6502834	JUANA ESPINOSA	PARCELA Nº141 - LOTE Nº1	LA COLONIA	N	SU	431	3	3	4 x 5	PROPIETARIO						0,41

INVESTIGACIÓN RECARGA ARTIFICIAL ACUÍFEROS CUENCAS DEL RÍO CHOAPA Y QUILIMARÍ

Nº	Coords. UTM (WGS84)		Propietario	Nombre Predio	Ubicación	Tipo	Uso	Cota (msnm)	P. Perf. (m)	P. Hab. (m)	Diám (m)	Constructor	Año	Pot. Bomba	D. Imp.	Caudal	N.E.	N.D.
	E (m)	N (m)											Constr.	(HP)	(")	(l/s)	(m)	(m)
55	301642	6502669	PASCUALA QUIROGA	PARCELA Nº141 - LOTE Nº13	LA COLINA	N	R	435	4	4	3 x 3	PROPIETARIO	2003		3"		1,51	
56	301327	6502624	MARIA MORENO	PARCELA Nº138	LA COLINA	N	SU	420	3	3	2 x 10	PROPIETARIO	2010		2"		0,89	
57	301309	6502620	ORLANDO NUÑEZ LOPEZ	PARCELA Nº138	LA COLONIA	N	R	426	2	2	30 x 2	PROPIETARIO	2010		2"		0,87	
58	300930	6502503	MARIA LEONOR ARAYA PALACIO	PARCELA Nº136	LA COLONIA	N	S/I	422	8	8	1	PROPIETARIO	1980		3		0,98	
59	301080	6502315	MARIA LEONOR ARAYA PALACIO	PARCELA Nº136	LA COLONIA	N	SU	425	3		3.80 x 5.20	PROPIETARIO	1980				1,27	
60	301275	6502422	INES CARVAJAL	PARCELA Nº137 - E	LA COLONIA	N	R-SU	425	6	6	1	PROPIETARIO	2005				2,85	
61	300869	6502249	AGROINDUSTRIA CHOAPA LTDA.	PARCELA Nº134	LA COLONIA	N	R	409	5	5	1,5	PROPIETARIO	1980	1	1"		1,52	
62	300924	6502194	AGROINDUSTRIA CHOAPA LTDA.	PARCELA Nº134	LA COLONIA	N	SU	415	3	3	1	PROPIETARIO	2008				1,02	
63	300410	6502008	AGRICOLA TAPIA BUGUEÑO	PARCELA Nº132 - B	LA COLONIA	N	R	413	2,5	2,5	5 x 20	PROPIETARIO	1970		2"		0,91	
64	300383	6501869	JOSEFINA TORDECILLOS	PARCELA Nº132-A	LA COLINA	N	R-SU	410	3	3	10 x 3	PROPIETARIO	1991		2"		0,81	
65	299592	6501600	MARCELINO ALVARADO QUIROGA	PARCELA Nº123 - LOTE 3	LA COLINA	N	R-SU	400	3	3	3 x 4	PROPIETARIO	2010		3"		0,37	
66	299609	6501513	GERARDO ALVARADO	PARCELA Nº123 - LOTE 2	LA COLONIA	N	R-SU	396	1,5	1,5	1	PROPIETARIO	2005				0,53	
67	299716	6501900	NIVALDO ALVIÑA	PARCELA Nº124 - LOTE B	LA COLONIA	N	R	401	3	3	5 x 8	PROP. ANTERIOR			3"		0,1	
68	299852	6501524	EDUARDO LOPEZ	PARCELA Nº124	LA COLONIA	N	R	406	4	4	5 x 5	PROPIETARIO	2011		3"		0,23	
69	300022	6501578	EDUARDO LOPEZ	PARCELA Nº124	LA COLONIA	N	SU	409	8	8	10 x 5	PROPIETARIO	1970				0,23	
70	299380	6501343	ERMELINDA AGUILERA CORTES	PARCELA Nº122	LA COLONIA	N	R	397	4	4	2 x 2	PROPIETARIO	2006	1,5	2"		2,12	
71	299273	6501251	PEDRO FLORES	PARCELA Nº121	LA COLINA	N	R-SU	392	3	3	3 x 3	PROP. ANTERIOR					0,41	
72	299006	6501034	PROPIETARIO	PARCELA Nº120 - H. 2	LA COLONIA	N	SU	375	3	3	10 x 3	PROPIETARIO	2008				0,56	
73	298897	6500746	HANS WUNTENFELD	PARCELA Nº49	LA COLONIA	N	SU	384	4	4	2	PROPIETARIO	1980				0,67	
74	299152	6500811	RENAN FUENTEALBA	PARCELA Nº50	LA COLONIA	N	R	386	3	3	6 x 6	PROPIETARIO	1999	5,5	2"		1,2	
75	299023	6500709	RENAN FUETEALBA	PARCELA Nº50	LA COLONIA	N	SU	378	3	3	3 x 3	PROPIETARIO	1999	1,5	1,5		0,47	
76	298972	6500703	HANS WUSTENFELD	PARCELA Nº49	LA COLONIA	N	SU	390	2	2	10 x 5	PROPIETARIO	1985				0,52	
77	299537	6501837				P	S/I	395			11"							
78	298713	6500543	ELIANA QUIJANES	HIJUELA Nº1 - LA COLONIA	LA COLONIA	N	S/I	375	3	3	1,5	PROPIETARIO	1995	0,5	1"		2,1	
79	297572	6499891	RENAN GALVES	PARCELA Nº3	LA COCINERIA	N	P	361	3	3	2 x 1	PROPIETARIO	2006	1,2	1"		1,2	
80	297379	6499716	SALVADOR DABED	PARCELA Nº2	LA COCINERIA	N	R	352	6	6	1	PROPIETARIO			1"		3,24	
81	297188	6499441	CARMEN PALACIOS	SITIO S/N	LA COCINERIA	N	P	398	8	8	1	PROPIETARIO	1990	1	1"		3,46	
82	298271	6500766	MARIO RAMOS	PARCELA Nº46	LA COLONIA	N	SU	375	3	3	5 x 10	PROPIETARIO	NS				0,62	
83	298519	6500406	MARIO RAMOS	PARCELA Nº46	LA COLONIA	N	R-SU	379	3	3	5 x 12	PROPIETARIO ANTERIOR	1982				0,71	
84	298163	6500293	WILDO MOYANO	PARCELA Nº44	LA COLONIA	N	R-SU	375	3	3		PROPIETARIO	1980					
85	297947	6500174	JUAN TAPIA	PARCELA Nº4 - LOTE Nº1	LAS COCINERIAS	N	R	369	3	3	20 x 5	PROPIETARIO			3"	2	0,71	
86	297012	6499210	ELIN ROSAS DIAZ	PARCELA Nº1	LAS COCINERIAS	N	P-SU	361	2	2	150 x 150	PROPIETARIO	1985	0,5	1"		0,78	
87	296814	6499158	ELIN ROSAS DIAZ	PARCELA Nº1	LAS COCINERIAS	N	SU	343	6	6	1,5	PROPIETARIO	2008				1,17	
88	296690	6499169	ELIN ROSAS DIAZ	PARCELA Nº1	LAS COCINERAS	N	SU	333	6	6	2	PROPIETARIO	2007		2"		1,57	
89	295121	6498044	CAMPING MUNICIPAL LOS PIMIENTOS		ILLAPEL	N	R-P	324	2	2	0,6	PROYECTO MUNICIPAL	2011	2	1"		0,8	
90	295505	6498617	CLUB DE RODEO CHILENO ILLAPEL	SITIO S/N		N	O	324	3	3	0,8	PROPIETARIOS	2008		2"		2,09	
91	295697	6498576	LORENZO GONZALEZ	RIVERA DEL RIO NORTE S/N	RIVERA DEL RIO NORTE	N	O	326	3	3	6 x 5	PROPIETARIO		0,5	1"		1,11	
92	295735	6498613	ESTADIO MUNICIPAL RAMON MOUCHO VEGA	RIVERA NORTE S/N		N	R	327	5	5	5 x 3		2000		2"		3,56	
93	294126	6497771	CLUB DE TENIS ILLAPEL	ÁLVAREZ PÉREZ S/N	CENTRO	N	R-O	301	3	3	0,7	PROPIETARIO	2005	1	1"		3,08	
94	293779	6497405	MARGARITA OPAZO	PARCELA LA VEGA LOTE Nº5	CENTRO	N	R	296	2,5	2,5	2 x 2	PROPIETARIO	2002		3		0,61	
95	293542	6497470	LINDON AGUILERA	FUNDO EL MIRADOR	ILLAPEL	N	R	297	6	6	10 x 10	PROPIETARIO	1960		8"	8	0,2	
96	293576	6497325	LINDON AGUILERA	FUNDO EL MIRADOR	ILLAPEL	N	R	290	3	3	3 x 25	PROPIETARIO	1990		3"			
97	293633	6497294	LINDON AGUILERA - AGUAS DEL VALLE	FUNDO EL MIRADOR	ILLAPEL	N	P	294	10	10	2	ESSCO	2000		1"		3,89	
98	292974	6499888	AGRICOLA ENTRE CERROS LTDA.	FUNDO QUILLAGUE LOTE Nº1	QUILLAGUE	P	R-SU	389	39	39	10"	PROPIETARIO	2004	16	2"	2,4	5,56	
99	292856	6500285	AGRICOLA ENTRE CERROS LTDA.	FUNDO QUILLAGUE LOTE Nº1	QUILLAGUE	P	SU	404	39	39	10"	PROPIETARIO	2004		2"	1,6	5,79	
100	292713	6500517	AGRICOLA ENTRE CERROS	FUNDO QUILLAGUE LOTE Nº1	QUILLAGUE	P	SU	418	39	39	10"	PROPIETARIO	2004					
101	293032	6499750	AGRICOLA ENTRE CERROS LTDA.	FUNDO QUILLAGUE LOTE Nº1	QUILLAGUE	P	SU	382	39	39	8"	PROPIETARIO	2008	10	3"	1,4	6,92	
102	292241	6500014	AGRICOLA ENTRE CERROS	FUNDO QUILLAGUE LOTE Nº1	QUILLAGUE	P	SU	421	30	30	8"	PROPIETARIO	2004	10	3"			19,97
103	292345	6499947	AGRICOLA ENTRE CERROS LTDA.	FUNDO QUILLAGUE LOTE Nº1	QUILLAGUE	P	S/I	421	39	39	8"	PROPIETARIO	2004	10	3"			15,96
104	290721	6495782	CARLOS JIMENEZ JIMENEZ	HIJUELA Nº26	CUZ CUZ	N	R	257	5	5	6 x 5	PROPIETARIO	1980		2"		0,25	
105	300279	6501685	IGNACIO MILET MORALES	AGRICOLA HIJUELAS LAS CASAS	LA COLONIA	N	R	410	6	6	1,5	PROPIETARIO	1997	3	3"		1,02	
106	300327	6501767	IGNACIO MILET MORALES	AGRICOLA HIJUELA LAS CASAS	LA COLONIA	N	R	412	5	5	1,5	PROPIETARIO	1999	3	3"		0,39	
107	300274	6501812	IGNACIO MILET MORALES	AGRICOLA HIJUELA LAS CASAS	LA COLONIA	P	R-SU	415	32	32	8"	PROPIETARIO	1999			12	1,92	
108	300261	6502285	IGNACIO MILET MORALES	AGRICOLA HIJUELA LAS CASAS	LA COLONIA	N	SU	415	4	4	3 x 5	PROPIETARIO	2000				0,95	

INVESTIGACIÓN RECARGA ARTIFICIAL ACUÍFEROS CUENCAS DEL RÍO CHOAPA Y QUILIMARÍ

Nº	Coords. UTM (WGS84)		Propietario	Nombre Predio	Ubicación	Tipo	Uso	Cota (msnm)	P. Perf. (m)	P. Hab. (m)	Diám (m)	Constructor	Año	Pot. Bomba	D. Imp.	Caudal	N.E.	N.D.
	E (m)	N (m)											Constr.	(HP)	(")	(l/s)	(m)	(m)
109	300023	6502055	IGNACIO MILET MORALES	AGRICOLA HIJUELA LAS CASAS	LA COLONIA	N	R	409	5	5	1,5	PROPIETARIO	1997	5,5	4"		0,69	
110	300034	6501621	IGNACIO MILET MORALES	AGRICOLA HIJUELA LAS CASAS	LA COLONIA	N	R-SU	407	4,5	4,5		PROPIETARIO	2000			3		
111	292942	6496797	CARLOS ÑIGUEZ		CUZ CUZ	N	R	287	2	2	10 x 3	PROPIETARIO	2009		2"		0,61	
112	293390	6497121	MARCELO BUGUEÑO	PUNTILLA AZUL S/N	CUZ CUZ	N	R-SU	292	2	2	15 x 4	PROPIETARIO			3"			
113	291943	6496471	PEDRO TRIGO GUTIERREZ	HIJUELA Nº7	CUZ CUZ	N	R	273	7	7	1,5	PROPIETARIO	1997		2"		3,69	
114	292060	6496573	VICTOR NASER Y FELIPE NASER	PARCELA LAS MERCEDES	CUZ CUZ	N	R	283	7	7	1,5	PROPIETARIO	1984		3"		5,51	
115	291812	6496310	JULIO ARAYA PIZARRO	VILLA LOS LEONES	CUZ CUZ	N	R	273	7	7	0,8	PROPIETARIO	2008	1	1"		5,23	
116	291335	6496805	MARCOS BUGUEÑO		CUZ CUZ	N	R	271	7	7		PROPIETARIO	2010	1	1"			
117	291787	6496800	INIA CENTRO EXPERIMENTAL CHOAPA	PARCELA SAN RAFAEL S/N	CUZ CUZ	N	S/I	269	5	5	1,8						3,8	
118	291351	6496139	GABRIEL PEÑA	HIJUELA Nº54	CUZ CUZ	N	P	261	5	5	1,5	PROPIETARIO	1998		2"		3,27	
119	291231	6496000	ANTONIO FERREIRA	PARADERO 6	CUZ CUZ	N	R	259	6	6	2 x 2	PROPIETARIO	1982		3"		1,17	
120	291218	6496391	JACINTO ARAYA	SITIO Nº41	CUZ CUZ	N	R-SU	276	5	5	1,5	PROPIETARIO	2007		2"		4,1	
121	291231	6496375	ANTONIO FERREIRA	SITIO Nº53	CUZ CUZ	N	SU	266	5	5	1	PROPIETARIO	NS				3,75	
122	294166	6497799	MUNICIPALIDAD DE ILLAPEL	AV. TARCICIO VALDERRAMA Nº335	ILLAPEL	N	SU	307	6	6	1	MUNICIPALIDAD	2000				2,71	
123	293960	6497867	MUNICIPALIDAD DE ILLAPEL	AV. TARCICIO VALDERRAMA Nº335	ILLAPEL	N	R	311	6	6	1	MUNICIPALIDAD	2000		2"		2,61	
124	290686	6495807	ALDO BRITO JIMENEZ	HIJUELA Nº26	CUZ CUZ	N	P-SU	257	3	3	0,4	PROPIETARIO	2012				1,32	
125	290703	6495852	ARNALDO OLIVARES	HIJUELA	CUZ CUZ	N	R	254	4	4	6 x 4	PROPIETARIO	2008				0,41	
126	290689	6495865	RAUL OLIVARES	HIJUELA Nº25	CUZ CUZ	N	R	259	4	4	6 x 4	PROPIETARIO	2002		2"		0,81	
127	291998	6495785	ALEJANDRA MAGGIOLLO	PARCELA CAMINO LARGO	BELLAVISTA	N	R	268	6	6	1,5	PROPIETARIO	2000		3"		1,21	
128	292269	6495868	ALEJANDRA MAGGIOLLO	PARCELA CAMINO LARGO	BELLAVISTA	N	SU	271	5,5	5,5	1,5	PROPIETARIO	1994				1,51	
129	291143	6495881	MIGUEL GONILLA GARCÍA	PARADERO Nº6	CUZ CUZ	N	R-SU	261	3	3	1,5	PROPIETARIO	2004		3"	11,5	0,91	
130	291104	6496026	MIGUEL GONILLA GARCIA	PARADERO Nº6	CUZ CUZ	N	R	269	3	3	0,5	PROPIETARIO	1993	2	1"	2	2,4	
132	284645	6494132	MANUEL ARAYA FABRES	EL MAITEN	QUEBRADA LOS MOLLES	N	P-SU	214	4,5	4,5	1	OPERADOR	2008					
133	290069	6495343	CLAUDIO AVEGGIO PEIRANO	PARCELA Nº32 A	EL MAITEN	N	SU	238	4	4	1,5	PROPIETARIO	2003	256 KW	2"			
134	289997	6495383	CLAUDIO AVEGGIO PEIRANO	AGROINDUSTRIAS LAS CARDAS	EL MAITEN	N	R-SU	241	4	4	1,5	PROPIETARIO	2003	2.55 KW	2.5"		1,74	
135	290068	6495438	CLAUDIO AVEGGIO PEIRANO	AGROINDUSTRIAS LAS CARDAS PARC. Nº32 A	EL MAITEN	P	SU	240	30	30	6"	PROPIETARIO	2003	0				
136	290141	6495352		AGROINDUSTRIAS LAS CARDAS PARC. Nº32 A	EL MAITEN	P	SU	241	30	30	6"		2003	0				
137	290248	6495279	ANTONIO KARMY KARMY	PARCELA Nº32 B	EL MAITEN	N	R	245	4	4	1,5	PROPIETARIO	2003	10.5	4"		2,39	
138	291265	6495428	REBECA ESCOBAR MACULADA	PARCELA Nº32	EL MAITEN	N	R-SU	259	6	6	1,5	PROPIETARIO	2003				2,32	
139	291309	6495496	REBECA ESCOBAR	PARCELA Nº32 C	EL MAITEN	N	SU	259	6	6	1,5	PROPIETARIO	2003				2,21	
140	288157	6495126	JOSE MARDONES	PARCELA Nº14 LOTE Nº2	MAITEN	N	SU	224	3	3	3 x 2	PROPIETARIO	1980					
141	283625	6493551	POZO DE J. WENKE,	PARCELA Nº1	MAITEN 1	P	SU	159	23	23	8"	JUAN WENKE	2002				2,8	
143	283627	6493526	FAMILIA PASTEN HERRERA			N	SU	161	2	2	6 x 4	PROPIETARIO	2007					
144	281463	6494894	APR COYUNTAHUA NORTE		COYUNTAHUA NORTE	N	P	151	6	6	0,8	PROYECTO APR	1993	2	1.5"		4,02	
145	281785	6498552	CARMEN OLMOS GONZALEZ	COYUNTAHUA NORTE S/N	COYUNTAHUA NORTE	N	P	151	5	5	0,8	PROPIETARIO	2002	1	1"		3,61	
146	281793	6494504	PEDRO VICTORIANO OSANDON TAPIA	SITIO S/N	COYUNTAHUA NORTE	N	R	156	5	5	0,8	PROPIETARIO	1995		2"	0,8	3,31	
147	289008	6494500	PEDRO FLORES	AGRICOLA FLORES	EL MAITEN	P	R	278	25	25	8"	PROPIETARIO	2009	1.5	2"		3,4	
148	285227	6493546	FAM. ARAYA ROJO, EX PROP. P. ARAYA B.	PARCELA Nº3	EL MAITEN BELLAVISTA	N	P-SU	194	3	3	8 x 3	PROPIETARIO	2004				0,66	
149	287079	6493187		AGRICOLA MARIO AMALIA	BELLAVISTA	N	P	296	6	6	1,5	PROPIETARIO		2	1"			5,41
150	287098	6493136				N	R	291	5	5	10 x 3				2.5"		2,44	
151	287068	6493127				N	S/I	288	5	5	5 x 5				2,5		2,65	
152	287106	6493464	MARIA RAMIREZ DUQUE	HACIENDA BELLAVISTA PARCELA Nº6	BELLAVISTA	N	SU	277	12	12		PROPIETARIO	2008			3	8,2	
153	287199	6493333				N	R	285	6	6		PROPIETARIO	1997	2	1"		3,71	
154	291441	6488110	PRESIDENTA FRESIA CORNEJO	PARCELA Nº19	PINTACURA S/N	P	P	245	30	30	10"	PROY. GOBIERNO	2007	3	3"	1,6	SELL.	
155	286005	6493958	FRANCISCO ASTUDILLO	PARCELA Nº21 LOTE NºB	EL MAITEN	N	R-SU	196	4	4	4 x 5	PROPIETARIO	2000		3"		3,01	
156	286804	6493677	JOSE ESQUIVEL SAAVEDRA	PARCELA Nº22	EL MAITEN	N	R	254	4	4	1,5	PROPIETARIO	2007	1	2"	3		
157	286293	6494123	JOSE ESQUIVEL SAAVEDRA	PARCELA Nº22	EL MAITEN	N	R	197	3	3	6 x 4	PROPIETARIO	2007		3"		0,47	
158	286759	6494528	JORGE MARQUEZ ASTUDILLO	PARCELA Nº24	EL MAITEN	N	R	205	2	2	4 x 8	PROPIETARIO	1976	1.5	1.5"		0,96	
159	286515	6494330	JORGE MARQUEZ ASTUDILLO	PARCELA Nº24	EL MAITEN	N	SU	204	3	3	3 x 3	PROPIETARIO	2004				1,61	
160	296663	6499990	CARLOS CALLEJAS	K 1	LA PUNTILLA NORTE	N	I	351	10	10	2.2	PROP ANTERIOR		4	4"	5	3.56	
161	296656	6499433	MINERA LA PUNTILLA S.A.	K 1	LA PUNTILLA NORTE	N	SU	340	8	8	5 x 5	PROPIET. ANTERIOR				7,5		
162	296591	6499383	MINERA LA PUNTILLA S.A.	K 1	LA PUNTILLA NORTE	N	SU	344	7	7	5 x 5			0		7,5		
163	300341	6506096	DESIDERIO ALVAREZ JIMENEZ	ZAPALLAR S/N	ZAPALLAR AUCO	N	R	425	14	14	7 x 20	PROPIETARIO	2003	1.5	1.5"	1,5	7,98	
164	298398	6502584	HERNAN JORQUERA GONZALEZ		AUCO	P	I	400	2	2	10"	PROPIETARIO	2008	1.5	2 x 3"		1,1	

INVESTIGACIÓN RECARGA ARTIFICIAL ACUÍFEROS CUENCAS DEL RÍO CHOAPA Y QUILIMARÍ

Nº	Coords. UTM (WGS84)		Propietario	Nombre Predio	Ubicación	Tipo	Uso	Cota (msnm)	P. Perf. (m)	P. Hab. (m)	Diám (m)	Constructor	Año Constr.	Pot. Bomba	D. Imp.	Caudal	N.E.	N.D.
	E (m)	N (m)												(HP)	(")	(l/s)	(m)	(m)
165	288054	6494900	JUAN WEIKE WILIAMS	PARCELA Nº14	EL MAITEN	N	R	221	5	5	1,5	PROPIETARIO	2000	50	8"	2,6	1,2	
166	285839	6494018	JUAN WENKE WILIAMS	PARCELA Nº6	EL MAITEN	P	SU	187	28	28	10"	PROPIETARIO	2002	5	2.5"	3	4,3	
167	285749	6493954	JUAN WENKE WILIAMS	PARCELA Nº6	EL MAITEN	P	R-SU	186	14	14	10"	PROPIETARIO	2002	5	2.5"	18	3,2	
168	300088	6486166	PRESIDENTA ELISA BEOMONTE	BIEN COMUN GRAL. Nº1	PERALILLO	P	P	340	30	30	8"	ESSCO	1996	5.50 KW	3"	3	5,43	
169	299055	6488186	TOMAS RIVADENEIRA VALENCIA		ILLAPEL	N	P	396	11	11	2,7	COMITÉ	2000	5.50 KW	3"	5	3,78	
170	304932	6484656	JAIME MARTÍNEZ VEGA	PARCELA Nº6	CHUCHINI	P	P	393	50	50	10"	SENDOS	NS		3"		13,85	
171	305204	6483976	SUCECIÓN VICTOR VEGA	PARCELA Nº3			SU	395									SECO	
172	320999	6487666	PRESIDENTE JUAN CARLOS VIVANCO		CUNCAGUA	P	P	768	40	40	8"	COMITÉ APR	1990	12.5	3"			17,78
173	320677	6487474	PRESIDENTE JUAN CARLOS VIVANCO		CUNLAGUA SALAMANCA	P	SU	750	35	35	8"	PROY. GOBIERNO DOH	2012					
174	319788	6487203	JUAN CARLOS VIVANCO	SITIO	HUANQUE	P	P	725	40	40	8"	COMITÉ	2000	2	2"	5		8,68
175	315944	6487988	EX GENARDO TORO - JORGE ORELLANA	PLANTA SANTA FLORENCIA	MANQUEHUE	N	SU	649	18	18	3 x 3	PROPIETARIO					5,21	
176	314167	6485366	VALE VICTORIANO ORREGO	SITIO Nº39	CANCHA BRAVO	N	R-SU	558	7	7	1 x 1	PROPIETARIO	2008				4,37	
177	299716	6486041	CESAR NAGER	S. AGRIC. AGROSERVICIO CALLE LARGA P. 10	PERALILLO	N	R	333	8	8	1,5	PROPIETARIO		12.5	2"		3,2	
178	299706	6486050		S. AGRIC. AGROSERVICIO CALLE LARGA P. 10	PERALILLO	N	SU	329	5	5	1,5	PROPIETARIO					3,71	
179	299400	6486118	CESAR NAGER	S. AGRIC. AGROSERVICIO CALLE LARGA P. 10	PERALILLO	N	SU	328			1,5	PROPIETARIO		3	3"		1,81	
180	299149	6486012		S. AGRIC. AGROSERVICIO CALLE LARGA P. 10	PERALILLO	N	R-SU	321	6	6	1,5	PROPIETARIO					3,31	
181	300223	6486137		S. AGRIC. AGROSERVICIO CALLE LARGA P. 6	PERALILLO	N	R-SU	333	6	6	1,5	PROPIETARIO					1,9	
182	300786	6485815	CESAR NAGER	S. AGRICOLA AGROSERVICIO CALLE LARGA	PERALILLO	N	S/I	339	8	8	5 x 10	PROPIETARIO		20	3"		0,92	
183	314294	6485548	EX JULIO GARCIA - MINERA VAL		CANCHA BRAVA	P	S/I	571			10"						4,8	
184	309862	6481442	PRESIDENTE GONZALEZ	SECTOR CANCHA	TAMBO ORIENTE	P	R	469	40	40	8"	COMITÉ	1997	7	3"		4,07	
185	309050	6481688	PRESIDENTE MARIA ISABEL VALENZUELA	LOTE Nº1	TAMBO CENTRO	N	S/I	448	7	7	2	COMITÉ	1974	42.20 KW	3"		5,26	
186	314749	6486392	HONARIO NUÑEZ OLIVAREZ	LA VIÑITA Nº1	ARBOLEDA GRANDE	N	R-SU	581	6	6	20 x 7	PROPIETARIO	1986		3"		4,53	
187	314021	6485163	EDUARDO SEGURA	SITIO Nº30	CANCHA BRAVA	N	R-SU	550	7	7	1 x 1	PROPIETARIO	1980				6,3	
188	312333	6482764	HECTOR GARCIA FARIAS	HIJUELA Nº3	CHALINGO	N	R-SU	495	4	4	1,2	PROPIETARIO	2006				SECO	
189	311668	6482608	HECTOR NAVARRO PEREZ	HIJUELA Nº9	EL BOLDO	N	S/I	476	3	3	2 x 2	PROPIETARIO	2003		1,5	1,5	2,43	
190	298061	6488763	EDUARDO DONOSO	PARCELA Nº36 - B P. 7	PERALILLO	N	R	414	6	6	1,5	PROPIETARIO	1990		2"		0,1	
191	297201	6488115	SERGIO NUÑEZ CORREA	PARCELA Nº34	PERALILLO	N	R	373	5	5	1	PROPIETARIO	2007	2x-2	1" C/U			87
192	295631	6480178	MANUEL SOTOMAYOR CELEDON	SECTOR MEDIALUNA Nº4	SOCAVOR CENTRO	N	P	363	8	8	2	COMITÉ	2000	10	3"	5		3,1
193	301605	6485134	BAUTISTA CAMPOS	PARCELA Nº2	LOS LOROS	N	P	347	5	5	1	PROY. GOBIERNO	2010	2	1"		2,7	
194	305331	6481709	PRESIDENTE BERNARDO CARMONA		TAHUINCO	P	P	410	40	40	10"	COMITÉ	2010	4	3"	4,7	5,21	
195	295649	6485024	PRESIDENTE OTONIEL TAPIA AGUILERA	SITIO PROPIO LECHO RÍO	LIMAHUIDA	N	P	294	9	9	2,7	COMITÉ	1999		2"	3	4,23	
196	310943	6476107	SUC. ANGELICA OSSANDON HENRIQUEZ	AGRICOLA ESTERO CARISAS PARCELA Nº3	COLLIGUAY	N	P	499	9	9	1,2	PROPIETARIO	1991	2.5	2"	10	3,9	
197	310903	6475580	SUC. ANGELICA OSSANDON HENRIQUEZ	AGRICOLA ESTERO CARISAS	COLLIGUAY	N	R	509	15	15	1,2	PROPIETARIO	2006		3"	12	5,1	
198	311535	6475191	SUC. ANGELICA OSSANDON HENRIQUEZ	AGRICOLA ESTERO CARISAS	COLLIGUAY	N	SU	513	15	15	1,2	PROPIETARIO	2006		2"	10	3,75	
199	309574	6477410	PRESIDENTE HERNAN NUÑEZ	TERRENO PROPIO COMITÉ	COLLIGUAY	P	P	472	65	65	10"	COMITÉ DOH	2006		3"	2,5	6,32	
200	314346	6481300	COOP. AGRICOLA PESQUERA ELQUI LTDA.	PARCELA Nº39	SANTA ROSA	P	I	522	20	20	10"	COOPERATIVA	1995	4 KW	2.5"		1,2	
201	321492	6477179	PRESIDENTE BILDO IBACACHE		JORQUERA	N	SU	621	7	7	2	COMITÉ APR	1970				6,41	
202	321493	6477177	BILDO IBACACHE		JORQUERA	P	P	622	40	40	8"	COMITÉ APR	1982	5.5 KW	3"		SELL.	
203	325244	6474724	HECTOR VERAS IBACACHE	INT PARCELA Nº13	LLIMPO	P	P	675	10	10	8"	ACERO	1983	7.5	3"	4	1,46	
204	336698	6470736	LEONARDO TIRADO		CHILLEPIN	P	P	860	45	45	10"	COMITÉ	2001		5"	1	6,4	
205	336696	6470714	LEONARDO TIRADO		CHILLEPIN	N	P-SU	864	7	7	2	COMITÉ	1970		2,5	8	6,9	
206	337690	6470789	MINERA LOS PELAMBRES - PREDIO FCO. VEGA	PARCELA Nº18	CHILLEPIN	P	I-O	881	100	100	10"	ANACONDA	1981		6"	65		23,35
207	335594	6471146	MINERA LOS PELAMBRES	SITIO Nº133 IRENE TAPIA, PSJE COLO COLO	CHILLEPIN	P	O	856	98	98	10"	MINERA	1981		8"	100		14,01
208	333776	6469992	MINERA LOS PELAMBRES	PARCELA Nº60 PEDRO SAAVEDRA PEREIRA	CHILLEPIN	P	O	816	98	98	10"	ANACONDA	1981		6"	80		19,6
209	321600	6476500	MINERA LOS PELAMBRES	SERGIO AGUILERA		P	SU	624	92	92	10"	ANACONDA	1981		6"	40	8,23	
210	316784	6479274	MINERA LOS PELAMBRES	P. Nº20 STA. ROSA PEDRO JORQUERA P.	SANTA ROSA	P	O-SU	555	98	98	10"	ANACONDA	1981		6"	60	2,58	
211	318063	6478269	MINERA LOS PELAMBRES	P. Nº10 STA. ROSA ROBERTO RONDELARI	SANTA ROSA	P	O	572	88	88	10"	ANACONDA	1981		6"	55		8,2
212	319907	6477610	MINERA LOS PELAMBRES	PARCELA Nº33 LLIMPO RAMON CARVAJAL	LLIMPO	P	O	597	83	83	10"	ANACONDA	1981		6"	85		11,1
213	327685	6472256	MINERA LOS PELAMBRES	PARCELA Nº2 LLIMPO ERNESTO VARGAS	LLIMPO	P	O	725	100	100	10"	ANACONDA	1981		6"	75		7,8
214	322358	6476231	REPRESENTANTE LEGAL MARIO OLIVAREZ	AGRICOLA MERCEDARIO	PANGUESILLO	P	SU	638	36	36	12"	SONDAJE LTDA.	2004		6"	43	15,89	19.18
215	322380	6476607	REPRESENTANTE LEGAL MARIO OLIVAREZ	AGRICOLA MERCEDARIO	PANGUESILLO	P	SU	636	42	42	12"	SONDAJE LTDA	2004	10	6"	27	10,88	
216	321980	6476335	REPRESENTANTE LEGAL MARIO AGUILERA	AGRICOLA MERCEDARIO	PANGUESILLO	P	R-SU	632	45	45	12"	SONDAJE LTDA.	2004		6"	50	11,6	14.43
217	326696	6469241	PRESIDENTE EDITH CHAVEZ	PARCELA Nº38	QUELEN ALTO	P	P	824	24	24	8"	COMITÉ	1970		3"	2,8	2,8	
218	317308	6478764	AGUAS DEL VALLE S.A.	SANTA ROSA S/N	SANTA ROSA	N	S/I	561	6	6	4.5		1940				3,3	

INVESTIGACIÓN RECARGA ARTIFICIAL ACUÍFEROS CUENCAS DEL RÍO CHOAPA Y QUILIMARÍ

Nº	Coords. UTM (WGS84)		Propietario	Nombre Predio	Ubicación	Tipo	Uso	Cota (msnm)	P. Perf. (m)	P. Hab. (m)	Diám	Constructor	Año	Pot._Bomba	D._Imp.	Caudal	N.E.	N.D.
	E (m)	N (m)											Constr.	(HP)	(")	(l/s)	(m)	(m)
219	326011	6473412	PRESIDENTE RENAN NAVEA AGUILERA	PARCELA Nº8	QUELEN BAJO	P	P	697	25	25	8"	COMITÉ	1988	2	2.5"		6,75	
220	324100	6475751	PRESIDENTE ROBERTO VALENZUELA	PARCELA Nº50	PANGUESILLO	N	P	665	12	12	2	COMITÉ	2000	12.5	3"		7,6	
221	319819	6477262	PRESIDENTE SILVANO FAJARDO OLIVAREZ	BIEN COMUN	LA HIGUERILLA	P	P	605	12	12	8"	COMITÉ	1983		3"		5,83	
222	314439	6480226	PRESIDENTE JOSE OLIVAS MONDACA		EL QUEÑE	P	P	525	18	18	2" - 8"	COMITÉ APR	1960		2.5"		3,27	4,55
223	313523	6481854	PAUL ROBLES	CANCHA Nº2 MUNICIPALIDAD DE SALAMANCA		N	R	502	6	6	1,5	MUNICIPALIDAD		1.5	2.5"		1,64	
224	312630	6482646	COMPAÑÍA PESQUERA DE CHILE	PARCELA Nº54	CAMINO ILLAPEL	P	I	489	18	18	10"	PROPIETARIO			3"		5,04	
225	312363	6482728	INDUSTRIA TRANSPOTES ROJAS	SALAMANCA	CAMINO ILLAPEL	N	I	494	6	6	1	PROPIETARIO	2005	2.5	1"		2,65	

Tabla 4.1-2: Catastro de Capaciones de Aguas Subterráneas, Cuenca Río Quilimarí

Nº	Coords. UTM (WGS84)		Propietario	Nombre Predio	Ubicación	Tipo	Uso	Cota (msnm)	P. Perf. (m)	P. Hab. (m)	Diám (m)	Constructor	Año Constr.	Pot._Bomba (HP)	D._Imp. (")	Caudal (l/s)	N.E. (m)	N.D. (m)
	E (m)	N (m)																
226	288550	6448755	LAURENCE GERALDO GONZALEZ	C4-1A	LA PEÑA DE PANGALILLO	N	R-SU	325	7	7	1	PROPIETARIO	2006	1,5	1"		3,76	
227	288324	6448673	PABLO CRISTIAN HIDALGO SAAVEDRA	C4-1D	LA PEÑA DE PANGALILLO	N	S/I	320	7	7	1	PROPIETARIO	2006				2,8	
228	287531	6447440	MIRIAM CORREA PANETH	P-SIN /N LOTE C6	PANGALILLO	N	R-P	296	4	4	1	PROPIETARIO	2000	1,5	1.5"		2,71	
229	287904	6447454	EX. JUAN CORREA CORREA - LADY JANETH	LOTE C 6 E	PANGALILLO	N	R	296				PROPIETARIO	2000		2"		2,27	
230	286201	6447090	SARA TAPIA STAY		PANGALILLO	N	R	256	8	8	1	PROPIETARIO		1,5	1"		3,92	
231	286186	6447090	SARA TAPIA STAY		PANGALILLO	N	SU	255				PROPIETARIO		1,5	1"		3,32	
232	282845	6446815	FRANKLIA SAAVEDRA GONZÁLEZ	PARCELA 17-1A	PANGALILLO	N	R	195				PROPIETARIO		2,2	1"			
233	278069	6441706	EDUARDO FONTOVA GARCÍA	FUNDO MAIMALICAN	MAIMALICAN - Q DEL AGUA	N	R	114	8	4	2,6	PROPIETARIO	1960	1	2"		1,3	
234	279603	6443244	RAQUEL SALINAS	PARCELA N°A	MAIMALICAN	N	R	125	8	8	1,5	PROPIETARIO	1990				4,7	
235	277204	6441937	EMILIANO CATALDO HUERTA	LOTE 2 PARCELA EL CARMEN	PALO NEGRO	N	R	99	9	9	1,8	PROPIETARIO	1994				6,51	
236	277278	6441796	EMILIANO CATALDO HUERTA	PARCELA 1 Y 2	PALO NEGRO	N	R	96	9	9	1,5	PROPIETARIO	2002	1,5	1,5			5,93
237	277012	6441721	PDTE. HERNÁN TORRES GARCÍA	SITIO PROPIO	GUANGUALI	N	P	96	17	17	2,2	COMITÉ	2006	2	2"	2,5	14,98	
238	277032	6441749	PDTE. HERNÁN TORRES GARCÍA	SITIO PROPIO	GUANGUALI	N	S/I	97	15	15	2,2	COMITÉ	2010	2	2"	2,5	18,8	
239	277094	6442104	FANNY VIDAL ENCALADA	LOTE 1	GUANGUALI	N	S/I	96	10	10	3,5	PROPIETARIO	1960	1,5	2"	1,35	7,05	
240	276945	6442112	RODELINDO NOEMI MATURANA VIDAL	LOTE 2	GUANGUALI	N	R	95	8,5	8,5	2	PROPIETARIO	2002	1,5	1"	1,5	7,6	
241	277035	6442176	NELSON RODOLFO MATURANA VIDAL	PARCELA S/N LOTE A	GUANGUALI	N	R	94	8	8	5X4		2000	1,5	1"	1	5,4	
242	277253	6442161	JUANA EXILDA NAVARRO MENA	PARCELA LOTE N°2	GUANGUALI	N	S/I	102	9,5	9,5	2	PROPIETARIO	1998	1,5	1.5"	5,45	8,4	
244	277305	6442280	JUANA EXILDA NAVARRO MENA	LOTE N°2	GUANGUALI	N	R-SU	103	14	14	3	PROPIETARIO	1996	1,5		5,1	4,2	
245	276709	6441740	SOC. AGRÍCOLA SANTA ELVIRA - RAÚL PIZARRO	SOC. AGRÍCOLA SANTA ELVIRA	GUANGUALI	N	R	89	9	9	1,5	PROPIETARIO	2008	1,5	1.5"		8	8,45
246	279018	6442873	PDTE. HERNÁN TORRES GARCÍA	INTERIOR AGRÍCOLA EL ABEDUL	GUANGUALI	N	P	125	22	22	2,2	COMITÉ APR	2006	7	3"	2		19,42
247	276599	6441927	PATRICIO MATURANA	PARCELA 33	GUANGUALI	N	S/I	91	8	8	2	PROPIETARIO	2005	1,5	1"		7,1	
248	276486	6442090	JOSÉ SERRANO OLIVARES	RESTO PARCELA 35 S. BUENAS S/N	GUANGUALI	N	R	92	10,4	10,4	1,5	PROPIETARIO	2000	1,5	1.5"	2		7,41
249	276451	6442022	JOSÉ SERRANO OLIVARES	RESTO PARCELA 35 S. BUENAS S/N	GUANGUALI	N	S/I	89	10	10	1,5	PROPIETARIO		1,5	1.5"	4	8,8	
250	274370	6442822	INVERSIONES LOS BOLDOS SOC. AROMO	INVERSIONES LOS BOLDOS	GUANGUALI	N	S/I	65	7	7	4	PROPIETARIO		2	1"		5,1	
251	275447	6442238	JORGE CHADWICK	AGRÍCOLA RESERVA LOS CÓNDORES	GUANGUALI	N	S/I	75	11	14	10X4	PROPIETARIO	2004	1,5	1.5"		5,43	
252	274457	6442361	FABRICIO HOCHSCHILD	FUNDO LA VIÑA	LA VIÑA	N	R	68	7,5	7,5	1,8	PROPIETARIO	1965	2	1"	1,2	6,06	
253	276748	6442242	FABRICIO HOCHSCHILD	FUNDO LA VIÑA	LA VIÑA	N	SU	71	12	12	30X8	PROPIETARIO	2007				7,5	
254	276305	6442125	FRANCISCO PÉREZ PÉREZ	SITIO 50	GUANGUALI	N	R	88	7,5	7,5	2.20X2.20	PROPIETARIO	2000	1,5	1"		6,5	
255	276302	6442242	FRANCISCO PÉREZ PÉREZ	SITIO 50	GUANGUALI	N	R	91	10	10	6X3	PROPIETARIO	1970	1.5"	1"		8,8	
256	276276	6442301	GRACIELA CAMPOS ESTAY	SITIO 1	GUANGUALI	N	R	92	10	10	2	PROPIETARIO	1960	1	1"		8,7	
257	275937	6442084	LORENZO ALFONSO HUERTA BORQUEZ	HIJUELA 57	GUANGUALI	N	R	83	9	9	2	PROPIETARIO	1993	2,5	2"	6	7,06	
258	276118	6442240	LORENZO ALFONSO HUERTA BORQUEZ	HIJUELA 53	GUANGUALI	N	P	90	11	11	1,5	PROPIETARIO		1,5	1"	2	9,75	
259	276161	6442082	ARTURO INFANTE REÑASCO	HIJUELA 52	GUANGUALI	N	R	84	8	8	1,5	PROPIETARIO	2006	1,5	1.5"		6,1	
260	276068	6442041	ARTURO INFANTE REÑASCO	HIJUELA 52	GUANGUALI	N	SU	83	7	7,1	1,5	PROPIETARIO	2002	1,5	1.5"		4,6	
261	276161	6441790	ARTURO INFANTE REÑASCO	HIJUELA 52	GUANGUALI	N	R	85	10	10	1,5	PROPIETARIO	2001	1,5	1.5"			8,1
262	276059	6442087	ARTURO INFANTE REÑASCO	HIJUELA 52	GUANGUALI	N	S/I	81	9	9	2X10	PROPIETARIO	2001	10	2.5"		6,93	
263	273654	6443078	ARTURO INFANTE REÑASCO		GUANGUALI	N	SU	58	7	7	1,5	PROPIETARIO	2011				6,53	
264	274009	6442475	MARIO SILVA ALIAGA	LOTE B1 EX FUNDO LA VIÑA	LA VIÑA	N	R	66	7	7	1,7	PROPIETARIO		1,5	1.5"	2,5	4,9	
265	274042	6442501	MARIO SILVA ALIAGA	LOTE B1 EX FUNDO LA VIÑA	LA VIÑA	N	R	63	9	9	22X5	PROPIETARIO	2012	1,5	2"		3,05	
266	271910	6443567	ROMULO ARACENA CÉSPEDES	KM. 9 S/N	LA PALMA	N	S/I	41	14	14	1,2	PROPIETARIO	2008	30	3"		12,9	
267	271396	6443776	AGRÍCOLA ARANCIBIA	LOTE 65 - 5 EX FUNDO LOS CÓNDORES	EL AJIAL	N	R	39	12	12	1,3	PROPIETARIO	2006	5	3"		11	
268	271543	6443776	HUMBERTO ARANCIBIA TAPIA	LOTE 65-5 FUNDO LOS CÓNDORES	EL AJIAL	N	R	39	12,5	12,5	1	PROPIETARIO	2007	2	3"			
Nº	Coords. UTM (WGS84)		Propietario	Nombre Predio	Ubicación	Tipo	Uso	Cota (msnm)	P. Perf. (m)	P. Hab. (m)	Diám (m)	Constructor	Año Constr.	Pot._Bomba (HP)	D._Imp. (")	Caudal (l/s)	N.E. (m)	N.D. (m)
	E (m)	N (m)																
269	271265	6443772	AGRÍCOLA ARANCIBIA	LOTE 65-5 EX FUNDO LOS CÓNDORES	EL AJIAL	P	R	37	23	23	10"	BEMAG S.A.	2001		4"	20		
270	270040	6443926	EDUARDO MONTERO	AGRÍCOLA AGRONOL LTDA.	LOS MAQUIS	P	R	31	22	22	10	PROPIETARIO	2008	25	4"		10,23	
271	270476	6443984	EDUARDO MONTERO	AGRÍCOLA AGRONOL LTDA.	LOS MAQUIS	P	R-SU	35	27	27	10	PROPIETARIO	2010	10	3"		11,04	
272	267960	6443759	JOHANN SPAARWSTTER	S/N	LOS LOROS	N	R	21	12	12	1,5	PROPIETARIO		2	1"		6,8	
273	267873	6443752	GONZALO SALINAS GATICA	PARCELA 9	LOS LOROS	N	R	27	0	0	1	PROPIETARIO	1992	1,5	1"		6,35	
274	268813	6444114	JAIME FUENZALIDA	SOC. AGRÍCOLA QUILIMARÍ LTDA.	LOS LOROS	P	S/I	26	27	27		PROPIETARIO	1982	10	4"	30	7,5	
275	268350	6444173	JAIME FUENZALIDA	SOC. AGRÍCOLA QUILIMARÍ LTDA.	LOS LOROS	P	S/I	20	27	27	10	PROPIETARIO	1982		6"	30	7,1	
276	267189	6443939		SOC. INMOBILIARIA SANTA ROSA DE TUNQUÉN	RÍO MAR	N	SU	18	6	6	1,5	PROPIETARIO	2007				SECO	
277	266550	6443959	HERMENEGILDO PONCE MARTÍNEZ	PARCELA SAN EUGENIO LOTE A	LAS HIJUELAS	P	R-SU	13	12	12	10"	PROYECTO INDAP	2012	2	2"	2	4,4	

INVESTIGACIÓN RECARGA ARTIFICIAL ACUÍFEROS CUENCAS DEL RÍO CHOAPA Y QUILIMARÍ

278	267092	6443739	JOSÉ ZABALA	P. S/N SOC. INMOBIL. STA. ROSAS DE TUNQUÉN	RIO MAR	N	P	13	8	8	1	PROPIETARIO	2007	MOTOBOMBA	3"		3,3		
279	265221	6444054	GERENTE ARMANDO MÉNDEZ	PARCELA EL ISLÓN	QUILIMARÍ	P	P	10	45	45	10	COOPERATIVA	1968	7,5	3"	7	3,56		
280	265312	6444085	ARMANDO MÉNDEZ	PARCELA EL ISLÓN	QUILIMARÍ	P	SU	10	35	35	10	COOPERATIVA	1992	5	4"		3,37		
281	265119	6443978	GERENTE ARMANDO MÉNDEZ	SECTOR CANCHA	QUILIMARÍ	P	SU	10	40	40	10	DUEÑA	2010	5	4"		1,9		
282	271.381	6443469	LUIS GUZMAN ROBINSON	AGRICOLA SIERRAMAR	LA PALMA, LOS VILOS	N	P	40	6.50	6.50	2	PROPIETARIO	2011	3HP	1,0		6,22		
283	266.060	6443665	JUAN DAVILA	SOC AGRICOLA REQUINOA	QUILIMARI, LOS VILOS	N	R	15	4	4	1.10	PROPIETARIO	2000	1.5	1.5	8	1,49		
284	264.533	6444043	NIBALDO RIQUELME SIERRA	PARCELA LA BARBERA	QUILIMARI, LOS VILOS	N	R	6	7,0	7,0	1.50	PROPIETARIO	2004	5,0	3,0		1,50		
285	264.700	6444104	A.P.R. EL ESFUERZO PICHIDANGUI		QUILIMARI, LOS VILOS	P	P	9	40,0	40,0	12"	SONDAGUA	2012	25,0	3"	8	1,90		
286	264.859	6444085	A.P.R. EL ESFUERZO PICHIDANGUI		QUILIMARI, LOS VILOS	P	P	9	35,0	35,0	10"		1990	25,0	3"	8	3,01		
287	263.959	6443926	A.P.R. PICHIDANGUI		QUILIMARI, LOS VILOS	N	P	7			2.50								
288	264.358	6443886	MARIA TERESA GIROS	PARCELA LA POSADA	QUILIMARI, LOS VILOS	N	R	9	5	5	1.20	PROPIETARIO	1976	M	3"	6.8	2,5		
289	288550	6448760	LAURENCE GERALDO			N	R	322	7	7	1		2007				2,84		
290	288451	6448716	JOSÉ SAAVEDRA			N	R	320	6	6	1		2008			0,5	2,8		
291	288323	6448677	PABLO HIDALGO			N	P	321	7	7	1		2007				1,5		
292	288122	6448349	MARIELA SAAVEDRA			N	P	311	3	3	1		2010				0,65		
293	287786	6448032	CARLOS SAAVEDRA			N	RP	309	3,5	3,5	1		2011				0,91		
294	287751	6447764	JOSÉ ACOSTA			N	P	298	3	3	0,6		2006						
295	287905	6447724	ROSA TAPIA			N	P	298	7	7	1,2		2009				3,42		
296	287889	6447566	MARCELO TAPIA			N	R	295	5	5	5		2008					0,56	
297	287905	6447452	JUAN CORREA			N	R	299	2,5		7x3		2006				2,11		
298	287931	6447440	MIRIAM CORREA			N	RP	293	4	4	1		2011				2,4		
299	287959	6447309						319											
300	287313	6447148	FRANCISCO GONZÁLEZ			N	RP	278	3,5	3,5	3x4		2010				2,62		
301	286246	6447107	BASILIO GONZÁLEZ			N	RP	259	4	4	6x5		2006						
302	286199	6447093	SARA TAPIA				SU	252	6				2011				3,72		
303	286178	6447096	SARA TAPIA			N	RP	252	4	4	1		2007				3,04		
304	286044	6447068	JULIO TAPIA			N	P	251	3,5		4x4		2010				1,3		
305	285982	6447067	JULIO TAPIA			N	SU	249	4	4	5x5		2010				0,1		
306	285781	6447076	JORGE SAAVEDRA			N	RP	248	5		5x4		2011				4,03		
307	285369	6447041						243											
308	283688	6446990	JORGE SAAVEDRA			N	R	211	6	6	6x3						0,96		
309	283544	6446628	NIBALDO PÉREZ			N	R	224	8	8	1,5		2006				5,65		
310	283506	6446617	NIBALDO PÉREZ			N	R	222	6		3x6		2006						
311	283317	6446763	AGR. SAN CARLOS					216											
312	283103	6446623	SIBER BALADA					219											
313	282844	6446821	FRANKLIN GONZÁLEZ			N	R	194	6,5	6,5	1,2		2003				2,49		
314	282706	6446663						196											
315	282757	6446341						226											
316	282256	6445766	JOSÉ ARAYA			N	R	172	2	2	4x4		2010			1,7	0,76		
317	280112	6443557						161											
318	279605	6443244	RAFAEL SALINAS			N	R	132	8	8	1,5		1980				2,56		
319	279220	6442942	CARMEN VALENZUELA			N	SU	124	6	6	4x3		1996						

4.2 Prospecciones Geofísicas Cuenca del Río Choapa

Se desarrolló una campaña de prospecciones geofísicas en el área de estudio, tendiente a definir la profundidad de la roca, los niveles de napa y las características de los rellenos.

4.2.1 Introducción

A petición de AC INGENIEROS CONSULTORES, Geodatos S.A.I.C. realizó un estudio geofísico mediante la técnica de Transiente Electromagnético (TEM) en las modalidades TEM y Nano-TEM, en el sector de la cuenca del río Choapa ubicada aproximadamente a 30 km al noreste de la comuna de Los Vilos, Provincia de Choapa, Región de Coquimbo, Chile.

Con el objeto de determinar las características geoeléctricas de la sub-superficie que permitan obtener información de la estratigrafía, nivel de agua subterránea y profundidad del basamento en el sector de la cuenca del río Choapa, en Región de Coquimbo.

4.2.2 Trabajo de Terreno

Se registró un total de 80 estaciones TEM y 80 estaciones Nano TEM, con espaciamiento irregular, llegando a distanciarse algunas en más de 1 kilómetro, dispuestas principalmente a lo largo del eje de los cauces de los ríos Choapa e Illapel. El trabajo de terreno se ejecutó durante julio del 2012.

4.2.3 Resultados

Los resultados del estudio geofísico, que serán interpretados detalladamente como parte de la caracterización hidrogeológica de la cuenca, para la posterior modelación del sistema acuífero, se presentan en el Anexo 4.

En términos generales se puede señalar que se identificó la existencia de entre 2 y 5 unidades geoeléctricas en las estaciones, éstas son:

- **Unidad Somera Media – Alta Resistividad.**
- **Unidad Conductora.**
- **Unidad de Media Resistividad.**
- **Unidad Conductora Profunda.**
- **Unidad Alta Resistividad.**

Las unidades señaladas se pueden describir, hidrogeológicamente, de la siguiente forma:

La unidad más superficial que está constituida por sedimentos secos, de diferentes granulometrías, donde predominan los materiales más gruesos, del tipo gravas.

Bajo la unidad descrita se ubica una segunda unidad que estaría conformada por sedimentos húmedos o saturados.

Se identificó una tercera unidad, conformada por sedimentos de muy baja permeabilidad.

También se identificó una cuarta unidad de sedimentos saturados que constituiría el acuífero.

La quinta unidad identificada correspondería a la roca basal.

4.3 Prospecciones Geofísicas Cuenca del Río Quilimarí

Se desarrolló una campaña de prospecciones geofísicas en el área de estudio, tendiente a definir la profundidad de la roca, los niveles de napa y las características de los rellenos.

A continuación se presentan los resultados del estudio geofísico, el que se presenta in extenso, en el Anexo 4.

4.3.1 Introducción

A petición de AC INGENIEROS CONSULTORES., Geodatos S.A.I.C. realizó un estudio geofísico mediante la técnica de Transiente Electromagnético (TEM) en modalidad Nano-TEM, en el sector de la cuenca Quilimarí, ubicado aproximadamente a 28 km al sureste de la comuna de Los Vilos, Provincia de Choapa, Región de Coquimbo, Chile.

Con el objeto de determinar las características geoeléctricas de la sub-superficie que permitan obtener información de la estratigrafía, nivel de agua subterránea y profundidad del basamento en el sector de la cuenca del río Quilimarí, en Región de Coquimbo.

4.3.2 Trabajo de Terreno

Se registró un total de 40 estaciones Nano TEM, con espaciamiento irregular, llegando a distanciarse algunas en más de 1 kilómetro, dispuestas en el eje de la quebrada. El trabajo de terreno se ejecutó durante los días 07 al 10 de julio del 2012.

Las coordenadas y cotas se presentan en Sistema Coordinado Proyectado, DATUM WGS 84, método de proyección UTM Zona 19 Sur. La Tabla 4.3-1 resume las coordenadas de cada punto Nano Tem ejecutado en el proyecto Quilimarí.

Tabla 4.3-1: Coordenadas estaciones Nano TEM, Quilimarí.

Este [WGS84]	Norte [WGS84]	Cota [m]	Estación [ID]
289023	6449440	346.04	1
288813	6449011	333.28	2
288845	6448980	332.28	3
288112	6448514	315.97	4
288211	6448437	315.50	5
287811	6448145	306.15	6
287785	6447379	295.13	7
287852	6447330	294.37	8
286799	6447321	274.93	9
285802	6447090	252.40	10
284814	6447164	229.26	11
283655	6447067	210.31	12
282610	6446765	194.30	13
282849	6446531	211.77	14
282045	6446111	183.78	15
282288	6446046	182.37	16
281089	6444629	160.85	17
281191	6444389	157.21	18
280250	6444005	148.13	19
279075	6443000	127.20	20
279123	6442798	126.80	21
277630	6442114	109.23	22
277868	6441978	108.35	23
276602	6441863	93.07	24
275436	6442160	80.32	25
274481	6442558	70.41	26
274512	6442323	74.43	27
273618	6442914	62.02	28
273513	6442700	64.02	29
272487	6443380	52.56	30
271448	6443642	42.65	31
270439	6443863	38.61	32
268276	6444061	27.06	33
268431	6443852	32.15	34
267350	6443930	23.39	35
267611	6443673	23.61	36
266154	6443846	16.01	37
264976	6444277	16.98	38
264958	6444009	13.43	39
263820	6443964	14.57	40

4.3.3 Resultados y Conclusiones

Dado que el objetivo general del presente trabajo geofísico es la determinación cuantitativa de las propiedades eléctricas del subsuelo en la zona de interés, en este capítulo se describirán brevemente. Estas propiedades geoelectricas, en general, dependen de la mineralogía (litología) y microestructura (porosidad, granulometría, fracturamiento de las rocas), las cuales varían significativamente según la profundidad y ambiente geológico en el que se encuentra emplazado el proyecto. Afecta de manera importante a la resistividad el tipo de fluidos que contengan las rocas (geoquímica, grado de saturación, salinidad, pH, etc.). La existencia de estructuras y fenómenos de alteración también producen cambios de la resistividad que pueden ser detectados con un estudio geoelectrico como el acá ejecutado.

A partir de las secciones de resistividad 1D se generaron las figuras I-P1 a la I-P40 (Ver Anexo 4) que corresponden a las interpretaciones de cada estación en términos de posibles litologías o unidades de suelo, asociadas a los valores de resistividad observados.

Las 40 estaciones se han emplazado a lo largo de prácticamente 30 kilómetros de largo en el eje de la Quebrada del Valle de Quilimarí, orientadas de modo tal que las primeras estaciones están emplazadas hacia el interior, y las últimas estaciones (en orden correlativo) están hacia la costa. La gran distancia entre las estaciones y la poca profundidad de investigación requerida para cada estación de Nano TEM impiden unir (relacionar directamente) los resultados de las estaciones en un perfil a lo largo de la quebrada, por lo tanto se ha determinado proveer una interpretación para cada estación o par de estaciones en la quebrada.

En general se han reconocido, e interpretado, básicamente entre 2 a 5 unidades geoelectricas descritas sucintamente como sigue a continuación. Según la zona de la Quebrada en la que se encuentren emplazadas, en algunas estaciones se logra reconocer con mayor y mejor resolución algunas de las siguientes unidades, ya que no se aprecia homogeneidad lateral de unidades en todo el trazado ejecutado:

- **Unidad Somera Media – Alta Resistividad:** Esta unidad superficial se puede interpretar como **sedimentos secos de diferentes granulometrías**. Las resistividades superan los 100 [Ohm-m, excediendo en algunos casos los 1000 [Ohm-m]. los espesores promedios fluctúan entre 5-20 m (presentando gran variación de potencias). Esta primera unidad está presente en todas las estaciones, y aumenta su resistividad en las estaciones dispuestas a lo largo de la quebrada aguas abajo (desde la estación 12 en adelante) lo que se puede interpretar por la presencia de sedimentos de grano más grueso, preferentemente gravas, asociadas al transporte en la quebrada del Valle de Quilimarí.
- **Unidad Conductora:** Esta unidad no se observa en las 40 estaciones, lográndose reconocer sólo en las estaciones ubicadas desde la mitad del eje hacia la costa, dado

la cercanía de las estaciones con el lecho del río. Esta segunda unidad relativamente más conductora, no se aprecia en las estaciones ubicadas aguas arriba (1 a la 11), y tiene un espesor inferior al del estrato anterior (entre 5 y 10 metros). Las resistividades de esta unidad son de un orden menor que la unidad anterior, y varían entre los 10 a los 100 [Ohm-m] y se encuentra ubicada persistentemente en torno a los 25 metros de profundidad (algo más profunda en la estación 4). Lo anterior permite proponer que esta unidad puede corresponder a **rocas húmedas o saturadas**, lo que da la posibilidad de que exista un acuífero.

- **Unidad de Media Resistividad:** Esta unidad de media resistividad emplazada a una profundidad intermedia (entre los 25 y 50 metros de profundidad), se observa claramente sólo en las estaciones 33 a la 38, dispuesta entre dos unidades adyacentes de menor resistividad (mas conductoras), las que han sido interpretadas como rocas húmedas y/o saturadas. Lo anterior permite interpretar esta unidad de resistividad media como **roca impermeable**.
- **Unidad Conductora Profunda:** Esta unidad conductora de mayor profundidad, se observa claramente en las estaciones 33 a la 38 y presenta resistividades comparables a la segunda unidad descrita anteriormente. Se ubica en torno de los 40 y 70 metros de profundidad, con resistividades que bordean los 20 [Ohm-m]. Lo anterior permite proponer que esta unidad puede corresponder a **rocas húmedas o saturadas**, lo que da la posibilidad de algún tipo de acuífero.
- **Unidad Alta Resistividad:** Esta unidad presenta un amplio rango de resistividades, las que en promedio son del orden de los 1.000 [Ohm-m] lo que se interpreta como **Roca Basal impermeable**, presentando valores incluso de un orden de magnitud mayor en algunos casos. En el caso de las estaciones ubicadas al interior de la quebrada, ésta unidad corresponde a la segunda capa identificada, situándose inmediatamente bajo la cubierta superficial interpretada como sedimentos secos. El techo de esta unidad se observa superficial en las estaciones ubicadas hacia el interior de la quebrada (aguas arriba), en algunos casos promediando los 20-30 metros de profundidad. En el sector aguas abajo, esta unidad se ubica a profundidades superiores a los 50 metros y presenta resistividades variables entre 100 y 500 [Ohm-m] (más bajas comparativamente con las estaciones aguas arriba).

Se debe hacer notar que las últimas estaciones no presentaron problemas en el proceso de modelado de capas de resistividad, sin embargo, desde la segunda mitad hacia el interior (sobre todo desde la estación 16 a la 1), se observa gran dispersión de las mediciones en ambas frecuencias (16 y 32 Hz), lo que fue evidenciado por el Jefe de Terreno, dada la cercanía con el lecho del río, presencia de alumbrados, plantaciones de olivos, artefactos metálicos y otros aspectos desfavorables que contaminan la curva de resistividad aparente, dificultando el proceso de inversión, debiendo limpiar la curva inicial para poder ajustar los modelos “layer” y “smooth”.

Lo anterior, sumado al antecedente de que en los puntos dispuestos aguas arriba, la roca basal se encuentra a profundidades someras, representando una unidad de alta resistividad que dificulta la detección de posibles estratos más conductores en profundidad. Por ende, es preciso recalcar que en aquellos casos en que el medio es resistivo en superficie, los modelos de resistividad aparente provenientes de la inversión, no son capaces de definir con buena resolución capas conductoras a mayor profundidad.

El trabajo efectuado ha permitido definir diferentes unidades que han sido interpretadas geológicamente en base a criterios geofísicos y han sido satisfactorias para el objetivo planteado.

Las unidades señaladas se pueden describir de la siguiente forma:

La unidad más superficial que está constituida por sedimentos secos, de diferentes granulometrías, donde predominan los materiales más gruesos, del tipo gravas. Tiene un espesor variable entre 5 y 20 m.

Bajo la unidad descrita se ubica una segunda unidad que estaría conformada por sedimentos húmedos o saturados, con un espesor entre 5 y 10 m y que se observa sólo en la parte media y baja del tramo analizado del valle del río Quilimarí. Por sus características, podría tratarse de un acuífero que se ubicaría entre los 20 y 30 m de profundidad.

Se identificó una tercera unidad, de espesor aproximado 25 m, conformada por sedimentos de muy baja permeabilidad, que también se concentra en la zona media y baja del tramo analizado. Se ubicaría entre los 25 y 50 m de profundidad.

También se identificó una cuarta unidad de sedimentos saturados que podría constituir un acuífero, el espesor es de 25 a 30 m, por lo que se ubicaría entre los 50 y 80 m de profundidad, especialmente en la zona media y baja del tramo, donde la potencia del relleno es más importante.

La quinta unidad identificada correspondería a la roca basal y se ubicaría a profundidades mayores a 50 m en la zona media y baja del tramo analizado y a profundidades entre 20 y 30 m en la zona más cercana al embalse Culimo.

4.4 Análisis de Calidad de Aguas

Como parte de las actividades de terreno destinadas a levantar información complementaria se realizó una campaña de muestreos, de aguas superficiales y subterráneas, para caracterizar la calidad de las aguas potencialmente infiltrables y de las aguas receptoras de la recarga. Las muestras fueron analizadas considerando los parámetros de la norma de riego (NCh. 1333).

Además, para las muestras de aguas superficiales se solicitó análisis de sólidos en suspensión, para evaluar la aptitud de las aguas para ser infiltradas. Información que también será utilizada más adelante en el desarrollo del estudio, para recomendar el tipo de obra de decantación o sedimentación, y el tratamiento que pudiese requerirse para elaborar adecuadamente el diseño del proyecto piloto.

Las campañas de muestreo para calidad de aguas contemplaban lo siguiente:

Río Choapa: 1 muestreo de agua superficial y 2 muestreos de aguas subterráneas.

Río Illapel: 1 muestreo de agua superficial y 2 muestreos de aguas subterráneas.

Río Quilimarí: 1 muestreo de agua superficial y 2 muestreos de aguas subterráneas.

Considerando que en el caso del río Quilimarí no se tiene flujo superficial, no ha sido posible tomar la muestra correspondiente, por lo que dicho análisis ha quedado pendiente hasta que el río presente suficiente caudal para concretar esta actividad.

Las muestras, tanto de aguas superficiales como subterráneas han sido tomadas en los cauces (ríos Illapel y Choapa) y en captaciones subterráneas que se ubican en algunos de los sectores que fueron identificados y verificados en la visita a terreno, como favorables para la realizar en ellos recarga artificial de acuíferos.

Las coordenadas de los puntos de muestreo se presentan en la Tabla 4.4-1 siguiente y su ubicación se puede observar en las Figuras 4.4-1 a 4.4-3.

Los resultados originales de los análisis realizados, que se presentan en el Anexo 5, se presentan resumidos en la Tabla 4.4-2.

Tabla 4.4-1
Coordenadas de los Puntos de Muestreo

Punto de Muestreo	Fuente	Identificación	Coordenadas UTM (WGS 84)		Observaciones
			E (m)	N (m)	
1	Superficial	Río Illapel	302.816	6.503.711	
2	Subterránea	APR Cárcamo	303.411	6.503.577	
3	Subterránea	Noria Sr. Mesa	302.411	6.503.344	
4	Superficial	Río Choapa	323.073	6.476.661	
5	Subterránea	APR Panguecillo	324.104	6.475.751	
6	Subterránea	APR Jorquera	321.493	6.477.178	
7	Superficial	Río Quilimarí	287.964	6.448.331	Pendiente (*)
8	Subterránea	Noria Sr. Geraldo	288.550	6.448.760	
9	Subterránea	Noria Sr. Acosta	287.751	6.447.764	

(*): El muestreo no ha podido concretarse por la ausencia de flujo superficial en el cauce.

Figura 4.4-1
Puntos de Muestreo Cuenca del Río Choapa – Sector Río Illapel



Figura 4.4-2
Puntos de Muestreo Cuenca del Río Choapa – Sector Río Choapa



Figura 4.4-3
Puntos de Muestreo Cuenca del Río Quilimarí – Sector Aguas Abajo Embalse Culimo

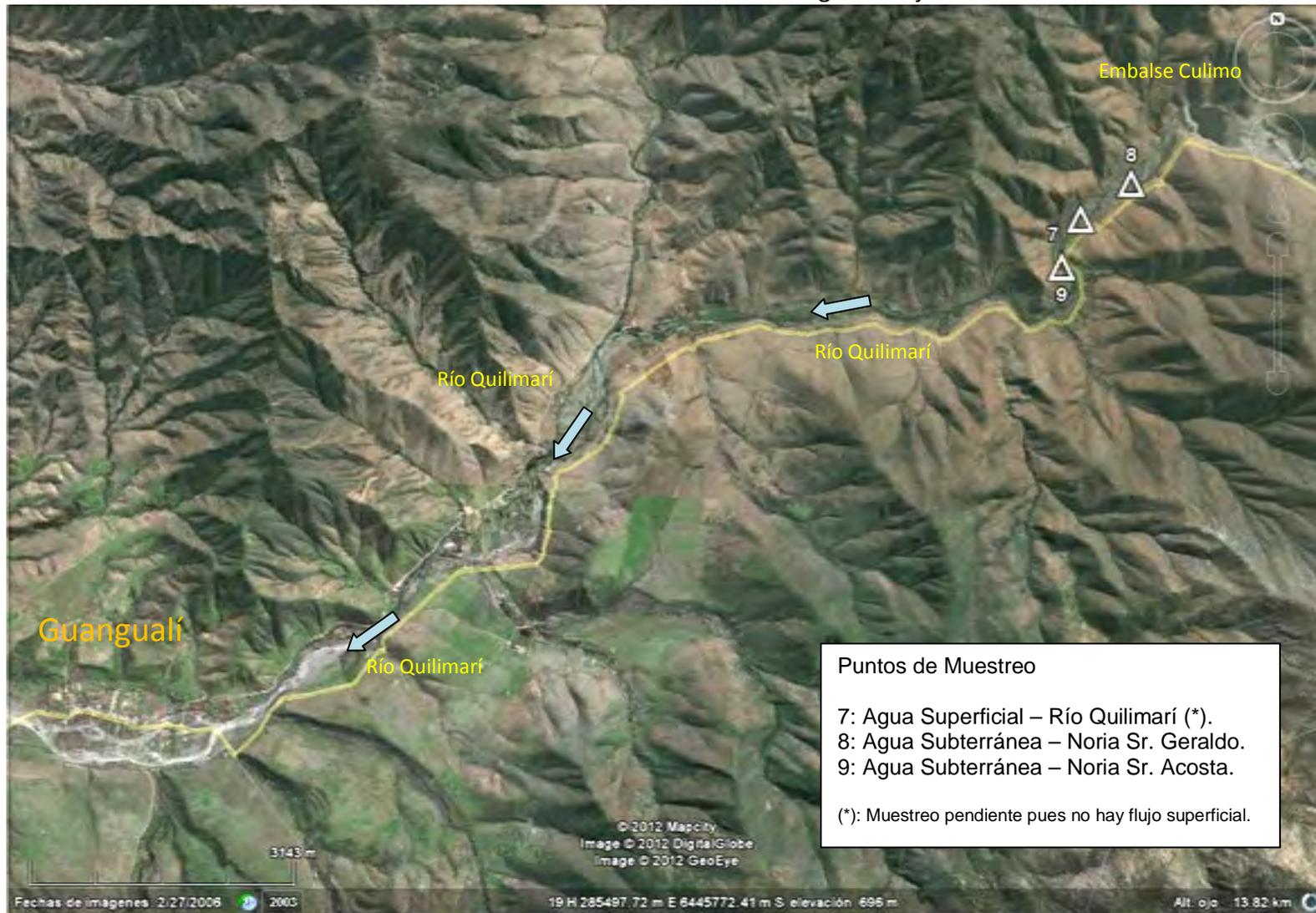


Tabla 4.4-2
Resultados de los Análisis de Calidad de Aguas

Parámetro	Unidad	Límite Norma	Resultados por Fuente								
			Río Illapel	Pz APR Cárcamo	Noria Sr. Mesa	Río Choapa	APR Panguecillo	APR Jorquera	Río Quilimarí	Noria L. Geraldo	Noria J. Acosta
			Inf. N°128255	Inf. N°128256	Inf. N°128253	Inf. N°128258	Inf. N°128257	Inf. N°128254	-	Inf. N°117712	Inf. N°117714
Cloruros	mg/L Cl	200	9.7	15.3	10.5	24.2	45.8	18.6		24.8	30.8
Cianuro Total	mg/L CN	0.20	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02		<0.02	<0.02
Fluoruro	mg/L F	1.00	<0.20	0.25	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20		0.32	0.38
pH Laboratorio	unidad	5,5-9,0	8.21 (17.6°C)	8.09 (18.6°C)	8.06 (18.5°C)	8.67 (18.6°C)	8.03 (18.3°C)	8.10 (17.4°C)		7.21 (22.1°C)	7.60 (22.2°C)
Sulfato disuelto	mg/L SO4	250	27.0	49.0	52.0	47.0	54.0	54.0		82.7	86.8
Plata	mg/L Ag	0.20	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002		<0.002	<0.002
Aluminio	mg/L Al	5.00	0.040	<0.010	<0.010	0.066	<0.010	0.013		0.022	0.138
Arsénico	mg/L As	0.10	0.004	0.006	<0.001	0.006	0.004	0.005		0.002	0.004
Bario	mg/L Ba	4.00	0.972	0.011	0.019	0.020	0.036	0.152		0.031	0.059
Berilio	mg/L Be	0.10	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002		<0.0002	<0.0002
Boro	mg/L B	0.75	0.038	0.123	0.141	0.188	0.188	0.162		0.098	0.020
Cadmio	mg/L Cd	0.01	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	<0.001	0.002		<0.001	0.001
Cobalto	mg/L Co	0.05	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005		<0.005	<0.005
Cromo	mg/L Cr	0.10	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005		<0.005	0.014
Cobre	mg/L Cu	0.20	<0.005	0.028	0.006	<0.005	0.007	0.019		0.026	0.011
Hierro	mg/L Fe	5.00	0.168	0.453	0.293	0.074	0.030	0.716		0.032	3.93
Mercurio	mg/L Hg	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001		<0.001	<0.001
Litio	mg/L Li	2.50	<0.003	<0.003	<0.003	0.007	0.006	0.008		<0.003	<0.003
Manganeso	mg/L Mn	0.20	0.20	<0.001	0.003	<0.001	<0.001	<0.001		0.003	0.804
Molibdeno	mg/L Mo	0.01	<0.005	0.006	0.007	<0.005	0.006	<0.005		<0.005	0.007
Níquel	mg/L Ni	0.20	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005		<0.005	<0.005
Plomo	mg/L Pb	5.00	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010		<0.010	<0.010
Selenio	mg/L Se	0.02	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005		<0.005	<0.005
Vanadio	mg/L V	0.10	<0.008	<0.008	0.016	<0.008	0.015	0.015		0.018	0.013
Cinc	mg/L Zn	2.00	<0.002	0.102	0.004	<0.002	0.014	0.257		0.090	0.050
% de Sodio	% Na	35.0	16.4	21.5	15.0	20.0	23.5	17.7		44.6	20.9
Colif. Fecales	NMP/100 MI	1000	79	<1.8	<1.8	23	<1.8	<1.8		<1.8	17
Nitrato	mg/L N-N03		1.30	1.61	<0.10	0.81	1.66	1.00		<0.20	<0.20
Calcio	mg/L Ca		42.4	50.5	40.7	53.5	52.0	64.1		36.0	77.9
Potasio	mg/L K		0.42	1.14	1.44	1.32	2.18	2.04		4.19	4.13
Magnesio	mg/L Mg		4.81	11.1	14.5	8.96	13.8	14.1		19.9	32.1
Sodio	mg/L Na		11.4	21.8	13.2	19.8	26.8	21.8		65.6	40.2
Alcalinidad	mg/L CaCO3		132.0	174.0	86.0	111.0	78.0	138.0		250.0	290.0
Conductividad	us/cm		351.0	493.0	388.0	403.0	474.0	432.0		655.0	731.0
Dureza Teórica	mg/L CaCO3		126.0	172.0	161.0	170.0	186.0	218.0		172.0	133.0
RAS	-		0.44	0.72	0.45	0.66	0.85	0.64		2.18	1.66
SDT	mg/L		256.0	364.0	272.0	298.0	348.0	364.0		456.0	518.0
SST	mg/L		<5.0			<5.0					

Captación Superficial
Captación Subterránea

Se puede señalar respecto a los resultados de los análisis, que en general las aguas son de buena calidad para riego. De hecho, salvo un parámetro en una muestra (% de Sodio en una de las muestras de aguas subterráneas de Quilimarí), el resto, cumple en la totalidad de los parámetros con los límites establecidos por la norma NCh 1333.

Además, al comparar la calidad de las aguas superficiales, que sería el agua a infiltrar, con la calidad de las aguas subterráneas, que sería la receptora de la recarga, se observa que son muy similares, por lo que no habría deterioro en la calidad de las aguas subterráneas luego del proceso, ni necesidad de tratamiento químico previo sobre las aguas superficiales para evitar un eventual deterioro de la calidad de las aguas subterráneas.

5 COMPLEMENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE

5.1 Caracterización Hidrológica

De acuerdo al alcance y objetivos del estudio, se estima que la caracterización hidrológica de la cuenca del río Choapa que se desarrolló en el estudio de Cazalac es suficientemente detallada y actualizada como para utilizar en este trabajo la información base allí presentada, y que se ha incluido parcialmente como parte del Anexo 1.

El estudio Cazalac cubrió el período comprendido entre abril de 1950 y abril de 2005. Para ese período, se rellenaron los datos de precipitaciones mensuales en 10 estaciones. De esas 10 estaciones, para el desarrollo del presente estudio, se consiguieron los datos medidos de precipitaciones mensuales, hasta abril de 2012, en 4 de ellas (Illapel DGA, Salamanca, Mincha Norte y Limáhuida). Con esa información, será posible extender hasta abril de 2012 la información de precipitaciones.

Por otro lado, la calibración del modelo Magic sólo cubre el período 1992-2000. Se usó ese período para no tener influencia del embalse Corrales.

De acuerdo a los objetivos del presente estudio, la influencia de los embalses Corrales y El Bato (en los últimos meses), es muy relevante. Por un lado, es posible que el incremento de la disponibilidad de agua para riego, haya inducido un aumento de las recargas a los acuíferos, lo que reduciría el almacenamiento libre, actualmente disponible para recibir recarga artificial. Otro aspecto a considerar es la menor disponibilidad de agua superficial en los cauces en los meses de invierno, debido a la regulación que realizan los embalses.

Los proyectos de recarga artificial requieren de un suministro, especialmente en los meses en que hay menos demanda de agua. De acuerdo al objetivo descrito en el párrafo anterior, para estimar la disponibilidad hídrica superficial, se usará la información fluviométrica de las estaciones río Choapa aguas arriba estero La Canela, río Choapa en puente Negro y río Illapel en El Peral (ver Figura 5.1-1).

Los caudales medidos en esas estaciones corresponden a los sobrantes de ambas cuencas (Illapel y Choapa alto) y al sobrante total cerca de la desembocadura (Choapa aguas arriba estero La Canela). Los datos de caudales promedios mensuales con los que se cuenta son (con algunos meses incompletos y sin medición):

Estación fluviométrica río Choapa aguas arriba estero La Canela: entre enero de 1961 y febrero de 2011.

Estación fluviométrica río Choapa en puente Negro: entre enero de 1968 y enero de 2012.

Estación fluviométrica río Illapel en El Peral: entre enero de 1983 y enero de 2012.

Con esa información y los rellenos efectuados en el estudio Cazalac, se caracterizará la disponibilidad hídrica superficial en la zona de interés.

La distribución en todo el resto de la cuenca se hará según los resultados del mismo estudio. Se asumirá que los caudales superficiales sobrantes se distribuyen, en el período con embalse (o embalses), de la misma forma en que se distribuyeron en el período previo (sin embalses), cambiando las magnitudes de los caudales.

El procedimiento específico quedará más claro en el desarrollo de la siguiente etapa del presente estudio.

Figura 5.1-1. Estaciones Fluviométricas



5.2 Caracterización Hidrogeológica

5.2.1 Cuenca del Río Choapa

El río Choapa tiene sus nacientes en la cordillera de Los Andes, aproximadamente a 140 Km del mar. Tiene un recorrido desde el sureste al noroeste, a lo largo del cual recibe el aporte de innumerables cauces, entre los que se destacan el río Chalinga, el río Illapel y el estero La Canela, todos los cuales confluyen con el río Choapa por su ribera derecha o norte, mientras que por el sur, el cauce de mayor relevancia que descarga sus aguas al río Choapa, corresponde al estero Camisas.

El relleno cuaternario de la cuenca del río Choapa es el que da origen al valle que alberga los principales acuíferos de esta hoya. Los sedimentos no consolidados que constituyen las

formaciones acuíferas principales, corresponden a sedimentos aluviales y coluviales que se ubican en torno al cauce.

Estos sedimentos se encuentran principalmente desde la confluencia con el río Chalinga hacia aguas arriba y en el valle de este último cauce. Desde la confluencia hacia aguas abajo, el relleno presenta una menor superficie e incluso, un poco antes de la confluencia con el río Illapel, este relleno desaparece.

Por otro lado, en el valle del río Illapel los sedimentos cuaternarios no muestran una cobertura de la misma envergadura que en el río Choapa, observándose un ancho máximo del orden de los 400 m aguas arriba de la quebrada de Cárcamo. En este caso, también se observa que el relleno sedimentario se ve interrumpido en las proximidades de la confluencia con el río Choapa, reapareciendo aguas abajo de esta confluencia, pero con una superficie bastante menos relevante que las anteriores.

En este tramo se observan estrechamientos del valle que generan interrupciones en el desarrollo del relleno, por lo que además de cubrir una superficie menor, también presenta un espesor menos potente que hacia aguas arriba.

Respecto a la hidrogeología en los sectores señalados como de interés para los proyectos de infiltración, a continuación se entregan más antecedentes de las formaciones acuíferas que los subyacen, los que han sido obtenidos de los antecedentes recopilados.

- Choapa 1, Río Illapel entre Cárcamo e Illapel

En este sector, el relleno sedimentario tiene un ancho de cerca de 1 Km y un espesor que varía entre los 100 y 200 m como máximo. La napa se puede encontrar en general a poca profundidad, en torno a 1 m aproximadamente. De la observación en terreno se aprecia que el material que forma el lecho está conformado principalmente por ripios y bolones.

- Choapa 2, Río Illapel entre Illapel y Confluencia con Río Choapa

En este tramo el relleno presenta una disminución tanto en el ancho como en el espesor. Se observa que en este sector posee un ancho en general inferior a los mil metros y su espesor máximo alcanza como máximo los 100 m. De igual manera que en el sector anterior, los niveles de la napa se encuentran relativamente superficiales, encontrándose a profundidades que van desde menos de 1 m de profundidad hasta los 5 o 6 m en algunos casos.

De acuerdo con lo visto en terreno, el material constituyente del lecho corresponde principalmente a bolones insertos en una matriz de material más fino, como arenas y arcillas.

- Choapa 3, Río Chalinga entre Arboleda Grande y Salamanca

Este sector presenta un relleno sedimentario de ancho variable entre 1 y 1,5 Km aproximadamente. El espesor en este sector alcanza un máximo del orden de los 300 m. El nivel de la napa en el sector del río Chalinga se ubica en general entre los 4 y 5 m de profundidad.

Se observa que el lecho en este sector está formado por ripios, gravas y bolones.

- Choapa 4, Río Choapa entre Panguecillo y Santa Rosa

Este sector también presenta un relleno cuyo ancho superficial supera los mil metros y un espesor máximo del orden de los 150 m. El nivel de la napa en este sector se puede encontrar desde los 3 hasta los 15 m de profundidad, desde el sector de aguas abajo hacia aguas arriba.

El lecho en este sector está compuesto principalmente por gravas y arenas.

- Choapa 5, Río Choapa entre El Tambo y Chuchiñi

Este sector posee el relleno de mayor amplitud dentro del valle del río Choapa, llegando incluso hasta tener 3 km de ancho y hasta 400 m de espesor. En este sector el agua subterránea se encuentra entre los 4 y 5 m de profundidad.

Según lo observado en terreno, el material constituyente del lecho corresponde principalmente a bolones insertos en una matriz de material más fino, como arenas y arcilla.

- Choapa 6, Río Choapa entre Peralillo y Limáhuida

En este tramo el relleno se angosta, alcanzando anchos del orden de mil metros y hasta 1,5 Km en el sector de La Posada. El espesor de este relleno puede llegar a tener hasta unos 300 m en este sector. Con respecto a la napa, se ha observado que en general el nivel de la napa se encuentra a poca profundidad entre 1 y 3 m aproximadamente, e incluso en algunos sectores se observan afloramientos.

5.2.2 Cuenca del Río Quilimarí

El río Quilimarí nace de la confluencia de los cauces denominados estero Tilama y quebrada Culimo. Por su parte, el estero Tilama tiene sus nacientes en las montañas de altura media ubicadas entre las cordilleras de Los Andes y de La Costa, a unos 45 Km del océano Pacífico.

Su recorrido es de este a oeste y a lo largo de éste recibe el aporte de pequeños cauces, entre los que destacan las quebradas Quejón, Infiernillo y Seca.

El relleno sedimentario del valle del río Quilimarí en general tiene un ancho bastante reducido, siendo en su mayor parte del orden de 300 a 700 m. El sector de Tilama es donde el relleno posee su mayor amplitud, llegando a ser del orden de 1,5 Km.

Los sedimentos que albergan las principales formaciones acuíferas de este valle corresponden a depósitos aluviales y fluviales recientes que rellenan el sector medio e inferior del río Quilimarí. Hacia aguas arriba, en el sector comprendido entre Culimo y Tilama, el relleno está formado por depósitos coluviales, correspondientes a conos de deyección y escombros de falda. Finalmente, en el sector de la desembocadura, el relleno se forma por terrazas de sedimentos marinos y depósitos eólicos constituidos por dunas antiguas y actuales.

Respecto a la hidrogeología de los sectores definidos como de interés para implementar proyectos de recarga artificial, a continuación se consigna una descripción general de cada uno de estos sectores, obtenida de los antecedentes recopilados.

- Quilimarí 1 y 2, Río Quilimarí desde embalse Culimo hasta 3 Km aguas abajo

En este sector el relleno posee un ancho que va desde los 200 hasta los 300 m. El espesor máximo de este relleno asciende a 25 m. En este sector la napa se encuentra entre los 2 y 4 m de profundidad.

Según se pudo observar en terreno, el lecho está conformado principalmente por gravas, ripios y bolones.

- Quilimarí 3, Río Quilimarí sector quebrada Infiernillo

En este tramo del valle, el relleno sedimentario tiene un ancho del orden de 500 m y un espesor máximo aproximado no superior a 25 m. El nivel del agua subterránea en este sector se encuentra alrededor de los 2 a 3 m de profundidad.

De acuerdo con lo observado en terreno, en este sector el material del lecho presenta gravas y ripios con cantos semiagudos, sobre material arcilloso.

- Quilimarí 4, Río Quilimarí aguas arriba de Guangualí

Este sector del valle se caracteriza por presentar un relleno que no supera los 300 m de ancho. Sin embargo, se observa que el espesor de este material alcanza hasta los 50 m de profundidad como máximo. En relación al nivel de la napa, al igual que en gran parte de la

cuenca, los niveles se encuentran a poca profundidad. En particular, en este sector la napa se encuentra entre 2 y 3 m de profundidad.

Con respecto al material del lecho del cauce observado en terreno, éste está compuesto principalmente por gravas y ripios de cantos semiagudos, con una importante presencia de arcillas.

- Quilimarí 5 y 6, Río Quilimarí aguas abajo de Guangualí

El relleno de este tramo del cauce alcanza un espesor máximo de 35 m hacia el sector poniente, mientras que más próximo a Guangualí, el relleno llega a tener sólo 15 o 20 m. Se midió el nivel de la napa y en este sector se encontró a mayor profundidad, alcanzando los 5 a 7 m bajo el nivel de terreno. El valle tiene un ancho que varía entre los 500 y 600 m aproximadamente.

El material que se observó en la superficie del lecho del río Quilimarí está conformado principalmente por bolones, gravas y ripios de cantos semiagudos sobre arcillas.

- Quilimarí 7, Río Quilimarí aguas arriba de Quebrada Seca

El relleno en este tramo posee un ancho del orden de los 400 m, mientras que hacia el sector de la confluencia con la quebrada Seca, aumenta a un poco más de 600 m. El espesor del relleno se ha estimado en torno a los 25 m. Se midió el nivel de la napa entre los 3 y 7 m de profundidad.

En este sector se observó el mismo material del lecho que se encuentra en el resto de la cuenca.

6 ANTECEDENTES TÉCNICOS Y LEGALES GENERALES DE LA RECARGA ARTIFICIAL

6.1 Objetivos, Condiciones y Ventajas de la Recarga Artificial

Para los efectos del presente trabajo se considerará como recarga artificial a cualquier acción antrópica destinada a incrementar la tasa de infiltración natural sobre un acuífero con el objeto de aprovechar la capacidad de regulación natural de éste para su aprovechamiento en un tiempo posterior o bien para reducir el nivel de sobreexplotación de largo plazo.

Los principales objetivos de la recarga artificial son:

- Almacenar en acuíferos agua superficial excedente, evitando las pérdidas por evaporación, utilizando la función capacitiva del acuífero, e incrementando el volumen del recurso agua disponible.
- Transvasar agua de un punto a otro, sin necesidad de obras de conducción, actuando el acuífero no sólo como almacén sino también como elemento de transporte.
- Crear barreras para:
 - frenar el descenso regional del nivel de aguas subterráneas,
 - frenar el avance de la intrusión marina, o
 - limitar la extensión del cono de drenaje producido por un drenaje minero u excavación subterránea
- Actuar frente a problemas de subsidencia

El desarrollo de obras de recarga artificial requiere de ciertas condiciones que favorecen o facilitan el proceso de infiltración y almacenamiento de las aguas en el acuífero. Aunque no son totalmente limitantes pueden condicionar de forma importante el objetivo de una obra de recarga.

Dichas condiciones tienen que ver con contar con suelos permeables que condicionan el método de recarga, un acuífero suficientemente permeable para asegurar un proceso de infiltración eficiente hasta la napa y un agua de recarga de calidad adecuada tanto física (desprovista de sedimentos), como química (que no afecte la calidad natural del agua de la napa).

Las principales ventajas de la implementación de proyectos de recarga artificial son:

- Reducir el descenso del nivel del agua producido por sobre-bombeo o sobre-explotación, que genera los consiguientes problemas y sobrecostos derivados de abandono de pozos o re-profundización de los mismos.
- Utilización del acuífero como embalse regulador natural, favoreciendo la reducción de pérdidas por evaporación, y por otro, facilitar a los usuarios la oportunidad de tener una cierta independencia de las intermitencias del ciclo hidrológico, y una favorable repartición temporal de los recursos, aumentando el rendimiento y la regulación de los recursos del agua.

Otras ventajas de menor relevancia que pueden señalarse son:

- Utilización del acuífero como red de distribución, lo que permite reducir o evitar la construcción o instalación de obras de conducción o distribución.
- Permitir compensación de efecto de pérdida de recarga natural producido por actividades antrópicas tales como modificación de cauces, urbanizaciones, drenajes, etc.
- Evitar que aguas de inferior calidad existentes en el acuífero se desplacen hacia las captaciones de buena calidad.
- Establecer una barrera hidráulica para controlar o “encapsular” focos de contaminación
- Evacuación y depuración de aguas residuales tratadas, en la medida que las disposiciones vigentes lo permitan, a través de su infiltración en el terreno.
- Control de intrusión salina en zonas costeras

6.2 Requerimientos de Información

En términos generales los estudios de base y la ejecución del proyecto requieren abordar aspectos tales como: análisis de usos y demandas, caracterización hidrológica, climatológica e hidroquímica; caracterización hidrogeológica, modelación numérica del sistema hidrogeológico (simulación para diseño, operación y gestión), desarrollo de estudios hidrogeológicos de detalle; levantamiento de información de terreno; idealmente la construcción de una instalación piloto y, su seguimiento y control.

Lo anterior permite disponer de un conocimiento básico para la evaluación de la obra de recarga e identificar de forma adecuada los factores que condicionan su realización. Dichos factores corresponden a: i) características del agua de recarga; ii) características

del acuífero receptor; iii) condiciones meteorológicas y ambientales del entorno, y iv) características de la instalación y método de recarga.

a) Características del agua de recarga

El agua de recarga puede tener diferentes orígenes, desde aguas de escorrentía superficial; distinguiendo las de deshielo, las de crecidas y las de flujo base; aguas procedentes de plantas de tratamiento (sanitarias o riles); aguas lluvias urbanas; aguas de desalinización, entre otras.

Resulta fundamental conocer adecuadamente la evolución temporal de esa agua, tanto en cantidad como en su constitución físico-química, lo anterior incluye el análisis de la situación de extracciones y descargas, por cuanto pueden incidir en cantidad y calidad (incluyendo los aspectos sedimentométricos).

La información necesaria para estos efectos corresponde a:

- Caudales medios, máximos y mínimos
- Concentración de sólidos en suspensión,
- Composición físico-química incluyendo macroelementos, metales pesados, compuestos orgánicos, compuestos nitrogenados y fósforo.
- Análisis bacteriológico y virológico
- Contenido en gases disueltos

Probablemente no se cuente con toda la información requerida a través de las redes de monitoreo públicas; lo que requerirá el levantamiento de información de campo y evaluar la necesidad de implementar mediciones sistemáticas para el desarrollo del proyecto y para posteriormente el seguimiento y control de su desempeño.

b) Características del acuífero receptor

En principio, la recarga artificial puede realizarse sobre cualquier formación permeable, que tenga condiciones de almacenamiento y transmisión adecuadas. El éxito de la operación depende, en gran medida, de sus características hidrogeológicas e hidrodinámicas, así como del régimen de explotación al que esté sometido.

Normalmente, la recarga artificial se realiza sobre acuíferos libres, con nivel piezométrico a profundidad intermedia o somera, bien en materiales granulares (depósitos aluviales o areniscas), bien en materiales consolidados (calizas y dolomías fracturadas y/o karstificadas), aun cuando también puede ser aplicada a acuíferos confinados a cierta profundidad y bajo presiones elevadas

Los datos del acuífero que es necesario conocer corresponden a:

- geología, litología (formaciones, fallas, volcanismo, etc.)
- hidrogeología (extensión rellenos, naturaleza y estructura, espesor, granulometría, compactación, transmisividad, porosidad, coeficiente de almacenamiento, permeabilidad, dirección del flujo, niveles, etc.)
- calidad del agua almacenada y potencial respuesta o reacciones frente a cambios de parámetros físico-químicos (quimismo)
- ubicación de afloramientos y zonas de pérdida del cauce

En lo referente a los aspectos hidrodinámicos la respuesta del acuífero frente a la señal hidrológica es relevante. Esto, en el sentido de que existen sistemas de respuesta rápida, con vaciamientos y llenado frecuente, incluso en casos donde la explotación puede ser intensiva, frente a otros de mayor volumen, o con una razón “volumen de recarga/volumen almacenado” mucho menor cuyas fluctuaciones son más lentas.

c) Características hidroclimatológicas

La meteorología condiciona la oferta de agua; también las condiciones de flujo de infiltración en los primeros horizontes del suelo. Los factores hidrometeorológicos más relevantes que inciden en el balance hídrico, especialmente en su distribución temporal y en las variaciones de almacenamiento que son las relevantes en este tipo de proyectos, son:

- pluviometría
- evaporación
- evapotranspiración
- viento, temperatura, insolación.

d) Características ambientales del entorno

El relieve del entorno, condiciona las posibilidades de recarga, así como el método y las instalaciones más apropiadas.

Los factores ambientales más relevantes que deben ser considerados, son los referentes a:

- topografía y pendiente
- cobertura vegetal
- red de drenaje superficial

e) Alternativas de instalaciones de recarga

El análisis de la técnica y método de recarga apropiado, para cada caso, debe ser analizado teniendo en cuenta los siguientes factores:

- diferentes alternativas de instalaciones de infiltración
- necesidad y tipo de instalaciones auxiliares (decantadores, filtros, balsas de sedimentación, electrificación, sistema de inyección a presión, conducción, etc.)
- métodos, equipos de control y seguimiento (caudalímetros, piezómetros, presión de inyección, toma de muestras, etc.)
- elementos de conducción del agua de recarga (acequias, canales, tuberías, etc.).

6.3 Métodos o Dispositivos de Recarga

Existen diversos tipos de métodos o dispositivos desarrollados para incrementar la recarga hacia los acuíferos, de hecho hay varios métodos de carácter ancestral utilizados en la zona de los Andes (por ejemplo: terrazas de riego y canales o zanjas interceptoras) cuyos fundamentos se siguen aplicando en la actualidad.

Los dispositivos u obras de recarga se pueden clasificar en dos grandes grupos: superficiales y profundos. Las obras de carácter superficial, como su nombre lo señala, buscan infiltrar el agua desde la superficie, ya sea en el cauce natural o fuera de éste; en contraposición, las obras profundas o subterráneas; buscan infiltrar el agua en profundidad, es decir en forma directa en el subsuelo, usualmente en contacto con el agua almacenada.

En el primer caso la recarga aplica a acuíferos libres, por cuanto en acuíferos confinados la capa confinante impide el ingreso de las aguas de recarga inducida por esta vía. En el caso de los métodos subterráneos este condicionamiento no existe.

6.3.1 Dispositivos Superficiales

- a) Ubicados dentro del cauce

Los principales tipos de instalaciones de recarga superficial, en cauces, son los siguientes:

- *Serpenteos y barreras o diques*

Se basan en aumentar el tiempo de permanencia y la superficie de contacto, entre el agua y el terreno, mediante la construcción de diques; espigones, o barreras, transversales al cauce, que obligan a que el agua serpenteo incrementando la infiltración natural del río.

Naturalmente para estos efectos el cauce natural (río, estero, quebrada) debe ser perdedor o curso influente.

- *Escarificación del lecho del cauce*

Busca mejorar las condiciones de infiltración a través de la limpieza, rascado o arado del lecho del cauce; a objeto de remover el asentamiento o depositación de materiales finos.

Es una alternativa sencilla y económica que aplica cuando el cauce infiltra.

- *Zanjas filtrantes en cauces*

Consiste en zanjas excavadas dentro del lecho del cauce y perpendicularmente al sentido del flujo. Por lo general no son muy profundas; se rellenan con piedras de cantos rodados para facilitar la infiltración.; puede considerarse relleno graduado en la parte superior para un mejor control de la colmatación. La incorporación de barreras inmediatamente aguas abajo favorece la infiltración.

Es importante el análisis de la variabilidad de los flujos y la torrencialidad del cauce para los fines de la estabilidad de la obra; dependiendo de esta condición puede tratarse de obras que requieran rehacerse año a año; en estos casos la construcción de barreras debe considerar tramos fusibles para evitar golpes de agua.

También es una alternativa sencilla y económica aplicable cuando el cauce infiltra.

- *Barreras en cauces*

Corresponde a barreras de pequeña envergadura; el objeto es aumentar el tiempo de retención del flujo de agua, especialmente en épocas de lluvia. Puede haber de carácter permanente o de carácter provisorio; estas últimas resultan más económicas y sencillas.

Dentro de este caso se pueden distinguir distintas opciones: a) Barrera impermeable; barrera permeable; barrera con orificios o ranuras; cada alternativa aplica según las condiciones del cauce en términos de la variabilidad o asimetría de los caudales; torrencialidad del cauce (pendiente, arrastre; proporción de finos respecto de fracción gruesa).

En general aplica a cauces ubicados en zonas áridas, semiáridas y de transición; en particular en cauces de menor orden son recomendables ya que no implican tamaños importantes; como efecto adicional permiten amortiguamiento de las crecidas. Debe tenerse precaución en su diseño, especialmente cuando se contempla este tipo de obras en serie para evitar fallo secuencial en caso de tormentas intensas.

b) Ubicados fuera del cauce

El fundamento de estos sistemas ampliar el área de recarga buscando una superficie de terreno propicia para la infiltración al acuífero, que para estos efectos corresponde a un acuífero libre.

Las principales obras de recarga desde superficie y fuera de cauces son:

- *Zanjas, acequias o canales*
Corresponden a obras lineales de conducción de agua, de poca profundidad, que siguen la topografía del terreno (curvas de nivel); cumplen la función de interceptar el flujo superficial producido por la precipitación generalmente, la infiltración se produce por el fondo y por las paredes de la canalización
- *Balsas, lagunas o piscinas de infiltración*
Corresponde a obras, por lo general de geometría rectangular y de tierra, de poca profundidad destinadas a almacenar agua para su infiltración; la profundidad además del volumen asociado permite contar con “carga hidráulica” para reforzar el proceso de infiltración que se produce por el fondo.

Estas obras de recarga suelen construirse en grupo ya sea en serie o con líneas en paralelo. La vida útil, con un adecuado mantenimiento, suele estar entre 10 y 20 años.

- *Superficies de recarga*
Se trata de extender agua por la superficie del terreno, normalmente mediante aspersión, de forma que se oxigena mucho el agua, creando un ambiente oxidante, que mejora la calidad bacteriológica del agua.

Un caso particular corresponde a los denominados “campos de extensión o inundación”, que son campos de labor agrícola sobre los que se aplican elevadas dotaciones de forma intencional, de modo de aprovechar la superficie existente para infiltración; esta técnica sólo es posible en situaciones de excedencia hídrica.

- *Filtración inter-dunar*
En este método, los valles entre dunas costeras de arena son inundados con agua de ríos; el agua se infiltra al interior de los sedimentos subyacentes y crea un volumen de agua de recarga. Este volumen puede tener un rol importante en cuanto a prevenir la intrusión salina, además de ser una fuente de agua para utilizar tierra adentro.

Un objetivo principal de este tipo de obras es la mejora de la calidad de agua del cuerpo receptor usualmente con niveles de salinidad importantes.

6.3.2 Dispositivos Profundos

El propósito es la introducción de agua de recarga en forma directa al acuífero; se realiza a través de pozos o sondajes profundos. Aplica a acuíferos libres con cierta profundidad y acuíferos confinados.

Las principales obras de recarga profunda son:

- *Pozos de inyección*
La inyección se realiza a través de pozos o sondajes profundos, por gravedad o mediante presión. El agua se inyecta bajo el nivel piezométrico. Es importante cuidar la forma de inyección de forma de evitar turbulencias y desprendimiento de CO₂, que podría ocasionar la formación de incrustaciones calcáreas en los filtros. Por lo general la vida útil de obras adecuadamente operadas suele ser de 5-10 años.
- *Balsas o zanjas con pozos de infiltración*
Corresponde a un sistema mixto, que considera las balsas y zanjas descritas previamente, a los que se incorporan pozos de inyección.
- *Galerías filtrantes*
Corresponde a pozos horizontales, socavones, túneles filtrantes; existiendo una gran diversidad de denominaciones¹; la utilización de estas obras es ancestral para el aprovechamiento de aguas subterráneas. En este caso el principio es similar pero en sentido inverso. Puede aplicarse en zonas donde se dispone de escorrentía pero los suelos someros son poco permeables, esto en combinación con zanjas o fosos que concentran y conducen el flujo hacia el punto de infiltración.
- *Pozos con galerías*
Considera dos componentes; una perforación vertical a partir de la cual desde el fondo se desarrollan galerías o pozos horizontales, lugar donde se produce el proceso de infiltración al acuífero. En diversos casos se entiende forma parte dentro del concepto galería filtrante.
- *Simas y dolinas*
En acuíferos kársticos, en los que existen cavidades verticales que alcanzan a la superficie, se pueden aprovechar estas depresiones kársticas², a modo de sumideros, para la recarga artificial.

¹ Existen denominaciones tales como: minas de agua, pozos horizontales, pozos en cadena.

² *Dolina*: Corresponde a una formación cerrada; que es una depresión circular o elíptica, en forma de cubeta o embudo, que se forma por disolución (y consiguiente pérdida de volumen) en su fase inicial, a partir de la intersección de diaclasas, generalmente a favor de los planos de estratificación, produciéndose un proceso en cadena de infiltración-disolución. En general se disponen alineadas según fracturas o direcciones de estratificación determinadas. Sus

- *Filtración en el lecho de los ríos*

Consiste en inducir la infiltración en el lecho del río induciendo un gradiente por bombeo desde un pozo cercano. Al igual que en la mayoría de los casos, el inconveniente principal es la génesis de procesos de colmatación (tanto biofilms como relleno de los poros por partículas de arcilla, limo o carbono orgánico), y además la acumulación de metales y compuestos orgánicos en el lecho.

La conductancia del lecho y la capacidad de depuración están condicionadas, entre otros factores, por la distribución de los granos del acuífero, la calidad del agua y la temperatura.

Los procesos colmatantes reducen la capacidad de infiltración del lecho, pero también contribuyen a la biodegradación de contaminantes.

6.3.3 Consideraciones sobre Alternativas de Recarga

Al comparar la conveniencia de uno u otro método, deben tenerse en cuenta las ventajas e inconvenientes de cada uno. En general, al comparar los sistemas de recarga superficial frente a los profundos, pueden destacarse los siguientes aspectos:

- las obras de recarga superficial suelen requerir mayor disponibilidad de espacio superficial, que las de recarga profunda.
- las obras de recarga artificial deben emplazarse sobre terrenos permeables, que permitan conectar libremente con el acuífero.
- los canales, balsas, piscinas, cauces y zonas encharcadas, para recarga superficial, pueden favorecer la presencia de mosquitos y otros insectos u animales que acudan a beber.
- las instalaciones de recarga deben ser protegidas, mediante cercos.
- las obras de recarga superficial suelen requerir un acondicionamiento previo.

dimensiones varían desde unos pocos metros de diámetro hasta incluso 500 m, normalmente están rellenas en su centro por arcillas de descalcificación

Simá: corresponde a una formación abierta, que es una cavidad vertical, condicionada ya sea por fracturas de este tipo, en las que la disolución y erosión ha alcanzado profundidades importantes (p.ej. 1000 m) , o bien por el hundimiento de una dolina, de ahí que normalmente se hable de simas tectónicas y simas de hundimiento. Según su forma se habla de simas lenticulares, cilíndricas, elípticas, etc.

- los caudales de recarga superficial suelen ser muy superiores a los obtenidos en obras profundas, pero también lo son las pérdidas por evaporación.
- las exigencias sobre la calidad del agua de recarga son muy superiores en las obras profundas, al ser más complejas las operaciones de limpieza y control.
- los problemas de colmatación plantean más dificultades en la recarga profunda que en la superficial.
- el grado de autodepuración del terreno es mayor en la recarga superficial que en la profunda.

En particular para los sistemas de recarga superficial cabe mencionar algunos factores adicionales a tener en cuenta al momento de su evaluación:

- Dependiendo de la disponibilidad de terreno puede resultar muy difícil, incluso imposible establecer estos sistemas en una zona poblada o muy cultivada, por no disponer de espacio o por la carestía del suelo. Estas operaciones requieren en general terrenos rústicos y baratos.
- Las instalaciones requieren de estructuras adicionales (cercos, vallas, caminos de servicio, pasos elevados). Su ubicación en terrenos rurales conlleva la necesidad de espacio suficiente para el tránsito de maquinaria agrícola.
- Puede ser necesario realizar expropiaciones previas, acondicionar el terreno, realizar nivelaciones, desmontes y terraplenes, compactación de tierras, retirar coberturas poco permeables o arcillosas superficiales, retirar vegetación.
- Existen impactos derivados del transporte de materiales, movimiento de maquinaria pesada, acopio de materiales, vertido de desechos, bien sean temporales (incluidos los ruidos, polvo atmosférico y gases por combustión de maquinaria en los movimientos de tierra), o permanentes en la fase de explotación.
- En caso de ser necesario pretratamiento del agua previo al filtrado, la instalación de plantas de este tipo requieren de espacio y la necesidad de tendidos eléctricos para su funcionamiento.

6.3.4 Identificación de Opciones

En relación con las alternativas para recarga artificial, pueden darse ciertas características que se adaptan de mejor forma que otras a ciertas condiciones; la recomendación que sigue más abajo no es taxativa, ya que otras opciones no son desechadas por completo.

Evidentemente las acciones requieren contar, como primera cuestión con la disponibilidad física de agua, las condiciones legales y técnicas para la localización de los puntos donde materializarlos.

- Acuíferos de gran extensión y volumen de aprovechamiento

No corresponde al caso más común en nuestro país; un caso representativo corresponde a la Pampa del Tamarugal.

En este caso, para acuíferos libres la alternativa de recarga por la vía superficial puede ser la más aconsejable en la medida que los flujos disponibles para esto sean significativos. Para acuíferos confinados la inyección resulta la opción, sin embargo la calidad del agua podría ser inferior en el cuerpo receptor.

En el caso de zonas áridas donde la asimetría de los caudales es importante la captura de las aguas resulta importante, y considerando que las tasas de evaporación son altas; una solución mixta entre lagunas o piscinas y pozos de inyección parece la más recomendable. Se requerirá de sistemas de tratamiento previo (decantación, filtrado) para reducir los problemas de colmatación.

La retención del flujo a través de barreras semipermeables, puede permitir mayor infiltración en las zonas de cabecera.

- Acuíferos de valle estrecho y de volúmenes menores

En el caso de acuíferos estrechos existe una importante relación río-acuífero; los volúmenes son relativamente pequeños y en promedio presentan pendientes importantes y una dinámica alta.

Siguen la señal hidrológica en forma cercana, es decir no hay un desfase significativo en relación con los flujos superficiales; presentan una alta frecuencia donde se aprecia el sistema lleno o saturado con vaciamientos rápidos. El nivel de explotación puede amplificar la oscilación; pero en general se mantiene dicha secuencia. Casos como estos corresponden a los ríos San José, Huasco; Elqui y Huatulame.

En zonas de valles de este tipo, sin respaldo hidrológico nival, los sistemas tienen oscilaciones muy marcadas que siguen la estacionalidad de las lluvias y la magnitud de los descensos se relaciona con la presencia de años más secos. Casos representativos son los ríos Ligua; Petorca y Quilimarí.

En estos casos el manejo del cauce para aumentar el tiempo de tránsito resulta una opción interesante; aunque se debe combinar con alternativas de retención superficial

o recarga superficial de ladera que permitan diferir la recarga cuando el sistema se satura.

- Acuíferos de valle mediano y con volumen intermedio

En general en estos sistemas se cuenta con valles más desarrollados donde existe una oferta hídrica mayor, ejemplos son río Maipo; río Maule; cuencas donde el riego es muy importante y de hecho genera un aporte no menor a la recarga del sistema.

En estos casos pueden darse distintas alternativas. En los pequeños afluentes de zonas de cabecera e intermedia, la retención de caudales invernales permite acumular volúmenes relativamente relevantes los cuales pueden infiltrarse a través de la cubeta y con inyección.

En la zona media a baja donde el cauce se desarrolla en forma más ancha el serpenteo ayuda a la infiltración hasta cierto nivel de caudales; para caudales mayores al aporte se pierde respecto de la condición basal y debe asegurarse que las obras no produzcan alteraciones significativas que produzcan desbordes, erosión de riberas u otros problemas.

El riego de otoño e invierno en paños acotados puede ser una alternativa interesante; la que requiere de una adecuada planificación y logística para evitar problemas de anegamiento e inundaciones de vías o poblaciones.

En estos casos la identificación de existencia de confinamiento es de alta importancia para evitar aplicar inadecuadamente las soluciones previstas. Eventualmente la detección de lentes puede ser de interés en el sentido de que pueda manejarse el volumen de recarga como un sistema “colgado” que lo puede independizar del flujo principal; esta opción requiere un nivel mucho más fino de información.

- Pequeños acuíferos costeros

En general se esperan sistemas de poca potencia, con pendientes importantes; es decir con una alta dinámica. Dependiendo de su localización la pluviosidad será mayor de norte a sur; siendo los de la zona norte y centro norte los que pueden presentar mejor condiciones para aceptar recarga. Representativos de esta situación son los acuíferos del estero San Jerónimo en la Región de Valparaíso y el estero Culebrón en la Región de Coquimbo.

En estos casos es recomendable iniciar con el manejo de cauce a través de serpenteo; complementando con barreras semipermeables en el cauce y con piscinas de infiltración cuando los caudales resulten mayores de forma de aprovecharlos.

6.4 Aspectos Legales

En el trabajo en desarrollo deberán considerarse todas las disposiciones que se refieren a la posibilidad de realizar la acción de recarga; las relacionadas con la materialización de las obras mismas, y las relacionadas con la operación de la recarga, elementos contenidos en el Código de Aguas y su Reglamento relativo a las aguas subterráneas.

Por su parte corresponde analizar los elementos que se relacionan o podrían relacionarse con las materias ambientales, las cuales en lo fundamental quedan contenidas en la Ley de Bases de Medio Ambiente.

A continuación se presenta una relación de las disposiciones que regulan lo señalado:

6.4.1 Disposiciones del Código de Aguas

6.4.1.1 Código de Aguas

a) Recarga artificial

El Código de Aguas, en la modificación efectuada en el año 2005, incorpora el concepto de recarga artificial:

Art. 66. La Dirección General de Aguas podrá otorgar provisionalmente derechos de aprovechamiento en aquellas zonas que haya declarado de restricción³. En dichas zonas, la

³ La DGA, mediante Resolución N°2455 Exenta, de fecha 10 de Agosto de 2011, reemplazó el punto 6.4.2 Áreas de Restricción (Expediente Tipo VAR), en su párrafo relativo al Procedimiento, del "Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos – 2008", por el siguiente: "Declarada un área de restricción, la DGA está facultada para constituir prudencialmente, derechos de aprovechamiento de aguas, en calidad de provisionales, los que podrán transformarse en definitivos, después de 5 años de ejercicio efectivo en los términos concedidos y sin que los titulares de derechos constituidos, hayan demostrado sufrir daños.

La magnitud de los derechos de aprovechamiento provisionales quedará determinada para cada sector hidrogeológico de aprovechamiento común, utilizando otro sector hidrogeológico de aprovechamiento común como patrón o referencia, cuyas características son comparables y en el cual no se han detectado o establecido afectación a derechos de terceros ni afectación a la fuente. Dicho sector hidrogeológico de aprovechamiento de referencia o patrón se definirá en función de las características hidrogeológicas, régimen hídrico, características morfológicas, ubicación geográfica, interrelación con fuentes superficiales, áreas productivas predominantes y la relación entre la demanda comprometida y el volumen sustentable.

El volumen a otorgar como derechos provisionales, se calculará 'como el volumen determinado en la relación "demanda comprometida partido por volumen sustentable del patrón, multiplicado por el volumen sustentable del sector acuífero en estudio, menos la demanda comprometida a la fecha en el sector".

Se entenderá como demanda comprometida los derechos constituidos, derechos regularizados y regularizables mediante el artículo 2° Transitorio del Código de Aguas, así como los derechos constituidos y susceptibles de ser constituidos conforme a los artículos 3°, 4° Y 6° de la Ley 20.017 de 2005.

En el sector acuífero utilizado como patrón, se otorgarán nuevos derechos en calidad de provisionales, por un volumen igual al 20% de su volumen sustentable.

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.

Art. 67. 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 Art. 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.

Cabe señalar además que, en el caso de proyectos de recarga artificial de acuíferos, para los cuales se contemple solicitar derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, asociados a los caudales de recarga, en calidad de provisionales, estos recursos corresponden a nuevos volúmenes de agua, que no serían homologables en una cuenca patrón de condiciones similares, pues se generan a través de un proceso no natural, como es utilizar en obras de recarga, por ejemplo aguas servidas tratadas o los caudales excedentes de invierno que se perderían en el mar e infiltrarlos al acuífero. Por lo tanto en este caso, de acuerdo a la Res. DGA N°2455, el procedimiento a aplicar para fijar los derechos provisionales sería el de considerar una magnitud equivalente al volumen sustentable en el sector, sujeto al monitoreo de la explotación y el seguimiento del comportamiento del acuífero.

b) Construcción de obras de recarga

Dependiendo del tipo de solución que se desarrolle, particularmente en el caso de obras superficiales, puede ser necesaria la obtención de permisos o autorizaciones; los casos genéricos corresponden a:

Para aquellos sectores en los cuales no sea aplicable la metodología anterior, debido a las características particulares del sector, o bien no exista un sector hidrogeológico de aprovechamiento común patrón, se otorgará derechos provisionales en magnitud equivalente al volumen sustentable en dicho sector, sujeto al monitoreo de la explotación y seguimiento del comportamiento del acuífero. La Dirección General de Aguas podrá exigir además un Plan de Alerta Temprana (PAT), en aquellos casos cuya evaluación y características particulares justifiquen la conveniencia de establecer un mejor control y seguimiento del estado del acuífero y su condición de explotación.

Para el otorgamiento de derechos provisionales no será requisito que la comunidad de aguas subterráneas se haya organizado, pero sí lo será al momento en que se desee la transformación de derechos provisionales a definitivos.

La declaración de un sector acuífero como área de restricción, deberá publicarse en el Diario Oficial y sus efectos legales comenzarán a regir desde la fecha de su publicación".

- i) Cualquier modificación⁴ de cauce natural o artificial.
- ii) Construcción de acueductos⁵ con capacidad de más de 2 m³/s, o aquellos próximos al límite urbano y con capacidad de más de 0,5 m³/s y a un nivel superior en 10 m por sobre el terreno del límite urbano.
- iii) Cualquier cruce de cauce natural que se realice a través de sifón o canoa.
- iv) Los embalses, obras de acopio de agua, cuyo volumen sea mayor a 50 mil m³ o cuyo muro tenga más de 5 m. de altura.

⁴ Art. 41.- *El proyecto y construcción de las modificaciones que fueren necesarias realizar en cauces naturales o artificiales, con motivo de la construcción de obras, urbanizaciones y edificaciones que puedan causar daño a la vida, salud o bienes de la población o que de alguna manera alteren el régimen de escurrimiento de las aguas, serán de responsabilidad del interesado y deberán ser aprobadas previamente por la Dirección General de Aguas de conformidad con el procedimiento establecido en el párrafo 1 del Título I del Libro Segundo del Código de Aguas. La Dirección General de Aguas determinará mediante resolución fundada cuáles son las obras y características que se encuentran en la situación anterior.*

Se entenderá por modificaciones no solo el cambio de trazado de los cauces mismos, sino también la alteración o sustitución de cualquiera de sus obras de arte y la construcción de nuevas obras, como abovedamientos, pasos sobre o bajo nivel o cualesquiera otras de sustitución o complemento.

La operación y la mantención de las nuevas obras seguirán siendo de cargo de las personas o entidades que operaban y mantenían el sistema primitivo.

Si la modificación introducida al proyecto original implica un aumento de los gastos de operación y mantención, quien la encomendó deberá pagar el mayor costo.

Art. 171. Las personas naturales o jurídicas que desearan efectuar las modificaciones a que se refiere el artículo 41 de este Código, presentarán los proyectos correspondientes a la Dirección General de Aguas, para su aprobación previa, aplicándose a la presentación el procedimiento previsto en el párrafo 1° de este Título.

Cuando se trate de obras de regularización o defensa de cauces naturales, los proyectos respectivos deberán contar, además, con la aprobación del Departamento de Obras Fluviales del Ministerio de Obras Públicas⁴. Quedan exceptuados de los trámites y requisitos establecidos en los incisos precedentes, los Servicios dependientes del Ministerio de Obras Públicas, los cuales deberán remitir los proyectos de las obras a la Dirección General de Aguas, para su conocimiento, informe e inclusión en el Catastro Público de Aguas.

Art. 294. Requerirán la aprobación del Director General de Aguas, de acuerdo al procedimiento indicado en el Título I del Libro Segundo, la construcción de las siguientes obras:

- a) Los embalses de capacidad superior a cincuenta mil metros cúbicos o cuyo muro tenga más de 5m. de altura;*
- b) Los acueductos que conduzcan más de dos metros cúbicos por segundo;*
- c) Los acueductos que conduzcan más de medio metro cúbico por segundo, que se proyecten próximos a zonas urbanas, y cuya distancia al extremo más cercano del límite urbano sea inferior a un kilómetro y la cota de fondo sea superior a 10 metros sobre la cota de dicho límite, y*
- d) Los sifones y canoas que crucen cauces naturales.*

Quedan exceptuadas de cumplir los trámites y requisitos a que se refiere este artículo, los Servicios dependientes del Ministerio de Obras Públicas, los cuales deberán remitir los proyectos de obras a la Dirección General de Aguas, para su conocimiento, informe e inclusión en el Catastro Público de Aguas.

Art. 295. La Dirección General de Aguas otorgará la autorización una vez aprobado el proyecto definitivo y siempre que haya comprobado que la obra no afectará la seguridad de terceros ni producirá la contaminación de las aguas. Un reglamento especial fijará las condiciones técnicas que deberán cumplirse en el proyecto, construcción y operación de dichas obras.

Quedan exceptuados de este trámite de aprobación los servicios dependientes del MOP.

En el caso de las obras consideradas en el art. 294, denominadas obras mayores, se establecen exigencias relacionadas con la supervisión durante la construcción de las obras⁶ y el establecimiento de garantías⁷; que es necesario tener presente si las obras a proyectar o construir quedan comprendidas dentro de estas especificaciones.

A la fecha la reglamentación referida tanto en el art. 41 y en el 294, no ha sido oficializada; pero se encuentra en proceso avanzado por lo cual es esperable que sea publicada en un plazo relativamente breve.

Cabe agregar que también se establece la facultad de fiscalización de obras mayores (art. 307), que puedan encontrarse en una condición de deterioro y por este efecto afectar a terceros. Pudiendo establecer normas de operación transitorias y determinar multas de no efectuarse las reparaciones que corresponda.

iv) Requisitos para funcionamiento de una obra de recarga

Cualquier utilización del recurso hídrico asociada a este tipo de proyectos requiere contar con los derechos correspondientes⁸.

La obtención de los derechos puede hacerse por la vía administrativa, judicial en el caso de regularización o bien por la compra de ellos⁹.

⁶ Art. 296. La Dirección General de Aguas supervisará la construcción de dichas obras, pudiendo en cualquier momento, adoptar las medidas tendientes a garantizar su fiel adaptación al proyecto autorizado. Las resoluciones que se dicten en conformidad a estas normas deberán ser fundadas y en contra de ellas procederán los recursos a que se refieren los artículos 136° y 137°, de este código, que en estos casos no suspenderán su cumplimiento

Art. 297. Los que construyan las obras de que trata este título deberán constituir las garantías suficientes para financiar el costo de su eventual modificación o demolición, para que no constituyan peligro, si fueren abandonadas durante su construcción. La garantía se constituirá a favor del Fisco y será devuelta una vez recibida la obra por la Dirección General de Aguas. En el caso de que sea abandonada durante su construcción, se restituirá el saldo de la garantía no aplicada a la ejecución de las obras de modificación o demolición. Para reiniciar las obras, deberá constituirse la garantía a que se refiere el inciso primero.

El Director General de Aguas podrá eximir de la obligación de constituir las garantías a que se refiere este artículo, tratándose de obras que ejecuten los Servicios Públicos o las Empresas del Estado, siempre que en el proyecto respectivo se contemplen las medidas tendientes a asegurar que en el caso de una eventual paralización de las obras éstas no constituirán peligro

⁸ Art. 5 Las aguas son bienes nacionales de uso público y se otorga a los particulares el derecho de aprovechamiento de ellas

⁹ Art. 6 El derecho de aprovechamiento sobre las aguas es de dominio de su titular, quien podrá usar, gozar y disponer de él en conformidad a la ley.

No obstante existen situaciones especiales en las cuales el uso es permitido bajo ciertas condiciones, como en el caso de las aguas pluviales¹⁰; situación que requiere una evaluación cuidadosa y detallada.

En el caso de disponer de derechos u obtenerlos en puntos distintos y en el mismo cauce, será necesario recurrir al traslado del ejercicio acorde al art. 163¹¹

En el evento de que las aguas disponibles se encuentren en una fuente distinta será necesario el cambio de la fuente de abastecimiento, según lo estipulan los artículos 158 y 159¹².

Debe tenerse presente que en los casos mencionados adicionalmente debe contarse con la autorización para construcción de bocatoma que ordena el art. 151¹³.

6.4.1.2 Reglamento del Código de Aguas

En lo fundamental en lo referido al reglamento de aguas subterráneas, el análisis se centrará en lo referido a la recarga artificial.

¹⁰ Son aguas pluviales las que proceden inmediatamente de las lluvias.

Art. 10 El uso de las aguas pluviales que caen o se recogen en un predio de propiedad particular corresponde al dueño de éste, mientras corran dentro de su predio o no caigan a cauces naturales de uso público.
En consecuencia, el dueño puede almacenarlas dentro del predio por medios adecuados, siempre que no se perjudique derechos de terceros

¹¹ Art. 163. Todo traslado del ejercicio de los derechos de aprovechamiento en cauces naturales deberá efectuarse mediante una autorización del Director General de Aguas, la que se tramitará en conformidad al párrafo 1° de este Título. (Título I, Libro segundo). Si la solicitud fuera legalmente procedente, no se afectan derechos de terceros y existe disponibilidad del recurso en el nuevo punto de captación, la Dirección General de Aguas deberá autorizar el traslado

¹² Art. 158. La Dirección General de Aguas estará facultada para cambiar la fuente de abastecimiento, el cauce y el lugar de entrega de las aguas de cualquier usuario, a petición de éste o de terceros interesados, cuando así lo aconseje el más adecuado empleo de ellas.

Art. 159. El cambio de fuente de abastecimiento sólo podrá efectuarse si las aguas de reemplazo son de igual cantidad, de variación semejante de caudal estacional, de calidad similar y siempre que la sustitución no cause perjuicio a los usuarios.

¹³ Art. 151. Toda solicitud de construcción, modificación, cambio y unificación de bocatomas, deberá expresar, además de la individualización del peticionario, la ubicación precisa de las obras de captación en relación a puntos de referencia conocidos, la manera de extraer el agua y los títulos que justifiquen el dominio de los derechos de aprovechamiento que se captarán con las obras que se pretende ejecutar. El interesado podrá ingresar a un predio ajeno en la forma prevista en el art. 107, para efectuar los estudios de terreno necesarios para la elaboración del proyecto de obras.

Específicamente el Reglamento de Aguas Subterráneas (Resolución DGA N° 425 del año 2007) establece respecto de la recarga artificial:

“Artículo 34º. Para los efectos de lo dispuesto en los artículos 66 inciso segundo y 67 inciso primero parte final, ambos del Código de Aguas, quienes deseen ejecutar obras de recarga artificial de acuíferos, deberán entregar una memoria técnica que contenga, a lo menos, lo siguiente:

- a) Descripción del sistema de recarga artificial.*
- b) Descripción de la naturaleza física y situación jurídica del agua a utilizar en la recarga artificial.*
- c) Descripción del sitio de recarga.*
- d) Características geológicas e hidrogeológicas del sector.*
- e) Características de la zona no saturada.*
- f) Características de acuífero.*
- g) Velocidad y dirección del flujo.*
- h) Comportamiento histórico de los niveles de agua en el sector.*
- i) Calidad del agua.*
- j) Impactos asociados a la obra de recarga artificial, área de influencia de la recarga artificial, impactos calculados, análisis de domos e impacto sobre la calidad del agua.*
- k) Plan de monitoreo, que contemple al menos:*
 - 1. Monitoreo del nivel de las aguas.*
 - 2. Monitoreo de la calidad de las aguas.*
 - 3. Control del caudal de recarga.*
 - 4. Control de extracciones.*
- l) Plan de contingencia, que contemple al menos:*
 - 1. Medidas de protección del acuífero.*
 - 2. Planes de alerta ante impactos no deseados.”*

Cabe mencionar que los requerimientos establecidos en el art. indicado cubren en forma completa los elementos esenciales de un proyecto de recarga artificial.

En general en proyectos de esta naturaleza se puede agrupar las actividades de la siguiente forma:

Caracterización del sistema:

- Caracterización y descripción del medio físico existente
- Caracterización jurídica de las aguas de recarga
- Descripción del sistema de recarga y sus obras anexas (incluye operación y mantenimiento)

Análisis predictivo de la respuesta del sistema:

- Análisis predictivo de efectos sobre el medio y sobre derechos existentes

Seguimiento y control:

- Plan de monitoreo del sistema
- Plan de operación y mantenimiento
- Plan de contingencia
- Plan de abandono

Se observa que no está explícitamente descrito un plan de abandono; en el evento que esto ocurra; en este sentido es necesario establecer las acciones necesarias para que la obra no represente efectos negativos al quedar abandonada. En los casos que ella quede comprendida dentro del art. 294; este punto queda cubierto.

6.4.1.3 Consideraciones Relacionadas con el Otorgamiento y el Ejercicio

En este punto el análisis se centra en las condiciones o situaciones que pudieran presentarse en la operación de un sistema de recarga en lo referente al aprovechamiento de los derechos provisionales asociados.

- Establecimiento de un derecho de aprovechamiento asociado

Son derechos de carácter provisional que no requieren que exista una declaración de área de restricción previa.

La cuantía del derecho no queda condicionada al concepto de derechos provisionales que establece el art. 66; sino que se relaciona con los volúmenes que el sistema es capaz de infiltrar al acuífero; en forma similar a un derecho de aguas subterráneas el derecho se define en términos de caudal y volumen a extraer, el cual por lo general es variable año a año.

Tampoco podrán dejarse sin efecto en el sentido de lo establecido en la primera parte del artículo 66; estos derechos se mantienen en la medida que los volúmenes o cuantía de la recarga los sustenten. Por esta misma razón estos derechos no tienen la posibilidad de transformarse en definitivos.

Tampoco es posible otorgarlos en zona de prohibición, la ley no hace la distinción específica por lo que aplica a todo tipo de derechos¹⁴.

¹⁴Art. 63. La Dirección General de Aguas podrá declarar zonas de prohibición para nuevas explotaciones, mediante resolución fundada en la protección de acuífero, la cual se publicará en el Diario Oficial.

- Sujeción a condicionamientos

El art. 66 establece expresamente que los derechos provisionales otorgados a partir de una declaración de área de restricción pueden dejarse sin efecto.

Sin embargo en el caso de otorgarse este tipo de derechos dentro de un área de restricción, estos no quedan supeditados a quedar sin efecto por la no sostenibilidad del acuífero; por cuanto su sustento proviene de volúmenes adicionales producidos artificialmente.

No obstante lo anterior parece razonable que deba integrar la comunidad de aguas subterráneas. No se hace exclusión expresa al respecto¹⁵.

En otro orden de ideas, los derechos provisionales derivados de recarga artificial quedan sujetos a la aplicación de reducción temporal del ejercicio¹⁶. En primer lugar, por cuanto estos derechos pueden ser otorgados fuera de un área de restricción; es decir, no existe la condición previa de declaración de área de restricción.

Lo anterior parece lógico ya que, como se mencionó, el derecho está sustentado en el volumen adicional artificialmente infiltrado y no en las condiciones naturales y propias del acuífero. Al respecto puede ocurrir que haya efectos no deseados o

La declaración de una zona de prohibición dará origen a una comunidad de aguas formada por todos Art. 1º Nº 6 los usuarios de aguas subterráneas comprendidos en ella.

Las zonas que correspondan a acuíferos que alimenten vegas y los llamados bofedales de las Regiones de Tarapacá y de Antofagasta se entenderán prohibidas para mayores extracciones que las autorizadas, así como para nuevas explotaciones, sin necesidad de declaración expresa. La Dirección General de Aguas deberá previamente identificar y delimitar dichas zonas. Sin perjuicio de lo dispuesto en el inciso anterior, la Dirección General de Aguas podrá alzar la prohibición de explotar, de acuerdo con el procedimiento indicado en el artículo siguiente

¹⁵Art. 65. Serán áreas de restricción aquellos sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común en los que exista el riesgo de grave disminución de un determinado acuífero, con el consiguiente perjuicio de derechos de terceros ya establecidos en él.

Cuando los antecedentes sobre la explotación del acuífero demuestren la conveniencia de declarar área de restricción de conformidad con lo dispuesto en el inciso anterior, la Dirección General de Aguas deberá así decretarlo. Esta medida también podrá ser declarada a petición de cualquier usuario del respectivo sector, si concurren las circunstancias que lo ameriten.

Será aplicable al área de restricción lo dispuesto en el artículo precedente.

La declaración de un área de restricción dará origen a una comunidad de aguas formada por todos los usuarios de aguas subterráneas comprendidas en ella

¹⁶Art. 62. Si la explotación de aguas subterráneas por algunos usuarios ocasionare perjuicios a los otros titulares de derechos, la Dirección General de Aguas, a petición de uno o más afectados, podrá establecer la reducción temporal del ejercicio de los derechos de aprovechamiento, a prorrata de ellos.

Esta medida quedará sin efecto cuando los solicitantes reconsideren su petición o cuando a juicio de dicha Dirección hubieren cesado las causas que la originaron.

imprevistos, por razones técnicas o de operación, que sin necesidad de dejar sin efecto el derecho lo limiten y ajusten a condiciones imperantes.

Uno de los casos puede provenir de condicionantes sobre aguas superficiales; en efecto, a pesar de que los derechos subterráneos no están sujetos a la aplicación de las disposiciones establecidas en el art 314, referidas a redistribución de caudales cuando se declara escasez; si quedan afectados los caudales de recarga por lo que los volúmenes esperables cambian por esta razón y pueden inducir un efecto no previsto en el acuífero no imputable al diseño del sistema.

6.4.2 Disposiciones Relativas a Medio Ambiente

6.4.2.1 Ley de Bases de Medio Ambiente

La ley establece que todo proyecto o actividad comprendidos en el artículo 10 deberá presentar una Declaración de Impacto Ambiental o elaborar un Estudio de Impacto Ambiental, según corresponda. Aquéllos no comprendidos en dicho artículo podrán acogerse voluntariamente al sistema.

El artículo 10 referido no incluye en forma explícita proyectos de recarga artificial de acuíferos; por lo que como actividad no queda sujeto a ingreso obligatorio al sistema de evaluación.

Sin embargo, en los casos en que se ubique en zonas protegidas, que identifica la letra p, del citado art. 10; procede su ingreso a evaluación.

Asimismo requiere de ingreso a evaluación, de acuerdo con lo señalado en la letra a del mismo artículo, aquellas obras que quedan comprendidas dentro lo establecido por el art. 294 del Código de Aguas. También caben aquellas obras que impliquen alteración significativa de cuerpos o cursos naturales de aguas; esto último podría aplicar a aquellas alternativas que implican intervención en el cauce de un río o estero; tales como serpenteos, barreras, diques (superficiales, subsuperficiales o profundos) dependiendo de la magnitud de la obra en relación con el cauce.

La exigencia de elaborar un estudio de impacto ambiental, acorde a lo establecido en el art. 11, no es posible establecerlo a priori ya que depende de la magnitud de la obra en relación con los recursos o factores ambientales donde se emplaza. Por lo que es de importancia una evaluación adecuada al respecto.

6.4.2.2 Reglamento de la Ley de Bases de Medio Ambiente

El Reglamento precisa lo indicado en el art. 10, indicando para los casos identificados la cuantía o dimensiones de las obras o acciones que requieren de ingreso al sistema de evaluación.

Es el caso de las obras referidas a la letra a) del artículo 10; el Reglamento en la letra a.4¹⁷ precisa los volúmenes de material movilizado a partir de los cuales se requiere evaluación ambiental. Se indica además el alcance de defensa o alteración de un curso de agua.

Por otra parte, el reglamento precisa lo referido a la letra o “proyectos de saneamiento ambiental”; que en su definición genérica incluye “*Proyectos de saneamiento ambiental, tales como sistemas de alcantarillado y agua potable, plantas de tratamiento de agua o de residuos sólidos de origen domiciliario, rellenos sanitarios, emisarios submarinos, sistemas de tratamiento y disposición de residuos industriales líquidos o sólidos*”

Pero al momento de detallar establece en literal O.7 sistemas de tratamiento o disposición cuyos efluentes tratados se usen para el riego o se infiltren¹⁸; este caso aplica a la infiltración de aguas servidas tratadas u otros riles tratados.

6.4.2.3 Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas

El Decreto Supremo Nº 46 de 2003 (DS 46) determina las concentraciones máximas de contaminantes permitidas en los residuos líquidos que son descargados por una fuente emisora (establecimiento industrial), a través del suelo, a las zonas saturadas de los acuíferos, mediante obras destinadas a infiltrarlo.

El decreto establece en su tabla los valores característicos para una fuente emisora¹⁹, aquellas con valores menores a esto quedan exentas de los requisitos que impone el DS 46.

¹⁷ a.4. Defensa o alteración de un cuerpo o curso de aguas terrestres, tal que se movilice una cantidad igual o superior a cincuenta mil metros cúbicos de material (50.000 m³), tratándose de las regiones I a IV, o cien mil metros cúbicos (100.000 m³), tratándose de las regiones V a XII, incluida la Región Metropolitana.

Se entenderá por defensa o alteración aquellas obras de regularización o protección de las riberas de éstos cuerpos o cursos, o actividades que impliquen un cambio de trazado de su cauce, o la modificación artificial de su sección transversal, todas de modo permanente.

¹⁸ O.7 Sistemas de tratamiento y/o disposición de residuos industriales líquidos, que contemplen dentro de sus instalaciones lagunas de estabilización, o cuyos efluentes tratados se usen para el riego o se infiltren en el terreno, o que den servicio de tratamiento a residuos provenientes de terceros, o que traten efluentes con una carga contaminante media diaria igual o superior al equivalente a las aguas servidas de una población de cien (100) personas, en uno o más de los parámetros señalados en la respectiva norma de descargas líquidas

La norma fija límites máximos de emisión en términos totales, para los acuíferos con vulnerabilidad calificada como media (tabla 1) o baja (tabla 2).

La norma establece que si el contenido natural de la zona saturada del acuífero excede al límite máximo permitido en este decreto, el límite máximo de la descarga será igual a dicho contenido natural.

También especifica que no se podrá emitir directamente a la zona saturada del acuífero, salvo que la emisión sea de igual o mejor calidad que la del contenido natural.

Si la vulnerabilidad del acuífero es calificada como alta, sólo se podrá disponer residuos líquidos mediante infiltración, cuando la emisión sea de igual o mejor calidad que la del contenido natural del acuífero.

Estas disposiciones aplican al caso de recarga de aguas derivadas de tratamiento, sin perjuicio de las disposiciones aplicables al caso, enumeradas previamente.

¹⁹Fuente emisora: Establecimiento que descarga sus residuos líquidos por medio de obras de infiltración tales como zanjas, drenes, lagunas, pozos de infiltración, u otra obra destinada a infiltrar dichos residuos a través de la zona no saturada del acuífero, como resultado de su proceso, actividad o servicio, con una carga contaminante media diaria superior en uno o más para los parámetros indicados en la tabla denominada ESTABLECIMIENTO EMISOR

7 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DETALLADA

En la etapa anterior se desarrolló una caracterización hidrogeológica general de las cuencas de los ríos Choapa y Quilimarí, a partir de la información recopilada. En esta etapa se ha complementado dichos antecedentes con información geológica regional e información de terreno, específicamente con información obtenida a partir de la excavación de 15 pozos someros en los sectores seleccionados preliminarmente como favorables para la recarga artificial de acuíferos y con la interpretación de pruebas de bombeo de los pozos de agua potable existentes en la zona, tanto de Aguas del Valle, como pozos de Agua Potable Rural.

La información que se generó a partir de los pozos someros excavados corresponde a: observación del tipo de material presente, análisis granulométricos y pruebas de infiltración o de agotamiento, en los casos en que la napa se encontró muy superficial.

A continuación se presentan los antecedentes señalados.

7.1 Antecedentes Geológicos

7.1.1 Cuenca del Río Choapa

Según los antecedentes presentados en la Carta Geológica de Chile, Hoja Illapel, Escala 1:250.000, Sernageomin - 1991, para el área correspondiente a la cuenca del río Choapa, se tiene lo siguiente.

El área de interés para proyectos de recarga artificial, que se ubica en el centro de los valles de los principales cauces de la cuenca (ríos Choapa, Illapel, Chalinga y estero Camisas), se puede caracterizar desde el punto de vista geológico por la presencia de sedimentos aluviales y coluviales del Cuaternario que se han depositado rellenando los valles provenientes de conos de deyección torrencial y escombros de falda, así como de remociones generadas por colapso gravitacional.

Al avanzar desde las zonas cordilleranas hacia la depresión intermedia, se pueden encontrar conglomerados de areniscas, brechas y limolitas poco consolidadas, de la Formación Confluencia, correspondiente al período Mioceno-Plioceno. Estos conglomerados aparecen desde Salamanca hacia aguas abajo, en el río Choapa, así como en los ríos Chalinga e Illapel, aproximadamente desde Cárcamo hacia aguas abajo.

Más abajo, desde la confluencia de los ríos Illapel y Choapa, se observa una condición más heterogénea, pudiendo encontrarse además de las formaciones señaladas, lavas andesíticas rojas, brechas andesíticas y conglomerados rojos, del período Jurásico

Superior, así como conglomerados y areniscas arcásico-cuarcíferas, del período Triásico Inferior Medio.

En la Figura 7.1-1 se observa la distribución en planta de las unidades señaladas.

7.1.2 Cuenca del Río Quilimarí

De acuerdo a los antecedentes recopilados (Estudio “Evaluación de la Explotación Máxima Sustentable de Aguas Subterráneas Cuenca del Río Quilimarí”, DGA-DARH SIT-152, 2008), la cuenca del río Quilimarí se caracteriza por exhibir dos unidades intrusivas del periodo Cretácico y Jurásico; una secuencia de rocas estratificadas pertenecientes al Triásico, Jurásico y Cretácico; y por último depósitos Terciarios y Cuaternarios.

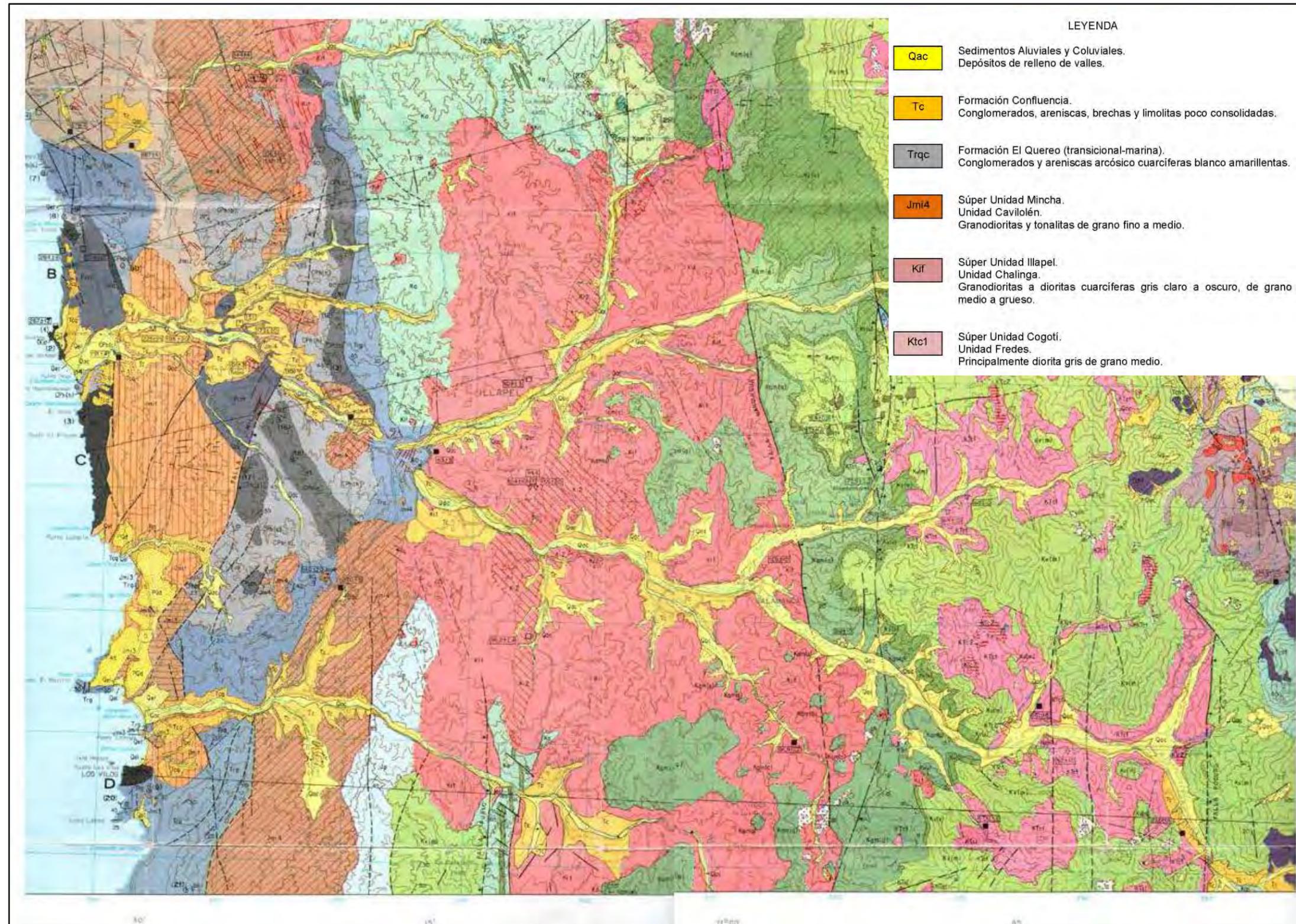
Las **Rocas Intrusivas**, correspondientes a granitoides mesozoicos de este segmento se distribuyen en tres franjas de orientación N-S: la occidental, central y oriental. Pertenecientes a la franja occidental afloran en el área de estudio dos unidades plutónicas, estas son unidad Puerto Oscuro y unidad Chalinga, las que describen a continuación:

Unidad Puerto Oscuro (Jmi4, Jurásico medio–superior), aflora en el centro de la zona de estudio, forma parte de la Superunidad Mincha; compuesta por dioritas cuarcíferas de piroxeno y anfíbola; monzodioritas de hiperstena y biotita; gabros de piroxeno y olivino.

Unidad Chalinga (Ki1, Cretácico inferior alto–Cretácico superior bajo), se observa hacia el este de la área de estudio, y pertenece a la Superunidad Illapel, litológicamente está constituida por dioritas y monzodioritas de piroxeno y hornblenda, granodioritas, monzogranitos de hornblenda y biotita.

En cuanto a las **Rocas Estratificadas** del área, ellas están compuestas por una secuencia Mesozoica, que forma parte de la Cordillera de la Costa, y que consiste en una unidad volcánica ácida intercalada por depósitos marinos. Estos depósitos se disponen como franjas continuas y elongadas de orientación NW, que principalmente afloran de más recientes a más antiguas en sentido oeste.

Figura 7.1-1
Geología Regional – Cuenca del Río Choapa



En la cuenca están presentes las siguientes formaciones, enunciadas de más antiguas a más recientes:

- Formación Pichidangui (Trp, Triásico superior), compuesta por rocas volcánicas y marinas.
- Formación Los Molles (Llm, Triásico Superior-Liásico), volcanoclástica y marina transicional.
- Formación Ajial, Cerro Calera y/u Horqueta (Ji, Jurásico Medio); constituida por rocas volcanoclásticas y sedimentarias, indiferenciadas.
- Formación Lo Prado (Kp, Cretácico inferior), la conforman rocas de origen marino y volcánico.
- Formación Veta Negra (Kvn, Cretácico inferior), rocas volcanoclásticas y continentales.
- Formación Las Chilcas (Klc, Cretácico inferior), volcanoclástica y continental-lagunar.

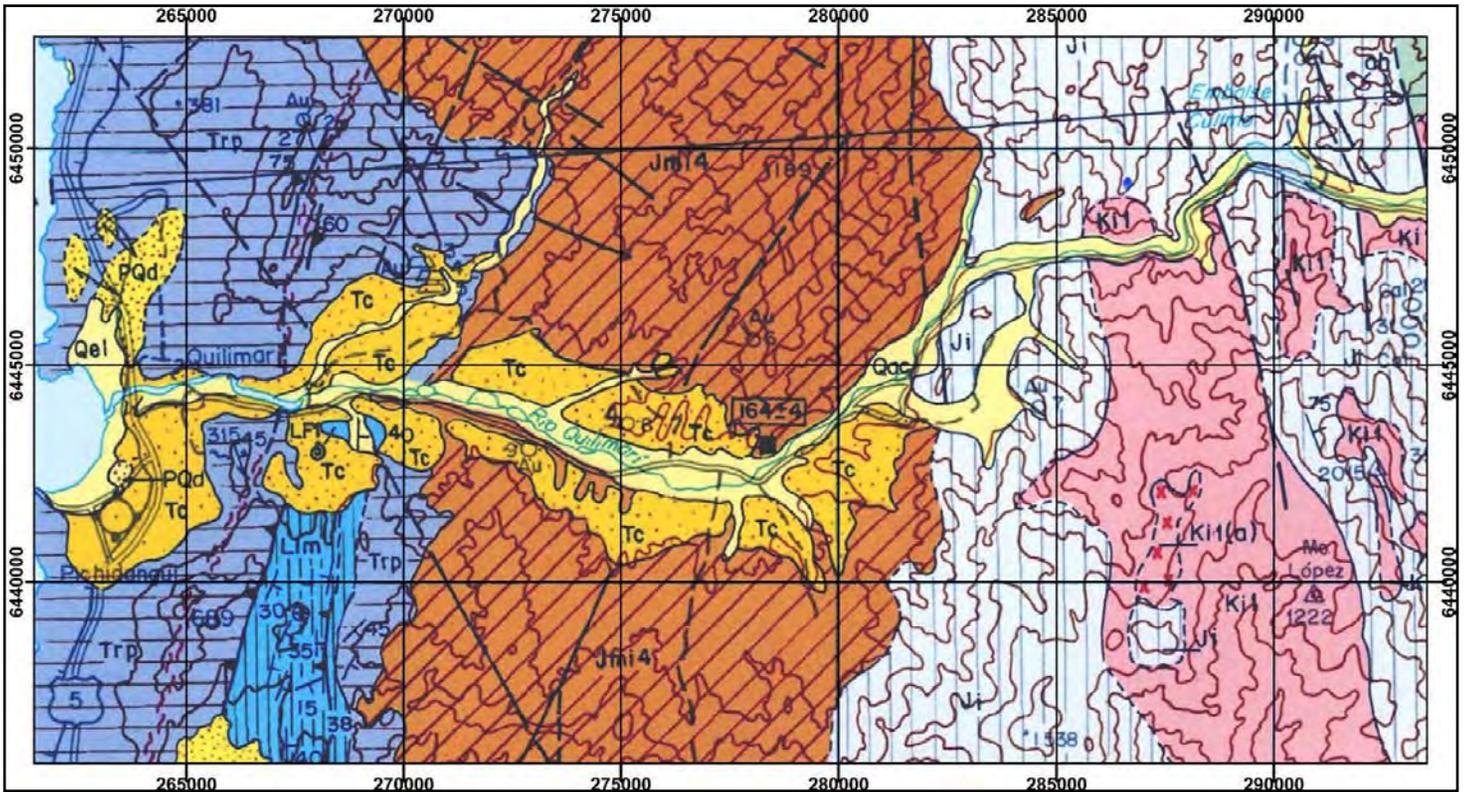
En términos de **Depósitos Terciarios y Cuaternarios**, se reconoce la Formación Confluencia, la que pertenece al periodo Terciario, y está compuesta por conglomerados, areniscas, brechas y limonitas poco consolidadas. Se distribuye en la parte oeste, a lo largo de la cuenca.

El relleno cuaternario está constituido por depósitos aluviales y coluviales (Qac), que se encuentran conteniendo al río; hacia la desembocadura de éste se encuentran depósitos eólicos y litorales (Qel) y depósitos eólicos más antiguos (PQd).

En cuanto a Estructuras, en el sector del valle del Quilimarí, la principal estructura es la Falla de la Silla del Gobernador (N14°E / 80°E). Ella es producto de la inversión de la cuenca en el Cretácico superior, esta zona de cizalle tiene un largo reconocido de cercano a 50 km y una ancho variable de hasta 900 m. El protolito asociado corresponde principalmente a rocas tobáceas de la Formación Pichidangui y a lutitas de la base de la Formación Los Molles.

En la Figura 7.1-2 se puede observar la distribución de las unidades señaladas.

Figura 7.1-2
Geología Regional – Cuenca del Río Quilimarí



Leyenda

	Sedimentos Aluviales y Coluviales Sedimentos Eólicos y Litorales		Formación Lo Prado		Unidad Chalinga
	Sedimentos Eólicos Antiguos		Formaciones Ajial, Cerro Calera y/u Horqueta		Unidad Puerto Oscuro
	Formación Confluencia		Formación Los Molles		
	Formación Las Chilcas Formación Veta Negra		Formación Pichidangui		

7.2 Resultados Mediciones Geofísicas

7.2.1 Cuenca del Río Choapa

Las mediciones geofísicas realizadas en la cuenca del río Choapa fueron 80 TEMs y 80 Nano-TEMs, los que se distribuyeron a lo largo del valle, concentrando los TEMs sobre el eje de los

cauces y los Nano-TEMs hacia los bordes, en atención a las características y alcance de las mediciones.

De acuerdo a los resultados de las mediciones geofísicas desarrolladas, que fueron presentados en el informe de la etapa anterior, las unidades geofísicas identificadas en el valle del río Choapa se pueden describir, hidrogeológicamente, de la siguiente forma:

Según los resultados de las mediciones **Nano-TEM**, es decir, hacia los costados de los valles, se identificaron las siguientes unidades:

La unidad más superficial que está constituida por sedimentos secos, de diferentes granulometrías, donde predominan los materiales más gruesos, del tipo gravas. Tiene un espesor variable entre 5 y 35 metros, con un valor medio entorno a los 18 metros.

Bajo la unidad descrita se ubica una segunda unidad que estaría conformada por sedimentos húmedos o saturados. Tiene un espesor variable entre 1 y 35 metros, con un valor medio entorno a los 9 metros.

Se identificó una tercera unidad, conformada por sedimentos de muy baja permeabilidad, con un espesor variable entre 5 y 40 metros y un valor medio entorno a los 17 metros.

También se identificó una cuarta unidad de sedimentos saturados que constituiría el acuífero, con un espesor variable entre 4 y 40 metros y con un valor medio entorno a los 12 metros.

Finalmente, la quinta unidad identificada correspondería a la roca basal, que se ubica a profundidades entre 6 y 75 metros, con un valor medio de 35 m.

Según los resultados de las mediciones **TEM**, es decir, hacia el centro de los valles, cercano al eje de los cauces, se identificaron las siguientes unidades:

La unidad más superficial que está constituida por sedimentos secos, de diferentes granulometrías, donde predominan los materiales más gruesos, del tipo gravas. Tiene un espesor variable entre 5 y 135 metros, con un valor medio entorno a los 45 metros.

Las unidades subyacentes dos y tres (sedimentos húmedos y sedimentos de muy baja permeabilidad) identificadas en las mediciones Nano-TEM, en este caso no aparecen, o son de escasa ocurrencia, encontrándose bajo la unidad más superficial correspondiente a sedimentos secos, en la mayoría de los puntos medidos, una unidad de sedimentos saturados que constituye el acuífero.

Esta cuarta unidad de sedimentos saturados que constituiría el acuífero, tiene un espesor variable entre 15 y 80 metros y un valor medio entorno a los 45 metros.

Finalmente, la quinta unidad identificada, que correspondería a la roca basal, se ubica a profundidades entre 15 y 200 metros, con un valor medio entorno a los 80 m.

Los resultados de las mediciones geofísicas en la cuenca del río Choapa (TEMs y Nano TEMS) han permitido estimar el espesor de los rellenos sedimentarios hacia el centro de los valles y hacia las orillas de los mismos, información que se presenta en la Tabla 7.2-1 siguiente, para cada uno de los sectores hidrogeológicos definidos en el estudio de Cazalac.

Tabla 7.2-1

Espesor Estimado de Rellenos Sedimentarios por Sector Hidrogeológico, Cuenca Río Choapa

Identificación de los Acuíferos		Según TEM (Centro de los valles)			Según Nano-TEM (Orillas de los valles)		
Código	Nombre	Cota Basamento	Cota Terreno	Espesor Relleno	Cota Basamento	Cota Terreno	Espesor Relleno
		(msnm)	(msnm)	(m)	(msnm)	(msnm)	(m)
AC-01	Río valle	-	-	-	-	-	-
AC-02	Batuco	-	-	-	-	-	-
AC-03	Cuncumén	847.5	971.0	123.5	-	-	-
AC-04	Tranquilla	778.2	905.9	127.7	890.5	920.4	29.9
AC-05	Coirón	721.3	805.6	84.3	783.6	836.7	53.1
AC-06	Estero Quelén	610.6	696.1	85.5	673.4	702.3	28.9
AC-07	Llimpo	620.0	689.0	69.0	676.1	705.9	29.8
AC-08	Higuerilla Panguecillo	522.4	648.2	125.9	-	-	-
AC-09	El Queñe	464.6	580.0	115.4	589.8	611.6	21.8
AC-10	Salamanca	487.5	523.0	35.5	506.0	530.5	24.5
AC-11	Zapallar	972.9	1,004.3	31.4	-	-	-
AC-12	Río Chalinga Bajo San Agustín	903.2	979.7	76.5	795.6	843.3	47.7
AC-13	Río Chalinga sobre Choapa	592.3	635.2	42.9	511.3	534.5	23.2
AC-14	El Tambo	341.1	441.4	100.3	408.5	445.2	36.7
AC-15	Estero Camisas	401.0	464.8	63.9	434.6	461.1	26.5
AC-16	Choapa Limáhuída	260.3	334.9	74.6	320.2	341.8	21.5
AC-17	Choapa antes río Illapel	210.3	256.4	46.1	270.4	291.4	21.0
AC-19	Illapel sobre Carén	-	-	-	-	-	-
AC-21	Illapel sobre Bato	-	-	-	-	-	-
AC-22	Illapel sobre Huintil	524.0	603.4	79.4	701.7	737.1	35.4
AC-23	Illapel sobre Cárcamo	-	-	-	519.8	554.1	34.3
AC-24	Illapel sobre Aucó	368.8	449.0	80.3	443.1	470.1	27.0
AC-25	Ciudad Illapel	241.0	292.2	51.2	265.6	280.5	14.9
AC-26	El Maitén	-	-	-	165.0	173.2	8.2
AC-27	Chopa sobre canela	15.9	75.8	60.0	63.6	88.6	25.0
AC-28	Huentelauquén	-	-	-	-	-	-

7.2.2 Cuenca del Río Quilimarí

El trabajo efectuado permitió definir diferentes unidades que han sido interpretadas geológicamente en base a criterios geofísicos. Las unidades señaladas se pueden describir de la siguiente forma:

La unidad más superficial que está constituida por sedimentos secos, de diferentes granulometrías, donde predominan los materiales más gruesos, del tipo gravas. Tiene un espesor variable entre 5 y 20 m.

Bajo la unidad descrita se ubica una segunda unidad que estaría conformada por sedimentos húmedos o saturados, con un espesor entre 5 y 10 m y que se observa sólo en la parte media y baja del tramo analizado del valle del río Quilimarí. Por sus características, podría tratarse de un acuífero que se ubicaría entre los 20 y 30 m de profundidad.

Se identificó una tercera unidad, de espesor aproximado 25 m, conformada por sedimentos de muy baja permeabilidad, que también se concentra en la zona media y baja del tramo analizado. Se ubicaría entre los 25 y 50 m de profundidad.

También se identificó una cuarta unidad de sedimentos saturados que podría constituir un acuífero, el espesor es de 25 a 30 m, por lo que se ubicaría entre los 50 y 80 m de profundidad, especialmente en la zona media y baja del tramo, donde la potencia del relleno es más importante.

La quinta unidad identificada correspondería a la roca basal y se ubicaría a profundidades mayores a 50 m en la zona media y baja del tramo analizado y a profundidades entre 20 y 30 m en la zona más cercana al embalse Culimo.

7.3 Prospecciones (Pozos Someros Excavados)

Con el objetivo de complementar la información disponible y aportar a la caracterización hidrogeológica detallada de las áreas de interés para recarga artificial, se excavaron 15 pozos someros de observación (Cal-1 a Cal-15), los cuales han sido utilizados para tres actividades específicas; observación directa del tipo de material en las primeras capas de relleno, análisis granulométrico y realización de pruebas de infiltración, o de agotamiento, en los casos en que la napa se encontró muy superficial.

En la Tabla 7.3-1 siguiente se indican las ubicaciones de los pozos excavados y el sector en que se ubican, información que se puede apreciar en forma gráfica en los planos del informe y en las Figuras 7.3-1 y 7.3-2 siguientes. Además, en el Anexo 6 se presentan fotografías de los pozos excavados.

Tabla 7.3-1
Pozos Someros Excavados, Ubicación y Sector al que Pertenecen

Pozo Excavado	UTM (m)		Proyecto	Cauce
	E	N		
1	302647	6503722	CH-1	Río Illapel
2	302538	6503727	CH-1	Río Illapel
3	293525	6496929	CH-2	Río Illapel
4	293471	6496910	CH-2	Río Illapel
5	314960	6486215	CH-3	Río Chalinga
6	314974	6486351	CH-3	Río Chalinga
7	322552	6476970	CH-4	Río Choapa
8	322655	6476994	CH-4	Río Choapa
9	307444	6480603	CH-5	Estero Camisas
10	307446	6480441	CH-5	Estero Camisas
11	288639	6448783	Q-1	Río Quilimarí
12	288664	6448865	Q-1	Río Quilimarí
13	282332	6446430	Q-3	Río Quilimarí
14	275206	6442176	Q-5	Río Quilimarí
15	267653	6443688	Q-7	Río Quilimarí

Ref.: WGS84, Huso 19.

Figura 7.3-1
Ubicación Pozos Excavados Cuenca del Río Choapa (Cal1 a Cal10)

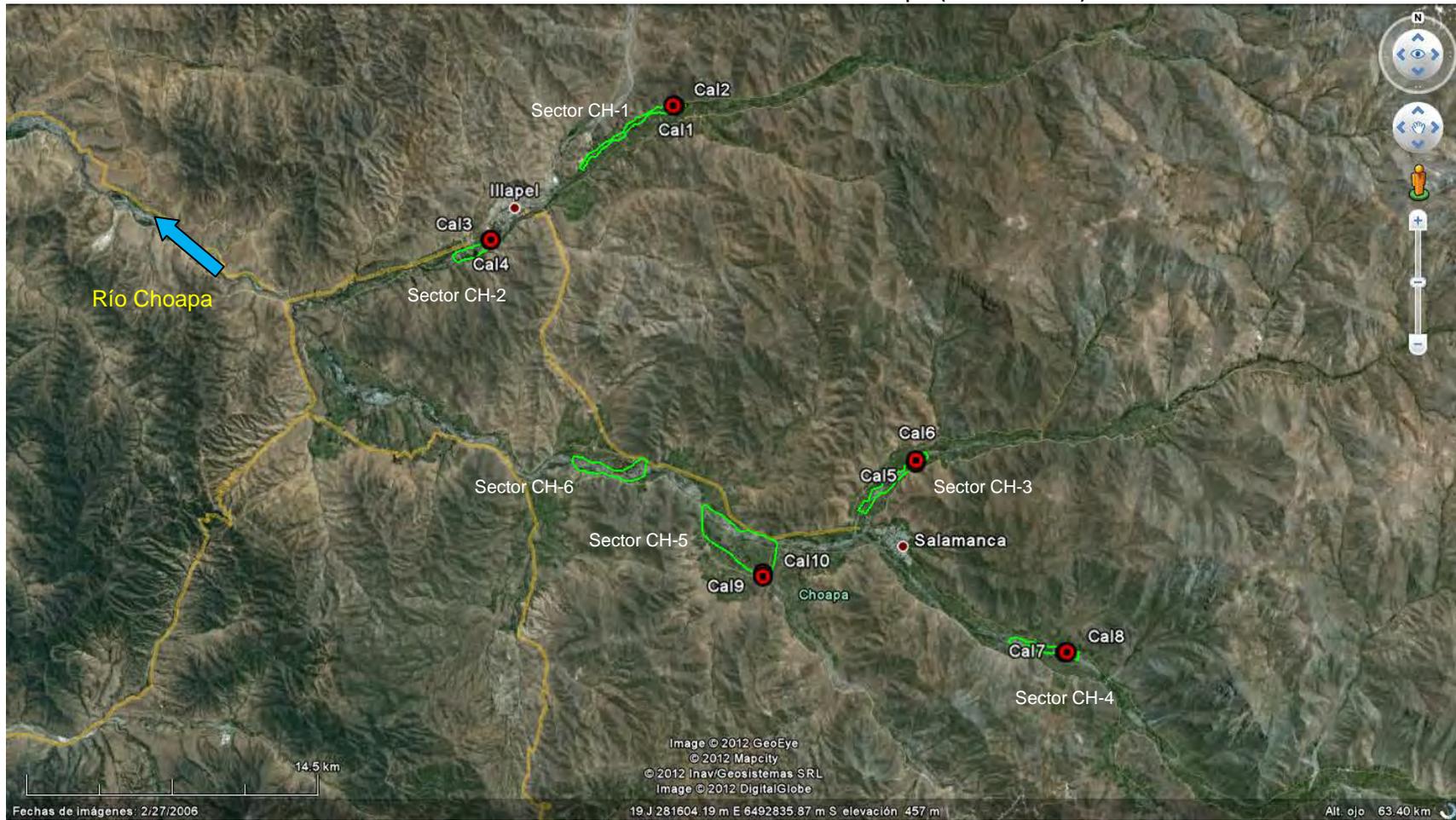
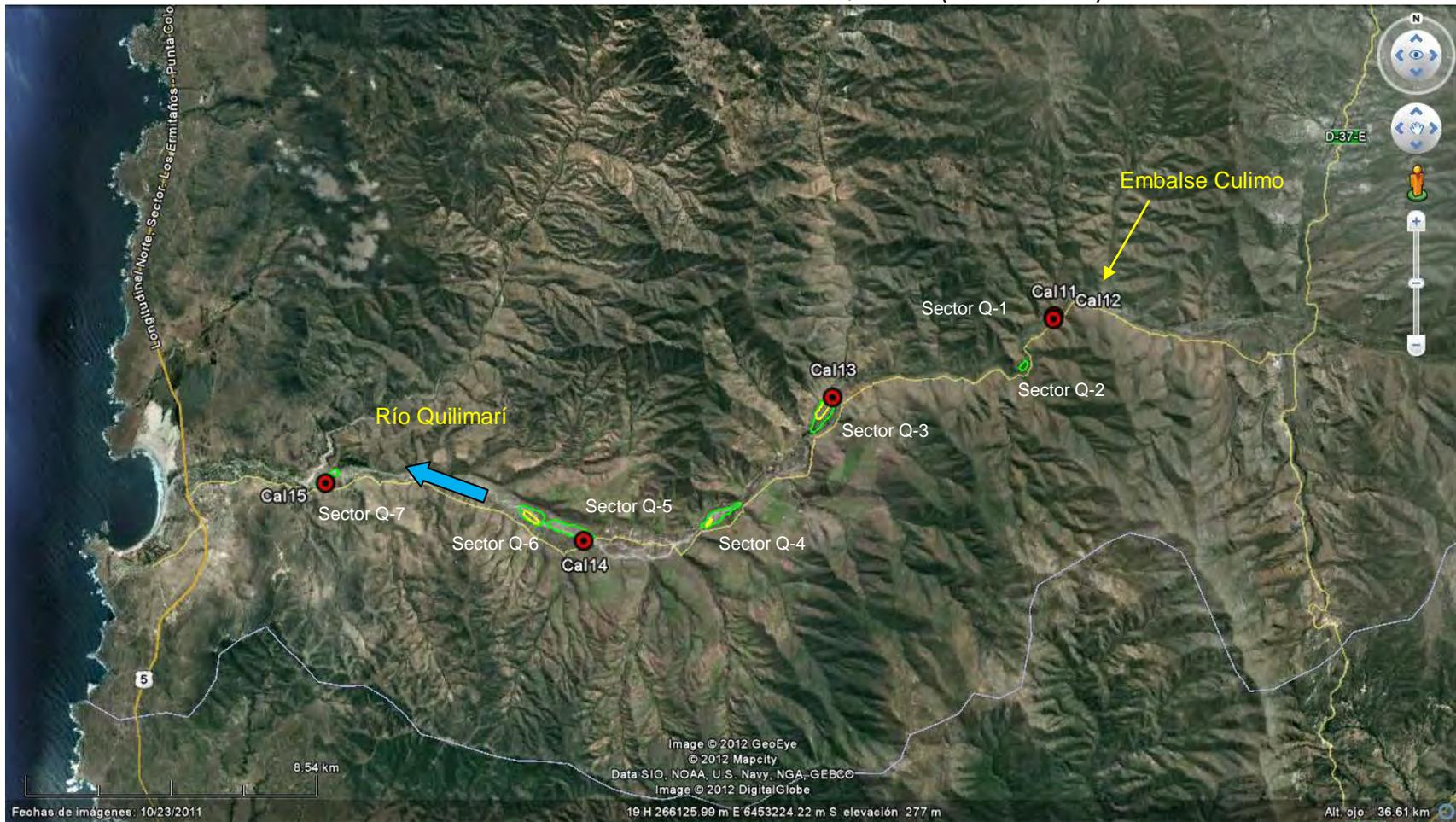


Figura 7.3-2
Ubicación Pozos Excavados Cuenca del Río Quilimarí (Cal11 a Cal15)



7.3.1 Cuenca del Río Choapa (Cal-1 a Cal-10)

A continuación se presentan las fotografías y descripciones generales del tipo de material observado en cada uno de los pozos excavados en la cuenca del río Choapa. Se indica el N° de muestra referido a los análisis granulométricos que se presentan en el Anexo 7 y el porcentaje de finos en cada caso.

Tabla 7.3-2
Información Pozo Excavado 1 (Cal-1)

Sector	Pozo Excavado	Muestra N°	Tipo de Material	Porcentaje de Finos	Fotografía
CH-1	Cal-1 Prof= 1.6 m	19410-1	Gravas mal graduadas. Mezclas de gravas con arenas, limos y arcillas. Pocos finos.	6 %	

Tabla 7.3-3
Información Pozo Excavado 2 (Cal-2)

Sector	Pozo Excavado	Muestra N°	Tipo de Material	Porcentaje de Finos	Fotografía
CH-1	Cal-2 Prof= 1.7 m	19410-2	Arcillas inorgánicas con gravas y arenas.	51 %	

Tabla 7.3-4
Información Pozo Excavado 3 (Cal-3)

Sector	Pozo Excavado	Muestra Nº	Tipo de Material	Porcentaje de Finos	Fotografía
CH-2	Cal-3 Prof=1.4 m	19410-3	Gravas arcillosas. Mezclas mal graduadas de gravas, arcillas y poca arena.	31 %	

Tabla 7.3-5
Información Pozo Excavado 4 (Cal-4)

Sector	Pozo Excavado	Muestra Nº	Tipo de Material	Porcentaje de Finos	Fotografía
CH-2	Cal-4 Prof=1.0 m	19410-4	Gravas arcillosas. Mezclas mal graduadas de gravas, arcillas y arenas.	21 %	

Tabla 7.3-6
Información Pozo Excavado 5 (Cal-5)

Sector	Pozo Excavado	Muestra Nº	Tipo de Material	Porcentaje de Finos	Fotografía
CH-3	Cal-5 Prof=1.5 m	19411-1	Gravas mal graduadas. Mezcla de gravas y arenas con pocos finos.	3 %	

Tabla 7.3-7
Información Pozo Excavado 6 (Cal-6)

Sector	Pozo Excavado	Muestra Nº	Tipo de Material	Porcentaje de Finos	Fotografía
CH-3	Cal-6 Prof=1.4 m	19411-2	Arenas mal graduadas. Arenas con gravas, con pocos finos.	4 %	

Tabla 7.3-8
Información Pozo Excavado 7 (Cal-7)

Sector	Pozo Excavado	Muestra Nº	Tipo de Material	Porcentaje de Finos	Fotografía
CH-4	Cal-7 Prof=1.5 m	19411-3	Arenas limosas. Mezclas de arenas y limos mal graduadas.	17 %	

Tabla 7.3-9
Información Pozo Excavado 8 (Cal-8)

Sector	Pozo Excavado	Muestra Nº	Tipo de Material	Porcentaje de Finos	Fotografía
CH-4	Cal-8 Prof= 1.7 m	19411-4	Arenas mal graduadas. Arenas con gravas, con pocos finos.	4 %	

Tabla 7.3-10
Información Pozo Excavado 9 (Cal-9)

Sector	Pozo Excavado	Muestra Nº	Tipo de Material	Porcentaje de Finos	Fotografía
CH-5	Cal-9 Prof=1.0 m	19412-1	Gravas bien graduadas. Mezclas de gravas y arenas con pocos finos.	2%	

Tabla 7.3-11
Información Pozo Excavado 10 (Cal-10)

Sector	Pozo Excavado	Muestra Nº	Tipo de Material	Porcentaje de Finos	Fotografía
CH-5	Cal-10 Prof=1.2 m	19412-2	Gravas mal graduadas. Mezclas de gravas y arenas con pocos finos.	3%	

7.3.2 Cuenca del Río Quilimarí (Cal-11 a Cal-15)

A continuación se presentan las fotografías y descripciones generales del tipo de material observado en cada uno de los pozos excavados en la cuenca del río Quilimarí. Se indica el Nº de muestra referido a los análisis granulométricos que se presentan en el Anexo 7 y el porcentaje de finos en cada caso.

Tabla 7.3-12
Información Pozo Excavado 11 (Cal-11)

Sector	Pozo Excavado	Muestra Nº	Tipo de Material	Porcentaje de Finos	Fotografía
Q-1	Cal-11 Prof=1.5 m	19412-3	Gravas mal graduadas. Mezclas de gravas y arenas con pocos finos.	3%	

Tabla 7.3-13
Información Pozo Excavado 12 (Cal-12)

Sector	Pozo Excavado	Muestra Nº	Tipo de Material	Porcentaje de Finos	Fotografía
Q-1	Cal-12 Prof=1.6 m	19412-4	Arenas limosas. Mezclas de arenas y limos mal graduadas.	17%	

Tabla 7.3-14
Información Pozo Excavado 13 (Cal-13)

Sector	Pozo Excavado	Muestra Nº	Tipo de Material	Porcentaje de Finos	Fotografía
Q-3	Cal-13 Prof=1.5 m	19413-1	Gravas mal graduadas. Mezclas de gravas y arenas con pocos finos.	4%	

Tabla 7.3-15
Información Pozo Excavado 14 (Cal-14)

Sector	Pozo Excavado	Muestra Nº	Tipo de Material	Porcentaje de Finos	Fotografía
Q-5	Cal-14 Prof=1.5 m	19413-2	Arenas mal graduadas. Arenas con gravas, con pocos finos.	1%	

Tabla 7.3-16
Información Pozo Excavado 15 (Cal-15)

Sector	Pozo Excavado	Muestra Nº	Tipo de Material	Porcentaje de Finos	Fotografía
Q-7	Cal-15 Prof=1.7 m	19413-3	Arenas mal graduadas. Arenas con gravas, con pocos finos.	3%	

7.4 Determinación de Parámetro Característicos

7.4.1 Pruebas de Infiltración

En los pozos excavados en los sectores de interés para recarga artificial, tanto en la cuenca del río Choapa, como en la del río Quilimarí, se realizaron pruebas de infiltración para determinar el coeficiente de permeabilidad de los terrenos y disponer de más elementos para caracterizar la hidrogeología, así como para poder discriminar sobre cuál o cuáles serían los sectores más favorables para la implementación de obras de recarga.

El proceso de excavación de los pozos se realizó con retroexcavadora, las profundidades de éstos variaron entre 1.0 y 1.7 m, en función de la estabilidad de la excavación por el tipo de material encontrado.

Cada prueba de infiltración consistió en vaciar un volumen de agua dentro del pozo, de forma que éste quedase parcialmente lleno y medir la variación de nivel en el tiempo, por efecto de la infiltración hasta que prácticamente no quedase agua. Este proceso que duró entre 5 minutos y una hora, dependiendo de la permeabilidad en el pozo, se repitió una o dos veces en cada caso, de forma de obtener resultados representativos del suelo saturado.

En los casos de los pozos 3, 4, 9 y 10, en que se encontró el nivel estático muy superficial (a menos de 1 m de profundidad), se cambió las pruebas de infiltración por pruebas de agotamiento.

La interpretación de las mediciones realizadas permitió determinar valores de los coeficientes de permeabilidad representativos de cada sector, los que se presentan en la Tabla 7.4-1 siguiente.

Tabla 7.4-1
Coeficientes de Permeabilidad en Pozos Excavados
Determinados a partir de Pruebas de Infiltración y de Agotamiento.

Pozo Excavado	Proyecto	Cauce	Prueba	K (m/s)	K promedio por sector (m/s)
1	CH-1	Río Illapel	Infiltración	6.00E-05	5.50E-05
2	CH-1	Río Illapel	Infiltración	5.00E-05	
3	CH-2	Río Illapel	Agotamiento	1.70E-04	1.60E-04
4	CH-2	Río Illapel	Agotamiento	1.50E-04	
5	CH-3	Río Chalinga	Infiltración	6.67E-04	4.33E-04
6	CH-3	Río Chalinga	Infiltración	2.00E-04	
7	CH-4	Río Choapa	Infiltración	3.50E-05	6.75E-05
8	CH-4	Río Choapa	Infiltración	1.00E-04	
9	CH-5	Estero Camisas	Agotamiento	2.85E-04	1.68E-04
10	CH-5	Estero Camisas	Agotamiento	5.00E-05	
11	Q-1	Río Quilimarí	Infiltración	4.00E-04	3.00E-04
12	Q-1	Río Quilimarí	Infiltración	2.00E-04	
13	Q-3	Río Quilimarí	Infiltración	2.25E-04	2.25E-04
14	Q-5	Río Quilimarí	Infiltración	7.67E-04	7.67E-04
15	Q-7	Río Quilimarí	Infiltración	3.00E-05	3.00E-05

Los valores entregados en la tabla anterior son representativos de la permeabilidad de los estratos superficiales en los respectivos sectores en que se ubican los pozos excavados. Para

conocer los valores del coeficiente de permeabilidad de los estratos más profundos se presenta el capítulo siguiente.

7.4.2 Pruebas de Bombeo en Pozos Existentes

La determinación del coeficiente de permeabilidad representativo de los estratos más profundos de los sistemas acuíferos requiere disponer de información de pruebas de bombeo en sondajes. Para ello, se recopiló información correspondiente a pruebas de bombeo de pozos de agua potable existentes en el área, APRs de diferentes localidades, las que fueron interpretadas, obteniéndose los resultados que se presentan en la Tabla 7.4-2 siguiente.

Tabla 7.4-2
Coeficientes de Permeabilidad a partir de Pruebas de Bombeo en Sondajes de A. P.

Nº	Localidad	Sector	Sector	Q	NE	Depres.	GE	T	m	k	Pozo
			Acuífero	(l/s)	(m)	(m)	(l/s/m)	(m ² /día)	(m)	(m/s)	Cercano **
CUENCA RÍO CHOAPA											
1	Cuncumén	Choapa Alto	3 *	15.35	6.24	0.94	16.3	1572	13	1.43E-03	-
2	Tranquilla	Ch a arr Coirón	4*	10	2.36	1.35	7.4	713	10	8.14E-04	206
3	Chillepin	Choapa Alto	5 *	20	2.04	0.58	34.5	3319	43	8.94E-04	204
4	Coirón	Ch alto	5 *	10	0.5	4.83	2.1	199	12	1.89E-04	208
5	Quelén Bajo	Ch a arr de Panguecillo	5 *	2	2.02	1.18	1.7	163	11	1.72E-04	213
6	Punta Nueva	Ch a arr Quelén	5 *	10	0.8	2.13	4.7	452	11	4.89E-04	213
7	Panguecillo	Panguecillo	8 *	5	3.44	2.26	2.2	213	8	2.95E-04	220
8	El Queñe	Salamanca	9 *	13.5	2.5	2.9	4.7	448	11	4.94E-04	210
9	Jorquera	Jorquera - Panguecillo	9 *	12.5	4.5	1.7	7.4	708	36	2.31E-04	202
10	La Higuera	Ch a arr Salamanca	9 *	21	3.07	1.63	12.9	1240	9	1.55E-03	221
11	San Agustín	Chalinga	12 *	6	2.2	11.8	0.5	49	38	1.50E-05	-
12	El Tambo	Ch. antes Confl c/Camisas	14 *	8	3.59	1.41	5.7	546	35	1.82E-04	184
13	El Tambo	Ch. antes Confl c/Camisas	14 *	9	4.6	1.65	5.5	525	10	6.23E-04	185
14	Tahuinco	Confl camisas c/Choapa	15 *	12	4.4	0.86	14.0	1343	21	7.55E-04	194
15	Peralillo	Choapa antes Jta Illapel	16 *	1	5.93	3.05	0.3	32	14	2.60E-05	168
16	Limáhuida	Ch a ab Camisas	16 *	18	3.08	0.67	26.9	2586	7	4.20E-03	195
17	Colliguay	A. ab Salamanca	16 *	2	4.63	25.37	0.1	8	21	4.11E-06	193
18	Las Cañas Altas	Choapa antes Jta Illapel	17 *	7	4.85	0.73	9.6	923	10	1.11E-03	154
19	Las Cañas Altas y Bajas	Choapa antes Jta Illapel	17 *	1.2	3.1	7.8	0.2	15	17	1.01E-05	154
20	Huintil	A Arriba de Cárcamo	23 *	5	1.63	5.56	0.9	87	28	3.53E-05	34
21	Cárcamo	A. arr de Illapel	24 *	7	2.42	3.78	1.9	178	18	1.17E-04	44
CUENCA RIO QUILIMARÍ											
22	Los Cóndores	Los Cóndores	Q. Alto	1.0	4.8	0.43	2.3	224	10	2.53E-04	316
23	Guangualí	Guangualí	Q. Medio	2.5	5.7	4.43	0.6	54	6	1.05E-04	248
24	Guangualí	Guangualí	Q. Medio	3.1	7.0	6.17	0.5	48	13	4.30E-05	246
25	Quilimarí	Quilimarí	Q. Bajo	15.7	0.0	4.83	3.3	313	39	9.24E-05	279
26	Quilimarí	Quilimarí	Q. Bajo	9	0.0	15.8	0.6	55	18	3.53E-05	280

(*): Numeración corresponde a sectorización del estudio de Cazalac.

(**): Según identificación en el catastro de captaciones.

7.4.3 Resumen por Sector

Con el objetivo de ordenar la información complementaria generada, valores de permeabilidad y transmisibilidad por sectores, se ha utilizado la sectorización hidrogeológica definida en el estudio de Cazalac, para la cuenca del río Choapa y una sectorización simple (Quilimarí alto, medio o bajo) para el sector estudiado de la cuenca del río Quilimarí, que abarca desde el embalse Culimo hasta la desembocadura.

El resumen de resultados por sector es el que se presenta en las Tablas 7.4-3 y 7.4-4 siguientes.

Tabla 7.4-3
Coeficientes de Permeabilidad y Transmisibilidad por Sector

Pozo	Localidad	Ubicación	Sector Cazalac	Sector este Trabajo	T (m ² /día)	k (m/s)
Pozos de Agua Potable						
1	Cuncumén	Choapa Alto	3 *	-	1572	1.43E-03
2	Tranquilla	Choapa a. arriba de Coirón	4*	-	713	8.14E-04
3	Chillepin	Choapa Alto	5 *	-	3319	8.94E-04
4	Coirón	Choapa alto	5 *	-	199	1.89E-04
5	Quelén Bajo	Ch a. arr de Panguecillo	5 *	-	163	1.72E-04
6	Punta Nueva	Ch a. arr Quelén	5 *	-	452	4.89E-04
7	Panguecillo	Panguecillo	8 *	CH-4	213	2.95E-04
8	El Queñe	Salamanca	9 *	CH-4	448	4.94E-04
9	Jorquera	Jorquera - Panguecillo	9 *	CH-4	708	2.31E-04
10	La Higuera	Ch a. arr Salamanca	9 *	-	1240	1.55E-03
11	San Agustín	Chalinga	12 *	-	49	1.50E-05
12	El Tambo	Ch. antes Confl c/Camisas	14 *	CH-5	546	1.82E-04
13	El Tambo	Ch. antes Confl c/Camisas	14 *	CH-5	525	6.23E-04
14	Tahuinco	Confl camisas c/Choapa	15 *	CH-5	1343	7.55E-04
15	Peralillo	Choapa antes Jta. Illapel	16 *	CH-6	32	2.60E-05
16	Limáhuida	Ch a. abajo Camisas	16 *	CH-6	2586	4.20E-03
17	Colliguay	A. debajo de Salamanca	16 *	CH-6	8	4.11E-06
18	Las Cañas Altas	Choapa antes Jta. Illapel	17 *	-	923	1.11E-03
19	Las Cañas Altas y Bajas	Choapa antes Jta. Illapel	17 *	-	15	1.01E-05
20	Huintil	A. Arriba de Cárcamo	23 *	-	87	3.53E-05
21	Cárcamo	A. arr de Illapel	24 *	CH-1	178	1.17E-04
22	Los Cóndores	Los Cóndores	Q. Alto	Q-3	224	2.53E-04
23	Guangualí	Guangualí	Q. Medio	Q-5	54	1.05E-04
24	Guangualí	Guangualí	Q. Medio	Q-5	48	4.30E-05
25	Quilimarí	Quilimarí	Q. Bajo	Q-7	313	9.24E-05
26	Quilimarí	Quilimarí	Q. Bajo	Q-7	55	3.53E-05

Para los sectores CH-2 y CH-3, de la cuenca del río Choapa, correspondientes a los sectores acuíferos 25 y 13 del estudio Cazalac, respectivamente, no se obtuvo información de sondajes para caracterizar la permeabilidad.

En forma análoga a lo señalado, para los sectores Q-1, Q-2, Q-4 y Q-6, de la cuenca del río Quilimarí, tampoco se obtuvo información de sondajes para caracterizar la permeabilidad.

Tabla 7.4-4
Coeficientes de Permeabilidad y Transmisibilidad por Sector

Pozo	Localidad	Ubicación	Sector	k
			este Trabajo	(m/s)
Pozos Excavados				
Cal-1	La Colonia	Río Illapel	CH-1	6.00E-05
Cal-2	La Colonia	Río Illapel	CH-1	5.00E-05
Cal-3	Illapel	Río Illapel	CH-2	1.70E-04
Cal-4	Illapel	Río Illapel	CH-2	1.50E-04
Cal-5	Arboleda Grande	Río Chalinga	CH-3	6.67E-04
Cal-6	Arboleda Grande	Río Chalinga	CH-3	2.00E-04
Cal-7	Panguecillo-Higuerilla	Río Choapa	CH-4	3.50E-05
Cal-8	Panguecillo-Higuerilla	Río Choapa	CH-4	1.00E-04
Cal-9	El Tambo - Tahuinco	Esteros Camisas	CH-5	2.85E-04
Cal-10	El Tambo - Tahuinco	Esteros Camisas	CH-5	5.00E-05
Cal-11	Embalse Culimo	Río Quilimarí	Q-1	4.00E-04
Cal-12	Embalse Culimo	Río Quilimarí	Q-1	2.00E-04
Cal-13	Qda. Infiernillo	Río Quilimarí	Q-3	2.25E-04
Cal-14	Guangualí	Río Quilimarí	Q-5	7.67E-04
Cal-15	Quilimarí	Río Quilimarí	Q-7	3.00E-05

En el sectores CH-6 de la cuenca del río Choapa no se realizó prueba de infiltración, dado que en la visita a terreno se determinó que se trata de una zona de afloramientos, por lo que no resulta apropiada para ser considerada como alternativa para implementar allí proyectos de recarga.

En los sectores Q-2 y Q-4 de la cuenca del río Quilimarí, no se realizaron pruebas de infiltración pues por las características geomorfológicas de dichos sectores, es muy probable que de realizarse recarga de los acuíferos, las aguas infiltradas aflorarían a corta distancia debido a angostamientos muy marcados en el valle. En el sector Q-6 en tanto, no se realizó prueba de infiltración pues comparativamente, dicho sector requeriría volúmenes de obra importantes (movimientos de tierra) para generar condiciones de diferencias de cotas entre el cauce y las áreas de emplazamiento de las obras, equivalentes al resto de los sectores, por lo que no resulta competitivo.

En las Figuras 7.4-1 y 7.4-2 siguientes se muestra la ubicación de los puntos donde se ha determinado los coeficientes de permeabilidad para las cuencas de los ríos Choapa y Quilimarí, respectivamente.

Figura 7.4-1. Permeabilidades Cuenca Río Choapa (m/s)

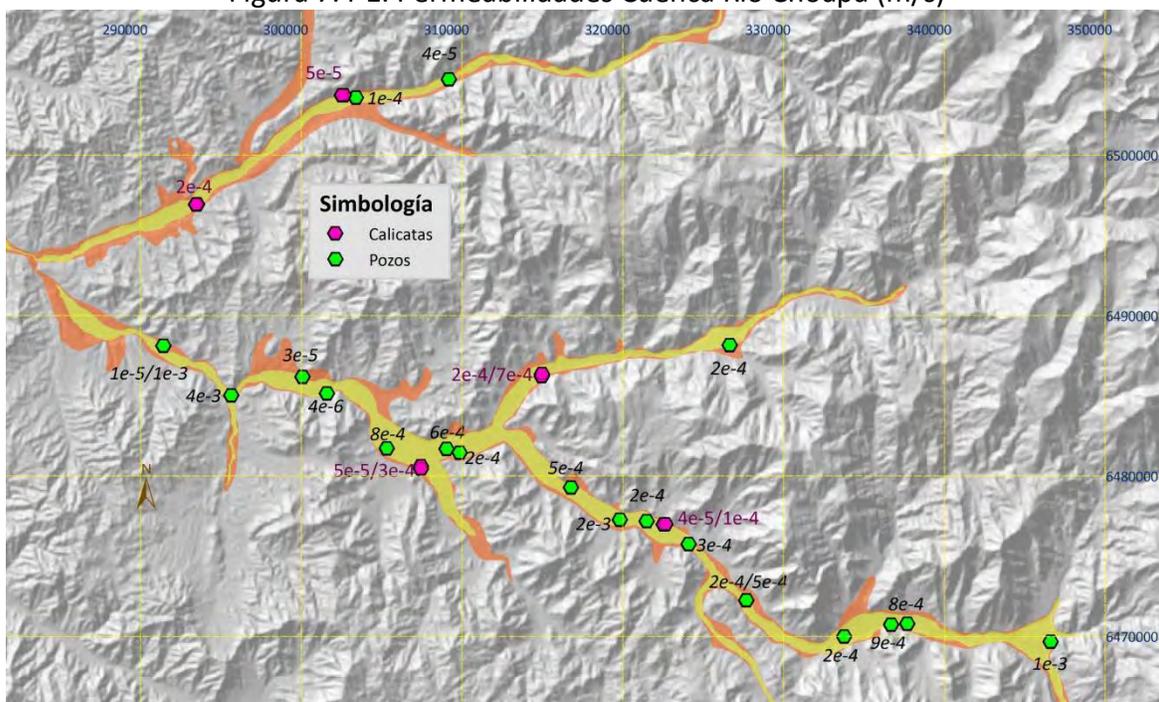
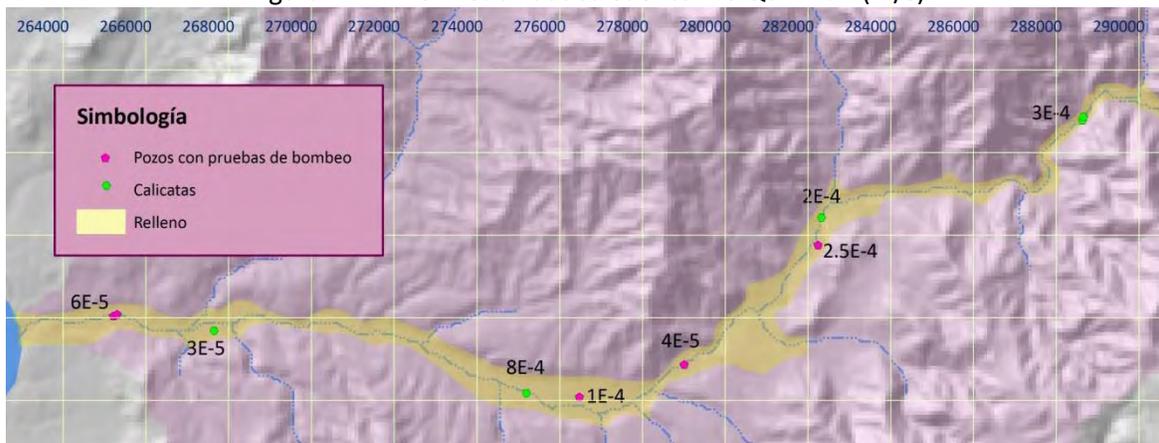


Figura 7.4-2. Permeabilidades Cuenca Río Quilimarí (m/s)



7.5 Análisis de Niveles Freáticos

A partir de la información de terreno obtenida en el catastro de captaciones, se determinó la situación actual de niveles freáticos en las cuencas, determinándose valores medios de niveles y caudales para cada uno de los sectores, del estudio Cazalac, para el caso de la cuenca del río Choapa y de la sectorización definida en el presente trabajo, para la cuenca del río Quilimarí.

En aquellos sectores donde no se dispone de información de captaciones, se ha estimado un valor medio, en función de los niveles observados en el resto del área.

La información señalada se presenta en las Tablas 7.5-1 y 7.5-2 siguientes.

Tabla 7.5-1
Niveles Freáticos Promedio por Sector, Cuenca Río Choapa

Identificación de los Acuíferos		Según Sondajes				
Código	Nombre	Prof. Pozos	Cota Terreno	NE	Cota NE	Q promedio
		(m)	(msnm)	(m)	(msnm)	(l/s)
AC-01	Río valle	-	-	2.8 *	-	-
AC-02	Batuco	-	-	2.8 *	-	-
AC-03	Cuncumén	-	-	2.8 *	-	-
AC-04	Tranquilla	100.0	881.0	2.8 *	878.2	65.0
AC-05	Coirón	69.6	862.0	3.1	858.9	55.8
AC-06	Estero Quelén	24.0	824.0	2.9	821.1	2.8
AC-07	Llimpo	25.0	697.0	5.1	691.9	-
AC-08	Higuerilla Panguecillo	11.0	670.0	4.8	665.2	4.0
AC-09	El Queñe	61.3	605.7	2.8	602.9	51.4
AC-10	Salamanca	14.7	516.3	2.6	513.7	-
AC-11	Zapallar	-	-	2.8 *	-	-
AC-12	Río Chalinga Bajo S. Agustín	-	-	2.8 *	-	-
AC-13	Río Chalinga sobre Choapa	22.5	565.0	3.1	561.9	5.0
AC-14	El Tambo	14.7	455.7	3.1	452.6	1.5
AC-15	Estero Camisas	28.8	480.6	3.2	477.4	7.8
AC-16	Choapa Limáhuida	8.9	346.9	3.0	343.9	4.0
AC-17	Choapa antes río Illapel	30.0	245.0	2.8 *	-	1.6
AC-19	Illapel sobre Carén	-	-	2.8 *	-	-
AC-21	Illapel sobre Bato	15.0	958.0	2.7	955.3	-
AC-22	Illapel sobre Huintil	28.6	743.3	2.5	740.8	-
AC-23	Illapel sobre Cárcamo	4.7	513.1	2.0	511.1	-
AC-24	Illapel sobre Aucó	5.1	408.9	1.8	407.1	4.9
AC-25	Ciudad Illapel	5.9	282.8	1.7	281.0	6.6
AC-26	El Maitén	10.2	186.5	1.7	184.8	10.5
AC-27	Chopa sobre canela	5.3	152.7	2.8	149.9	0.8
AC-28	Huentelauquén	-	-	2.8 *	-	-

(*): Valores estimados

Se observa que en general, en toda la cuenca los niveles son bastante superficiales, variando entre 1.7 y 5.1 m de profundidad como valores medios representativos de los sectores hidrogeológicos.

Tabla 7.5-2
Niveles Freáticos Promedio por Sector, Cuenca Río Quilimarí

Código	Ubicación	Sector	NE
(*)			(m)
1	Embalse Culimo	Q-1	2.2
2	Embalse Culimo	Q-2	2.3
3	Embalse Culimo		2.5
4	Qda. Infiernillo		3.0
5	Qda. Infiernillo	Q-3	0.8
6	Qda. Infiernillo		3.6
7	Qda. Infiernillo		-
8	Guangualí	Q-4	7.4
9	Guangualí	Q-5	5.1
10	Entre Guangualí y Quilimarí	Q-6	10.0
11	Entre Guangualí y Quilimarí		10.6
12	Entre Guangualí y Quilimarí		6.9
13	Quilimarí	Q-7	3.1
14	Quilimarí		2.5

(*): Sectores numerados desde aguas arriba hacia aguas abajo, en el tramo Embalse Culimo a desembocadura.

A diferencia de lo observado en la cuenca del río Choapa, en este caso hay sectores donde los niveles son más profundos, del orden de 10 m en el sector entre Guangualí y Quilimarí, debido a la explotación desde captaciones subterráneas y a la menor capacidad del acuífero para absorber la demanda. No obstante, hay sectores donde los niveles son muy superficiales, como en la confluencia con la Quebrada Infiernillo, donde la profundidad de la napa es menor a 1 m.

8 MODELACIÓN DEL FLUJO SUBTERRÁNEO DE LOS SISTEMAS HÍDRICOS

8.1 Cuenca del Río Choapa

8.1.1 Generalidades

En el presente capítulo se exponen metodologías para priorizar las zonas acuíferas de la cuenca. Para ello se ha desarrollado un modelo hidrogeológico de flujo, que permite representar el flujo subterráneo del sistema acuífero de la cuenca del río Choapa.

El principal objetivo es determinar cómo varía el estado del sistema, incorporando entradas de flujo, correspondientes a infiltraciones inducidas artificialmente.

Se ha estudiado la capacidad de la napa para recibir y conducir la recarga artificial. Además, se ha analizado la red de drenaje superficial y se ha cuantificado la disponibilidad hídrica superficial que permitiría abastecer a los proyectos de recarga artificial.

8.1.2 Representación de la Geometría Acuífera

En este subcapítulo se ha procesado la información hidrogeológica asociada a la descripción geográfica y geométrica de los acuíferos existentes en la cuenca del río Choapa. Se han utilizado los datos obtenidos de prospecciones geofísicas y la delimitación del contacto roca-relleno definida en el estudio de Cazalac²⁰ de 2006 (en adelante, estudio Cazalac).

Entre el 11 de julio y el 8 de agosto de 2012, Geodatos realizó un estudio geofísico mediante la técnica de Transiente Electromagnético (TEM), incorporando además, la modalidad NanoTEM. El trabajo incluyó 80 estaciones TEM y 80 estaciones NanoTEM.

De la asociación resistividades-medios, se obtuvo interpretaciones hidrogeológicas que permitieron obtener espesores de relleno en cada punto prospectado.

En la Figura 8.1-1 se muestran las ubicaciones de las estaciones mencionadas. En las Figuras 8.1-2 a 8.1-5 se han incluido los espesores de relleno medidos con las prospecciones geofísicas.

²⁰ Aplicación de metodologías para determinar la eficiencia de uso del agua. Estudio de caso en la Región de Coquimbo. Elaborado por Cazalac (Centro del agua para zonas áridas y semiáridas de América Latina y el Caribe) con la asesoría de Rodhos asesorías y proyectos Ltda. Encargado por el Gobierno Regional, Región de Coquimbo y finalizado en diciembre de 2006.

Figura 8.1-1. Ubicación de estaciones TEM y NanoTEM

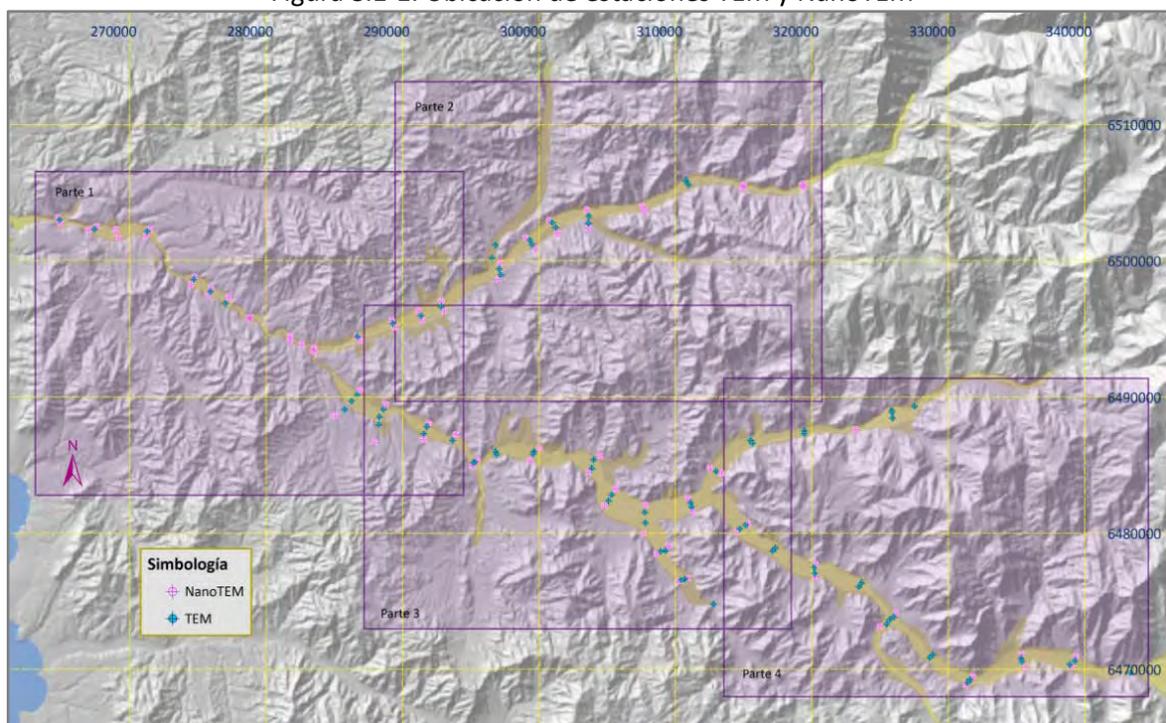


Figura 8.1-2. Profundidad del basamento rocoso (parte 1 de 4) [m]

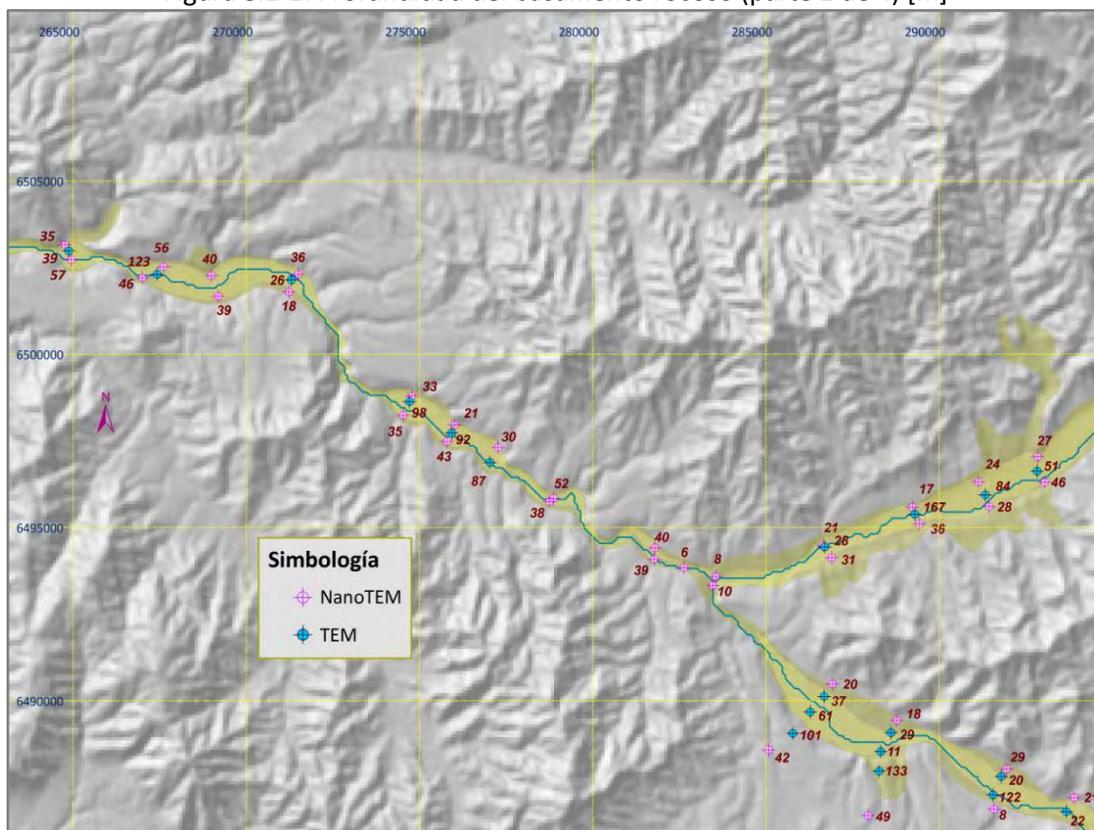


Figura 8.1-3. Profundidad del basamento rocoso (parte 2 de 4) [m]

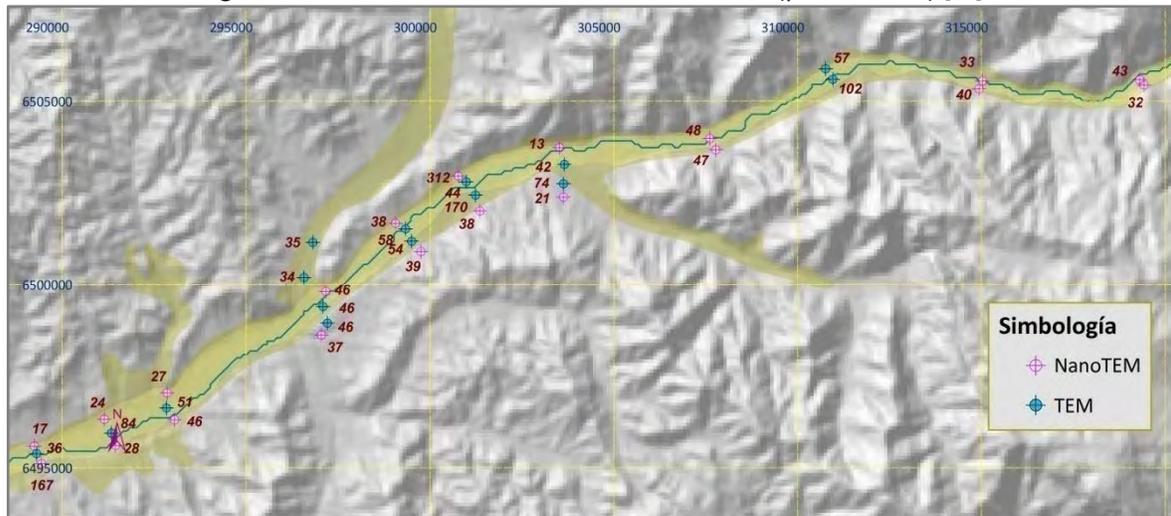


Figura 8.1-4. Profundidad del basamento rocoso (parte 3 de 4) [m]

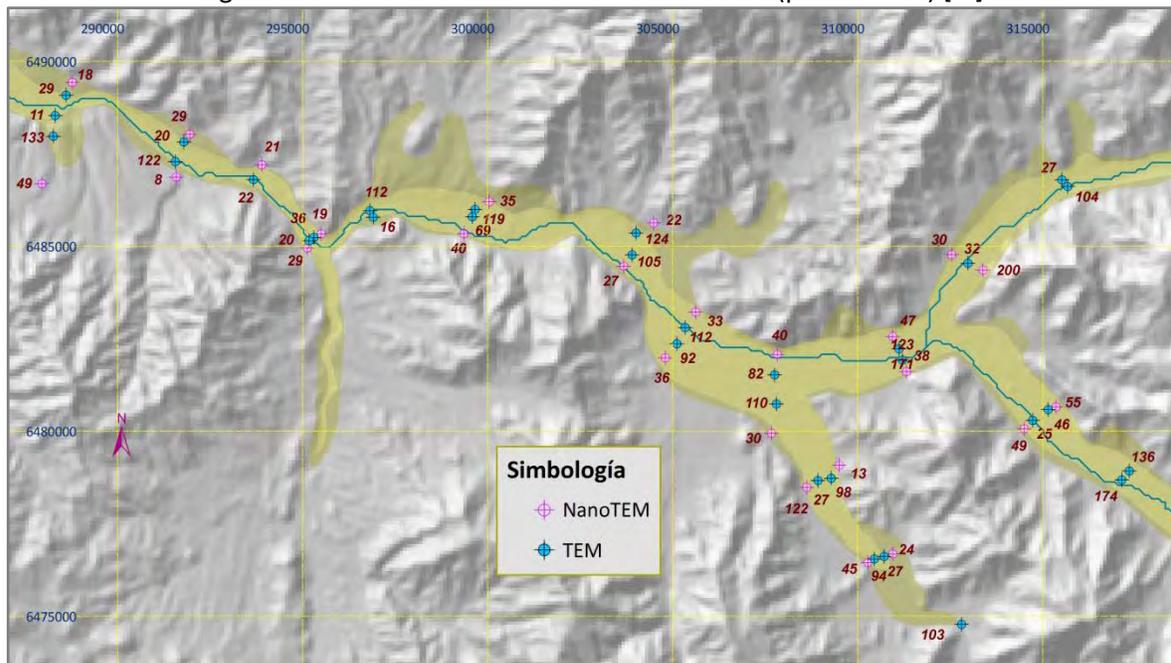
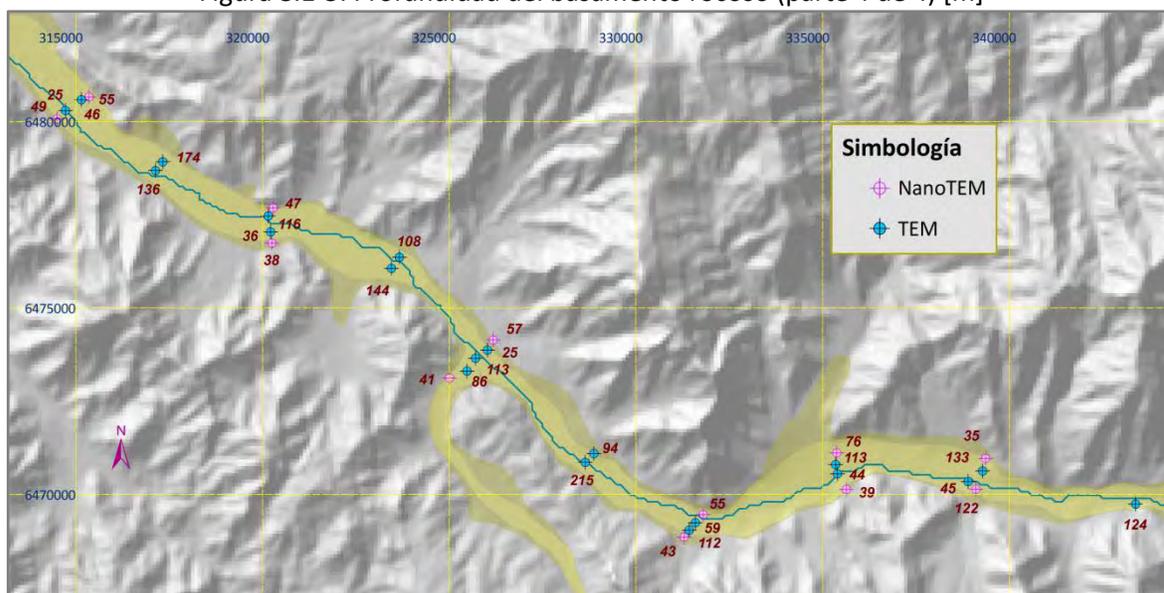
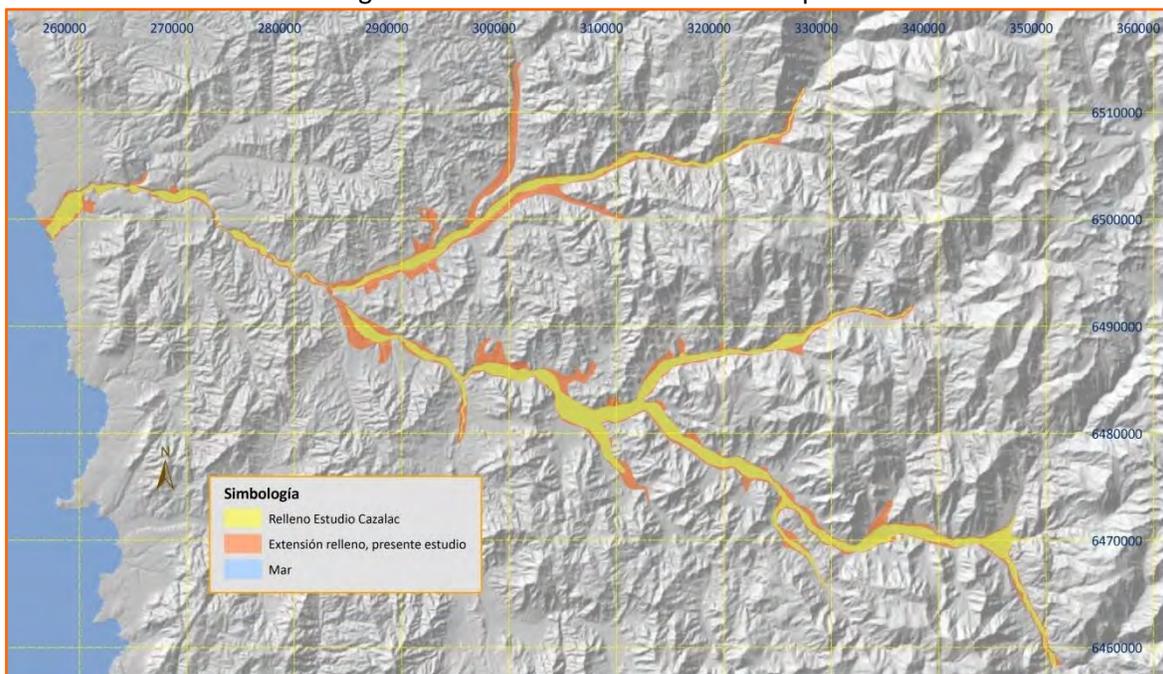


Figura 8.1-5. Profundidad del basamento rocoso (parte 4 de 4) [m]



Con los antecedentes mencionados, se elaboró una representación volumétrica del relleno acuífero, la que fue incorporada al modelo de flujo subterráneo. El contacto roca-relleno definido en el estudio Cazalac, incluye sólo a los acuíferos principales: en el presente trabajo, se extendió dicho contacto, abarcando las áreas en las que se catastraron captaciones de agua subterránea y los puntos en que los TEMs detectaron relleno. En la Figura 8.1-6 se muestra la extensión del relleno en planta, adoptada para el modelo de flujo subterráneo.

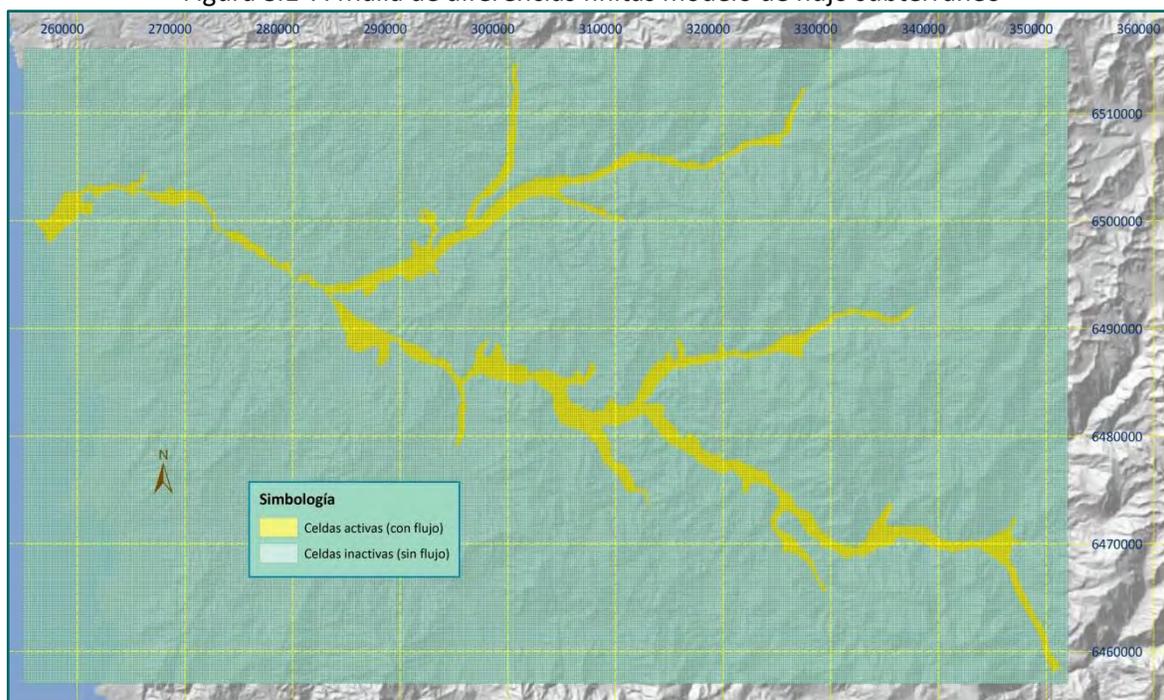
Figura 8.1-6. Contacto roca-relleno adoptado



En la Figura 8.1-7 se muestra la malla de diferencias finitas del modelo; ésta está conformada por celdas de 200-200 m e incluye un estrato único, 295 filas y 485 columnas.

El nivel de terreno se definió en función de las elevaciones del ráster SRTM²¹.

Figura 8.1-7. Malla de diferencias finitas modelo de flujo subterráneo



Nota: Celdas de 200-200 m. 1 estrato, 295 filas y 485 columnas.

8.1.3 Representación de Componentes Hídricas del Sistema Subterráneo

Las componentes hídricas del sistema fueron representadas en el modelo a través de condiciones de borde o de elementos distribuidos longitudinal o superficialmente.

8.1.3.1 Descarga del Río Choapa al Mar

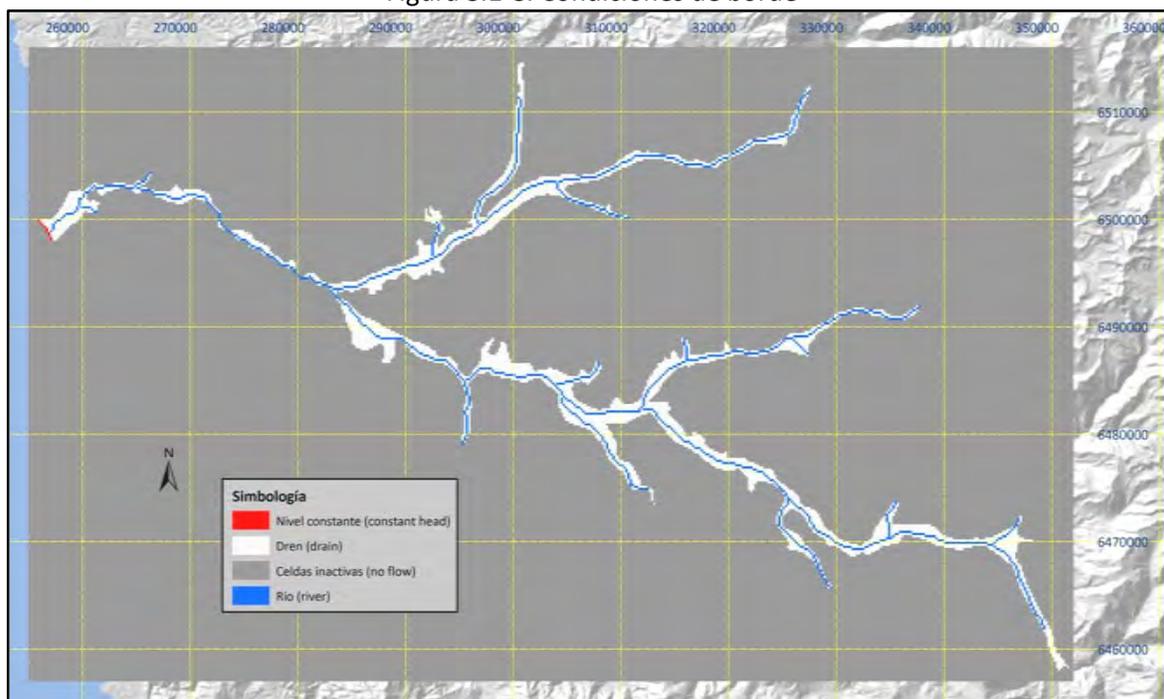
El mar se modeló con celdas de nivel constante; en ellas se fijó la elevación 0 m.s.n.m. (ver Figura 8.1-8).

²¹ Ráster es una matriz regular de celdas y SRTM es el acrónimo de Shuttle Radar Topography Mission.

8.1.3.2 Cauces

Los principales ríos y esteros de la cuenca fueron representados con celdas de tipo River (ver Figura 8.1-8). A cada celda se asoció una elevación del nivel de agua ubicada entre 0.5 y 25 m por debajo del nivel de terreno asociado a la celda de la malla, coincidente con la celda River. La altura de escurrimiento se fijó en 1 m para todas las celdas River. Las conductancias se calcularon en función de los caudales promedios obtenidos con el modelo Magic y varían entre 500 y 3500 m²/día. El ajuste de ese rango se efectuó según la operación convergente del modelo en régimen permanente.

Figura 8.1-8. Condiciones de borde



8.1.3.3 Afloramientos

Los afloramientos se simularon incorporando celdas del tipo Drain (dren); éstas permiten modelar una salida superficial, si el nivel piezométrico simulado alcanza el nivel de terreno. Se asignó la opción Drain a todas las celdas activas del modelo, excepto a aquellas previamente asociadas a niveles constantes o ríos (ver Figura 8.1-8).

8.1.3.4 Recargas Superficiales

Según los resultados y las conclusiones expuestas en el estudio Cazalac, el sistema subterráneo funciona prácticamente a plena capacidad (*"para todos estos acuíferos ocurre*

que, por estar muy ligados al río, están siempre llenos, por lo que prácticamente no aceptan recarga, siendo la recarga neta (o recarga efectiva no rechazada) en promedio, muy pequeña o casi cero").

Es decir, los acuíferos se encuentran saturados y los niveles piezométricos están directamente conectados a los niveles de la escorrentía superficial ("Para todos, la percolación más importante es la que proviene desde el río, siendo la percolación desde canales y zonas de riego despreciable frente a la primera").

Según lo expuesto, se optó por representar las recargas provenientes de los canales, zonas de riego y cauces, agregadamente, a través de las celdas River, antes descritas.

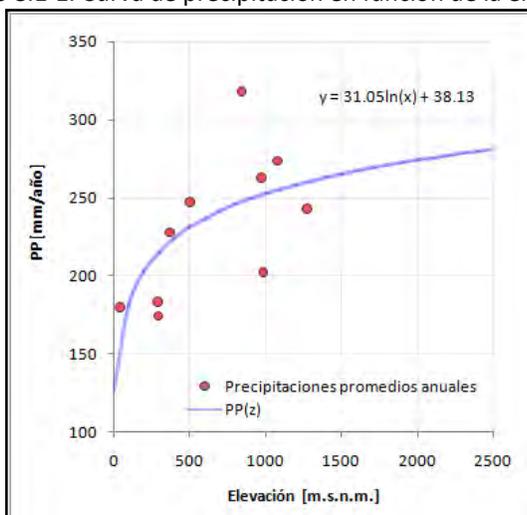
No obstante, se incorporaron recargas distribuidas que representan la infiltración de precipitaciones. A continuación se explica el procedimiento empleado.

Las precipitaciones anuales de las estaciones consideradas en el estudio Cazalac (ver Tabla 8.1-1), se relacionaron con las elevaciones de las estaciones en las cuales fueron medidas. La curva obtenida se usó para calcular una precipitación promedio para la cuenca del río Choapa (ver Gráfico 8.1-1).

Tabla 8.1-1. Precipitaciones promedios en estaciones pluviométricas consideradas en estudio Cazalac

Estación	Período cubierto	Coordenada UTM Este	Coordenada UTM Norte	Elevación [m.s.n.m.]	Precipitación promedio [mm/año]
Mincha Norte	1974-2005	267501	6503090	50	179.10
Illapel DGA	1974-2005	292924	6498083	290	174.50
Limáhuida	1964-2005	294762	6485179	295	182.50
Mal Paso	1960-1989	301078	6485302	375	228.10
Salamanca	1971-2005	313744	6483691	510	246.60
Coirón	1974-2005	332929	6469234	840	317.50
La Tranquilla	1966-2005	342387	6469383	975	262.50
Santa Virginia	1969-1989	325970	6507932	980	202.00
Cuncumén	1958-2005	347116	6469455	1080	274.00
Hacienda San Agustín	1930-2005	326280	6489455	1280	242.40

Gráfico 8.1-1. Curva de precipitación en función de la elevación



La cuenca del río Choapa hasta la desembocadura tiene una superficie de aproximadamente 7812 km². Integrando la curva PP(z) con la distribución de elevaciones de la cuenca, se obtiene una precipitación promedio anual de 261 mm/año.

El relleno de la cuenca, representado por la zona activa del modelo, tiene una superficie de aproximadamente 253 km².

Suponiendo que un 2% de la precipitación de la cuenca ($0.02 \cdot 7812 \text{ km}^2 \cdot 261 \text{ mm/año}$), potencialmente puede infiltrar en el relleno (zona activa), se obtiene una recarga por lluvia de aproximadamente 160 mm/año (Recarga por lluvia modelo = $0.02 \cdot 261 \cdot 7812 / 253$). Más adelante se justifica la elección del 2%.

Esa tasa de recarga equivale a una entrada superficial para todo el relleno de la cuenca de 1280 l/s. Parte de esa recarga alimenta el flujo subterráneo y parte de ella se recupera superficialmente, es decir, sólo una fracción es recarga efectiva.

La recarga estimada se distribuyó por zonas, proporcionalmente a las permeabilidades del modelo calibrado (ver más adelante).

El error que se comete al adoptar arbitrariamente como recarga por lluvia, un porcentaje de la precipitación ($\eta=2\%$), no tiene una incidencia relevante en los resultados del modelo. Los excesos (en la estimación) son evacuados por las celdas Drain (que simulan los afloramientos) y por las celdas River (que simulan los cauces). A la inversa, los déficits son amortiguados por el aporte río-napa, proveniente de las celdas River.

Lo indicado anteriormente se comprobó evaluando $\eta=0.5\%$ y $\eta=5\%$, obteniéndose resultados semejantes.

Por otro lado, el incorporar dicha recarga en las quebradas laterales y rellenos secundarios, permite la continuidad del flujo representado con el modelo, mejora la convergencia y el ajuste entre niveles medidos y simulados.

8.1.4 Propiedades Físicas del Medio Subterráneo

En el estudio Cazalac se definieron 26 sectores acuíferos; en la Tabla 8.1-2 se presentan las características adoptadas en dicho trabajo. En la Figura 8.1-9 se pueden observar sus delimitaciones.

Se cuenta además, con permeabilidades puntuales, obtenidas de datos de pruebas de bombeo efectuadas en los pozos para agua potable, ubicados en el área y valores representativos de estratos superficiales, provenientes de pruebas realizadas en calicatas (ver Figura 8.1-10).

Para definir las permeabilidades asociadas a las celdas del modelo se realizó un proceso de calibración de niveles que se detalle en el siguiente punto. Las permeabilidades de partida usadas, son las que se indican en la Tabla (promedio entre las permeabilidades de entrada y salida). En la Figura 8.1-11 se muestra la distribución utilizada.

El coeficiente de almacenamiento usado, fue el adoptado en el estudio Cazalac (8%). El modelo se ajustó y operó en régimen permanente, por consiguiente, el valor del coeficiente de almacenamiento no tiene incidencia.

Tabla 8.1-2. Características de sectores acuíferos, según estudio Cazalac

N°	Código	Nombre	V_i [m ³]	S [1]	e_e [m]	e_s [m]	k_e [m/s]	k_s [m/s]	i_e [1]	i_s [1]	Q_e^i [l/s]	Q_s^i [l/s]
1	AC-01	Río valle	800000	0.08	20	35	3.1E-04	3.1E-04	0.039	0.022	0	20
2	AC-02	Batuco	8000000	0.08	35	100	3.1E-04	3.1E-04	0.022	0.021	20	121
3	AC-03	Cuncumén	22527730	0.08	100	100	3.1E-04	3.1E-04	0.021	0.019	121	210
4	AC-04	Tranquilla	18895778	0.08	100	100	3.1E-04	3.1E-04	0.019	0.017	210	195
5	AC-05	Coirón	45655626	0.08	100	100	3.1E-04	3.1E-04	0.017	0.016	195	68
6	AC-06	Estero Quelén	6834738	0.08	50	100	3.1E-04	3.1E-04	0.052	0.016	0	19
7	AC-07	Llimpo	10211555	0.08	100	100	3.1E-04	3.1E-04	0.016	0.013	87	201
8	AC-08	Higuerilla Panguecillo	22733999	0.08	100	125	3.1E-04	3.1E-04	0.013	0.013	201	170
9	AC-09	El Queñe	8892134	0.08	125	125	3.1E-04	3.1E-04	0.013	0.013	170	213
10	AC-10	Salamanca	23526222	0.08	125	200	3.1E-04	2.5E-04	0.013	0.009	213	96
11	AC-11	Zapallar	8000000	0.08	30	80	2.5E-04	2.5E-04	0.041	0.038	0	341
12	AC-12	Río Chalinga Bajo San Agustín	33993521	0.08	80	150	2.5E-04	2.5E-04	0.038	0.023	341	123
13	AC-13	Río Chalinga sobre Choapa	67006484	0.08	150	200	2.5E-04	2.5E-04	0.023	0.009	123	111
14	AC-14	El Tambo	65000000	0.08	200	150	2.5E-04	9.1E-05	0.009	0.009	207	15
15	AC-15	Estero Camisas	51373730	0.08	150	150	9.1E-05	9.1E-05	0.012	0.009	0	11
16	AC-16	Choapa Limáhuida	60685572	0.08	150	100	9.1E-05	9.1E-05	0.009	0.007	26	11
17	AC-17	Choapa antes río Illapel	29669983	0.08	100	100	9.1E-05	9.1E-05	0.007	0.006	11	2
18	AC-19	Illapel sobre Carén	768312	0.08	20	30	5.7E-05	5.7E-05	0.061	0.027	0	4
19	AC-21	Illapel sobre Bato	861315	0.08	30	30	5.7E-05	5.7E-05	0.027	0.019	4	4
20	AC-22	Illapel sobre Huintil	3395390	0.08	30	45	5.7E-05	5.7E-05	0.019	0.017	4	4
21	AC-23	Illapel sobre Cárcamo	25000000	0.08	45	200	5.7E-05	5.7E-05	0.017	0.015	4	41
22	AC-24	Illapel sobre Aucó	23000000	0.08	200	100	5.7E-05	5.7E-05	0.015	0.013	41	21
23	AC-25	Ciudad Illapel	28000000	0.08	100	50	5.7E-05	5.7E-05	0.013	0.012	21	5
24	AC-26	El Maitén	2021119	0.08	50	75	5.7E-05	5.7E-05	0.012	0.007	5	1
25	AC-27	Chopa sobre Canela	23680657	0.08	75	75	5.7E-05	1.6E-04	0.007	0.003	1	2
26	AC-28	Huentelauquén	10175811	0.03	75	75	1.6E-04	1.6E-04	0.003	0.003	2	22

V_i [m ³]	Volumen inicial	k_s [m/s]	Coefficiente de permeabilidad de salida
S [1]	Coefficiente de almacenamiento	i_e [1]	Gradiente de entrada
e_e [m]	Espesor de entrada	i_s [1]	Gradiente de salida
e_s [m]	Espesor de salida	Q_e^i [l/s]	Caudal inicial de entrada
k_e [m/s]	Coefficiente de permeabilidad de entrada	Q_s^i [l/s]	Caudal inicial de salida

Figura 8.1-9. Sectores acuíferos según estudio Cazalac

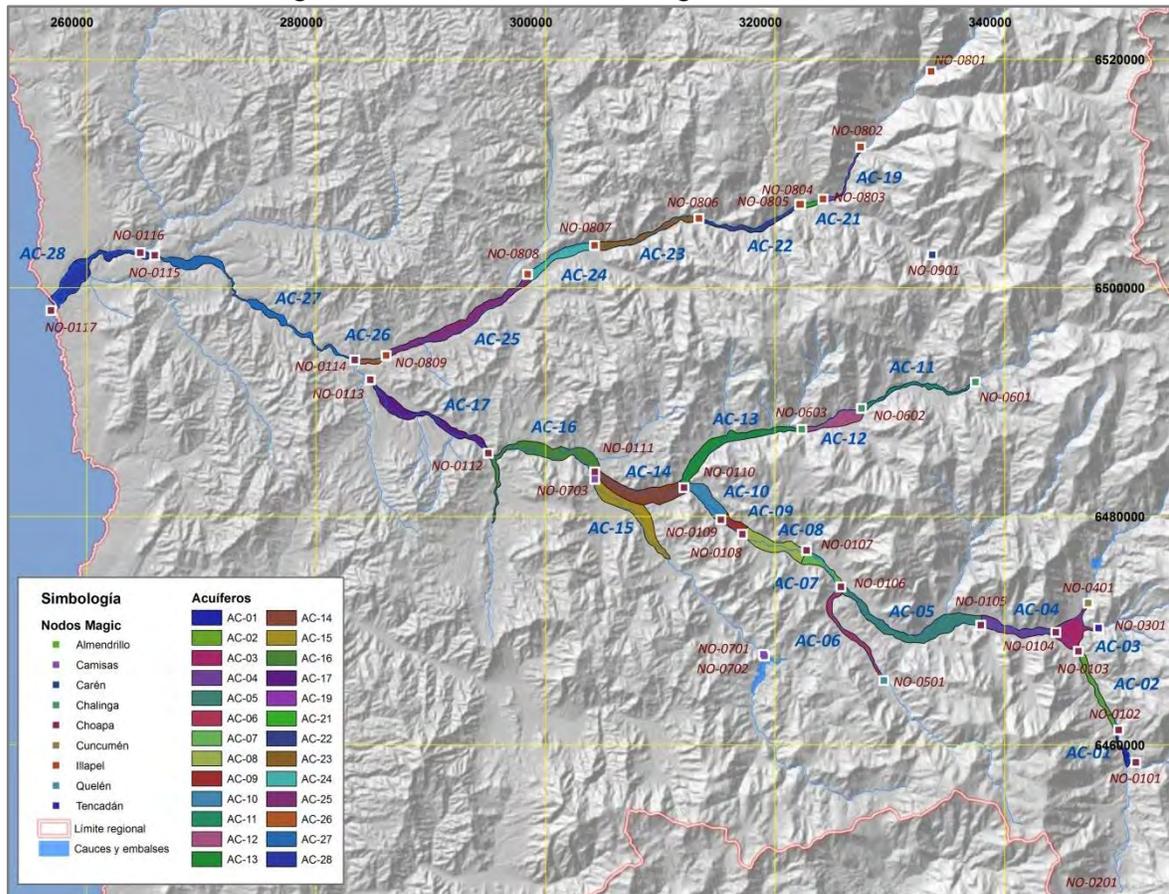


Figura 8.1-10. Permeabilidades de pruebas de bombeo en pozos y calicatas [m/s]

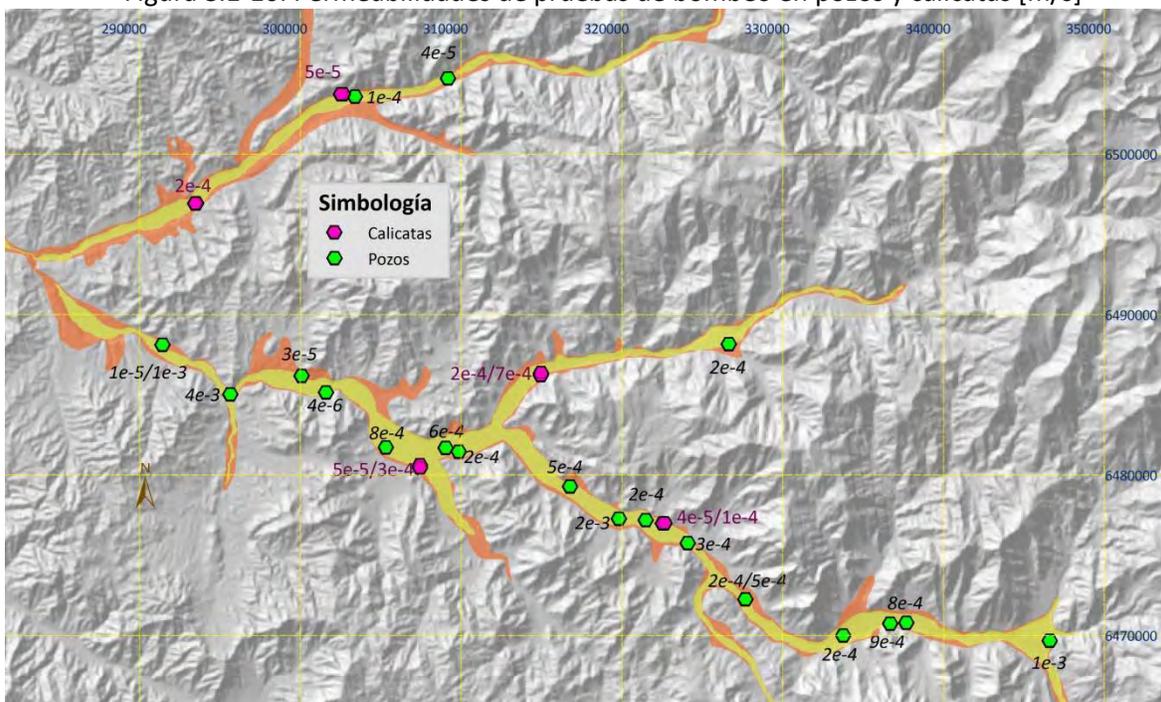
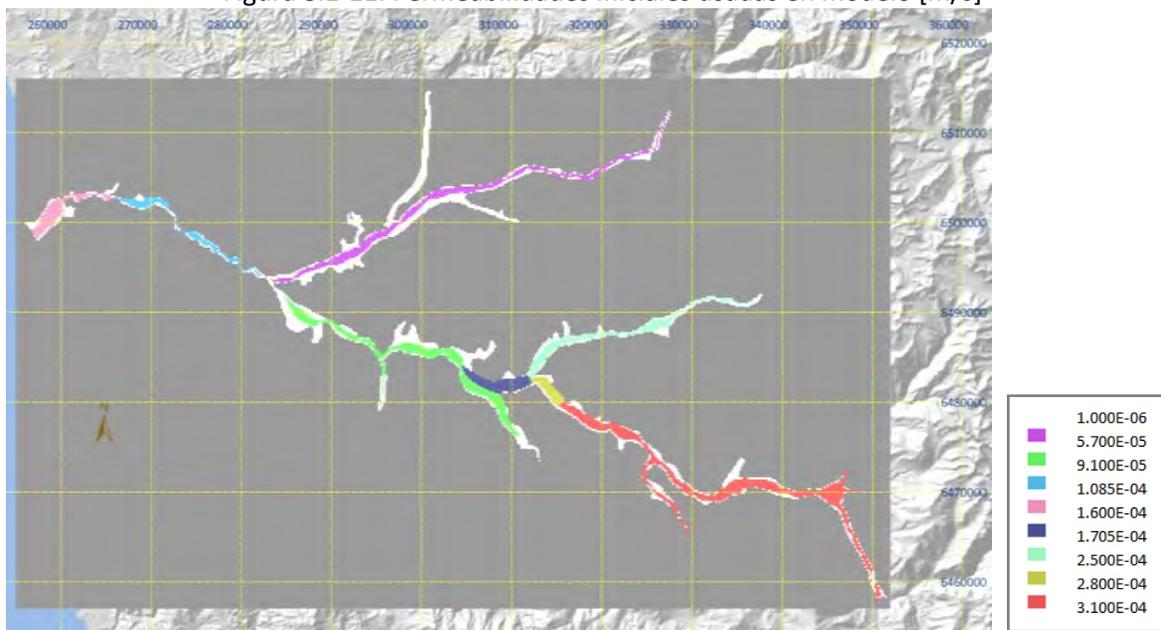


Figura 8.1-11. Permeabilidades iniciales usadas en modelo [m/s]

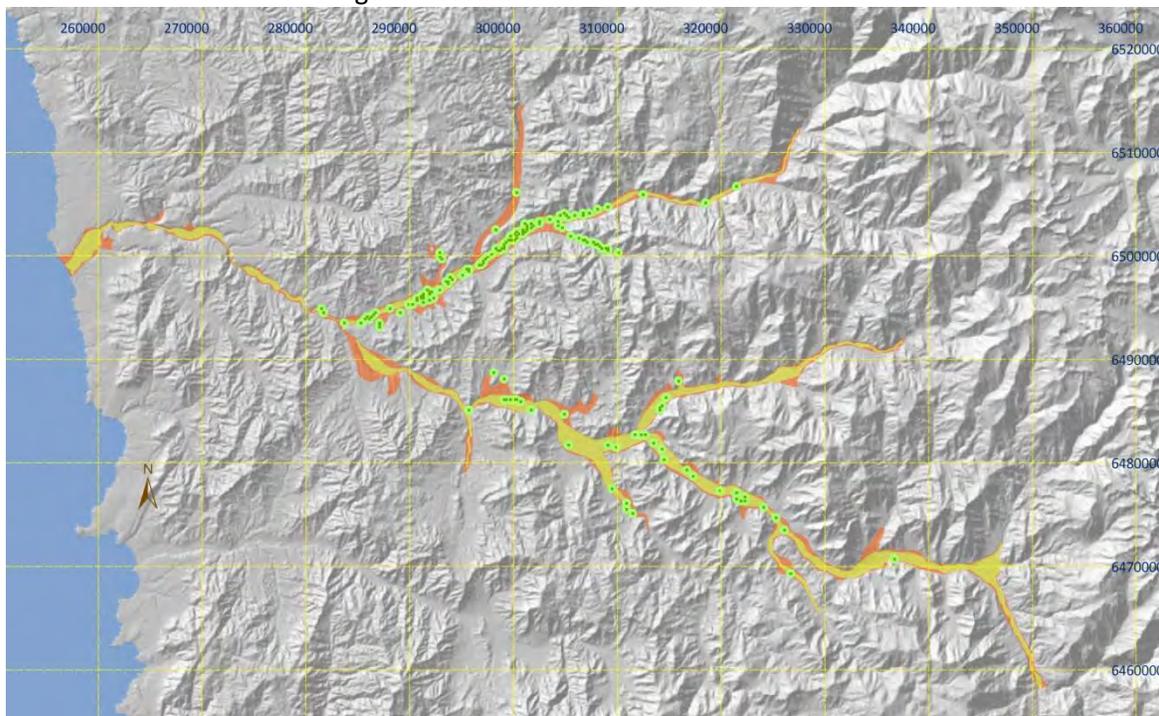


8.1.5 Calibración del Modelo

Se efectuó una calibración en régimen permanente del modelo. Para ello, se usaron las profundidades de los niveles estáticos medidos en la campaña de terreno.

De las captaciones catastradas, se cuenta con 180 puntos con mediciones de nivel freático ubicados en el dominio activo adoptado para el relleno de la cuenca del río Choapa. Los 180 puntos se ubican en 157 celdas del modelo. Para cada celda se usó la profundidad promedio, en los casos de coincidir con la ubicación de más de una captación. De esa forma, se generaron 157 puntos de ajuste (ver Figura 8.1-12). La elevación del nivel freático en cada celda de control, se calculó restando la profundidad del nivel a la elevación de la superficie de la celda.

Figura 8.1-12. Puntos de control de niveles



Como se indicó anteriormente, el modelo se operó en régimen permanente, modificándose la distribución y valores de permeabilidades, en iteraciones sucesivas. La distribución final se presenta en la Figura 8.1-13. Los valores obtenidos son un poco menores a los usados en el estudio Cazalac. El ajuste entre niveles medidos y simulados se puede apreciar en la Figura 8.1-14.

Figura 8.1-13. Distribución de permeabilidades final

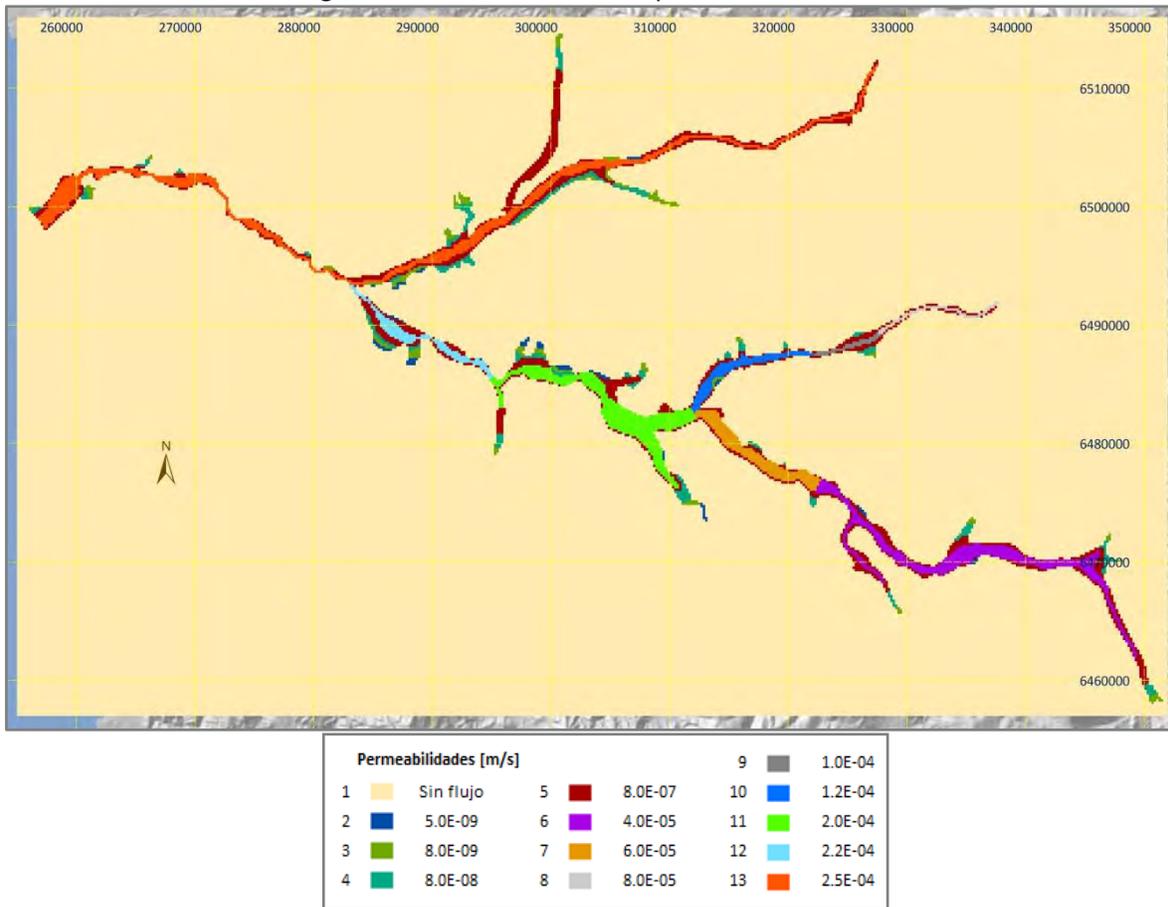
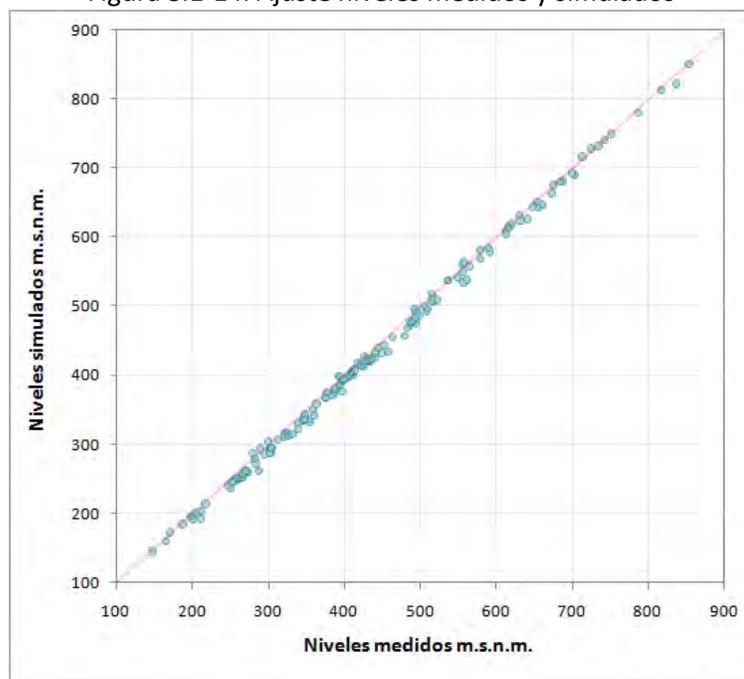


Figura 8.1-14. Ajuste niveles medidos y simulados



Coeficiente de correlación ("Correlation Coefficient" en Visual Modflow 4.2)	$1/n \cdot \sum \text{abs}(NE^{\text{sim}} - NE^{\text{med}})$ ("Abs. Residual Mean" en Visual Modflow 4.2)	$1/n \cdot \sum (NE^{\text{sim}} - NE^{\text{med}})$ ("Residual Mean" en Visual Modflow 4.2)	$(1/n \sum (NE^{\text{sim}} - NE^{\text{med}})^2)^{0.5}$ ("Root Mean Squared" en Visual Modflow 4.2)
0.9992	9.603	-9.053	11.098

Error cuadrático medio normalizado ("Normalized RMS" en Visual Modflow 4.3) $[(1/n \sum (NE^{\text{sim}} - NE^{\text{med}})^2)^{0.5}] / [\max(NE^{\text{med}}) - \min(NE^{\text{med}})] \cdot 100$	1.574%
---	--------

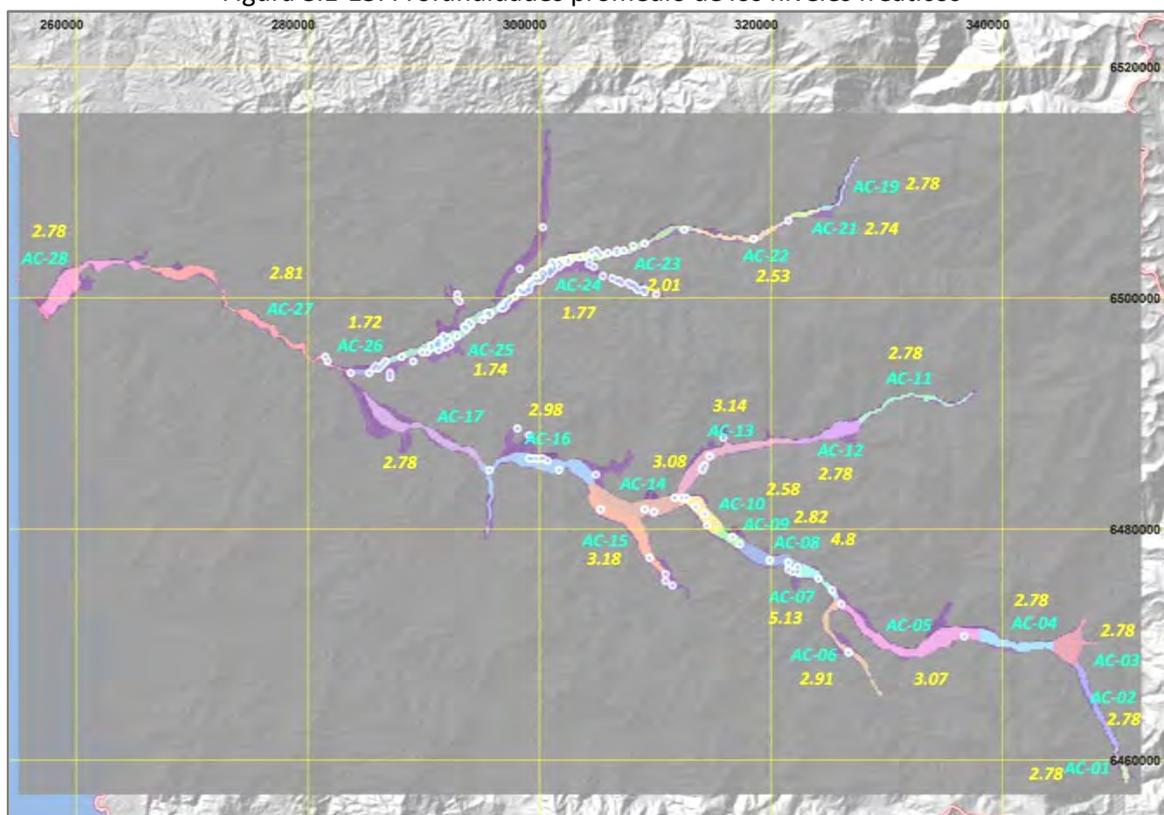
8.1.6 Profundidad Actual del Nivel Freático

En la Figura 8.1-15 se han incluido las profundidades promedio a las que se encuentra actualmente el nivel freático en cada sector acuífero. Dichas profundidades se calcularon en función de los datos recopilados en la campaña de terreno. A las zonas sin información se les asoció un valor promedio global (2.78 m). En la Tabla se muestra la priorización.

Tabla 8.1-3. Priorización de zonas acuíferas según profundidad promedio actual del nivel freático

1	Acuífero 07	N.E. promedio = 5.13 m	14	Acuífero 25	N.E. promedio = 1.74 m
2	Acuífero 08	N.E. promedio = 4.8 m	15	Acuífero 26	N.E. promedio = 1.72 m
3	Acuífero 15	N.E. promedio = 3.18 m	16	Acuífero 27	Sin información (2.81 m)
4	Acuífero 13	N.E. promedio = 3.14 m	17	Acuífero 17	Sin información (2.78 m)
5	Acuífero 14	N.E. promedio = 3.08 m	18	Acuífero 01	Sin información (2.78 m)
6	Acuífero 05	N.E. promedio = 3.07 m	19	Acuífero 02	Sin información (2.78 m)
7	Acuífero 16	N.E. promedio = 2.98 m	20	Acuífero 11	Sin información (2.78 m)
8	Acuífero 06	N.E. promedio = 2.91 m	21	Acuífero 19	Sin información (2.78 m)
9	Acuífero 09	N.E. promedio = 2.82 m	22	Acuífero 12	Sin información (2.78 m)
10	Acuífero 10	N.E. promedio = 2.58 m	23	Acuífero 04	Sin información (2.78 m)
11	Acuífero 22	N.E. promedio = 2.53 m	24	Acuífero 03	Sin información (2.78 m)
12	Acuífero 23	N.E. promedio = 2.01 m	25	Acuífero 28	Sin información (2.78 m)
13	Acuífero 24	N.E. promedio = 1.77 m	26	Acuífero 21	Sin información (2.74 m)

Figura 8.1-15. Profundidades promedio de los niveles freáticos



8.1.7 Disponibilidad Hídrica Superficial

8.1.7.1 Introducción

Uno de los objetivos principales de los proyectos de recarga artificial es aprovechar los flujos superficiales no utilizados, que terminan finalmente descargando en el océano y que no son utilizados en la cuenca.

A su vez, los caudales medidos en las estaciones fluviométricas cercanas a la costa, revelan, en cierta medida, la escorrentía sobrante de la cuenca, que se podría utilizar para abastecer los sistemas de recarga artificial proyectados.

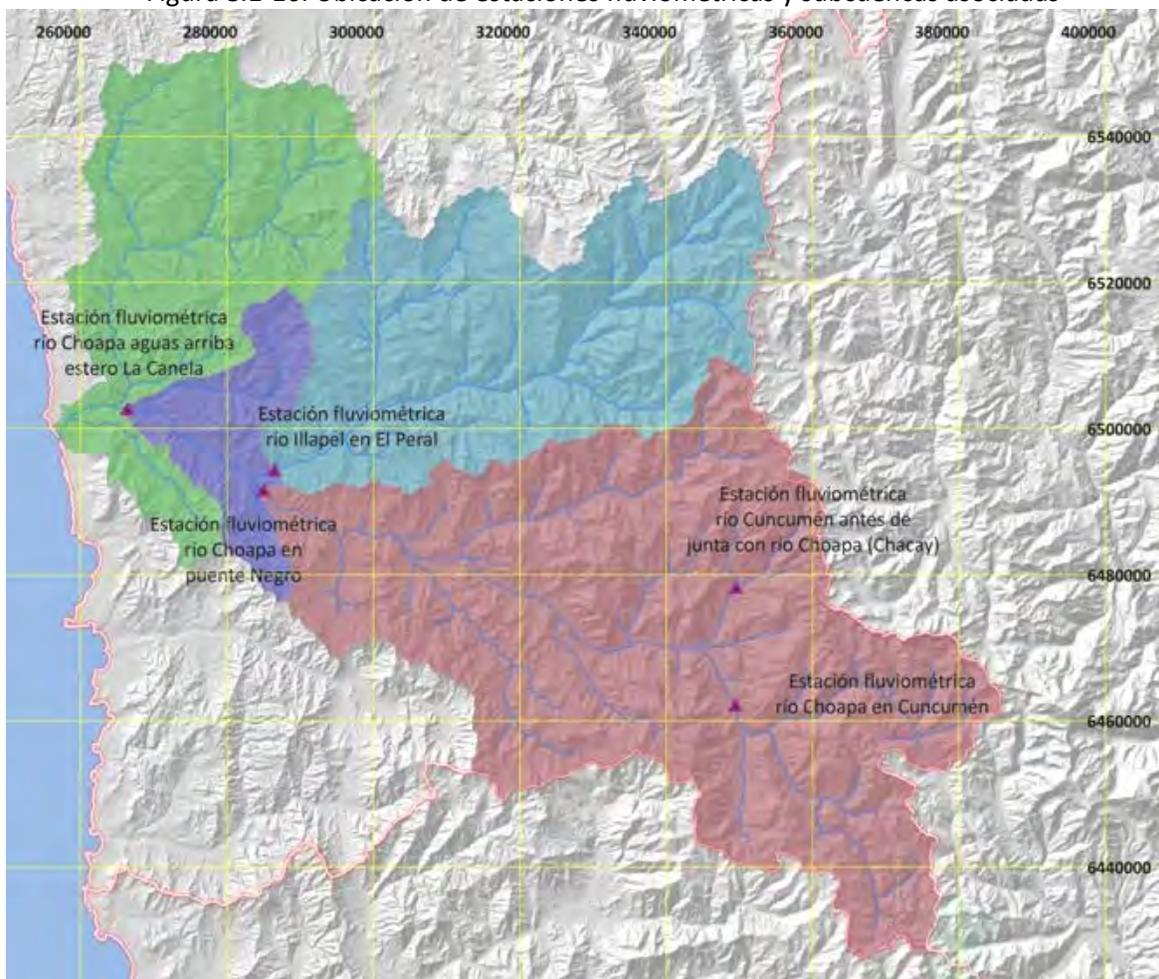
A fin de cuantificar la disponibilidad de agua superficial, en distintos puntos de la cuenca, una forma confiable consiste en determinar cómo se distribuye ese sobrante total. Para conocer esto, en el caso de la cuenca del río Choapa, se desarrolló una metodología de cálculo, basada en los resultados del modelo Magic del estudio Cazalac y en los caudales medidos en las estaciones fluviométricas más cercanas a la desembocadura de este río.

A continuación se explica el procedimiento empleado.

8.1.7.2 Fluviometría

Los caudales medidos en las estaciones: Choapa aguas arriba estero La Canela, Choapa en puente Negro e Illapel en El Peral, permiten cuantificar la disponibilidad hídrica superficial y desagregar los excedentes de las cuencas de los ríos Illapel y Choapa, aguas arriba de la confluencia entre ambos. En la Figura 8.1-16 puede apreciarse la ubicación de las estaciones fluviométricas de la cuenca del río Choapa.

Figura 8.1-16. Ubicación de estaciones fluviométricas y subcuencas asociadas



Se cuenta con datos de caudales promedios mensuales para el período 1962-2011 en las 3 estaciones mencionadas, pero con meses incompletos y otros sin información.

Los caudales medidos en esas estaciones tienen buena correlación entre sí (coeficientes de correlación >0.88). Por consiguiente, se rellenó la mayor parte de los datos faltantes, en función de los datos medidos en las estaciones indicadas.

Sin embargo, en 13 meses no se cuenta, coincidentemente, con mediciones en las 3 estaciones. De esos meses, 10 se rellenaron con registros de Choapa en Cuncumén (coeficientes de correlación >0.80). Los 3 meses restantes, se rellenaron promediando los caudales de los meses anteriores y posteriores de las mismas estaciones.

Los meses con registros incompletos (con algunos días sin medición), se dejaron inalterados. En las Tablas 8.1-4, 8.1-5 y 8.1-6, se presentan los caudales promedios mensuales medidos y rellenados, según el proceso descrito.

Tabla 8.1-4. Caudales promedios mensuales en estación Choapa aguas arriba estero La Canela [m³/s]

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Nov.	Dic.
1962	8.800	5.320	4.870	4.250	5.030	19.350	13.460	7.460	4.070	7.110	17.690	3.950
1963	1.150	1.160	0.840	1.310	2.390	5.500	13.780	14.150	52.060	21.380	38.660	106.930
1964	58.310	14.740	8.210	8.330	7.410	14.840	10.210	8.740	6.090	3.660	3.310	2.200
1965	2.245	2.290	1.960	2.820	4.690	3.800	29.660	94.700	40.320	42.090	66.300	47.230
1966	34.530	26.750	26.070	26.520	10.000	20.610	25.890	11.220	10.020	13.730	19.230	11.210
1967	5.320	2.240	2.520	4.859	4.120	6.750	6.980	4.520	5.480	3.140	3.160	2.990
1968	1.270	1.040	2.145	1.882	1.447	1.230	0.905	0.936	1.634	2.331	2.130	0.150
1969	0.140	0.130	0.130	0.130	0.130	0.225	0.263	0.903	1.042	0.954	2.260	2.536
1970	0.753	0.200	0.012	0.130	1.255	2.536	6.480	5.713	0.790	2.963	14.505	2.770
1971	0.891	0.213	0.213	0.426	0.665	1.640	3.300	4.550	0.860	2.590	8.250	0.860
1972	0.520	0.490	0.600	0.170	0.150	34.440	19.000	30.907	24.728	52.333	79.937	93.639
1973	59.893	18.762	12.006	8.903	11.265	13.412	17.883	8.489	7.910	8.150	9.950	9.230
1974	4.420	4.620	4.740	4.820	4.780	7.910	6.850	4.510	5.130	9.340	24.060	14.166
1975	3.060	2.580	1.190	1.520	5.140	6.030	9.160	6.090	3.020	2.900	12.960	2.970
1976	0.520	0.250	0.200	0.991	1.921	2.674	1.808	3.277	1.490	1.520	11.660	1.850
1977	0.510	0.270	0.250	0.130	0.140	0.910	51.760	19.870	18.310	29.930	47.680	45.190
1978	14.540	7.250	4.060	3.410	4.897	3.790	13.270	18.780	14.200	34.460	87.000	98.510
1979	33.670	18.530	12.340	11.030	9.670	9.140	5.990	19.500	8.665	7.874	8.464	4.935
1980	1.020	0.820	0.480	1.270	8.810	8.160	13.450	13.050	13.380	24.380	41.490	44.670
1981	10.300	1.930	1.860	5.620	10.020	14.850	7.960	5.670	4.180	1.356	1.682	0.514
1982	0.130	0.130	0.130	0.150	4.720	20.220	16.450	43.592	24.510	33.050	63.160	128.990
1983	78.790	29.740	13.010	11.770	15.260	17.990	38.380	25.350	18.390	34.930	56.351	32.364
1984	9.270	3.980	5.950	6.340	8.590	6.140	123.490	31.520	33.970	58.000	58.250	65.880
1985	23.370	10.470	9.420	7.930	7.510	6.230	6.780	6.480	3.530	3.280	3.490	0.970
1986	0.350	0.260	0.290	0.350	3.940	9.280	5.160	6.340	6.100	13.830	32.760	32.460
1987	11.990	4.030	2.630	3.470	8.340	10.670	9.910	72.810	51.592	71.284	133.790	139.254
1988	91.806	34.687	23.070	17.205	14.442	13.500	14.028	11.792	7.648	5.500	3.805	1.330
1989	0.577	0.275	0.288	0.539	6.414	4.822	5.475	13.663	10.059	18.951	30.116	8.137
1990	1.544	0.928	0.627	1.745	2.988	3.616	6.210	3.277	3.126	3.754	6.706	0.380
1991	0.780	0.460	0.310	0.350	1.270	17.010	15.730	9.530	19.640	21.570	47.860	40.800
1992	21.610	7.810	5.900	9.060	11.700	42.340	20.820	20.550	32.910	37.180	54.490	34.310
1993	14.720	5.170	3.020	9.230	38.190	19.260	17.080	10.020	11.560	17.200	23.030	13.050
1994	3.510	1.040	1.390	2.890	5.520	5.590	7.430	5.460	6.730	4.450	9.170	1.340
1995	1.880	0.440	0.310	0.310	0.720	2.520	4.320	3.480	2.410	0.860	0.990	0.560
1996	0.430	0.500	0.380	0.270	0.240	0.250	2.670	1.350	0.560	0.390	0.290	0.210
1997	0.220	0.220	0.210	0.190	0.170	81.840	27.170	84.780	53.810	55.720	95.470	127.680
1998	86.290	28.210	16.020	17.460	12.080	10.530	6.910	4.840	4.150	4.350	1.560	1.280
1999	0.330	0.360	0.250	0.190	0.340	1.280	1.170	3.510	14.030	11.850	12.360	0.990
2000	0.610	0.360	0.270	0.280	1.100	15.140	16.280	10.400	20.280	36.900	41.270	30.890
2001	6.280	1.190	2.110	3.180	3.140	2.210	25.070	18.850	18.310	28.140	39.090	27.370
2002	10.210	2.540	1.110	5.070	16.600	67.150	35.320	56.280	44.880	55.220	92.180	92.720
2003	36.900	13.780	10.920	9.650	13.410	15.320	14.010	8.080	5.230	12.330	13.930	4.800
2004	1.110	0.670	0.670	3.550	4.080	6.430	9.800	16.610	8.740	4.110	6.150	2.930
2005	0.880	0.500	0.850	1.420	5.770	13.960	8.680	10.500	19.520	26.860	69.890	61.900
2006	18.260	3.580	1.470	1.720	2.480	8.030	16.300	10.910	7.540	29.550	43.030	16.740
2007	3.490	1.090	0.860	1.710	1.750	8.850	7.250	5.200	3.440	15.010	15.370	3.630
2008	0.890	12.320	8.280	8.680	13.230	6.780	5.250	19.820	5.490	17.400	45.330	11.140
2009	1.970	0.500	0.410	0.440	0.930	3.400	4.530	7.700	5.200	11.430	25.260	9.530
2010	0.910	0.530	0.940	1.350	4.430	10.750	12.690	7.340	5.320	1.930	4.370	1.560
2011	1.360	0.260	0.180	0.260	1.400	2.490	1.190	0.390	0.210	0.530	0.960	0.200
Mín.	0.130	0.130	0.012	0.130	0.130	0.225	0.263	0.390	0.210	0.390	0.290	0.150
Máx.	91.806	34.687	26.070	26.520	38.190	81.840	123.490	94.700	53.810	71.284	133.790	139.254
Prom.	13.447	5.512	3.919	4.306	6.094	12.228	14.872	16.269	13.445	18.155	30.617	27.798

d: número de días con medición de caudal	
4.859	d<1 (relleno)
1.960	0<d≤10
0.840	10<d≤20
8.210	20<d

Tabla 8.1-5. Caudales promedios mensuales en estación Choapa en puente Negro [m³/s]

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Nov.	Dic.
1962	7.635	5.118	4.792	4.344	4.908	15.267	11.006	6.666	4.213	6.412	14.066	4.127
1963	2.101	2.108	1.877	2.217	2.998	5.248	11.238	11.505	38.930	16.736	29.236	78.623
1964	43.451	11.932	7.208	7.295	6.630	12.004	8.655	7.592	5.675	3.917	3.664	2.861
1965	2.893	2.926	2.687	3.309	4.662	4.018	22.725	69.776	30.437	31.717	49.231	35.436
1966	26.248	20.620	20.128	20.454	8.503	16.179	19.998	9.386	8.518	11.201	15.180	9.378
1967	5.118	2.889	3.092	4.212	4.249	6.152	6.318	4.539	5.233	3.541	3.555	3.432
1968	2.188	2.021	2.081	1.874	1.533	1.363	1.107	1.132	1.679	2.227	2.069	0.370
1969	0.230	0.090	0.090	0.090	0.140	0.430	0.460	0.970	1.080	1.010	2.050	2.270
1970	0.850	0.410	0.260	0.250	1.250	2.270	5.410	4.800	0.880	2.610	11.800	2.890
1971	0.960	0.420	0.420	0.590	0.780	1.760	4.540	3.620	2.230	2.310	4.370	0.800
1972	0.420	0.340	0.280	0.230	0.500	17.700	15.990	24.860	19.940	41.920	63.900	74.810
1973	47.940	15.190	9.810	7.340	9.220	10.930	14.490	7.010	1.800	7.400	18.900	7.600
1974	0.860	4.611	0.720	1.340	2.660	6.991	4.370	1.590	3.060	9.730	20.210	11.530
1975	2.020	1.240	1.200	1.250	1.740	2.980	7.460	5.675	2.140	2.630	10.570	4.360
1976	0.760	0.450	0.800	1.040	1.780	2.380	1.690	2.860	1.420	2.120	8.650	1.330
1977	0.240	0.250	0.240	0.340	0.760	1.780	22.230	20.610	22.980	38.930	51.600	46.520
1978	27.130	3.730	4.880	4.530	4.150	4.660	40.610	16.420	16.740	25.910	71.120	74.660
1979	27.970	14.630	10.790	9.100	7.610	5.400	5.080	7.600	7.150	6.520	6.990	4.180
1980	0.590	0.590	0.890	22.620	12.510	9.950	17.970	14.800	9.700	21.640	32.150	32.990
1981	8.420	3.190	2.410	2.750	7.810	7.550	5.710	4.240	2.760	1.330	1.590	0.660
1982	0.250	0.190	0.180	0.370	3.270	17.290	43.520	34.960	27.410	26.600	56.030	97.820
1983	54.910	19.670	11.650	10.030	10.630	12.060	25.000	19.210	13.750	28.960	45.120	26.020
1984	7.570	4.080	5.100	4.980	6.330	3.760	66.190	29.470	31.330	52.090	59.300	61.780
1985	29.700	11.320	9.670	9.220	8.480	7.040	8.290	6.840	3.380	2.880	3.840	1.630
1986	0.560	0.310	0.450	0.960	4.610	14.080	5.420	8.080	4.870	10.570	28.830	30.170
1987	9.080	3.760	2.370	2.500	5.990	5.950	8.438	53.941	41.330	57.010	106.780	111.130
1988	73.350	27.870	18.620	13.950	11.750	11.000	11.420	9.640	6.340	4.630	3.280	1.310
1989	0.710	0.470	0.480	0.680	5.677	4.478	4.610	11.130	8.260	15.340	24.230	6.730
1990	1.480	0.990	0.750	1.640	2.630	3.130	5.523	2.860	2.740	3.240	5.590	1.020
1991	1.833	1.602	1.493	1.522	2.188	18.220	14.120	8.670	17.290	15.390	43.910	33.720
1992	17.070	6.270	5.110	6.990	9.050	30.400	16.090	14.950	19.470	27.730	41.890	20.480
1993	9.400	5.200	3.940	8.260	16.810	13.150	12.280	7.770	9.330	12.740	16.790	10.160
1994	3.610	1.610	1.890	2.370	3.470	4.290	6.350	4.400	4.390	5.590	8.210	2.910
1995	1.970	0.320	0.290	0.500	1.460	3.240	4.600	3.580	2.820	1.720	3.550	0.300
1996	0.250	0.200	0.200	0.290	0.260	1.150	3.160	1.580	0.550	0.330	0.280	0.750
1997	1.010	0.350	0.110	0.070	0.100	53.720	13.810	38.680	49.260	46.680	72.320	102.380
1998	64.010	23.390	14.010	14.270	11.160	9.450	5.570	4.090	2.940	2.130	1.020	0.980
1999	0.430	0.750	0.570	0.780	0.870	1.930	3.800	3.470	13.840	13.210	17.100	3.700
2000	0.750	0.700	0.430	0.650	1.360	11.170	10.860	7.500	17.180	32.440	34.990	28.510
2001	4.990	1.510	1.230	1.670	4.350	3.230	18.220	20.480	15.070	24.940	33.670	22.170
2002	5.710	3.100	2.360	4.420	10.210	45.960	33.530	49.940	35.690	40.740	61.410	46.740
2003	19.770	7.770	4.800	4.420	9.140	11.900	10.910	8.260	6.140	13.260	13.850	5.330
2004	1.850	1.440	1.610	4.060	4.060	3.350	4.290	8.600	4.720	2.850	4.340	2.230
2005	0.450	0.320	0.340	0.540	2.480	8.180	5.840	8.180	13.910	19.450	49.180	38.760
2006	10.480	3.950	3.310	2.750	2.710	5.980	9.300	7.340	5.150	17.570	26.380	10.950
2007	3.320	0.980	1.150	2.520	2.830	7.870	6.240	5.400	4.780	13.660	12.780	4.690
2008	0.960	0.730	0.430	0.860	2.980	5.420	6.570	18.900	5.241	21.440	43.700	12.930
2009	2.200	0.580	1.566	1.587	2.400	5.050	6.150	7.570	6.490	12.280	21.550	7.980
2010	1.090	1.000	1.700	2.200	4.380	6.260	5.820	3.290	2.350	2.600	3.630	2.080
2011	1.190	0.670	0.610	0.870	1.130	3.030	3.130	2.250	1.640	4.090	5.550	1.490
Mín.	0.230	0.090	0.090	0.070	0.100	0.430	0.460	0.970	0.550	0.330	0.280	0.300
Máx.	73.350	27.870	20.128	22.620	16.810	53.720	66.190	69.776	49.260	57.010	106.780	111.130
Prom.	10.760	4.477	3.421	4.022	4.743	9.335	12.122	12.734	11.285	15.439	25.400	21.914

d: número de días con medición de caudal	
4.859	d<1 (relleno)
1.960	0<d≤10
0.840	10<d≤20
8.210	20<d

Tabla 8.1-6. Caudales promedios mensuales en estación Illapel en El Peral [m³/s]

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
1962	1.363	0.646	0.553	0.426	0.586	3.538	2.324	1.087	0.389	1.015	3.195	0.364
1963	0.000	0.000	0.000	0.000	0.042	0.683	2.390	2.466	10.279	3.956	7.517	21.586
1964	11.567	2.587	1.242	1.266	1.077	2.608	1.654	1.351	0.805	0.304	0.232	0.003
1965	0.012	0.022	0.000	0.131	0.516	0.333	5.662	19.066	7.859	8.224	13.213	9.283
1966	6.666	5.063	4.922	5.015	1.611	3.797	4.885	1.862	1.615	2.379	3.513	1.860
1967	0.646	0.011	0.069	0.491	0.399	0.941	0.988	0.481	0.679	0.197	0.201	0.166
1968	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1969	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1970	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.794	0.609	0.000	0.000	2.731	0.121
1971	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.230	0.487	0.000	0.084	1.250	0.000
1972	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.647	3.465	6.691	5.199	11.863	18.527	21.835
1973	13.688	3.759	2.128	1.379	1.949	2.467	3.547	1.279	1.180	1.229	1.600	1.458
1974	0.461	0.502	0.527	0.543	0.535	1.180	0.961	0.479	0.607	1.475	4.508	2.649
1975	0.180	0.082	0.000	0.000	0.609	0.792	1.438	0.805	0.172	0.147	2.358	0.162
1976	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.021	0.000	0.000	1.953	0.000
1977	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	10.217	3.645	3.323	5.718	9.376	8.863
1978	2.546	1.044	0.387	0.253	0.412	0.331	2.285	3.420	2.476	6.651	17.479	19.851
1979	6.489	3.369	2.093	1.823	1.543	1.433	0.784	3.568	1.321	1.130	1.273	0.421
1980	0.000	0.000	0.000	0.000	1.365	1.231	2.322	2.239	2.307	4.574	8.100	8.756
1981	1.672	0.000	0.000	0.708	1.615	2.610	1.190	0.718	0.411	0.000	0.000	0.000
1982	0.000	0.000	0.000	0.000	0.523	3.717	2.940	9.753	4.601	6.361	12.566	26.132
1983	15.787	5.679	2.231	1.975	2.240	2.900	5.800	3.130	1.430	4.500	7.390	5.400
1984	1.160	0.330	0.560	0.870	1.270	1.020	21.160	6.046	6.550	11.503	11.554	13.127
1985	4.366	1.750	1.630	1.630	1.460	1.150	2.620	2.690	0.650	0.140	0.080	0.040
1986	0.030	0.030	0.040	0.030	0.580	1.800	0.450	0.740	0.240	0.960	2.170	2.060
1987	0.740	0.120	0.090	0.220	1.260	1.630	3.770	14.555	13.460	15.900	38.580	35.970
1988	19.170	8.690	5.190	3.800	3.530	3.050	2.410	2.310	1.300	0.480	0.320	0.310
1989	0.130	0.080	0.100	0.140	0.660	0.270	0.690	2.350	0.970	1.270	2.210	0.830
1990	0.090	0.070	0.080	0.100	0.150	0.140	0.610	0.150	0.200	0.150	0.090	0.070
1991	0.050	0.050	0.060	0.060	0.200	3.410	3.110	1.750	3.680	3.050	6.670	5.820
1992	3.150	1.340	0.890	1.660	2.320	8.870	4.530	5.540	6.570	7.000	10.950	7.250
1993	4.050	1.950	1.580	2.920	3.260	3.940	3.100	2.120	2.080	2.510	2.580	2.080
1994	2.180	0.240	0.320	0.180	0.110	0.960	1.650	0.980	0.490	0.650	0.350	0.220
1995	0.020	0.010	0.010	0.040	0.070	0.110	0.260	0.300	0.170	0.230	0.190	0.050
1996	0.020	0.010	0.010	0.000	0.000	0.030	0.350	0.110	0.180	0.100	0.080	0.020
1997	0.030	0.040	0.000	0.020	0.110	6.620	3.830	12.430	13.860	15.590	20.720	52.870
1998	26.400	8.180	4.690	4.520	3.430	3.060	2.470	1.700	0.910	0.650	0.170	0.170
1999	0.080	0.070	0.050	0.110	0.240	0.380	0.540	0.730	2.720	2.050	2.300	0.300
2000	0.150	0.080	0.080	0.180	0.440	3.240	1.400	2.200	4.710	6.230	5.980	6.050
2001	2.050	0.860	0.710	0.680	1.030	1.400	2.710	3.960	2.910	3.210	3.890	2.720
2002	0.650	0.140	0.110	0.720	5.050	10.740	6.220	5.970	5.000	8.540	16.530	19.530
2003	10.250	4.730	2.740	2.070	2.730	2.800	2.100	1.330	1.130	1.090	0.710	0.180
2004	0.070	0.080	0.110	0.410	0.530	1.040	1.230	2.610	1.210	1.010	0.620	0.330
2005	0.220	0.100	0.200	0.140	0.670	1.510	0.870	0.770	2.960	5.920	13.640	6.810
2006	2.280	0.600	0.300	0.390	0.820	2.030	3.210	2.350	1.490	2.230	1.120	0.550
2007	0.110	0.030	0.030	0.050	0.080	0.460	0.530	0.350	0.190	0.200	0.200	0.070
2008	0.030	0.020	0.020	0.030	0.070	0.420	0.430	2.570	1.430	1.810	4.260	1.810
2009	0.580	0.070	0.040	0.040	0.080	0.390	0.540	1.410	1.650	0.600	0.420	0.080
2010	0.030	0.030	0.000	0.000	0.463	1.765	2.165	0.130	0.390	0.580	0.330	0.100
2011	0.000	0.010	0.010	0.010	0.000	0.560	0.210	0.150	0.120	0.150	0.150	0.120
Min.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Máx.	26.400	8.690	5.190	5.015	5.050	10.740	21.160	19.066	13.860	15.900	38.580	52.870
Prom.	2.783	1.049	0.676	0.701	0.913	1.960	2.541	2.829	2.437	3.072	5.277	5.769

d: número de días con medición de caudal	
4.859	d<1 (relleno)
1.960	0<d≤10
0.840	10<d≤20
8.210	20<d

8.1.7.3 Modelo de Disponibilidad Superficial

Se usaron los caudales calculados con el modelo Magic, para el período comprendido entre abril de 1989 y marzo de 2004. En función de esos caudales, se estimaron disponibilidades hídricas superficiales en la mayoría de los nodos incluidos en el modelo Magic (ver Figura 8.1-17, nodos ríos Choapa, Illapel, Chalinga y estero Camisas). Esos nodos representan las secciones en los cauces más relevantes de la zona de estudio.

El cálculo mencionado se hizo imponiendo extracciones puntuales, a lo largo de los cauces, coincidentes con cada nodo Magic. Dichas extracciones simulan entregas para el uso en recarga artificial.

El criterio usado para cuantificar las extracciones, consistió en respetar las entregas para riego de canales, según las demandas de riego, las infiltraciones a los acuíferos y mantener caudales no negativos en todas las secciones de los cauces representados en el modelo Magic.

Los resultados del modelo Magic usados, corresponden a los del escenario denominado "Base 1", que formó parte de los escenarios de operación evaluados en el estudio de Cazalac y que según la descripción realizada en ese estudio, consiste en (textual):

Escenario Base 1

- se solicita en las bocatomas de los canales solamente las demandas, ya sean provenientes de riego o de otros usos. No se opera por desmarques, sino por demanda.
- se incluye el embalse Corrales, con sus canales alimentador y de entregas, con todas sus características propias de operación y con los nodos que alimenta.
- se mantienen las restricciones a la explotación de los acuíferos, que sólo pueden ser explotados a través de los derechos existentes
- se mantienen las condiciones actuales de tecnificación del riego
- se mantienen las condiciones actuales de ineficiencia de conducción

En los Gráficos 8.1-2, 8.1-3 y 8.1-4 se pueden apreciar los caudales medidos rellenados y los caudales simulados con el modelo Magic.

Los resultados del modelo Magic se usaron como datos de entrada en un modelo de balance configurado en una planilla Excel, donde se incorporaron las extracciones mencionadas, según las restricciones detalladas en los párrafos anteriores. En la Figura se muestra una vista de la planilla elaborada.

La disponibilidad acumulada de agua para recarga de cada nodo, corresponde a la suma de extracciones parciales aguas arriba de éste. Si se considera la recarga de varios sectores simultáneamente, se deben restar los caudales usados en sectores aguas arriba.

Figura 8.1-17. Nodos Magic

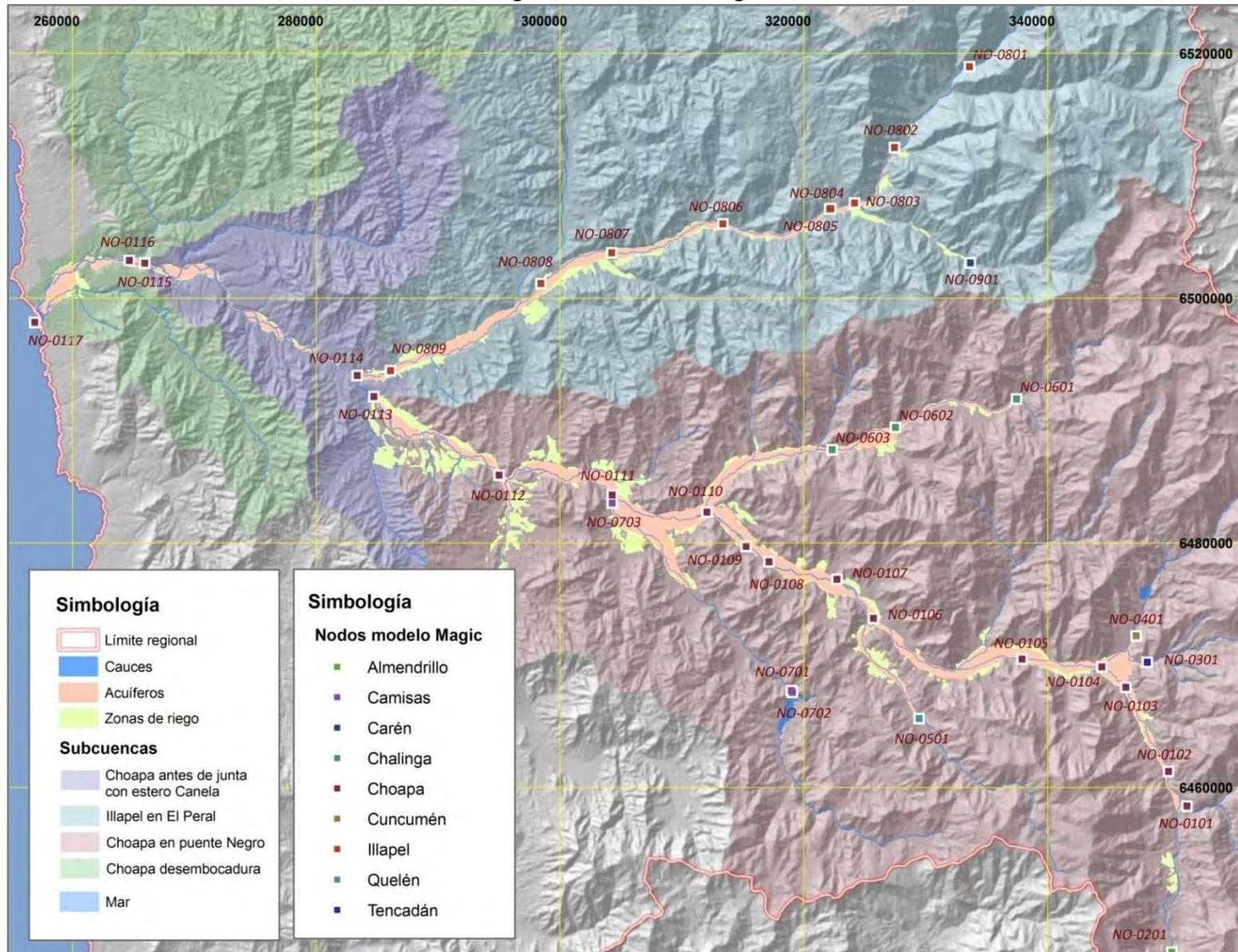


Gráfico 8.1-2. Caudales en río Choapa aguas arriba estero La Canela

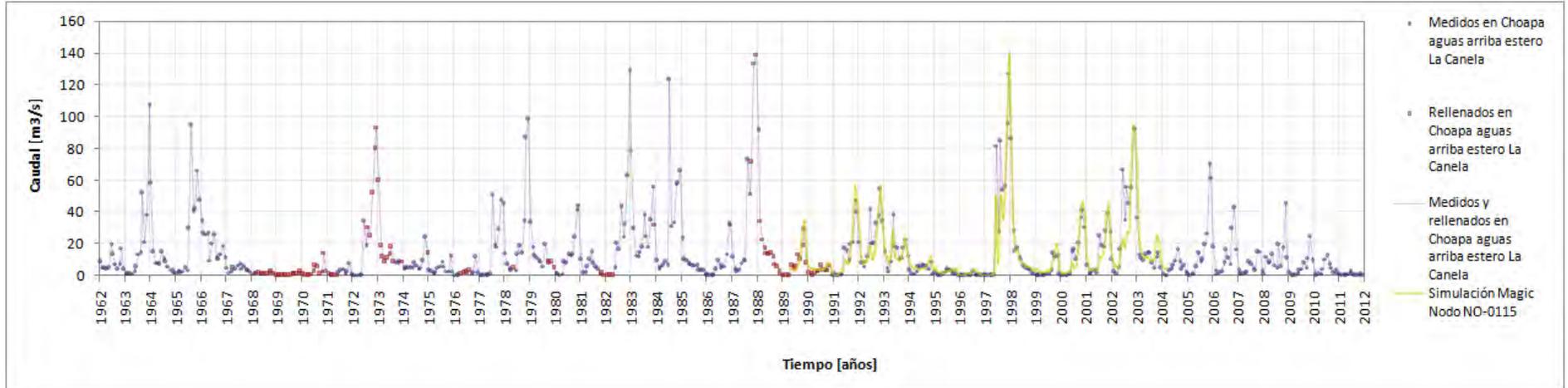


Gráfico 8.1-3. Caudales en río Choapa en puente Negro

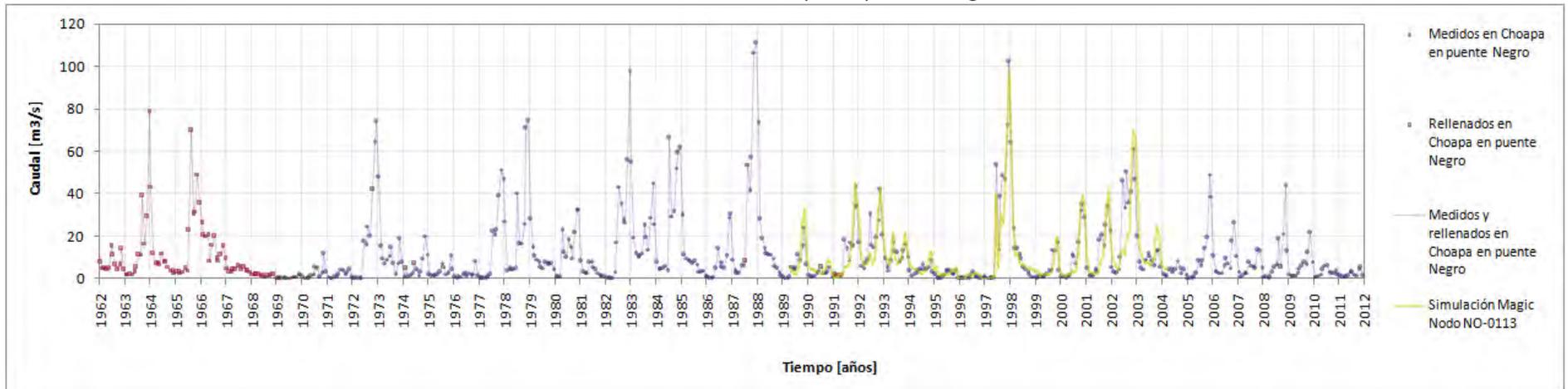


Gráfico 8.1-4. Caudales en río Illapel en El Peral

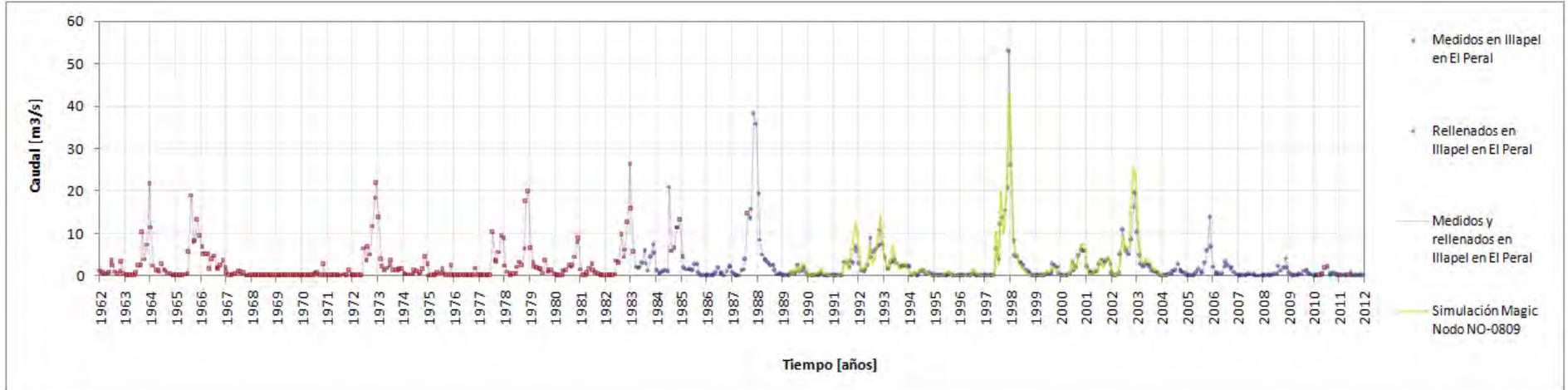
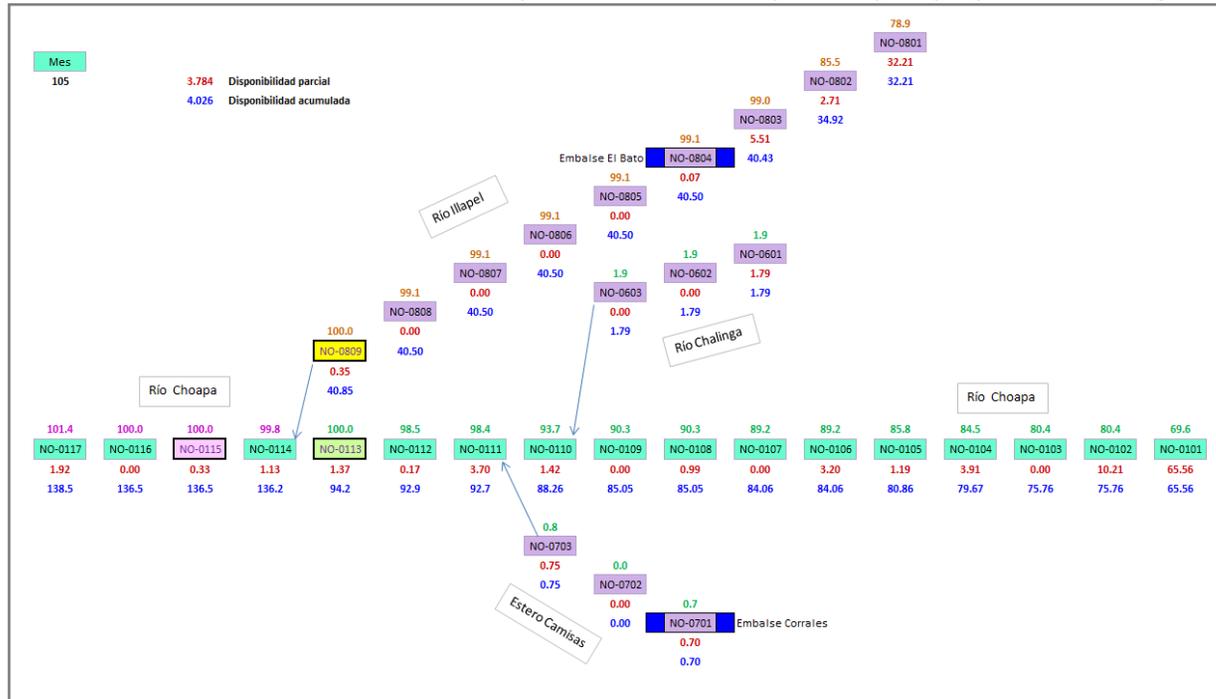


Figura 8.1-18. Vista de modelo de cálculo de disponibilidad hídrica superficial para proyectos de recarga artificial



8.1.7.4 Disponibilidad superficial histórica

Los caudales de disponibilidad acumulada en cada nodo, se correlacionaron con los caudales salientes (calculados con el modelo Magic), de los nodos ubicados en los extremos de aguas abajo de cada tramo y que coinciden con estaciones fluviométricas. A continuación se detalla lo anterior para los tramos evaluados.

Para los 9 nodos que representan al río Illapel (NO-0801 a NO-0809, ver Figura 8.1-18), se correlacionaron las disponibilidades acumuladas, calculadas de los resultados del Magic, con los caudales simulados, salientes del nodo NO-0809, que coincide con la estación río Illapel en El Peral (los coeficientes de correlación son mayores a 97%). Se calcularon rectas de regresión para cada nodo, tomando como variable independiente la disponibilidad acumulada y como variable dependiente el caudal saliente del nodo NO-0809.

Las disponibilidades acumuladas para el período histórico (1962-2011), se estimaron usando las funciones lineales mencionadas (rectas de regresión), operando sobre los caudales históricos medidos y rellenados en la estación Illapel en El Peral.

Para el período 1989-2004, modelado con Magic, se usaron los valores de disponibilidad calculados en función de los resultados del modelo Magic, ponderados por el cociente entre el caudal medido en Illapel en El Peral y el caudal saliente del nodo NO-0809, simulado con Magic.

Un proceso análogo se realizó con los nodos del río Choapa (nodos NO-0101 a NO-0113 de la Figura 8.1-17). El nodo base de correlación fue el nodo NO-0113, que coincide con la estación río Choapa en puente Negro.

Para los restantes nodos del río Choapa (NO-0114 a NO-0117), la correlación se realizó con los caudales salientes del nodo NO-0115, coincidente con la estación río Choapa aguas arriba estero La Canela.

En el caso de los nodos asociados a los esteros Chalinga y Camisas, las correlaciones con los nodos referenciales resultaron muy bajas (en torno a 0.3). Por ello, alternativamente, se optó por correlacionar las disponibilidades estimadas, con las precipitaciones promedios mensuales de la estación Illapel (ver Tabla 8.1-7), de lo que se obtuvo coeficientes de correlación entre 0.52 y 0.68.

Tabla 8.1-7. Precipitaciones promedios mensuales estación Illapel [mm/mes]

Año Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1950				11.3	90.9	0.0	1.6	3.9	27.6	3.4	14.6	0.0
1951	0.0	0.0	0.0	0.0	45.9	35.9	60.3	2.6	11.6	0.0	0.0	0.0
1952	0.0	0.0	0.0	31.4	26.6	69.8	39.6	9.3	13.3	0.8	0.0	0.0
1953	0.0	0.0	0.0	32.8	37.3	11.8	43.2	102.6	23.3	0.7	0.0	0.0
1954	0.0	0.0	0.8	2.4	58.0	77.0	15.9	21.1	0.0	0.0	0.0	0.0
1955	0.0	0.0	0.0	2.2	44.0	2.4	19.1	17.8	6.7	23.8	0.0	0.0

Tabla 8.1-7. Precipitaciones promedios mensuales estación Illapel [mm/mes]

Año Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1956	0.0	0.0	30.3	0.0	1.3	4.0	42.0	34.3	19.9	0.0	0.3	0.0
1957	0.0	0.0	0.0	0.0	200.4	8.7	49.8	9.5	15.8	0.0	0.0	18.4
1958	0.0	0.0	0.0	10.1	40.4	80.9	19.0	47.9	2.0	0.2	0.0	0.0
1959	0.0	0.0	0.0	0.0	11.8	53.4	9.3	24.2	0.0	0.0	0.0	0.0
1960	0.0	0.0	0.0	0.0	10.6	36.9	15.8	19.8	0.3	0.0	0.0	0.0
1961	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	115.9	15.7	73.8	1.8	16.3	0.0	0.4
1962	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	65.7	1.5	9.1	1.0	9.0	0.0	0.0
1963	11.2	0.0	0.0	0.0	19.8	17.3	49.9	51.9	104.8	3.4	5.1	0.0
1964	5.0	0.0	0.0	7.7	0.0	60.0	12.0	60.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1965	0.0	0.0	0.0	9.0	28.6	0.6	164.4	137.1	0.0	0.0	0.0	0.0
1966	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	132.3	53.9	13.2	0.8	0.0	6.6	0.0
1967	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	22.8	46.7	10.5	39.7	0.0	0.0	0.0
1968	0.0	0.0	0.0	12.9	0.0	32.8	0.0	11.2	13.9	0.0	0.0	0.0
1969	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.8	0.7	22.4	0.0	0.0	0.0	0.0
1970	0.0	0.0	0.0	0.0	64.1	0.6	50.9	8.4	5.8	5.2	0.0	0.0
1971	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	52.3	0.0	29.1	9.8	0.0	0.0	0.0
1972	0.0	0.0	0.0	1.1	7.4	188.6	50.8	88.9	16.7	2.0	0.0	0.0
1973	0.0	0.0	0.0	0.0	31.7	28.8	29.5	0.0	0.0	28.6	0.0	0.0
1974	0.0	0.0	0.0	0.0	22.5	96.7	0.0	0.0	21.2	0.0	0.0	0.0
1975	0.0	0.0	0.0	0.0	22.5	0.2	58.5	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0
1976	0.0	0.0	0.0	0.0	18.0	0.0	5.0	14.0	1.3	27.7	11.5	0.0
1977	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	33.0	124.3	20.6	0.0	18.1	0.0	0.0
1978	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	103.5	2.0	34.5	0.0	30.0	0.0
1979	0.0	0.0	0.0	7.5	0.5	0.0	16.0	3.5	5.0	0.0	0.0	0.0
1980	0.0	0.0	0.0	53.0	0.0	53.0	66.0	9.9	70.7	0.0	0.8	0.0
1981	0.0	0.0	0.0	0.0	63.2	44.0	11.0	7.5	5.0	0.0	0.0	0.0
1982	0.0	0.0	9.5	0.0	69.8	79.5	61.7	64.5	6.5	0.0	0.0	0.0
1983	0.0	0.0	1.0	2.5	10.2	33.0	130.3	26.9	8.2	0.0	0.0	0.0
1984	0.0	0.0	4.0	0.0	23.5	1.1	240.8	10.2	5.9	1.0	0.0	0.0
1985	0.0	0.0	6.5	0.0	7.5	0.3	31.5	5.5	0.1	4.5	0.0	0.0
1986	0.0	0.6	0.0	0.1	97.6	32.2	0.2	26.6	0.4	0.0	0.0	0.0
1987	0.0	0.0	1.0	14.0	28.6	29.0	286.5	135.8	4.0	14.5	0.0	0.0
1988	0.0	0.0	3.1	0.0	2.0	10.4	24.4	12.1	2.5	0.0	3.0	0.0
1989	0.0	0.0	0.0	0.0	33.8	0.0	29.6	40.4	0.5	0.0	0.0	0.0
1990	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	43.2	7.5	11.0	0.0	0.0	0.0
1991	0.0	0.0	0.0	0.5	38.0	109.5	32.8	1.0	19.0	0.0	0.0	0.0
1992	0.0	0.0	16.7	11.5	23.5	156.0	0.0	85.0	14.0	0.0	0.5	0.0
1993	0.0	0.0	0.0	40.5	67.0	5.0	25.5	22.0	2.5	0.0	0.0	0.0
1994	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	17.0	44.5	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1995	9.5	0.0	0.0	9.5	0.0	17.2	36.5	16.0	4.5	0.5	0.0	0.0
1996	0.0	0.0	0.0	20.0	1.5	9.5	56.0	8.4	0.0	0.5	0.0	0.0
1997	0.0	0.0	0.0	0.0	39.5	208.0	13.5	123.5	9.5	40.5	1.5	0.0
1998	0.0	0.0	0.0	5.5	1.0	8.0	0.0	0.3	1.0	0.0	0.0	0.0
1999	0.0	0.0	2.5	1.0	10.0	15.0	6.0	53.0	53.5	7.0	0.0	0.0
2000	0.0	0.0	0.0	0.5	34.0	137.0	11.5	0.0	69.0	0.0	0.0	0.0
2001	0.0	0.0	0.0	2.5	28.0	0.0	131.4	33.0	3.5	6.5	0.0	0.0
2002	0.0	0.0	0.7	9.4	65.8	160.0	107.0	49.5	1.5	0.0	0.0	0.0
2003	0.0	0.0	0.0	0.0	63.0	18.0	17.3	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2004	0.0	0.0	12.5	34.0	0.3	31.5	77.0	40.5	1.1	0.0	0.5	0.0
2005	0.0	0.0	5.6	0.0	26.5	21.5	15.5	30.5	17.0	1.5	5.0	0.0
2006	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.7	71.5	5.0	0.0	31.0	0.0	0.0
2007	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	61.0	7.0	27.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2008	0.0	0.0	0.0	0.0	18.5	32.5	41.0	65.0	1.0	0.0	0.0	0.0
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	75.0	22.0	43.5	0.5	0.0	0.0	0.0
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	24.0	33.0	13.5	3.0	11.5	2.5	11.5	0.0
2011	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	94.5	68.0	21.5	0.0	0.0	0.0	0.0
2012	0.0	0.0	0.0	0.0								

34.0 Datos medidos y rellenados en estudio Cazalac

61.0 Datos medidos, entregados directamente por la DGA

Debe señalarse que los caudales calculados con el modelo Magic, para esos tramos (Camisas y Chalinga), provienen de una generación de caudales en cuencas no controladas; por lo tanto, corresponden a estimaciones muy aproximadas, no calibradas con datos fluviométricos (modelo MPL). Además, los caudales de esas cuencas (Camisas y Chalinga), son marginales, con relación a los del río Choapa.

Según lo expresado en el párrafo anterior, a pesar de que las correlaciones no son tan buenas (entre 0.52 y 0.68), se optó por usar las rectas de regresión obtenidas, para extrapolar las disponibilidades al período histórico.

El proceso descrito permitió generar series de datos de disponibilidad hídrica superficial acumulada en cada nodo para el período histórico de 50 años, entre 1962 y 2011. En las Tablas 8.1-8 a 8.1-13 se resumen los resultados obtenidos a nivel mensual.

Los caudales medios mensuales de disponibilidad acumulada, correspondientes al promedio se muestran en las Tablas 8.1-8 y 8.1-11. Esos valores serían los esperados en una situación hidrológica normal.

A su vez, el escenario 50% (Tabla 8.1-9 y 8.1-12) describe también una situación media, semejante a la anterior, siendo adecuada para la solicitud de derechos eventuales. Para los efectos de desarrollar proyectos de recarga artificial, los caudales de esa tabla estarían indicando una disponibilidad de ellos uno de cada dos años, lo cual podría sostener algunos proyectos de recarga artificial en que se requiriera del nuevo recurso subterráneo con esa frecuencia (p.ej., chacarería y hortalizas de Primavera –Verano).

Finalmente, los caudales de disponibilidad acumulada correspondientes a un 85% de probabilidad de excedencia (Tabla 8.1-10 y 8.1-13), representan una condición hidrológica de escasez de recursos de agua, coincidente con la que exige la DGA para constituir derecho de ejercicio permanente. La particularidad de esos caudales es que estarían disponibles cinco de cada seis años, lo que aseguraría un funcionamiento casi permanente de los proyectos de recarga artificial (p.ej., frutales y plantas industriales).

El análisis probabilístico que permitió confeccionar las tablas de resultados indicadas, se efectuó de forma simplificada, con $P(Q(i))=i/(1+n)$, con n =número de intervalos de tiempo considerados e i =número de orden (caudales en orden decreciente). La estimación de los caudales 50% y 85%, para los proyectos definitivos, se realizará determinando las distribuciones de mejor ajuste.

El procedimiento detallado permitió generar estadísticas mensuales de caudales disponibles. Así se pudo determinar un orden de magnitud para los recursos hídricos existentes a través del tiempo. Particularmente, fue posible establecer en qué meses es posible contar con suministro para los proyectos de recarga, con una regularidad preestablecida, según la probabilidad de excedencia considerada.

Tabla 8.1-8. Caudales acumulados de disponibilidad hídrica superficial para proyectos de recarga artificial. Promedios [m³/s]

Mes	Estero Chalinga			Estero Camisas			Río Illapel								
	n601	n602	n603	n701	n702	n703	n801	n802	n803	n804	n805	n806	n807	n808	n809
ENE	0.145	0.135	0.123	0.015	0.015	0.024	1.656	1.790	2.109	2.119	2.160	2.161	2.162	2.260	2.351
FEB	0.130	0.115	0.099	0.002	0.002	0.005	0.525	0.567	0.683	0.689	0.707	0.707	0.708	0.754	0.816
MAR	0.127	0.110	0.094	0.001	0.001	0.002	0.274	0.294	0.358	0.363	0.373	0.374	0.374	0.409	0.468
ABR	0.136	0.126	0.109	0.000	0.000	0.004	0.296	0.314	0.381	0.386	0.412	0.412	0.413	0.454	0.517
MAY	0.229	0.264	0.250	0.026	0.026	0.054	0.397	0.417	0.495	0.500	0.529	0.530	0.530	0.637	0.726
JUN	0.320	0.381	0.432	0.191	0.191	0.211	0.866	0.918	1.086	1.094	1.256	1.261	1.270	1.571	1.700
JUL	0.351	0.339	0.341	0.086	0.086	0.106	1.432	1.524	1.788	1.800	1.862	1.865	1.868	2.093	2.233
AGO	0.310	0.298	0.295	0.270	0.270	0.308	1.491	1.592	1.876	1.890	1.988	1.990	1.992	2.322	2.482
SEP	0.288	0.281	0.268	0.024	0.024	0.054	1.344	1.437	1.704	1.717	1.761	1.762	1.764	1.902	2.055
OCT	0.200	0.189	0.178	0.012	0.012	0.020	1.757	1.892	2.238	2.253	2.301	2.303	2.304	2.434	2.582
NOV	0.191	0.190	0.184	0.034	0.034	0.045	3.267	3.530	4.150	4.169	4.253	4.255	4.258	4.449	4.617
DIC	0.205	0.202	0.197	0.054	0.054	0.078	3.712	4.016	4.705	4.724	4.803	4.805	4.807	4.983	5.122

Tabla 8.1-9. Caudales acumulados de disponibilidad hídrica superficial para proyectos de recarga artificial. Probabilidad de excedencia 50% [m³/s]

Mes	Estero Chalinga			Estero Camisas			Río Illapel								
	n601	n602	n603	n701	n702	n703	n801	n802	n803	n804	n805	n806	n807	n808	n809
ENE	0.160	0.132	0.107	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FEB	0.160	0.132	0.107	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
MAR	0.160	0.132	0.107	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ABR	0.160	0.133	0.107	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
MAY	0.165	0.140	0.116	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.026	0.027	0.029	0.108	0.218
JUN	0.172	0.151	0.130	0.000	0.000	0.000	0.385	0.399	0.530	0.542	0.566	0.568	0.570	0.715	0.852
JUL	0.186	0.172	0.156	0.000	0.000	0.004	0.894	0.914	1.046	1.057	1.174	1.201	1.226	1.559	1.703
AGO	0.175	0.156	0.135	0.000	0.000	0.004	0.727	0.768	0.958	0.971	0.974	0.974	0.974	1.000	1.171
SEP	0.169	0.149	0.128	0.000	0.000	0.000	0.419	0.436	0.549	0.561	0.610	0.611	0.614	0.760	0.898
OCT	0.163	0.138	0.114	0.000	0.000	0.000	0.255	0.270	0.391	0.403	0.436	0.437	0.438	0.535	0.727
NOV	0.165	0.140	0.116	0.000	0.000	0.000	0.778	0.825	1.042	1.072	1.103	1.104	1.105	1.244	1.448
DIC	0.161	0.134	0.109	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.043

Tabla 8.1-10. Caudales acumulados de disponibilidad hídrica superficial para proyectos de recarga artificial. Probabilidad de excedencia 85% [m³/s]

Mes	Estero Chalinga			Estero Camisas			Río Illapel								
	n601	n602	n603	n701	n702	n703	n801	n802	n803	n804	n805	n806	n807	n808	n809
ENE	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FEB	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
MAR	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ABR	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
MAY	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
JUN	0.160	0.132	0.107	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.018
JUL	0.164	0.140	0.115	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.062	0.189
AGO	0.124	0.107	0.090	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.031	0.083
SEP	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
OCT	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NOV	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
DIC	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Tabla 8.1-11. Caudales acumulados de disponibilidad hídrica superficial para proyectos de recarga artificial. Promedios [m³/s], río Choapa

Mes	n101	n102	n103	n104	n105	n106	n107	n108	n109	n110	n111	n112	n113	n114	n115	n116	n117
ENE	5.388	6.251	6.272	6.615	6.628	7.128	7.979	8.220	8.220	8.344	9.098	9.144	9.570	9.621	9.765	9.857	10.990
FEB	1.417	1.681	1.688	1.794	1.797	2.006	2.657	2.807	2.807	2.864	3.338	3.363	3.657	3.909	4.023	4.110	4.647
MAR	0.731	0.894	0.900	0.985	0.986	1.152	1.733	1.865	1.865	1.915	2.348	2.369	2.650	2.760	2.868	2.952	3.457
ABR	0.920	1.135	1.151	1.297	1.298	1.511	2.167	2.315	2.315	2.375	2.893	2.917	3.234	3.037	3.141	3.223	3.712
MAY	0.729	0.960	0.987	1.231	1.230	1.487	2.357	2.548	2.548	2.612	3.319	3.365	3.754	4.068	4.177	4.304	4.826
JUN	1.925	2.504	2.597	3.378	3.379	3.929	5.282	5.526	5.526	5.669	6.763	6.856	7.345	7.506	7.627	8.105	8.719
JUL	4.294	5.298	5.325	6.062	6.071	6.812	8.208	8.500	8.500	8.729	9.814	9.874	10.362	9.772	9.894	10.247	10.880
AGO	4.668	5.697	5.749	6.483	6.493	7.192	8.774	9.065	9.065	9.250	10.282	10.338	10.883	10.710	10.844	11.017	11.700
SEP	4.188	5.064	5.083	5.589	5.596	6.231	7.822	8.112	8.112	8.285	9.255	9.301	9.841	9.472	9.606	9.696	10.358
OCT	7.550	8.782	8.809	9.271	9.286	10.028	11.690	12.056	12.056	12.242	13.335	13.405	14.028	13.395	13.545	13.635	14.374
NOV	14.167	16.423	16.471	17.228	17.260	18.430	20.393	20.905	20.905	21.181	22.651	22.752	23.555	22.506	22.689	22.788	23.714
DIC	11.923	13.853	13.897	14.615	14.671	15.710	17.224	17.676	17.676	17.922	19.208	19.301	20.070	19.924	20.115	20.218	21.161

Tabla 8.1-12. Caudales acumulados de disponibilidad hídrica superficial para proyectos de recarga artificial. Probabilidad de excedencia 50% [m³/s], río Choapa

Mes	n101	n102	n103	n104	n105	n106	n107	n108	n109	n110	n111	n112	n113	n114	n115	n116	n117
ENE	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.069	0.069	0.069	0.755	0.792	1.242	1.481	1.601	1.715	2.666
FEB	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.004	0.004	0.606	0.635	0.985	0.765	0.858	0.970	1.509
MAR	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.430	0.450	0.809	0.854	0.931	0.988	1.389
ABR	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.159	0.331	0.331	0.352	1.051	1.088	1.350	1.357	1.443	1.500	2.045
MAY	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.446	1.684	1.684	1.739	2.541	2.583	3.047	3.330	3.457	3.573	4.160
JUN	0.603	1.096	1.113	1.345	1.338	1.715	3.163	3.426	3.426	3.505	4.374	4.421	4.929	5.656	5.789	5.909	6.538
JUL	1.098	1.884	1.904	2.176	2.172	2.910	4.747	5.034	5.034	5.135	6.065	6.117	6.651	6.998	7.135	7.257	7.911
AGO	1.575	2.004	2.025	2.466	2.464	3.083	4.502	4.786	4.786	4.975	5.804	5.855	6.385	6.144	6.255	6.370	7.008
SEP	0.590	1.127	1.145	1.340	1.336	1.750	3.139	3.379	3.379	3.452	4.319	4.366	4.873	5.519	5.652	5.772	6.397
OCT	4.303	5.181	5.197	5.469	5.472	6.323	8.131	8.469	8.469	8.617	9.678	9.740	10.331	9.793	9.939	10.064	10.769
NOV	6.855	8.141	8.163	8.455	8.463	9.522	12.539	13.201	13.201	13.201	14.713	14.830	15.774	13.290	13.448	13.514	14.272
DIC	0.000	0.069	0.076	0.204	0.194	1.018	3.624	4.076	4.076	4.125	5.250	5.328	6.023	6.598	6.790	6.850	7.565

Tabla 8.1-13. Caudales acumulados de disponibilidad hídrica superficial para proyectos de recarga artificial. Probabilidad de excedencia 85% [m³/s], río Choapa

Mes	n101	n102	n103	n104	n105	n106	n107	n108	n109	n110	n111	n112	n113	n114	n115	n116	n117
ENE	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.208	0.294	0.406	1.034
FEB	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.128	0.226	0.301	0.806
MAR	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.060	0.159	0.271	0.705
ABR	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.155	0.206	0.301	0.723
MAY	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.099	0.100	0.303	0.491	0.561	0.596	0.841
JUN	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.306	0.497	0.497	0.536	1.170	1.189	1.474	1.579	1.635	1.635	1.955
JUL	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.201	1.346	1.549	1.549	1.863	2.700	2.752	2.937	2.190	2.238	2.861	3.238
AGO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.950	1.150	1.150	1.198	1.980	2.020	2.389	2.673	2.753	2.753	3.184
SEP	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.006	0.006	0.006	0.594	0.630	1.077	1.765	1.846	1.886	2.254
OCT	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.084	0.256	0.256	0.291	1.040	1.077	1.527	1.540	1.661	1.775	2.329
NOV	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.881	1.109	1.109	1.156	1.937	1.977	2.461	2.006	2.128	2.243	2.806
DIC	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.386	0.508	0.622	0.622	1.151

Se debe tener presente que los caudales de disponibilidad estimados corresponden a caudales acumulados longitudinalmente, según la configuración de los cauces de la cuenca del río Choapa. Por lo tanto, para el cálculo final de los caudales que abastecerán cada área de proyecto que se determine, se debe rehacer el balance, restando desde aguas arriba hacia aguas abajo, los caudales captados para alimentar las zonas de infiltración propuestas.

8.1.8 Operación del Modelo

Se operó el modelo, incorporando 28 zonas de balance volumétrico. Los flujos obtenidos con el modelo permiten generar una jerarquía por sector de acuerdo al porcentaje del flujo entrante a cada sector que permanece a nivel subterráneo. Es decir, la componente del flujo que no aflora o se recupera en los cauces. Aquellas zonas con mayor flujo a nivel subterráneo, son más aptas para la recarga. Los resultados se presentan en la Tabla 8.1-14; en la tabla se ordenaron de mayor a menor aptitud para asimilar recarga (de > a < % de flujo subterráneo).

En la Figura 8.1-19 se muestra la sectorización usada para cuantificar las componentes del flujo.

Figura 8.1-19. Sectores de balance volumétrico

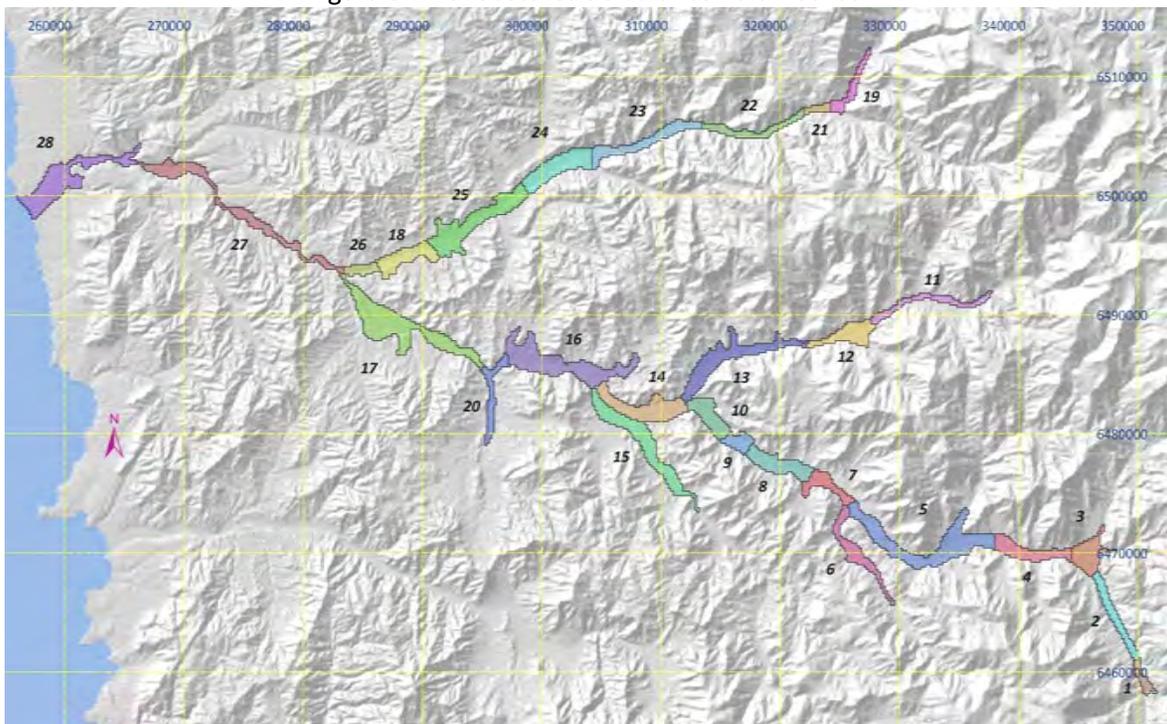


Tabla 8.1-14. Jerarquización según componente subterránea

N° de orden	% de flujo subterráneo	Sector N°	Afloramientos [l/s]	Napa-río [l/s]	Salida subterránea [l/s]	Recarga superficial [l/s]	Río-napa [l/s]	Entrada subterránea [l/s]	Entradas totales [l/s]	Salidas subterráneas [l/s]	Salidas superficiales [l/s]
1	97.9	Sector N° 12	0.8	2.9	170.3	17.2	119.8	37.0	174.0	170.3	3.6
2	68.6	Sector N° 7	0.5	55.9	123.1	12.7	151.7	15.1	179.5	123.1	56.4
3	55.8	Sector N° 10	0.0	100.5	127.1	18.4	34.6	174.5	227.6	127.1	100.5
4	51.9	Sector N° 15	2.4	205.5	224.4	53.0	80.8	298.5	432.3	224.4	207.9
5	48.1	Sector N° 13	0.9	426.4	395.6	84.9	546.2	191.8	822.9	395.6	427.3
6	40.1	Sector N° 14	0.0	503.8	337.5	49.2	202.6	589.6	841.4	337.5	503.8
7	38.3	Sector N° 3	0.2	100.1	62.3	16.0	101.8	44.7	162.6	62.3	100.3
8	32.9	Sector N° 4	0.0	122.4	60.0	17.6	102.6	62.3	182.4	60.0	122.4
9	32.8	Sector N° 9	0.0	92.9	45.4	8.6	55.8	73.9	138.3	45.4	92.9
10	32.4	Sector N° 1	3.1	0.0	1.5	4.5	0.0	0.0	4.5	1.5	3.1
11	28.0	Sector N° 8	0.0	189.8	73.9	22.4	118.3	123.1	263.8	73.9	189.8
12	24.5	Sector N° 6	0.4	58.7	19.2	15.5	61.1	1.7	78.4	19.2	59.1
13	22.4	Sector N° 19	0.0	211.1	60.9	14.2	257.8	0.0	272.0	60.9	211.1
14	21.1	Sector N° 25	1.2	211.1	56.6	47.8	205.1	16.0	268.9	56.6	212.3
15	17.4	Sector N° 11	0.1	169.4	35.7	15.6	189.6	0.0	205.2	35.7	169.5
16	17.1	Sector N° 21	0.0	76.6	15.8	5.2	26.3	60.9	92.3	15.8	76.6
17	13.0	Sector N° 22	0.0	289.1	43.0	21.0	295.3	15.8	332.1	43.0	289.1
18	12.9	Sector N° 17	8.1	527.7	79.5	70.8	532.7	11.9	615.3	79.5	535.8
19	12.0	Sector N° 18	2.1	145.3	20.1	21.5	89.4	56.6	167.5	20.1	147.4
20	11.9	Sector N° 2	2.6	327.2	44.7	12.6	360.5	1.5	374.5	44.7	329.8
21	9.4	Sector N° 20	0.5	115.0	11.9	15.7	77.0	34.6	127.4	11.9	115.5
22	9.2	Sector N° 24	0.0	149.5	15.2	24.8	137.3	2.6	164.7	15.2	149.5
23	8.8	Sector N° 16	5.1	353.4	34.7	59.1	289.3	44.9	393.2	34.7	358.5
24	6.9	Sector N° 28	1.8	538.7	40.4	68.7	512.2	0.0	580.9	40.4	540.5
25	5.6	Sector N° 27	0.6	1378.4	82.1	66.6	1305.0	89.5	1461.1	82.1	1379.0
26	2.7	Sector N° 5	0.6	311.9	8.8	48.2	201.9	71.2	321.2	8.8	312.4
27	2.7	Sector N° 29	7.1	25.8	0.9	33.5	0.4	0.0	33.8	0.9	32.9
28	0.9	Sector N° 23	1.1	290.1	2.5	27.5	222.6	43.6	293.7	2.5	291.2
29	0.0	Sector N° 26	0.6	212.0	0.0	8.1	102.3	102.2	212.7	0.0	212.7

Nota: % de flujo subterráneo = salidas subterráneas / entradas totales.

Entradas subterráneas = flujo subterráneo pasante desde otros sectores

Salidas subterráneas = flujo subterráneo pasante de salida hacia otros sectores

Salidas superficiales = afloramientos + flujo napa-río

Entradas totales= recarga + flujo río-napa + flujo subterráneo pasante desde otros sectores

8.1.9 Priorización de Zonas Acuíferas

Con los antecedentes geométricos, las propiedades físicas, el estado de saturación de los medios acuíferos y la disponibilidad hídrica superficial, se elaboró una priorización múltiple para los sectores acuíferos de la Figura 8.1-9. Las variables determinantes en la jerarquización son:

- a) % de flujo subterráneo = salidas subterráneas / entradas totales (operación modelo de flujo subterráneo 4).
- b) Profundidad promedio del nivel freático (mediciones de terreno, Tabla 8.1-3).
- c) Disponibilidad hídrica superficial, promedio 85% junio, julio y agosto (Tabla 8.1-10 y Tabla 8.1-13)

En la Tabla 8.1-15 se presentan los resultados integrados de la priorización múltiple realizada.

En el presente análisis se consideraron los caudales de disponibilidad hídrica superficial asociados a la probabilidad de excedencia 85%. Esos caudales corresponden a una condición de escasez de recursos y dicha condición es la que exige la DGA para constituir derechos. Los proyectos de recarga artificial que consideren caudales como éstos en sus diseños, cumplen con esa restricción y así se asegura que los proyectos serán factibles desde un punto de vista legal.

Tabla 8.1-15. Priorización sectores acuíferos

N°	% de flujo subterráneo	Sector	N°	Profundidad N.E.	Sector	N°	Caudal superficial disponible [m³/s] 85%	Sector
1	97.9	Sector N° 12	1	N.E. promedio = 5.13 m	Sector N° 7	1	2.209	Sector N° 28
2	68.6	Sector N° 7	2	N.E. promedio = 4.8 m	Sector N° 8	2	2.147	Sector N° 27
3	55.8	Sector N° 10	3	N.E. promedio = 3.18 m	Sector N° 15	3	1.987	Sector N° 17
4	51.9	Sector N° 15	4	N.E. promedio = 3.14 m	Sector N° 13	4	1.950	Sector N° 16
5	48.1	Sector N° 13	5	N.E. promedio = 3.08 m	Sector N° 14	4	1.950	Sector N° 20
6	40.1	Sector N° 14	6	N.E. promedio = 3.07 m	Sector N° 5	6	1.065	Sector N° 9
7	38.3	Sector N° 3	7	N.E. promedio = 2.98 m	Sector N° 16	6	1.065	Sector N° 10
8	32.9	Sector N° 4	7	N.E. promedio = 2.98 m	Sector N° 20	6	1.065	Sector N° 14
9	32.8	Sector N° 9	9	N.E. promedio = 2.91 m	Sector N° 6	9	0.867	Sector N° 8
10	32.4	Sector N° 1	10	N.E. promedio = 2.82 m	Sector N° 9	10	0.149	Sector N° 11
11	28.0	Sector N° 8	11	N.E. promedio = 2.58 m	Sector N° 10	11	0.126	Sector N° 12
12	24.5	Sector N° 6	12	N.E. promedio = 2.53 m	Sector N° 22	12	0.104	Sector N° 13
13	22.4	Sector N° 19	13	N.E. promedio = 2.01 m	Sector N° 23	13	0.097	Sector N° 18
14	21.1	Sector N° 25	14	N.E. promedio = 1.77 m	Sector N° 24	13	0.097	Sector N° 26
15	17.4	Sector N° 11	15	N.E. promedio = 1.74 m	Sector N° 25	15	0.067	Sector N° 7
16	17.1	Sector N° 21	16	N.E. promedio = 1.72 m	Sector N° 26	16	0.031	Sector N° 25
17	13.0	Sector N° 22	16	N.E. promedio = 1.72 m	Sector N° 18	17	0.005	Sector N° 6
18	12.9	Sector N° 17	18	Sin información (2.81 m)	Sector N° 27	18	0.000	Sector N° 1
19	12.0	Sector N° 18	19	Sin información (2.78 m)	Sector N° 17	18	0.000	Sector N° 2
20	11.9	Sector N° 2	19	Sin información (2.78 m)	Sector N° 1	18	0.000	Sector N° 3
21	9.4	Sector N° 20	19	Sin información (2.78 m)	Sector N° 2	18	0.000	Sector N° 4
22	9.2	Sector N° 24	19	Sin información (2.78 m)	Sector N° 11	18	0.000	Sector N° 5
23	8.8	Sector N° 16	19	Sin información (2.78 m)	Sector N° 19	18	0.000	Sector N° 15
24	6.9	Sector N° 28	19	Sin información (2.78 m)	Sector N° 12	18	0.000	Sector N° 19
25	5.6	Sector N° 27	19	Sin información (2.78 m)	Sector N° 4	18	0.000	Sector N° 21
26	2.7	Sector N° 5	19	Sin información (2.78 m)	Sector N° 3	18	0.000	Sector N° 22
27	0.9	Sector N° 23	19	Sin información (2.78 m)	Sector N° 28	18	0.000	Sector N° 23
28	0.0	Sector N° 26	28	Sin información (2.74 m)	Sector N° 21	18	0.000	Sector N° 24

Dada la limitada disponibilidad superficial de algunos sectores, en la Tabla 8.1-16 se han comparado los caudales 50% con los 85%.

Tabla 8.1-16. Caudales de disponibilidad superficial 50% y 85%

N°	Caudal superficial disponible [m ³ /s] 50%	Sector	N°	Caudal superficial disponible [m ³ /s] 85%	Sector
1	6.393	Sector N° 28	1	2.209	Sector N° 28
2	6.266	Sector N° 27	2	2.147	Sector N° 27
3	5.464	Sector N° 17	3	1.987	Sector N° 17
4	5.414	Sector N° 16	4	1.950	Sector N° 16
4	5.414	Sector N° 20	4	1.950	Sector N° 20
6	4.415	Sector N° 9	6	1.065	Sector N° 9
6	4.415	Sector N° 10	6	1.065	Sector N° 10
6	4.415	Sector N° 14	6	1.065	Sector N° 14
9	4.137	Sector N° 8	9	0.867	Sector N° 8
10	2.569	Sector N° 7	10	0.149	Sector N° 11
11	1.996	Sector N° 4	11	0.126	Sector N° 12
12	1.991	Sector N° 5	12	0.104	Sector N° 13
13	1.681	Sector N° 3	13	0.097	Sector N° 18
14	1.661	Sector N° 2	13	0.097	Sector N° 26
15	1.242	Sector N° 18	15	0.067	Sector N° 7
15	1.242	Sector N° 26	16	0.031	Sector N° 25
17	1.092	Sector N° 1	17	0.005	Sector N° 6
18	1.091	Sector N° 25	18	0.000	Sector N° 1
19	0.923	Sector N° 24	18	0.000	Sector N° 2
20	0.914	Sector N° 23	18	0.000	Sector N° 3
21	0.905	Sector N° 22	18	0.000	Sector N° 4
22	0.845	Sector N° 21	18	0.000	Sector N° 5
23	0.694	Sector N° 19	18	0.000	Sector N° 15
24	0.178	Sector N° 11	18	0.000	Sector N° 19
25	0.160	Sector N° 12	18	0.000	Sector N° 21
26	0.140	Sector N° 13	18	0.000	Sector N° 22
27	0.005	Sector N° 6	18	0.000	Sector N° 23
28	0.000	Sector N° 15	18	0.000	Sector N° 24

Se observa que en caso de implementarse algún proyecto de recarga que se ubique dentro de los primeros 9 de la lista presentada en la tabla anterior (por ejemplo CH-5 en el sector 14 o CH-4 en el sector 8), el orden de precedencia asociado a la condición 85% no presentará variación relativa al considerar la situación 50%, dado que las magnitudes de los caudales disponibles mantienen dicho orden.

Para proyecto ubicados del 10º lugar en adelante, la condición de caudales 50% puede ser muy diferente a la condición 85%, como se observa por ejemplo en el sector 13 (CH-3), donde el aumento de caudal disponible al pasar de la condición 85% a la condición 50% es muy pequeño (sólo 36 l/s) considerado con algunos de los otros sectores.

8.2 Cuenca del Río Quilimarí

8.2.1 Generalidades

En el presente capítulo se exponen metodologías para priorizar las zonas acuíferas de la cuenca del río Quilimarí. Para ello se ha desarrollado un modelo hidrogeológico de flujo, que permite representar el flujo subterráneo del sistema acuífero.

El principal objetivo es determinar cómo varía el estado del sistema, incorporando entradas de flujo, correspondientes a infiltraciones inducidas artificialmente.

Se ha estudiado la capacidad de la napa para recibir y conducir la recarga artificial. Además, se ha analizado la red de drenaje superficial y se ha cuantificado la disponibilidad hídrica superficial que permitiría abastecer a los proyectos de recarga artificial.

8.2.2 Representación de la Geometría Acuífera

En este subcapítulo se ha procesado la información hidrogeológica asociada a la descripción geográfica y geométrica de los acuíferos existentes en la cuenca del río Quilimarí. Para definir el fondo del basamento rocoso, se usaron datos obtenidos de prospecciones geofísicas.

Entre el 11 de julio y el 8 de agosto de 2012, Geodatos realizó un estudio geofísico mediante la técnica de Transiente Electromagnético (TEM), con la modalidad NanoTEM. El trabajo incluyó 40 estaciones NanoTEM. Además se cuenta con 48 TEMs, en la zona del embalse Culimo, obtenidos del estudio de la referencia²².

De la asociación resistividades-medios, se obtuvo interpretaciones hidrogeológicas que permitieron obtener espesores de relleno en cada punto prospectado.

En la Figura 8.2-1 se muestran las ubicaciones de las estaciones mencionadas. En las Figuras 8.2-2 y 8.2-3 se han incluido los espesores de relleno medidos con las prospecciones geofísicas.

²² ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO Y GEOFÍSICO EN CUBETA DEL EMBALSE CULIMO, DICIEMBRE 2011.

Figura 8.2-1. Ubicación de estaciones TEM y NanoTEM

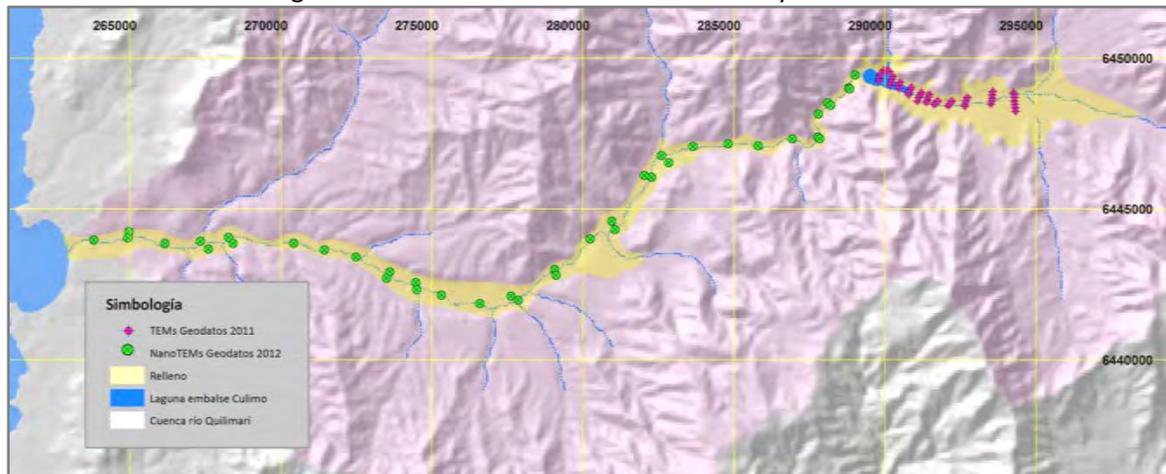


Figura 8.2-2. Profundidad del basamento rocoso (NanoTEMs de 2012, parte 1 de 2) [m]

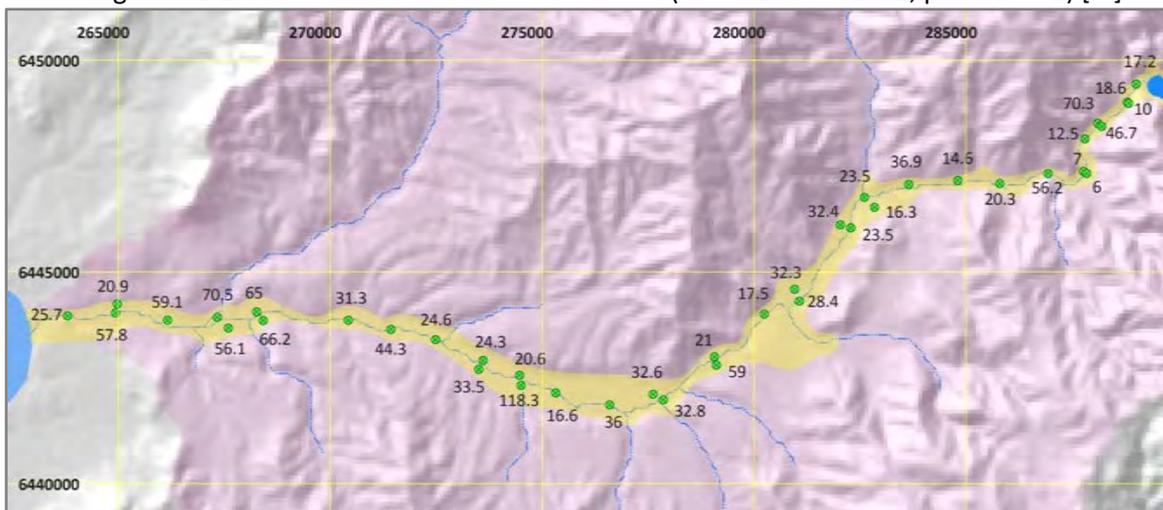
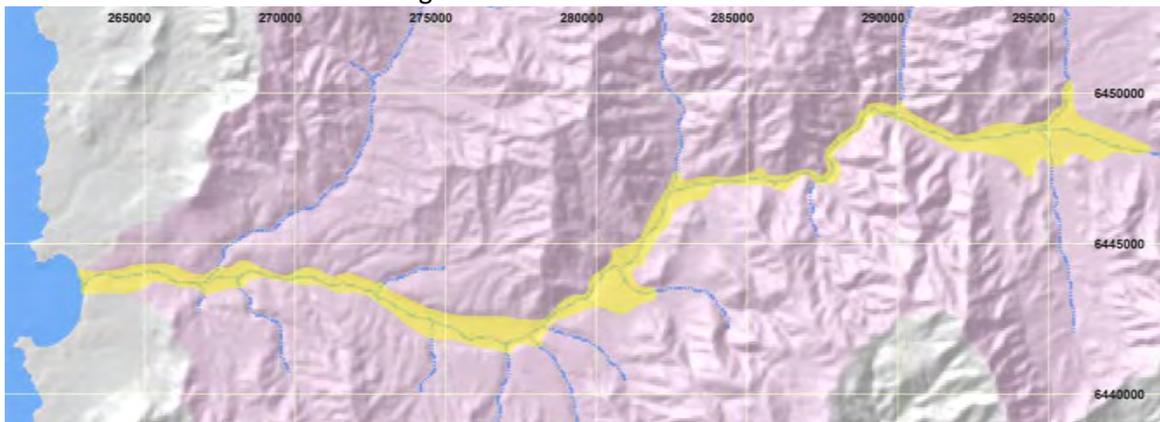


Figura 8.2-3. Profundidad del basamento rocoso (TEMs de 2011, parte 2 de 2) [m]



Con los antecedentes mencionados, se elaboró una representación volumétrica del relleno acuífero, la que fue incorporada al modelo de flujo subterráneo. El contacto roca-relleno fue trazado usando la información topográfica (ráster SRTM²³), la geofísica y el catastro de captaciones subterráneas realizado en el área. En la Figura 8.1-6 se muestra la extensión del relleno en planta, incorporada al modelo de flujo subterráneo.

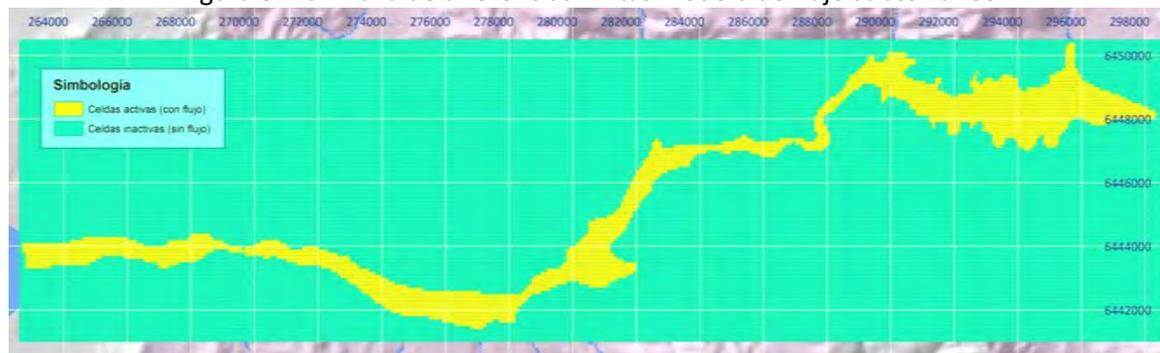
Figura 8.2-4. Contacto roca-relleno



En la Figura 8.1-7 se muestra la malla de diferencias finitas del modelo; ésta está conformada por celdas de 100·100 m e incluye un estrato único, 95 filas y 360 columnas.

El nivel de terreno se definió en función de las elevaciones del ráster SRTM, antes mencionado.

Figura 8.2-5. Malla de diferencias finitas modelo de flujo subterráneo



Nota: Celdas de 100·100 m. 1 estrato, 95 filas y 360 columnas.

²³ Ráster es una matriz regular de celdas y SRTM es el acrónimo de Shuttle Radar Topography Mission.

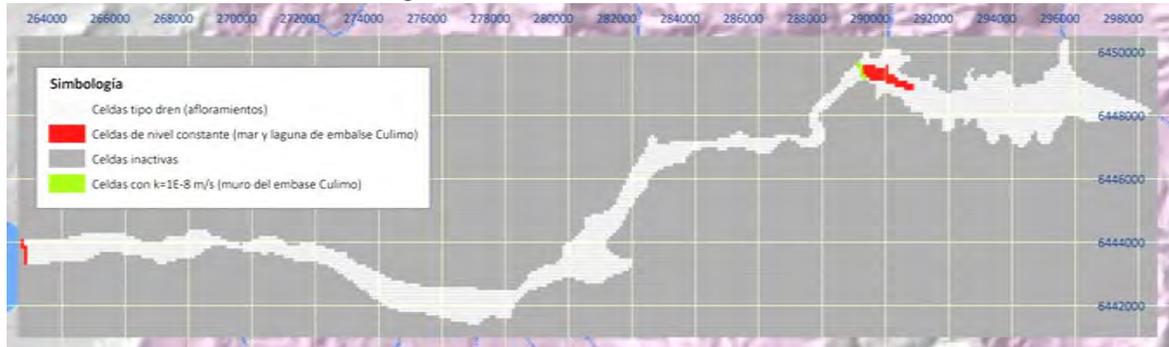
8.2.3 Representación de Componentes Hídricas del Sistema Subterráneo

Las componentes hídricas del sistema fueron representadas en el modelo a través de condiciones de borde o de elementos distribuidos longitudinal o superficialmente.

8.2.3.1 Descarga al Mar

El mar se modeló con celdas de nivel constante; en ellas se fijó la elevación 0 m.s.n.m. (ver Figura 8.2-6).

Figura 8.2-6. Condiciones de borde



8.2.3.2 Afloramientos

Los afloramientos se simularon incorporando celdas del tipo Drain (dren); éstas permiten modelar una salida superficial, si el nivel piezométrico simulado alcanza el nivel de terreno. Se asignó la opción Drain a todas las celdas activas del modelo, excepto a aquellas previamente asociadas a niveles constantes (ver Figura 8.2-6).

8.2.3.3 Embalse Culimo

La laguna del embalse Culimo se modeló con celdas de nivel constante; en ellas se fijó la elevación 381 m.s.n.m. (ver Figura 8.2-6), dato obtenido del estudio de la referencia²⁴. El muro se representó con celdas de baja permeabilidad (10^{-8} m/s).

²⁴ ESTUDIO HIDROGEOLOGÍCO Y GEOFÍSICO EN CUBETA DEL EMBALSE CULIMO, DICIEMBRE 2011.

8.2.3.4 Recargas Superficiales

Se incorporaron recargas distribuidas, que representan la infiltración de precipitaciones, en todas las celdas activas, excepto las asociadas al muro del embalse Culimo. Se adoptó un valor de 60 mm/año, que resultó consistente con la operación del modelo en régimen permanente y que permitió un buen ajuste entre niveles medidos y simulados.

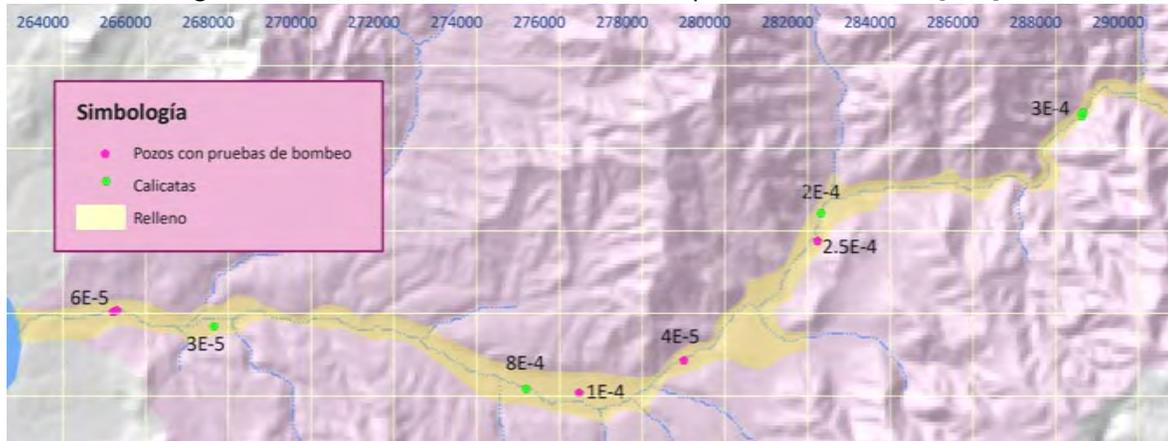
8.2.4 Propiedades Físicas del Medio Subterráneo

Se cuenta con valores puntuales de permeabilidad. Se excavaron 5 calicatas, en las que se efectuaron pruebas de infiltración; los resultados permiten conocer la permeabilidad superficial del relleno. Además, se dispone de los resultados de pruebas de bombeo realizadas en pozos profundos. En la Figura 8.2-7 se resumen los valores de permeabilidad obtenidos.

Para definir las permeabilidades asociadas a las celdas del modelo se realizó un proceso de calibración de niveles que se detalla en el siguiente punto. Las permeabilidades de partida utilizadas, son las de la Figura 8.2-7 extrapoladas a todo el dominio activo. En la Figura 8.2-8 se muestra la distribución adoptada.

El coeficiente de almacenamiento fue adoptado y se fijó en 5 %. El modelo se ajustó y operó en régimen permanente, por consiguiente, el valor del coeficiente de almacenamiento no incidió en el resultado de dicho proceso.

Figura 8.2-7. Permeabilidades obtenidas de pruebas de bombeo [m/s]



presenta en la Figura 8.2-10. Los valores obtenidos son un poco menores a los iniciales. El ajuste entre niveles medidos y simulados se puede apreciar en la Figura 8.2-11.

Figura 8.2-10. Distribución de permeabilidades final [m/s]

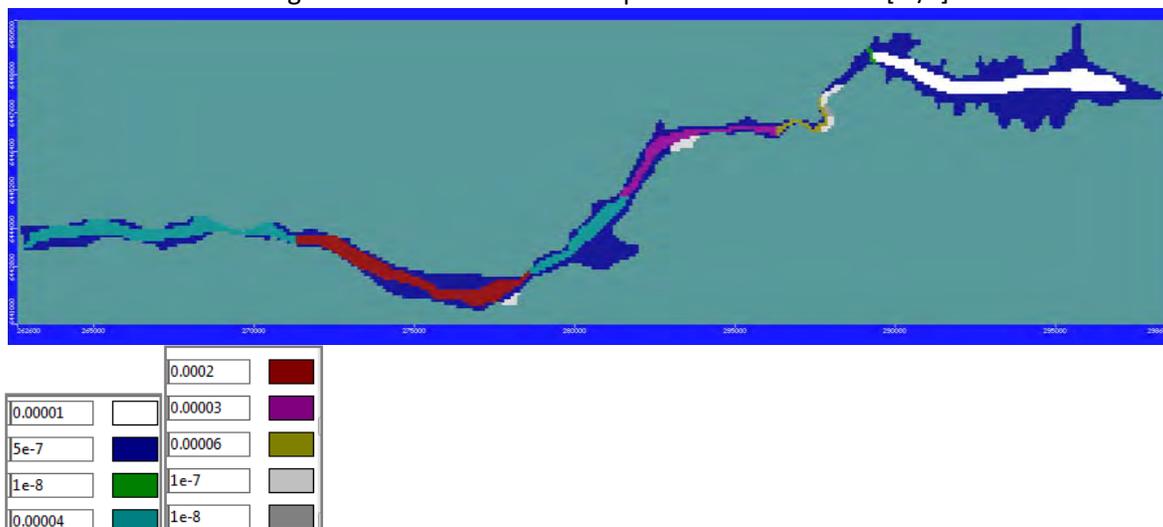
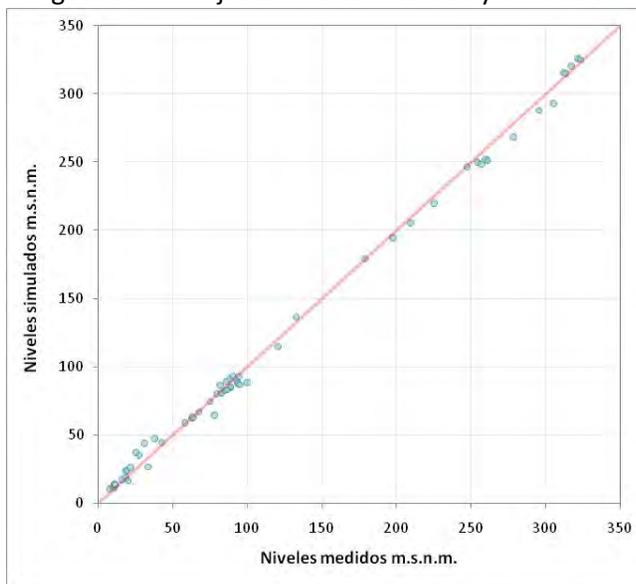


Figura 8.2-11. Ajuste niveles medidos y simulados



Coeficiente de correlación ("Correlation Coefficient" en Visual Modflow 4.2)	$1/n \cdot \sum \text{abs}(NE^{\text{sim}} - NE^{\text{med}})$ ("Abs. Residual Mean" en Visual Modflow 4.2)	$1/n \cdot \sum (NE^{\text{sim}} - NE^{\text{med}})$ ("Residual Mean" en Visual Modflow 4.2)	$(1/n \sum (NE^{\text{sim}} - NE^{\text{med}})^2)^{0.5}$ ("Root Mean Squared" en Visual Modflow 4.2)
0.9987	4.263	-1.074	5.571

Error cuadrático medio normalizado ("Normalized RMS" en Visual Modflow 4.3) $[(1/n \sum (NE^{\text{sim}} - NE^{\text{med}})^2)^{0.5}] / [\max(NE^{\text{med}}) - \min(NE^{\text{med}})] \cdot 100$	1.76%
---	-------

8.2.6 Profundidad Actual del Nivel Freático

En la Figura 8.2-12 se han incluido las profundidades promedio, a las que se encuentra actualmente el nivel freático por tramo acuífero. Dichas profundidades se calcularon en función de los datos recopilados en el catastro.



8.2.7 Disponibilidad Hídrica Superficial

Los recursos hídricos superficiales con los que se cuenta actualmente para abastecer los proyectos de recarga en la cuenca del río Quilimarí, son muy limitados. Éstos dependen de los vertidos del embalse Culimo y de la escorrentía superficial ocasional que se genera por lluvias en la cuenca de aporte superficial aguas abajo del embalse. Según los resultados de un modelo de operación del embalse Culimo, desarrollado en el estudio de la referencia²⁵, entre 1978 y 2010, los caudales de vertidos son los que se presentan en Tabla 8.2-1.

Tabla 8.2-1. Disponibilidad hídrica superficial cuenca río Quilimarí [l/s]

Caudal [l/s]	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Promedio	0	0	27	21	177	324	404	404	146	16	0	0
50 %	0	0	0	0	102	102	134	137	0	0	0	0
85 %	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0

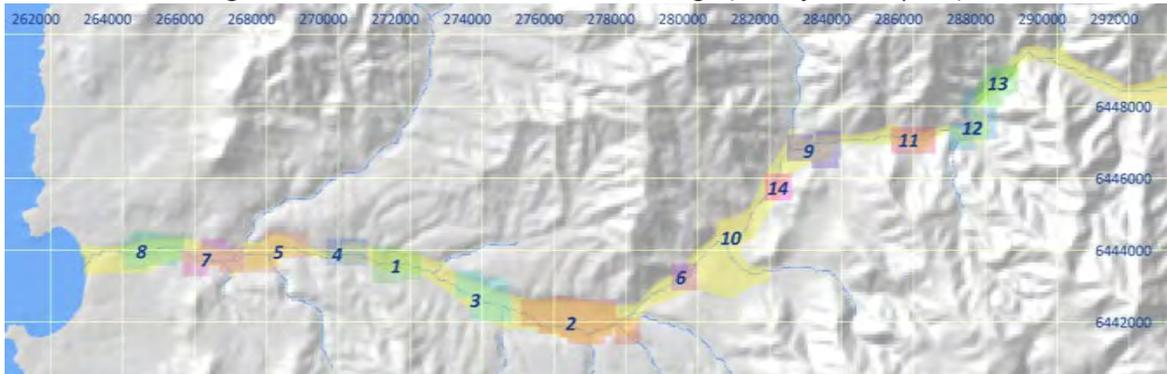
8.2.8 Priorización de Zonas Acuíferas

Con los antecedentes geométricos, las propiedades físicas (permeabilidades), el estado de saturación de los medios acuíferos (profundidad de niveles freáticos), se priorizaron los sectores. En la Figura 8.2-13 se presenta el resultado obtenido. La disponibilidad hídrica superficial no se consideró en la priorización, puesto que en la cuenca del río Quilimarí ésta es absolutamente insuficiente para efectos de abastecer proyectos de recarga, de hecho para

²⁵ ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO Y GEOFÍSICO EN CUBETA DEL EMBALSE CULIMO, DICIEMBRE 2011.

una condición hidrológica de 85% de probabilidad de excedencia (5 de cada 6 años aproximadamente) solo habría disponible un caudal de 11 l/s en un mes del período invernal, mientras que para 50% de probabilidad de excedencia (1 cada 2 años en promedio) habría cuatro meses con disponibilidad del orden de los 100 l/s, lo que podría parecer interesante. Sin embargo, esas cifras son resultado de un análisis de frecuencia y están asociadas al vertido del embalse, el que se produce con poca frecuencia y algunas veces con caudales considerables, que distribuidos en el tiempo generan los valores señalados, pero que en la práctica serían más escasos de lo que representa dicha condición estadística. Además, lo reducido de los caudales sumado a la geomorfología de la cuenca, que está constituida por pequeños acuíferos independientes producto de los numerosos angostamientos y afloramientos rocosos que se observan a lo largo del valle, hacen que proyectos de recarga en este sector no resulten rentables ni competitivos frente a proyectos similares en sectores más favorables.

Figura 8.2-13. Priorización zonas de recarga (1: mejor - 14: peor)



9 IDENTIFICACIÓN DE SECTORES CON POTENCIALIDAD PARA RECARGA ARTIFICIAL

Al inicio del estudio se realizó una identificación preliminar de sectores favorables, desde el punto de vista geomorfológico, para implementar proyectos de recarga. Como resultado de ello, se definió un total de 6 sectores en la cuenca del río Choapa y 7 sectores en la cuenca de río Quilimarí, con condiciones favorables para implementar en ellos obras de recarga.

Esta identificación preliminar fue complementada con un recorrido de terreno para validar o descartar los sectores preseleccionados, resultando descartados dos sectores, uno en cada cuenca.

Las condiciones favorables desde el punto de vista geomorfológico se han cruzado con los resultados de la modelación hidrogeológica desarrollada en esta etapa, de forma de conocer en cuáles de dichos se tiene mejores condiciones hidrogeológicas (permeabilidad y volumen acuífero disponible para ser saturado), en cuáles sectores se tendría disponibilidad de aguas superficiales en invierno y cuáles de ellos presentan mejor respuesta al proceso de recarga, es decir, tienen capacidad de recibir esas aguas y mantenerlas en el acuífero para su posterior aprovechamiento. Se señala explícitamente esta condición pues hay sectores que por sus características, y de acuerdo a los resultados de la modelación, no serían capaces de mantener el agua de recarga en el acuífero y generarían zonas de afloramiento aguas abajo de las zonas de recarga, lo que desvirtúa el objetivo del proceso.

En el caso de los sectores que se ubican en la cuenca del río Choapa, la priorización presentada en el capítulo de modelación consideró tres variables en forma independiente; porcentaje de flujo infiltrado que se mantiene subterráneo, profundidad de la napa y disponibilidad de aguas superficiales. Para efectos del ranking final presentado en este capítulo se determinó considerar con igual ponderación solo las dos primeras variables señaladas, ya que la disponibilidad de aguas superficiales es una variable, a diferencia de las anteriores, sobre la cual se tiene algún grado de control, esto se refiere a que aun cuando no se tengan recursos superficiales sobrantes, se podría buscar recursos asociados a otros usos o subutilizados, como por ejemplo aguas servidas tratadas o compra de derechos.

En el caso de los sectores que se ubican en la cuenca del río Quilimarí, la priorización presentada en el capítulo de modelación consideró sólo las variables permeabilidad y profundidad de la napa, dado que la disponibilidad de aguas superficiales determinada es prácticamente inexistente. Además, a diferencia de lo observado en la cuenca del río Choapa, en esta cuenca casi la totalidad de las aguas se utilizan en riego, por lo que en la práctica no hay posibilidad de conseguir recursos asociados a otros usos para aumentar la oferta de agua para riego.

Las condiciones observadas en la cuenca del río Quilimarí son muy desfavorables para implementar proyectos de recarga artificial, principalmente por las características de la cuenca, que está constituida por una serie de acuíferos aislados, producto de los angostamientos y afloramientos rocosos que se producen a lo largo del valle, lo que en la

práctica generaría zonas de afloramientos aguas abajo de las zonas de recarga, perdiéndose el objetivo de infiltrar para almacenar las aguas en las napas desde el invierno hasta la época de riego. Además, la falta de recursos superficiales disponibles para recarga no permitiría implementar proyectos que resulten rentables, pues se requeriría inversiones importantes para generar beneficios muy locales y ciertamente dichos proyectos no serían competitivos con proyectos similares en áreas con mejores condiciones geomorfológicas, hidrogeológicas y de disponibilidad e aguas superficiales.

A continuación, en las Tablas 9-1 y 9-2 se presentan los sectores identificados preliminarmente, ordenados de acuerdo a la priorización descrita en los párrafos precedentes para el caso del Choapa y de acuerdo al resultado de la modelación, en el caso de Quilimarí. Las listas priorizadas de los sectores son una referencia para conocer cuáles son los sectores favorables para recarga artificial en las cuencas de Choapa y Quilimarí, pero que debe complementarse con el tema de la disponibilidad de agua para recarga, la que ha sido igualmente evaluada y que según se ha indicado permitiría abastecer algunos proyectos en el caso de Choapa pero es prácticamente inexistente en el caso de Quilimarí.

Tabla 9-1
Sectores con Potencialidad para Recarga Artificial – Cuenca Choapa

Sector Cazalac	Sector Proyecto	Prioridad
7	-	1
12	-	2
8	CH-4	3
15	CH-5	4
13	CH-3	5
10	-	6
14	-	7
3	-	8
9	-	9
4	-	10
1	-	11
6	-	12
19	-	13
11	-	14
21	-	15
20	-	16
17	-	17
16	CH-6	18
2	-	19
5	-	20
22	-	21
28	-	22
27	-	23
25	CH-2	24
18	-	25
24	CH-1	26
23	-	27
26	-	28

Se observa que en función de las características hidrogeológicas, los sectores acuíferos mejor evaluados son los N° 7, 12, 8, 15 y 13.

Sin embargo, sólo en tres de ellos se identifico áreas favorables para la recarga. Esto porque no en todos los tramos es posible identificar áreas con cauce relativamente plano, ancho del lecho suficiente o terrenos ribereños sin uso agrícola donde se emplazarían las obras de recarga. Así por ejemplo, en los casos de los sectores acuíferos N°7 y N°12 se tiene lo siguiente.

Sector acuífero 7: Este sector se forma en la confluencia del estero Quelén con el río Choapa. Además, recibe aportes de dos quebradas menores, sobre la ribera derecha. El sector acuífero tiene una longitud de aproximadamente 2.9 km. El cauce en la parte media y baja del tramo no es muy ancho, y está confinado por la ruta en la ribera izquierda y por sectores cultivados en la ribera derecha. Hay un sector que podría ser favorable al inicio del tramo, pero corresponde a la zona de confluencia, donde por las reducciones de las velocidades superficiales, tiende a acumularse fino, por lo que la permeabilidad de dicha área específica debe ser menor a la media del tramo.

Sector acuífero 12: Este sector corresponde a la zona media del estero Chalinga. Las zonas alta y media del estero Chalinga presentan un cauce de pequeñas dimensiones, en un valle estrecho. El cauce en general se ubica pegado a la ladera de los cerros que se ubican en la ribera derecha. En la ribera izquierda existen terrenos relativamente planos que se encuentran cultivados. No se observa disponibilidad de terrenos para ubicar sectores de proyecto. Además, por la pequeña cuenca aportante, los recursos superficiales disponibles son muy limitados.

Respecto a los sectores mejor raneados se puede señalar:

El sector CH-4 mantendría un 28% de flujo subterráneo respecto a los caudales infiltrados, lo que lo ubica en el undécimo lugar respecto al total de 28 sectores acuíferos. Presenta un nivel estático promedio cercano a los 4.8 m, lo que lo hace uno de los más profundos, solo superado por el sector 12. El caudal 85% de disponibilidad superficial sería del orden de los 850 l/s para el período Jun-Ago (9º de 28).

El sector CH-3 mantendría un 48% de flujo subterráneo respecto a los caudales infiltrados, lo que lo ubica en el quinto lugar respecto al total de 28 sectores acuíferos. Presenta un nivel estático promedio cercano a los 3.1 m, lo que lo ubica cuarto del total de sectores. El caudal 85% de disponibilidad superficial sería del orden de 100 l/s para el período Jun-Ago (12º de 28).

El sector CH-5 mantendría un 40% de flujo subterráneo respecto a los caudales infiltrados, lo que lo ubica en el sexto lugar respecto al total de 28 sectores acuíferos. Presenta un nivel estático promedio cercano a los 3.1 m, lo que lo ubica quinto del total de sectores. El caudal

85% de disponibilidad superficial sería del orden de 1000 l/s para el período Jun-Ago (6º de 28).

Es importante señalar que los caudales disponibles no son independientes, es decir, si se destinan caudales para abastecer un determinado proyecto, se debe operar el modelo para determinar la nueva disponibilidad en el resto de los sectores.

Tabla 9-2
Sectores con Potencialidad para Recarga Artificial – Cuenca Quilimarí

Sector Modelo	Sector Proyecto	Prioridad
10	-	1
8	Q-5	2
9	Q-6	3
11	-	4
12	Q-7 *	5
7	Q-4	6
13	-	7
14	-	8
4	-	9
6	-	10
3	-	11
2	Q-2	12
1	Q-1	13
5	Q-3	14

(*): El sector Q-7 se había descartado pues presenta una permeabilidad menor al resto de los sectores de la cuenca. Sin embargo, la profundidad de la napa, algo mayor al resto de los sectores, lo hace competitivo pues constituye un sector acuífero con disponibilidad para recibir y almacenar la recarga. En atención a ello, se ha mantenido en la evaluación.

En resumen, de acuerdo a lo presentado en las Tablas anteriores, se tiene que en el caso de la cuenca del río Choapa, los sectores con mayor potencialidad para recarga artificial, tanto geomorfológica como hidrológica, en orden de precedencia, son los siguientes:

CH-4, Río Choapa (Panguecillo),
CH-3, Río Chalinga y
CH-5, Estero Camisas.

En el caso del río Quilimarí, la evaluación de la disponibilidad hidrológica y del comportamiento de los acuíferos frente a la recarga ha permitido priorizar los sectores identificados previamente, determinándose el siguiente orden de precedencia para ellos:

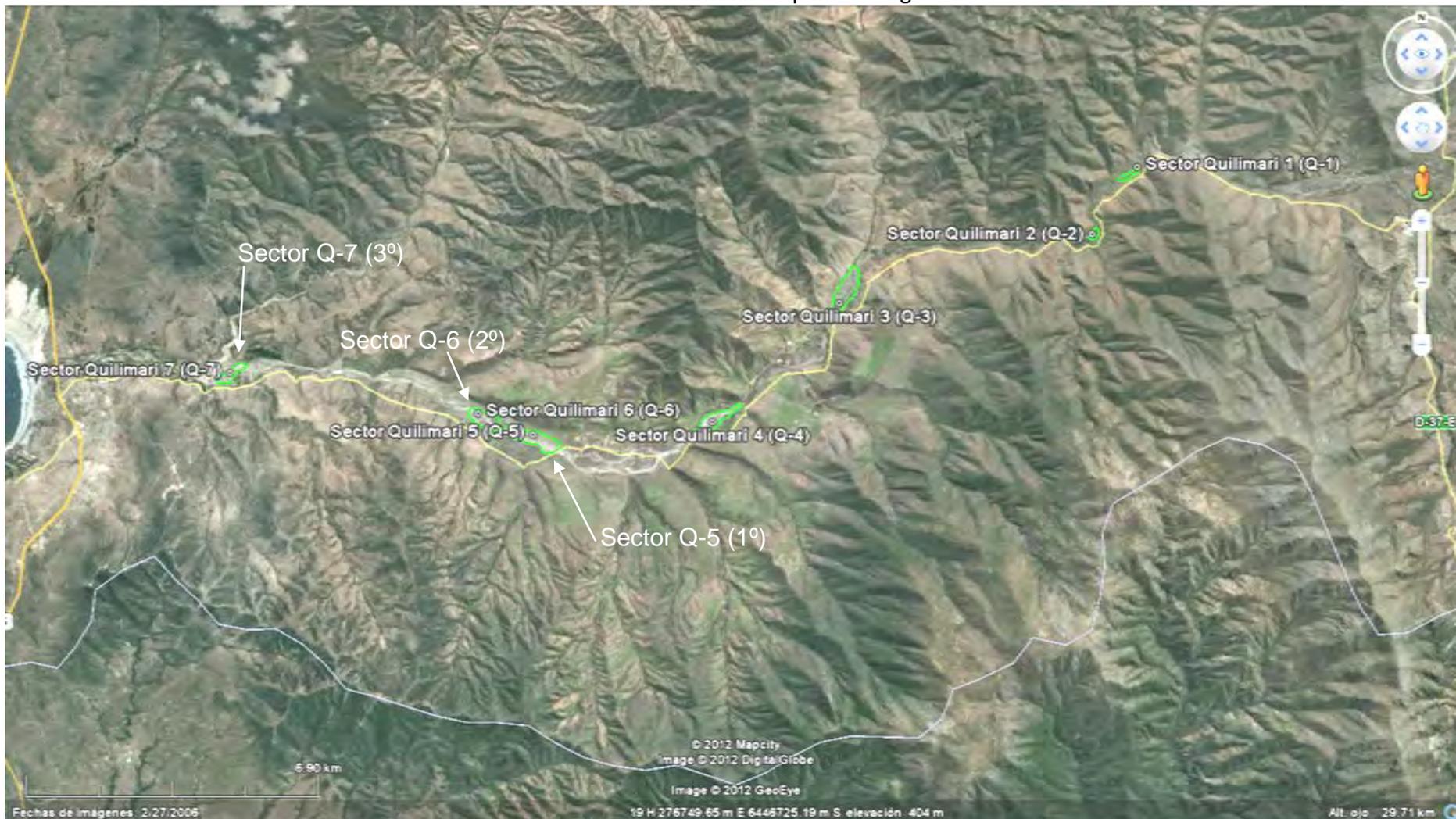
Q-5, Guangualí,
Q-6, Aguas abajo de Guangualí y
Q-7, Quilimarí.

Luego, los sectores con mayor potencialidad para recarga artificial son los que se muestra en las Figuras 9-1 y 9-2, para las cuencas de los ríos Choapa y Quilimarí, respectivamente.

Figura 9-1
Sectorización del Sistema Acuífero del Río Choapa (AC-1 a AC-28) y Sectores con Potencialidad para Recarga



Figura 9-2
Sectorización del Sistema Acuífero del Río Quilimarí Aguas Abajo Embalse Culimo
Sectores con Potencialidad para Recarga



10 ELABORACIÓN DE MAPAS CON ZONAS DE INTERÉS

Se han elaborado Mapas de Zonas de Interés, donde se presenta una vista en planta y perfiles logitudinal y transversales (generados a partir de la cartografía dispoble) de los sectores que fueron identificados en la etapa previa, los que se complementan con información de la caracterización hidrogeológica y de la modelación, ya que se ha incluido en cada lámina tablas con información de superficie total de cada sector, superficie de la zona seleccionada para proyectos de recarga, caudales superficiales disponibles para diferentes condiciones hidrológicas (50% y 85% de probabilidad de excedencia), pozos de reconocimiento excavados en el sector, tipo de material encontrado, información de captaciones cercanas (profundidad, nivel estático) y valores de permeabilidad a partir de pruebas de infiltración en pozos de reconocimiento y/o de pruebas de bombeo en captaciones existentes.

En total se presentan 10 láminas, donde se incluye información relevante respecto a 11 sectores que han sido considerados de interés para recarga artificial, 5 en la cuenca del río Choapa y 6 en la cuenca del río Quilimarí.

11 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA RECARGA ARTIFICIAL

La recarga artificial es una herramienta de la gestión hídrica planificada en la que aguas superficiales ocasionales, sobrantes o especialmente destinadas se almacenan en los acuíferos para incrementar los recursos hídricos y para mantener o constituir una reserva disponible para situaciones de escasez estacional o para sequías (Custodio, 2000).

Los procedimientos utilizados para poder llevar a la práctica esta técnica son diversos, aunque resulta muy clásico el establecimiento de dos grandes grupos de métodos, en función de que la recarga se efectúe bien por infiltración a través de la superficie del terreno, o bien por introducción directa del agua hasta el acuífero mediante una perforación que lo atraviesa.

Los métodos de recarga en superficie consisten en extender el agua buscando una gran superficie de contacto agua-terreno. Se emplean fundamentalmente en acuíferos libres, que no presentan niveles de baja permeabilidad en las proximidades de la superficie del terreno, lo que permite la llegada del agua al acuífero.

Por otra parte, los métodos de recarga en profundidad consisten en la introducción de agua en el acuífero, generalmente mediante pozos, sondeos, etc. Se emplean de una forma generalizada en terrenos formados por una alternancia de niveles permeables e impermeables.

La comparación entre los diferentes métodos de recarga artificial tiene sentido sólo como información de referencia, ya que cada caso particular presenta características y condiciones del entorno diferentes.

En el acápite siguiente se presenta un resumen de los diferentes procedimientos u obras utilizados en cada uno de los grupos señalados.

11.1 Resumen de los Métodos Utilizados Habitualmente

A continuación se presentan, en las Tablas 11.1-1 y 11.1-2, los principales dispositivos u obras de recarga artificial asociados, a la recarga superficial y en profundidad, respectivamente.

Tabla 11.1-1
Método y Dispositivos de Recarga Artificial, caso Recarga Superficial

Método	Ubicación Obras	Dispositivo u Obra	Descripción
SUPERFICIALES	EN CAUCES	SERPENTEOS Y REPRESAS	Se fundamenta en aumentar el tiempo y la superficie de contacto entre el agua y el terreno, mediante la construcción de diques o de muros de tierra en forma de L.
		ESCARIFICACIÓN	Consiste en escarificar el lecho del río eliminando finos y mejorando la capacidad de infiltración.
		VASOS PERMEABLES	Son embalses de superficie cuya pared de cierre no es totalmente impermeable.
	FUERA DE CAUCES	BALSAS O PISCINAS	Son dispositivos alargados, poco profundos, y de gran superficie. La infiltración se produce predominantemente por el fondo.
		FOSAS	Son semejantes a las balsas, pero la superficie lateral es importante. Domina la infiltración por los flancos.
		CANALES	Son dispositivos poco profundos que siguen la topografía del terreno. La infiltración se produce tanto por el fondo como por los flancos
		CAMPOS DE EXTENSIÓN	Se basan en extender agua por la superficie del terreno, normalmente mediante riego con grandes dotaciones.

Tabla 11.1-2
Método y Dispositivos de Recarga Artificial, caso Recarga en Profundidad

Método	Dispositivo u Obra	Descripción
EN PROFUNDIDAD	POZOS DE INYECCIÓN	Mediante la construcción de sondajes profundos se inyecta el agua en el acuífero.
	SIMAS Y DOLINAS	Consiste en aprovechar las simas y dolinas de los terrenos calcáreos para introducir agua en el acuífero.
	DRENES Y GALERÍAS	Consiste en realizar en el fondo de un pozo, por el que se introduce el agua, drenes y galerías.
	ZANJAS Y POZOS	Este dispositivo consiste en una gran zanja de infiltración, de escasa profundidad, rellena de grava calibrada, dentro de la cual se ubican pozos de recarga.

11.2 Ventajas y Desventajas

A continuación se presentan los principales factores que generan ventajas y desventajas para cada uno de los métodos y obras habitualmente utilizadas para la recarga artificial de acuíferos.

Tabla 11.2-1
Factores, Ventajas y Desventajas de los Distintos Métodos y Obras de Recarga Artificial

FACTOR	MÉTODOS	
	SUPERFICIALES	EN PROFUNDIDAD
Precio y disponibilidad del terreno	Puede ser muy difícil o imposible establecerlos en zonas pobladas o muy cultivadas, al no disponer de espacio o por ser los terrenos muy caros. Precisa en general terrenos baratos, así como de grandes superficies si se quieren infiltrar importantes volúmenes de agua.	Precisan poco espacio, por lo que el costo del terreno es menos relevante.
Factores estéticos y ambientales	Pueden presentar problemas de proliferación de insectos y roedores. Requieren cercados y vallas para proteger a personas y animales.	Por las limitadas dimensiones de los sitios utilizados para las instalaciones, su influencia estética o ambiental es mínima.
Permeabilidad del acuífero	En general, requieren terrenos con permeabilidades medias y altas, ya que permeabilidades bajas exigen grandes extensiones de terreno para poder recargar volúmenes apreciables de agua.	Estos métodos se emplean de una forma generalizada en terrenos formados por una alternancia de niveles permeables e impermeables, o cuando existen niveles poco permeables entre la superficie del suelo y el acuífero.
Construcción de instalaciones	Pueden requerir obras u acondicionamientos previos del terreno para nivelarlo, retirar coberturas poco permeables o arcillosas, retirar vegetación, obtener diques resistentes, construir estructuras para la conducción del agua, etc. La construcción de algunas instalaciones, como por ejemplo aquellas que llevan aparejadas un embalse de vaso permeable, puede resultar muy compleja.	En general no son complicadas.
Caudal recargable	Puede llegar a ser muy grande	Notablemente inferior si se compara con el medio de las instalaciones superficiales

Tabla 11.2-1 (Continuación)
Factores, Ventajas y Desventajas de los Distintos Métodos y Obras de Recarga Artificial

FACTOR	MÉTODOS	
	SUPERFICIALES	EN PROFUNDIDAD
Pérdidas por evaporación	En determinados casos pueden ser importantes. Dependen del tamaño de las instalaciones. Los valores de evaporación no superan en general, los 0.005 m/día.	Nulas.
Requisitos de calidad	Pequeños ya que se puede aprovechar el poder autodepurador de la zona no saturada.	Grandes, ya que el agua se introduce directamente en el acuífero. A veces implica un costo de pretratamiento importante.
Colmatación	Los problemas derivados de la colmatación pueden ser importantes. El agua introducida debe presentar un bajo contenido de sólidos en suspensión.	Presentan una gran susceptibilidad a la colmatación.
Grado de depuración del agua en el terreno (antes de llegar a la napa)	Grande. El paso del agua por el medio no saturado genera una gran eliminación de eventuales contaminantes.	Pequeño o nulo.

11.3 Estado del Arte y Experiencias Internacionales

11.3.1 Estado del Arte

Los pozos y sondajes para **recarga en profundidad** son los sistemas de recarga artificial más utilizados cuando el acuífero se encuentra a una cierta profundidad. Su uso también es frecuente en los casos en los que la disponibilidad de terrenos es restringida o su precio muy caro.

Los métodos de **recarga en superficie** presentan menos complicaciones técnicas que los dispositivos de recarga artificial en profundidad. Como regla general se podrá indicar que a igualdad de eficiencia siempre es preferible la técnica constructiva más sencilla.

La **recarga inducida** se puede considerar como un tercer método de recarga artificial o como un caso particular de recarga a través de métodos superficiales. Consiste en provocar la infiltración natural, que tiene lugar desde ríos, lagos o embalses, mediante pozos de bombeo situados relativamente cerca de dichas masas de agua.

Nuevos avances han surgido recientemente en los dispositivos empleados en las operaciones de recarga artificial de acuíferos. Entre los que podría denominarse **nuevos métodos** que se están ensayando o perfeccionando se puede citar los pozos secos, las trincheras y los acuíferos artificiales que se emplean para recarga de acuíferos libres.

Los pozos secos o pozos en zona no saturada o pozos colgados son perforaciones o excavaciones de 10 a 50 metros de profundidad y de 1 ó 2 metros de diámetro.

Las trincheras de recarga son excavaciones alargadas de 1 m de ancho y cerca de 10 m de profundidad.

El mayor problema que presentan los pozos secos y las trincheras es la colmatación debida al material sólido que se deposita en el entorno del pozo o de la trinchera. En estos sistemas el efecto de la colmatación se agrava al encontrarse el pozo en seco, ya que la instalación no puede bombearse, desarrollarse o rehabilitarse. No obstante la colmatación se puede minimizar mediante la aplicación de un pretratamiento al agua de recarga, por relleno del interior del pozo o trinchera con arena o grava fina. Por colocación de láminas de plástico o tela sobre los horizontes arcillosos al objeto de prevenir desprendimientos o arrastres y por utilización de filtros de tela (geotextiles). Aunque se tomen estas precauciones los pozos secos y las trincheras tienen una vida útil limitada.

Los pozos colgados son dispositivos de recarga artificial en fase experimental cuyo interior se rellena en ocasiones con grava para reducir el efecto de la colmatación.

Los acuíferos artificiales o acuíferos sintéticos (constructed aquifers) son básicamente filtros de arena para recargar o tratar aguas servidas o residuales u otros tipos de agua de calidad deteriorada. Estos sistemas de recarga o tratamiento se construyen por excavación de un foso de unos 2 metros de profundidad que se reviste lateralmente con material plástico. En su fondo se coloca una capa de gravas y tuberías de drenaje. El foso se rellena con arena u otro material permeable. La recarga o el tratamiento se realiza mediante inundaciones con el efluente de aguas servidas por cortos períodos de tiempo (unos pocos días). Posteriormente la instalación se seca durante un tiempo suficiente para que la capa colmatada se agriete y se ondule y pueda quitarse mediante rastrillado.

A causa de su simplicidad constructiva los acuíferos sintéticos están multiplicando su uso en el tercer mundo y en las zonas rurales. En estas zonas el tratamiento que usualmente se utiliza es de tipo primario (lagunas anaerobias o tanques sépticos). La ventaja de los acuíferos artificiales sobre los anteriores sistemas radica en una mayor eliminación de patógenos. Este método también se utiliza en pequeñas urbanizaciones, hoteles y residencias individuales o particulares. Desde 1995 se han instalado más de cien sistemas de este tipo en Francia. Marruecos ha desarrollado, al sur de Agadir, un proyecto de investigación y demostración de esta tecnología.

11.3.2 Experiencias Internacionales

Existen experiencias exitosas de recarga artificial en varios países del mundo, las que tienen el respaldo de años de trabajo sistemático previo que se inició en algunos casos en la década del 60 y antes. Así por ejemplo se puede citar el caso de Estados Unidos, donde

proyectos de manejo de recarga de acuíferos en Arizona se iniciaron como fase experimental en las décadas del 60 al 80, para luego pasar a una etapa de proyectos demostrativos, en las décadas de los 80 y 90. Luego de ello se implementaron obras de recarga de gran capacidad, desde la década del 90 hasta fines de la primera década del siglo XXI, para pasar finalmente en los últimos años a implementar obras complementarias, de capacidad media y pequeña. (Lluria M., Managed Aquifer Recharge Symposium, Enero 25-26, 2011, Irvine, California). En el Anexo 8 se incluye el trabajo de Lluria presentado en el Simposio señalado.

También hay experiencia acumulada en los proyectos de recarga del Orange County de California, así como en las obras que se han utilizado para recarga de acuíferos (M.A.R.: managed aquifer recharge) en varios países europeos (España, Finlandia, Alemania, Holanda, etc.) y para tratamiento suelo acuífero (S.A.T.: soil aquifer treatment) como es el caso de Israel y otros.

Respecto a algunas de las experiencias europeas en recarga artificial de acuíferos, ella se ha sintetizado en diversos trabajos (López-Geta y Murillo-Díaz, 1999; Sahún y Murillo, 2000). A continuación se muestra un resumen:

Finlandia: En la actualidad dispone de 28 plantas de recarga artificial, con capacidades de hasta 21.000 m³/d. El porcentaje que la recarga artificial supone sobre el total del agua destinada a abastecimientos urbanos se cifra en el 9%. La recarga inducida supone otro 9% (Hatva, 1996).

Suecia: Existen varios sistemas de abastecimiento situados en Ekerö, Eskilstuna, Gävle, Uppsala y Estocolmo que utilizan la recarga artificial como fuente de agua. Estos sistemas abastecen a poblaciones de entre 2.500 y 150.000 habitantes. Las plantas tienen capacidades de entre 1.000 y 55.000 m³/d (Hjort y Ericsson, 1996).

Alemania: En este país el agua subterránea aporta 3.100 hm³/año al abastecimiento urbano representando esta cantidad el 63,5% del total destinado a tal fin. De esos 3.100 hm³/año, aproximadamente 520 hm³/año se proporcionan mediante recarga artificial (Schöttler, 1996).

Dinamarca: En este país el 99% del agua suministrada para consumo humano es de origen subterráneo. En la actualidad, está operativa una planta industrial experimental, situada en la isla de Zealand, construida por la compañía de abastecimiento a Copenhague (Brandt, 1998).

Holanda: La ciudad de Amsterdam se abastece en un 65% con agua cuyo origen proviene de la recarga artificial. La instalación de recarga se sitúa en una zona de dunas situada en Zandvoort a unos 30 km al norte de la ciudad. El agua del río Rhin se transporta desde una distancia de unos 55 km (Jos, 1996).

En otros países europeos, como Austria y Hungría, se utiliza la tecnología de la recarga artificial de acuíferos para el abastecimiento a ciudades como Viena (30 hm³/año) o

Budapest (180 hm³/año). Mediante la técnica de la recarga inducida, utilizando las aguas del río Danubio, se depuran las mismas a través del proceso de infiltración. Posteriormente son recuperadas por bombeo y puestas en la red de abastecimiento. (Dreher y Gunatilaka, 1998; László y Literathy, 1996).

En la generalidad de los países señalados, las obras de recarga artificial están asociadas a sistemas acuíferos de gran extensión y muy baja pendiente, lo que permite recargarlos con recursos superficiales excedentarios de invierno o a través de aguas servidas tratadas, para su posterior uso en los períodos en que se requiera. En nuestro país en cambio, los cauces y sistemas acuíferos del norte y centro del país, se desarrollan desde la cordillera al mar en un tramo corto de poco más de 200 km, lo que les confiere una pendiente fuerte y régimen de escurrimiento torrencial, lo que representa una desventaja para la recarga de acuíferos en relación a las condiciones observadas en los países señalados.

12 EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS SELECCIONADAS

En capítulos anteriores del estudio se analizó la potencialidad de los diferentes sectores hidrogeológicos de las cuencas de Choapa y Quilimarí frente a la recarga artificial de acuíferos.

Para ello se hizo previamente una evaluación de los caudales superficiales para recarga que estarían disponibles en los meses de invierno, considerando los usos en riego y otras actividades, determinados a partir de catastros de captaciones que se realizaron en cada cuenca, y años hidrológicos 50% y 85% de probabilidad de excedencia.

Los resultados de la evaluación de la potencialidad hidrogeológica de los diferentes sectores en que se dividió cada cuenca, determinados a partir de dos variables: porcentaje del flujo infiltrado que se mantiene como caudal subterráneo y profundidad del nivel freático, determinaros que los sectores más favorables fuesen los que se indica en la Tabla 12-1 siguiente.

Tabla 12-1
Variables Consideradas y Sectores Prioritarios

Cuenca	Sector Acuífero	Sector-Proyecto	Coef. Permeab. (m/s)	% Flujo Subt. (%)	Profundidad N.E. (m)	Q Superf. Disp. 85% (l/s)
Choapa	8 *	CH-4	$3.5 \cdot 10^{-5}$	28.0	4.8	867
	15 *	CH-5	$5.0 \cdot 10^{-5}$	51.9	3.2	0
	13 *	CH-3	$2.0 \cdot 10^{-4}$	48.1	3.1	104
Quilimarí	8 **	Q-5	$7.7 \cdot 10^{-4}$	-	7.4	<11
	9 **	Q-6	-	-	5.1	<11
	12 **	Q-7	$3.0 \cdot 10^{-5}$	-	6.9	<11

*: Sectorización hidrogeológica de la cuenca del río Choapa, según Estudio Cazalac.

** : Sectorización hidrogeológica de la cuenca del río Quilimarí. Elaboración propia.

En el caso de los sectores de la cuenca del río Choapa, se determinó continuar el análisis con los sectores CH-4 (Panguecillo) y CH-3 (Chalinga), ya que como muestran los resultados, el sector CH-5 (Estero Camisas), no tendría recursos superficiales disponibles para recarga.

En el caso de los sectores de la cuenca del río Quilimarí, se señaló en la etapa anterior, que se ordenarían por orden de prioridad atendiendo sólo a sus características hidrogeológicas, ya que la disponibilidad de recursos superficiales para recarga es prácticamente nula. Por lo tanto, los sectores de esta cuenca no seguirán siendo analizados.

En atención a lo señalado, los sectores en que se desarrollarán y evaluarán proyectos a nivel de perfil son los denominados CH-4 (Panguecillo) y CH-3 (Chalinga).

Del análisis de las ventajas y desventajas de los métodos de recarga artificial habitualmente utilizados, se ha determinado que los más recomendables de aplicar para las condiciones observadas en la cuenca del río Choapa, son los métodos de recarga superficial.

Respecto a qué obras o dispositivos utilizar para la recarga, se debe analizar cuáles son los más convenientes en función de las características de los sitios disponibles y de las magnitudes de los caudales que se podrían infiltrar en cada caso.

Considerando además que se debe elegir dos tipos diferentes de obras para ser evaluadas, se ha determinado lo siguiente.

Balsas o piscinas de infiltración para el sector CH-4, que dispone de un caudal medio del período invernal (Jun-Ago) superior a los 600 l/s. Considerando que en este sector el porcentaje de flujo infiltrado que se mantendría subterráneo es menor al 30%, se diseñará las obras para un caudal efectivo disponible de 300 l/s, o lo que es equivalente, piscinas de 100 l/s en vez de 150 l/s como se hizo en un estudio previo (CNR Ligua Petorca).

Zanjas de Infiltración para el sector CH-3, que dispone de un caudal medio del período invernal (Jun-Ago) sólo del orden de los 100 l/s.

Es importante señalar que se tiene antecedentes recientes del estudio "Mejoramiento de Aguas Subterráneas para Riego Ligua y Petorca", CNR - GCF Ingenieros Ltda., 2011-2012, en ejecución, respecto a diseño de obras para recarga artificial de acuíferos. En particular, se han diseñado en dicho estudio piscinas de infiltración en varios sectores de Ligua y Petorca y se determinó previamente que lo recomendable considerando la disponibilidad de espacio y los requerimientos de operación y mantención es que las piscinas de recarga sean implementadas en módulos, de 100 m x 80 m cada uno, con un mínimo 2 por proyecto. El caudal de diseño para cada módulo fue de 150 l/s.

Respecto a las zanjas que se contempla utilizar en el proyecto CH-3, no se tiene antecedentes previos, por lo que las características del diseño serán determinadas en el capítulo correspondiente.

12.1 Alternativa 1: Piscina de Infiltración

Como se indicara previamente, en el sector CH-4 se utilizarán piscinas de infiltración para la recarga. A continuación se presentan los principales antecedentes relativos al dimensionamiento de las obras.

12.1.1 Dimensionamiento de las Obras

Las obras corresponden a las siguientes:

- Módulo de recarga, de 100 m x 80 m, que incluye un sedimentador (40 m x 40 m), un decantador (40 m x 40 m) y la piscina de infiltración (60 m x 80 m).
- Obras complementarias, que incluyen obra de desvío (pretil en el cauce para direccionar el flujo hacia la obra de admisión), canal de admisión, obra de devolución y canal de aducción (ancho basal 0,6 m y altura 0,6 m. Estas tres obras, han sido dimensionadas considerando: caudal de diseño de 150 l/s y revancha de 0,4 m).
- Obras de Protección de Crecidas, consistentes en un muro de enrocados en el módulo de recarga, por el lado expuesto hacia el cauce. Se ha determinado que con una altura de 6 m se deja las obras a resguardo de las crecidas de período de retorno 100 años. En el Anexo 5 se presenta el análisis hidrológico realizado para determinar los caudales de crecida y con ellos, la altura de escurrimiento asociada y la altura necesaria del enrocado para la protección contra eventuales crecidas en el río.
- Sistema de Aforo, por medio de una canaleta parshall que será instalada en el canal de aducción.
- Sistema de medición de niveles superficiales en las piscinas, mediante reglas graduadas.

Adicionales a las obras del módulo de infiltración ya señaladas, se contempla la perforación de 2 piezómetros de 3" de diámetro y 20 m de profundidad cada uno, para controlar los niveles de napa aguas abajo de la obra de recarga y la instalación de flujómetros en los pozos que se ubiquen en el área potencialmente beneficiaria, de forma de controlar los caudales extraídos.

En la Figura 12.1.1-1 se presenta un esquema con la ubicación y distribución general de las obras.

12.1.2 Cubicaciones y Costos

A continuación en la Tabla 12.1.2-1 se presentan los resultados de las cubicaciones y la estimación de costos que tendría la implementación de las obras del proyecto de recarga en el sector CH-4, Panguecillo.

Figura 12.1.1-1
Ubicación General Obras de Recarga Sector CH-4, Panguecillo



Tabla 12.2.1-1
CUBICACIONES Y ESTIMACIÓN DE COSTOS
OBRA DE RECARGA ARTIFICIAL PROYECTO CH-4

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (\$)	COSTO TOTAL (\$)
A	INSTALACIÓN Y LEVANTE DE FAENAS	gl	1	3,000,000	3,000,000
				Sub total	3,000,000
B	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
	Excavación				
	Excavación Obra de Desvío	m ³	16	3,850	61,600
	Excavación Canal de Admisión	m ³	252	3,850	970,200
	Excavación Obra de Devolución, Aforo y Aducción	m ³	168	3,850	646,800
	Excavación Decantador	m ³	6,669	3,850	25,675,650
	Excavación Sedimentador	m ³	10,670	3,850	41,081,040
	Excavación Piscina de Infiltración	m ³	36,013	3,850	138,648,510
				Sub total	207,083,800
	Relleno				
	Relleno Obra de Desvío	m ³	120	3,850	462,000
	Relleno Decantador	m ³	618	3,850	2,379,108
	Relleno Sedimentador	m ³	989	3,850	3,806,572
	Relleno Piscina de Infiltración	m ³	3,337	3,850	12,847,181
	Pretilos interiores decantador	m ³	379	3,850	1,458,380
	Pretilos interiores sedimentador	m ³	498	3,850	1,917,300
	Pretilos interiores Piscina de infiltración	m ³	293	3,850	1,127,280
				Sub total	23,997,820
	Retiro de Excedentes				
	Retiro de excedentes canal de admisión	m ³	252	3,700	932,400
	Retiro de exced. Obra Devolución, Aforo y Aducción	m ³	168	3,700	621,600
	Retiro de excedentes decantador	m ³	5,905	3,700	21,848,500
	Retiro de excedentes sedimentador	m ³	9,448	3,700	34,957,600
	Retiro de excedentes piscina de infiltración	m ³	31,887	3,700	117,981,900
				Sub total	176,342,000
C	OBRAS CIVILES				
	Hormigón H-30	m ³	96	150,000	14,400,000
	Acero para armadura	Kg	30,720	1,100	33,792,000
	Estuco	m ²	224	13,000	2,912,000
				Sub total	51,104,000
D	OBRAS ESPECIALES				
	Compuertas	Nº	8	51,300	410,400
	Canaleta Parshall	Nº	4	1,100,000	4,400,000
	Regla para monitoreo de piscina	Nº	8	150,000	1,200,000
				Sub total	6,010,400
E	ENROCADO DE PROTECCIÓN				
	Enrocado de protección	m ³	12,600	24,800	312,480,000
				Sub total	312,480,000
F	PIEZÓMETROS DE MONITOREO				
	Perforación $\phi_{\min} = 8"$.	m	40	337,000	13,480,000
	Entubación cañería PVC $\phi = 3"$ sch. 80	m	29	63,000	1,827,000
	Tubería ranurada PVC $\phi = 3"$, Slot 40, sch. 80	m	12	70,000	840,000
	Suministro y colocación de filtro granular.	m	36	59,000	2,124,000
	Sello y brocal de hormigón.	gl	2	285,000	570,000
	Tapa del pozo según plano de proyecto.	gl	2	64,000	128,000
	Desarrollo y desinfección	hr	12	220,000	2,640,000
	Interrupción de faenas	hr	24	32,000	768,000
	Plano de construcción e informe final	gl	2	290,000	580,000
				Sub total	22,957,000
	TOTAL COSTO DIRECTO				802,975,020
	GG y UTILIDADES (45%)				361,338,759
	SUBTOTAL				1,164,313,779
	19% IVA				221,219,618
	COSTO TOTAL				1,385,533,397

12.1.3 Estimación Beneficios Agrícolas y Otros

Para la estimación de los beneficios agrícolas de los sectores donde se ubicarían las obras de recarga se ha utilizado como referencia información recientemente desarrollada por este Consultor en el estudio "Mejoramiento de Aguas Subterráneas para Riego Ligua y Petorca", CNR, 2011-2012, en donde se realizó un completo estudio agronómico para determinar los efectos del riego adicional y del aumento en la seguridad de riego que podría obtenerse con los proyectos de recarga en dichas cuencas.

Los proyectos incluidos en el estudio señalado consideraron en algunos casos recursos disponibles con 50% de probabilidad de excedencia y en otros 85%. En este caso, se ha estimado que resulta más conveniente evaluar los proyectos con disponibilidad de aguas asociada a 85% de probabilidad de excedencia, pues este es el valor que utiliza la DGA para efectos de constitución de derechos y evaluación de disponibilidad. Además, que por tratarse de una condición de año relativamente seco, se generan resultados más conservadores respecto a la disponibilidad que pudiese evaluarse considerando una condición promedio o similar.

Se determinó, para los márgenes agrícolas a precios de mercado y sociales, el margen unitario expresado en \$/ha beneficiaria, lo que entregó en indicador aplicable a la cuenca del río Choapa.

Considerando además la misma tasa de superficie beneficiaria por caudal infiltrado que se obtuvo en el estudio de Ligua-Petorca, se ha determinado las superficies que serían beneficiarias de los proyectos de Choapa y Chalinga.

Los márgenes agrícolas unitarios de referencia (Estudio Ligua Petorca CNR) se amplifican por la superficie beneficiaria de cada proyecto (CH-4 Panguecillo y CH-3 Chalinga), obteniéndose los márgenes por proyecto. Se ha estimado necesario además, aplicar adicionalmente los siguientes 3 factores de ajuste: (0.7), por efecto de que la condición agrícola observada en Choapa es mejor que la observada en Ligua, por lo que el margen de mejoramiento es menor, (0.7), considerando que el período en que se dispondrá de recursos hídricos adicionales es más corto, 3 meses contra 5 en Ligua y finalmente, (0.7) por el hecho que en el valle del Choapa las pendientes (cauce y acuífero) son mayores que en el caso del Ligua, los niveles de napa son mucho más superficiales y hay una mayor porcentaje de afloramiento de los caudales subterráneos. En definitiva, los márgenes agrícolas determinados deben reducirse al 34.3% para representar adecuadamente los márgenes que se obtendría en los proyectos de recarga del Choapa.

Tabla 12.1.3-1
Flujos de Márgenes Agrícolas Sector Panguecillo (CH-4)
Precios Privados - Valores en millones de pesos

Año	Márgenes Agrícolas CH-4	
	Situación Actual	Situación c/Proyecto
0	25.61	25.61
1	25.61	14.66
2	25.61	-57.87
3	25.61	-189.88
4	25.61	-71.19
5	25.61	-48.72
6	25.61	5.27
7	25.61	84.24
8	25.61	193.78
9	25.61	306.53
10	25.61	395.45
11	25.61	271.38
12	25.61	271.38
13	25.61	271.38
14	25.61	194.44
15	-84.35	219.45
16	-7.29	225.54
17	9.39	225.54
18	11.20	250.00
19	25.20	250.00
20	24.05	226.08
21	24.05	199.04
22	24.05	168.82
23	25.61	21.68
24	25.61	121.24
25	25.61	96.39
26	25.61	92.63
27	25.61	99.49
28	25.61	-20.19
29	25.61	-15.84
30	25.61	-11.25

Tabla 12.1.3-2
 Flujos de Márgenes Agrícolas Sector Panguecillo (CH-4)
 Precios Sociales - Valores en millones de pesos

Año	Márgenes Agrícolas CH-4	
	Situación Actual	Situación c/Proyecto
0	31.98	31.98
1	31.98	22.16
2	31.98	-42.38
3	31.98	-158.39
4	31.98	-29.06
5	31.98	9.38
6	31.98	81.68
7	31.98	181.87
8	31.98	314.41
9	31.98	373.87
10	31.98	470.92
11	31.98	301.02
12	31.98	301.02
13	31.98	301.02
14	31.98	224.08
15	-73.21	249.09
16	-0.28	255.19
17	42.76	255.19
18	44.67	279.64
19	68.25	279.64
20	30.44	255.73
21	30.44	228.68
22	30.44	198.47
23	31.98	36.16
24	31.98	139.61
25	31.98	123.37
26	31.98	126.74
27	31.98	145.54
28	31.98	31.87
29	31.98	55.60
30	31.98	83.63

12.1.4 Evaluación Económica

Los costos que han sido considerados son los siguientes:

- Costos de Construcción de las obras de recarga.
- Costos de construcción de las obras de monitoreo de niveles. (piezómetros)
- Costos de implementación del sistema de monitoreo de caudales en pozos del área.
- Costos de elevación mecánica de los caudales adicionales gracias al proyecto.
- Costos de administración y mantenimiento de las obras.

Por su parte, los beneficios considerados corresponden a los márgenes que se generarán gracias a la mayor producción asociada a la nueva disponibilidad de aguas.

El horizonte de evaluación considerado ha sido de 30 años. Las tasas de actualización consideradas han sido del 12% para las evaluaciones privadas y del 6% para las evaluaciones sociales. El factor para corregir los precios sociales es de 0.93.

A continuación se presentan los resultados de las evaluaciones económicas realizadas.

Tabla 12.1.4-1
Evaluación Económica Proyecto CH-4
Precios de Mercado

Tasa anual de desc.	0.12				VAN	-1177.5	Millones \$		TIR	0.001
---------------------	------	--	--	--	-----	---------	-------------	--	-----	-------

Valores en millones de pesos

Nº	Año	Costos de:				Márgenes Agrícolas		Benef. por:	Totales		Beneficios - Costos
		Inversión (Constr. piscinas, piezóm. y monit Q y H en obra de recarga)	Elevación Mecánica	Mantenición y Administración	Monitoreo Pozos de Extracción	Situación Actual	Situación c/Proyecto	Márgenes Agrícolas Incrementales	Costos	Beneficios	
0	2012	-1164.31	0.00	-6.00	-75.00	25.61	25.61	0.000	-1170.31	0.000	-1170.31
1	2013	0.00	-0.43	-29.29	0.00	25.61	14.66	-10.95	-29.72	-10.95	-40.67
2	2014	0.00	-0.43	-29.29	0.00	25.61	-57.87	-83.48	-29.72	-83.48	-113.20
3	2015	0.00	-0.43	-29.29	0.00	25.61	-189.88	-215.50	-29.72	-215.50	-245.21
4	2016	0.00	-0.43	-29.29	0.00	25.61	-71.19	-96.80	-29.72	-96.80	-126.52
5	2017	0.00	-0.43	-29.29	0.00	25.61	-48.72	-74.33	-29.72	-74.33	-104.05
6	2018	0.00	-0.43	-29.29	0.00	25.61	5.27	-20.35	-29.72	-20.35	-50.07
7	2019	0.00	-0.43	-29.29	0.00	25.61	84.24	58.63	-29.72	58.63	28.91
8	2020	0.00	-0.43	-29.29	0.00	25.61	193.78	168.17	-29.72	168.17	138.45
9	2021	0.00	-0.43	-29.29	0.00	25.61	306.53	280.92	-29.72	280.92	251.20
10	2022	0.00	-0.43	-29.29	0.00	25.61	395.45	369.84	-29.72	369.84	340.12
11	2023	0.00	-0.43	-29.29	0.00	25.61	271.38	245.77	-29.72	245.77	216.05
12	2024	0.00	-0.43	-29.29	0.00	25.61	271.38	245.77	-29.72	245.77	216.05
13	2025	0.00	-0.43	-29.29	0.00	25.61	271.38	245.77	-29.72	245.77	216.05
14	2026	0.00	-0.43	-6.00	0.00	25.61	194.44	168.83	-6.43	168.83	162.39
15	2027	-1164.31	-0.43	-29.29	0.00	-84.35	219.45	303.80	-1194.03	303.80	-890.23
16	2028	0.00	-0.43	-29.29	0.00	-7.29	225.54	232.84	-29.72	232.84	203.12
17	2029	0.00	-0.43	-29.29	0.00	9.39	225.54	216.15	-29.72	216.15	186.43
18	2030	0.00	-0.43	-29.29	0.00	11.20	250.00	238.80	-29.72	238.80	209.08
19	2031	0.00	-0.43	-29.29	0.00	25.20	250.00	224.80	-29.72	224.80	195.08
20	2032	0.00	-0.43	-29.29	0.00	24.05	226.08	202.03	-29.72	202.03	172.31
21	2033	0.00	-0.43	-29.29	0.00	24.05	199.04	174.98	-29.72	174.98	145.26
22	2034	0.00	-0.43	-29.29	0.00	24.05	168.82	144.77	-29.72	144.77	115.05
23	2035	0.00	-0.43	-29.29	0.00	25.61	21.68	-3.93	-29.72	-3.93	-33.65
24	2036	0.00	-0.43	-29.29	0.00	25.61	121.24	95.63	-29.72	95.63	65.91
25	2037	0.00	-0.43	-29.29	0.00	25.61	96.39	70.77	-29.72	70.77	41.05
26	2038	0.00	-0.43	-29.29	0.00	25.61	92.63	67.01	-29.72	67.01	37.30
27	2039	0.00	-0.43	-29.29	0.00	25.61	99.49	73.87	-29.72	73.87	44.16
28	2040	0.00	-0.43	-29.29	0.00	25.61	-20.19	-45.81	-29.72	-45.81	-75.52
29	2041	0.00	-0.43	-29.29	0.00	25.61	-15.84	-41.46	-29.72	-41.46	-71.18
30	2042	0.00	-0.43	-6.00	0.00	25.61	-11.25	-36.86	-6.43	-36.86	-43.29
VAN		-1377.03	-3.49	-236.36	-75.00			439.40	-1616.88	439.40	-1177.49

Tabla 12.1.4-2
Evaluación Económica Proyecto CH-4
Precios Sociales

Tasa anual de desc.	0.06				VAN	-213.8	Millones \$		TIR	0.047
---------------------	------	--	--	--	-----	--------	-------------	--	-----	-------

Valores en millones de pesos

Nº	Año	Costos de:				Márgenes Agrícolas		Benef. por:	Totales		Beneficios - Costos
		Inversión (Constr. piscinas, piezóm. y monit Q y H en obra de recarga)	Elevación Mecánica	Mantenición y Administración	Monitoreo Pozos de Extracción	Situación Actual	Situación c/Proyecto	Márgenes Agrícolas Incrementales	Costos	Beneficios	
0	2012	-1082.81	0.00	-5.58	-75.00	31.98	31.98	0.000	-1088.39	0.000	-1088.39
1	2013	0.00	-0.40	-27.24	0.00	31.98	22.16	-9.81	-27.64	-9.81	-37.45
2	2014	0.00	-0.40	-27.24	0.00	31.98	-42.38	-74.35	-27.64	-74.35	-101.99
3	2015	0.00	-0.40	-27.24	0.00	31.98	-158.39	-190.36	-27.64	-190.36	-218.00
4	2016	0.00	-0.40	-27.24	0.00	31.98	-29.06	-61.04	-27.64	-61.04	-88.68
5	2017	0.00	-0.40	-27.24	0.00	31.98	9.38	-22.60	-27.64	-22.60	-50.24
6	2018	0.00	-0.40	-27.24	0.00	31.98	81.68	49.71	-27.64	49.71	22.07
7	2019	0.00	-0.40	-27.24	0.00	31.98	181.87	149.90	-27.64	149.90	122.26
8	2020	0.00	-0.40	-27.24	0.00	31.98	314.41	282.44	-27.64	282.44	254.80
9	2021	0.00	-0.40	-27.24	0.00	31.98	373.87	341.89	-27.64	341.89	314.25
10	2022	0.00	-0.40	-27.24	0.00	31.98	470.92	438.94	-27.64	438.94	411.30
11	2023	0.00	-0.40	-27.24	0.00	31.98	301.02	269.05	-27.64	269.05	241.41
12	2024	0.00	-0.40	-27.24	0.00	31.98	301.02	269.05	-27.64	269.05	241.41
13	2025	0.00	-0.40	-27.24	0.00	31.98	301.02	269.05	-27.64	269.05	241.41
14	2026	0.00	-0.40	-5.58	0.00	31.98	224.08	192.11	-5.98	192.11	186.13
15	2027	-1082.81	-0.40	-27.24	0.00	-73.21	249.09	322.30	-1110.45	322.30	-788.15
16	2028	0.00	-0.40	-27.24	0.00	-0.28	255.19	255.47	-27.64	255.47	227.83
17	2029	0.00	-0.40	-27.24	0.00	42.76	255.19	212.43	-27.64	212.43	184.79
18	2030	0.00	-0.40	-27.24	0.00	44.67	279.64	234.98	-27.64	234.98	207.34
19	2031	0.00	-0.40	-27.24	0.00	68.25	279.64	211.39	-27.64	211.39	183.75
20	2032	0.00	-0.40	-27.24	0.00	30.44	255.73	225.28	-27.64	225.28	197.64
21	2033	0.00	-0.40	-27.24	0.00	30.44	228.68	198.24	-27.64	198.24	170.60
22	2034	0.00	-0.40	-27.24	0.00	30.44	198.47	168.02	-27.64	168.02	140.38
23	2035	0.00	-0.40	-27.24	0.00	31.98	36.16	4.19	-27.64	4.19	-23.45
24	2036	0.00	-0.40	-27.24	0.00	31.98	139.61	107.63	-27.64	107.63	79.99
25	2037	0.00	-0.40	-27.24	0.00	31.98	123.37	91.40	-27.64	91.40	63.76
26	2038	0.00	-0.40	-27.24	0.00	31.98	126.74	94.77	-27.64	94.77	67.13
27	2039	0.00	-0.40	-27.24	0.00	31.98	145.54	113.57	-27.64	113.57	85.93
28	2040	0.00	-0.40	-27.24	0.00	31.98	31.87	-0.11	-27.64	-0.11	-27.74
29	2041	0.00	-0.40	-27.24	0.00	31.98	55.60	23.62	-27.64	23.62	-4.02
30	2042	0.00	-0.40	-5.58	0.00	31.98	83.63	51.65	-5.98	51.65	45.67
VAN		-1280.64	-3.24	-219.82	-75.00			731.77	-1503.70	731.77	-771.93

12.2 Alternativa 2: Zanjas de Infiltración

12.2.1 Dimensionamiento de las Obras

Las obras corresponden a las siguientes:

- Zanjas de Infiltración (4), de 100 m x 2 m de ancho basal, con talud 1:10 (H:V).
- Obras complementarias, que incluyen obra de desvío (pretil en el cauce para direccionar el flujo hacia la obra de admisión), canal de admisión, obra de devolución y canal de aducción (ancho basal 0,6 m y altura 0,6 m. Estas tres obras, han sido dimensionadas considerando: caudal de diseño de 100 l/s y revancha de 0,4 m).
- Obras de Protección de Crecidas, consistentes en un muro de enrocados en el módulo de recarga, por el lado expuesto hacia el cauce. Se ha determinado que con una altura de 3 m se deja las obras a resguardo de las crecidas de período de retorno 100 años. En el Anexo 5 se presenta el análisis hidrológico realizado para determinar los caudales de crecida y con ellos, la altura de escurrimiento asociada y la altura necesaria del enrocado para la protección contra eventuales crecidas en el río.
- Sistema de Aforo, por medio de una canaleta parshall que será instalada en el canal de aducción.
- Sistema de medición de niveles superficiales en las zanjas, mediante reglas graduadas.

Adicionales a las obras del módulo de infiltración ya señaladas, se contempla la perforación de 2 piezómetros de 3" de diámetro y 20 m de profundidad cada uno, para controlar los niveles de napa aguas abajo de la obra de recarga y la instalación de flujómetros en los pozos que se ubiquen en el área potencialmente beneficiaria, de forma de controlar los caudales extraídos.

En la Figura 12.2.1-1 se presenta un esquema con la ubicación y distribución general de las obras.

12.2.2 Cubicaciones y Costos

A continuación se presentan los resultados de las cubicaciones y la determinación de costos asociados al proyecto de recarga mediante zanjas en el sector CH-3, Chalinga.

Figura 12.2.1-1
Ubicación General Zanjas de Infiltración para Recarga en Sector CH-3, Chalinga

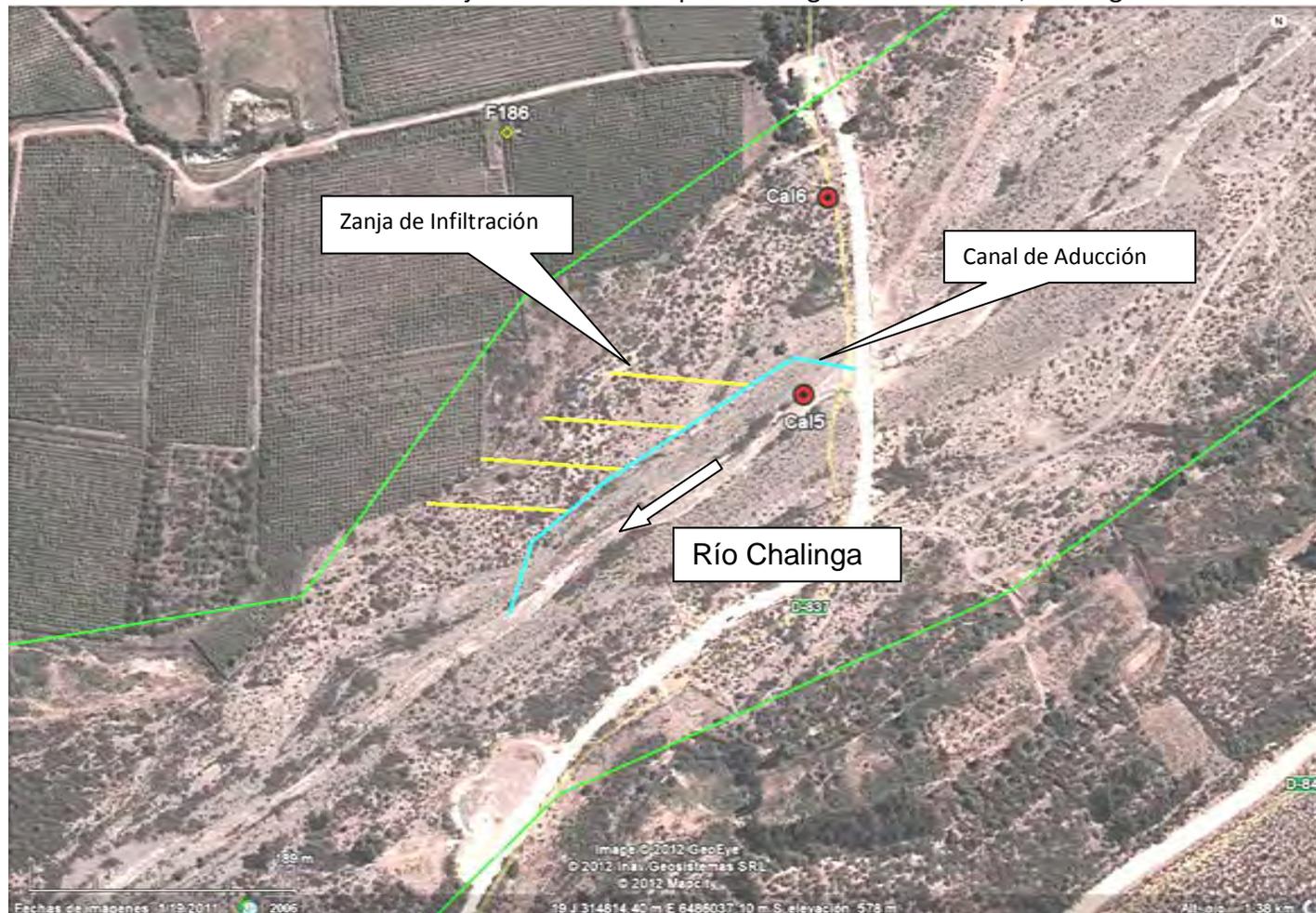


Tabla 12.2.2-1

CUBICACIONES Y ESTIMACIÓN DE COSTOS
OBRA DE RECARGA ARTIFICIAL PROYECTO ZANJAS CHALINGA

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	COSTO TOTAL
				(\$)	(\$)
A	INSTALACIÓN Y LEVANTE DE FAENAS	gl	1	3,000,000	3,000,000
				Sub total	3,000,000
B	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
	Excavación				
	Excavación Obra de Desvío	m ³	4	3,850	15,400
	Excavación Canal de Admisión	m ³	12	3,850	46,200
	Excavación Obra de Devolución, Aforo y Aducción	m ³	570	3,850	2,194,500
	Excavación Zanjás 1 a 4	m ³	2854	3,850	10,987,900
				Sub total	13,244,000
	Relleno				
	Relleno Obra de Desvío	m ³	30	3,850	115,500
	Relleno Zanjás	m ³	20	3,850	77,000
				Sub total	192,500
	Retiro de Excedentes				
	Retiro de excedentes canal de admisión	m ³	9.6	3,700	35,520
	Retiro de excedentes Zanjás	m ³	2283.2	3,700	8,447,840
				Sub total	8,483,360
C	OBRAS CIVILES				
	Hormigón H-30	m ³	10	150,000	1,500,000
	Acero para armadura	Kg	800	1,100	880,000
	Estuco	m ²	30	13,000	390,000
				Sub total	2,770,000
D	OBRAS ESPECIALES				
	Compuertas	Nº	6	51,300	307,800
	Canaleta Parshall	Nº	1	1,100,000	1,100,000
	Regla para monitoreo de zanjás	Nº	8	150,000	1,200,000
				Sub total	2,607,800
E	ENROCADO DE PROTECCIÓN				
	Enrocado de protección	m ³	8400	24,800	208,320,000
				Sub total	208,320,000
F	PIEZÓMETROS DE MONITOREO				
	Perforación $\phi_{min} = 8"$.	m	40	337,000	13,480,000
	Entubación cañería PVC $\phi = 3"$ sch. 80	m	29	63,000	1,827,000
	Tubería ranurada PVC $\phi = 3"$, Slot 40, sch. 80	m	12	70,000	840,000
	Suministro y colocación de filtro granular.	m	36	59,000	2,124,000
	Sello y brocal de hormigón.	gl	2	285,000	570,000
	Tapa del pozo según plano de proyecto.	gl	2	64,000	128,000
	Desarrollo y desinfección	hr	12	220,000	2,640,000
	Interrupción de faenas	hr	24	32,000	768,000
	Plano de construcción e informe final	gl	2	290,000	580,000
				Sub total	22,957,000
	TOTAL COSTO DIRECTO				261,574,660
	GG, IMP. y UTILIDADES (45%)				117,708,597
	SUBTOTAL				379,283,257
	19% IVA				72,063,819
	COSTO TOTAL				451,347,076

12.2.3 Estimación Beneficios Agrícolas y Otros

La estimación de beneficios agrícolas se ha realizado en forma análoga al caso del proyecto CH-4, es decir, a partir de los márgenes del estudio Ligua-Petorca CNR (Proyecto La Viña A4-L3), se determinaron los márgenes unitarios, que se deben reducir a un 34,3% por efecto de 3 factores (condición agrícola, período en que se dispondrá del agua y condiciones hidrogeológicas: nivel freático, porcentaje de afloramientos). Así se tiene los siguientes flujos de márgenes agrícolas para las condiciones con y sin proyecto y a precios de mercado y sociales.

Tabla 12.2.3-1
 Flujos de Márgenes Agrícolas Sector Chalinga (CH-3)
 Precios Privados - Valores en millones de pesos

Año	Márgenes Agrícolas CH-3	
	Situación Actual	Situación c/Proyecto
0	8.72	8.72
1	8.72	4.99
2	8.72	-19.71
3	8.72	-64.67
4	8.72	-24.24
5	8.72	-16.59
6	8.72	1.79
7	8.72	28.69
8	8.72	65.99
9	8.72	104.39
10	8.72	134.67
11	8.72	92.42
12	8.72	92.42
13	8.72	92.42
14	8.72	66.22
15	-28.73	74.73
16	-2.48	76.81
17	3.20	76.81
18	3.81	85.14
19	8.58	85.14
20	8.19	76.99
21	8.19	67.78
22	8.19	57.49
23	8.72	7.38
24	8.72	41.29
25	8.72	32.82
26	8.72	31.54
27	8.72	33.88
28	8.72	-6.88
29	8.72	-5.40
30	8.72	-3.83

Tabla 12.2.3-2
Flujos de Márgenes Agrícolas Sector Chalinga (CH-3)
Precios Sociales - Valores en millones de pesos

Año	Márgenes Agrícolas CH-3	
	Situación Actual	Situación c/Proyecto
0	10.89	10.89
1	10.89	7.55
2	10.89	-14.43
3	10.89	-53.94
4	10.89	-9.90
5	10.89	3.19
6	10.89	27.82
7	10.89	61.94
8	10.89	107.08
9	10.89	127.32
10	10.89	160.37
11	10.89	102.52
12	10.89	102.52
13	10.89	102.52
14	10.89	76.31
15	-24.93	84.83
16	-0.09	86.91
17	14.56	86.91
18	15.21	95.23
19	23.24	95.23
20	10.37	87.09
21	10.37	77.88
22	10.37	67.59
23	10.89	12.32
24	10.89	47.54
25	10.89	42.02
26	10.89	43.16
27	10.89	49.57
28	10.89	10.85
29	10.89	18.93
30	10.89	28.48

12.2.4 Evaluación Económica

Los resultados de la evaluación económica del proyecto de zanjias en el sector CH-3, Chalinga son los siguientes.

Tabla 12.2-4-1
Evaluación Económica Proyecto CH-3
Precios de Mercado

Tasa anual de desc.	0.12					VAN	-488.5	Millones \$		TIR	-0.020
Valores en millones de pesos											
Nº	Año	Costos de:				Márgenes Agrícolas		Benef. por:	Totales		Beneficios - Costos
		Inversión (Constr. piscinas, piezóm. y monit Q y H en obra de recarga)	Elevación Mecánica	Mantenimiento y Adminst.	Monitoreo Pozos de Extracción	Situación Actual	Situación c/Proyecto	Márgenes Agrícolas Incrementales	Costos	Beneficios	
0	2012	-379.28	0.00	-6.00	-75.00	8.72	8.72	0.000	-460.28	0.000	-460.28
1	2013	0.00	-0.11	-13.59	0.00	8.72	4.99	-3.73	-13.70	-3.73	-17.42
2	2014	0.00	-0.11	-13.59	0.00	8.72	-19.71	-28.43	-13.70	-28.43	-42.13
3	2015	0.00	-0.11	-13.59	0.00	8.72	-64.67	-73.39	-13.70	-73.39	-87.08
4	2016	0.00	-0.11	-13.59	0.00	8.72	-24.24	-32.97	-13.70	-32.97	-46.66
5	2017	0.00	-0.11	-13.59	0.00	8.72	-16.59	-25.31	-13.70	-25.31	-39.01
6	2018	0.00	-0.11	-13.59	0.00	8.72	1.79	-6.93	-13.70	-6.93	-20.63
7	2019	0.00	-0.11	-13.59	0.00	8.72	28.69	19.97	-13.70	19.97	6.27
8	2020	0.00	-0.11	-13.59	0.00	8.72	65.99	57.27	-13.70	57.27	43.57
9	2021	0.00	-0.11	-13.59	0.00	8.72	104.39	95.67	-13.70	95.67	81.97
10	2022	0.00	-0.11	-13.59	0.00	8.72	134.67	125.95	-13.70	125.95	112.26
11	2023	0.00	-0.11	-13.59	0.00	8.72	92.42	83.70	-13.70	83.70	70.00
12	2024	0.00	-0.11	-13.59	0.00	8.72	92.42	83.70	-13.70	83.70	70.00
13	2025	0.00	-0.11	-13.59	0.00	8.72	92.42	83.70	-13.70	83.70	70.00
14	2026	0.00	-0.11	-6.00	0.00	8.72	66.22	57.50	-6.11	57.50	51.38
15	2027	-379.28	-0.11	-13.59	0.00	-28.73	74.73	103.46	-392.98	103.46	-289.52
16	2028	0.00	-0.11	-13.59	0.00	-2.48	76.81	79.29	-13.70	79.29	65.60
17	2029	0.00	-0.11	-13.59	0.00	3.20	76.81	73.61	-13.70	73.61	59.92
18	2030	0.00	-0.11	-13.59	0.00	3.81	85.14	81.32	-13.70	81.32	67.63
19	2031	0.00	-0.11	-13.59	0.00	8.58	85.14	76.56	-13.70	76.56	62.86
20	2032	0.00	-0.11	-13.59	0.00	8.19	76.99	68.80	-13.70	68.80	55.11
21	2033	0.00	-0.11	-13.59	0.00	8.19	67.78	59.59	-13.70	59.59	45.90
22	2034	0.00	-0.11	-13.59	0.00	8.19	57.49	49.30	-13.70	49.30	35.61
23	2035	0.00	-0.11	-13.59	0.00	8.72	7.38	-1.34	-13.70	-1.34	-15.03
24	2036	0.00	-0.11	-13.59	0.00	8.72	41.29	32.57	-13.70	32.57	18.87
25	2037	0.00	-0.11	-13.59	0.00	8.72	32.82	24.10	-13.70	24.10	10.41
26	2038	0.00	-0.11	-13.59	0.00	8.72	31.54	22.82	-13.70	22.82	9.13
27	2039	0.00	-0.11	-13.59	0.00	8.72	33.88	25.16	-13.70	25.16	11.46
28	2040	0.00	-0.11	-13.59	0.00	8.72	-6.88	-15.60	-13.70	-15.60	-29.30
29	2041	0.00	-0.11	-13.59	0.00	8.72	-5.40	-14.12	-13.70	-14.12	-27.81
30	2042	0.00	-0.11	-6.00	0.00	8.72	-3.83	-12.55	-6.11	-12.55	-18.66
VAN		-448.58	-0.89	-113.63	-75.00			149.64	-638.10	149.64	-488.46

Tabla 12.2-4-2
Evaluación Económica Proyecto CH-3
Precios Sociales

Tasa anual de desc.	0.06				VAN	-165.7	Millones \$		TIR	0.031	
Valores en millones de pesos											
Nº	Año	Costos de:				Márgenes Agrícolas		Benef. por:	Totales		Beneficios - Costos
		Inversión (Constr. piscinas, piezóm. y monit Q y H en obra de recarga)	Elevación Mecánica	Mantención y Adminst.	Monitoreo Pozos de Extracción	Situación Actual	Situación c/Proyecto	Márgenes Agrícolas Incrementales	Costos	Beneficios	
0	2012	-352.73	0.00	0.00	-75.00	10.89	10.89	0.000	-427.73	0.000	-427.73
1	2013	0.00	-0.10	-12.63	0.00	10.89	7.55	-3.34	-12.74	-3.34	-16.08
2	2014	0.00	-0.10	-12.63	0.00	10.89	-14.43	-25.32	-12.74	-25.32	-38.06
3	2015	0.00	-0.10	-12.63	0.00	10.89	-53.94	-64.83	-12.74	-64.83	-77.57
4	2016	0.00	-0.10	-12.63	0.00	10.89	-9.90	-20.79	-12.74	-20.79	-33.52
5	2017	0.00	-0.10	-12.63	0.00	10.89	3.19	-7.70	-12.74	-7.70	-20.43
6	2018	0.00	-0.10	-12.63	0.00	10.89	27.82	16.93	-12.74	16.93	4.19
7	2019	0.00	-0.10	-12.63	0.00	10.89	61.94	51.05	-12.74	51.05	38.31
8	2020	0.00	-0.10	-12.63	0.00	10.89	107.08	96.19	-12.74	96.19	83.45
9	2021	0.00	-0.10	-12.63	0.00	10.89	127.32	116.43	-12.74	116.43	103.70
10	2022	0.00	-0.10	-12.63	0.00	10.89	160.37	149.49	-12.74	149.49	136.75
11	2023	0.00	-0.10	-12.63	0.00	10.89	102.52	91.63	-12.74	91.63	78.89
12	2024	0.00	-0.10	-12.63	0.00	10.89	102.52	91.63	-12.74	91.63	78.89
13	2025	0.00	-0.10	-12.63	0.00	10.89	102.52	91.63	-12.74	91.63	78.89
14	2026	0.00	-0.10	0.00	0.00	10.89	76.31	65.42	-0.10	65.42	65.32
15	2027	-352.73	-0.10	-12.63	0.00	-24.93	84.83	109.76	-365.47	109.76	-255.71
16	2028	0.00	-0.10	-12.63	0.00	-0.09	86.91	87.00	-12.74	87.00	74.26
17	2029	0.00	-0.10	-12.63	0.00	14.56	86.91	72.34	-12.74	72.34	59.61
18	2030	0.00	-0.10	-12.63	0.00	15.21	95.23	80.02	-12.74	80.02	67.29
19	2031	0.00	-0.10	-12.63	0.00	23.24	95.23	71.99	-12.74	71.99	59.25
20	2032	0.00	-0.10	-12.63	0.00	10.37	87.09	76.72	-12.74	76.72	63.98
21	2033	0.00	-0.10	-12.63	0.00	10.37	77.88	67.51	-12.74	67.51	54.77
22	2034	0.00	-0.10	-12.63	0.00	10.37	67.59	57.22	-12.74	57.22	44.48
23	2035	0.00	-0.10	-12.63	0.00	10.89	12.32	1.43	-12.74	1.43	-11.31
24	2036	0.00	-0.10	-12.63	0.00	10.89	47.54	36.65	-12.74	36.65	23.92
25	2037	0.00	-0.10	-12.63	0.00	10.89	42.02	31.13	-12.74	31.13	18.39
26	2038	0.00	-0.10	-12.63	0.00	10.89	43.16	32.27	-12.74	32.27	19.54
27	2039	0.00	-0.10	-12.63	0.00	10.89	49.57	38.68	-12.74	38.68	25.94
28	2040	0.00	-0.10	-12.63	0.00	10.89	10.85	-0.04	-12.74	-0.04	-12.77
29	2041	0.00	-0.10	-12.63	0.00	10.89	18.93	8.04	-12.74	8.04	-4.69
30	2042	0.00	-0.10	0.00	0.00	10.89	28.48	17.59	-0.10	17.59	17.49
VAN		-417.18	-0.83	-98.77	-75.00			249.21	-591.77	249.21	-342.56

12.3 Comparación de Alternativas

En la Tabla 12.3-1 se presentan los indicadores económicos de los proyectos evaluados; CH-4 Panguecillo, proyecto de piscinas de infiltración y CH-3, Chalinga, proyecto de Zanjas de Infiltración.

Tabla 12.3-1
Indicadores Económicos de las Alternativas Evaluadas

Sector	Costo Obras	Precios de Mercado		Precios Sociales	
		VAN	TIR	VAN	TIR
	(Mill \$)	(Millones de \$)	(%)	(Millones de \$)	(%)
CH-4	1164.3	-1177.5	0.1	-213.8	4.7
CH-3	379.3	-488.5	-2.0	-165.7	3.1

Al observar los resultados de las evaluaciones económicas se puede apreciar que los proyectos no son rentables, ni siquiera desde el punto de vista social.

Es importante señalar que parte importante del costo de los proyectos corresponde a defensas fluviales que se requeriría para proteger las obras. Esto podría manejarse de una forma más eficiente si se coordina con Obras Fluviales para ver que planes de mejoramiento tienen ellos y eventualmente aprovechar algunos de los trabajos que ellos realizan periódicamente, para reducir el costo de los proyectos y hacerlos más atractivos.

En la Tabla 12.3-2 se presenta la información en términos unitarios, tanto por hectárea, como por hectárea y por año. Se puede apreciar, al igual que en la Tabla anterior, que el proyecto menos malo es de las piscinas de infiltración (CH-4), que arrojaría una pérdida del orden de los 120 mil pesos por hectárea al año.

Tabla 12.3-2
Indicadores Económicos en Términos Unitarios

Sector	Superf. Benéfic. (ha)	VAN Unitario - Pr de Mercado		VAN Unitario - Pr Sociales	
		Total (Mill \$/ha)	por año (Mill \$/ha/año)	Total (Mill \$/ha)	por año (Mill \$/ha/año)
CH-4	323.0	-3.65	-0.122	-0.66	-0.022
CH-3	110.0	-4.44	-0.148	-1.51	-0.050

Se puede señalar que los proyectos evaluados recientemente en Ligua y Petorca (Estudio CNR 2011-2012), para condiciones agrícolas bastante deficitarias y con napas más profundas, entregaron indicadores económicos positivos pero muy discretos, por lo que era esperable que en este caso, donde las posibilidades de mejorar la situación actual son más reducidas y donde los acuíferos están más saturados y tienen menos capacidad de recibir y mantener la recarga, los indicadores económicos fuesen menos atractivos, como de hecho ha ocurrido.

13 PROPUESTA DE PROYECTO PILOTO Y TR (ET)

En función de los resultados obtenidos de las evaluaciones económicas, se ha determinado que el proyecto CH-4, es el más favorable para implementar un proyecto piloto. Si bien el proyecto CH-4 contempla la construcción de 4 módulos de recarga, el proyecto piloto contempla la construcción de sólo un módulo de recarga, que permita observar si el sistema se comporta de acuerdo a lo estimado previamente o si es necesario realizar alguna modificación en el diseño, antes de su construcción.

El proyecto piloto contará además con control de caudales afluentes a la obra, control de niveles superficiales en la piscina de infiltración y control de niveles freáticos aguas abajo de la obra. No se ha incluido en el costo el monitoreo de caudales de extracción en pozos del área beneficiaria del proyecto, pues debe determinarse previamente el número de pozos a controlar. Como referencia se estima un costo de 3.75 millones de pesos por pozo a monitorear (flujómetro, datalogger, implementación del sistema).

En los Anexos 9, 10 y 11 se presentan las ETG y ETE y presupuesto de referencia, respectivamente, los que han sido desarrollados especialmente para este proyecto piloto.

En la Tabla 13-1 se presenta el Presupuesto de Referencia del Proyecto Piloto, de forma de dejar establecido el costo aproximado que tendría implementar dicho proyecto.

Tabla 13-1
CUBICACIONES Y ESTIMACIÓN DE COSTOS
OBRA DE RECARGA ARTIFICIAL PROYECTO PILOTO

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	COSTO TOTAL
				(\$)	(\$)
A	INSTALACIÓN Y LEVANTE DE FAENAS	gl	1	3,000,000	3,000,000
				Sub total	3,000,000
B	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
	Excavación				
	Excavación Obra de Desvío	m ³	4	3,850	15,400
	Excavación Canal de Admisión	m ³	21	3,850	81,235
	Excavación Obra de Devolución, Aforo y Aducción	m ³	14	3,850	52,745
	Excavación Decantador	m ³	1,667	3,850	6,418,913
	Excavación Sedimentador	m ³	2,668	3,850	10,270,260
	Excavación Piscina de Infiltración	m ³	9,003	3,850	34,662,128
				Sub total	51,500,680
	Relleno				
	Relleno Obra de Desvío	m ³	30	3,850	115,500
	Relleno Decantador	m ³	154	3,850	594,777
	Relleno Sedimentador	m ³	247	3,850	951,643
	Relleno Piscina de Infiltración	m ³	834	3,850	3,211,795
	Pretilos interiores decantador	m ³	95	3,850	364,595
	Pretilos interiores sedimentador	m ³	125	3,850	479,325
	Pretilos interiores Piscina de infiltración	m ³	73	3,850	281,820
				Sub total	5,999,455
	Retiro de Excedentes				
	Retiro de excedentes canal de admisión	m ³	21	3,700	78,070
	Retiro exced. Obra Devolución, Aforo y Aducción	m ³	14	3,700	50,690
	Retiro de excedentes decantador	m ³	1,476	3,700	5,462,125
	Retiro de excedentes sedimentador	m ³	2,362	3,700	8,739,400
	Retiro de excedentes piscina de infiltración	m ³	7,972	3,700	29,495,475
				Sub total	43,825,760
C	OBRAS CÍVILES				
	Hormigón H-30	m ³	6	150,000	900,000
	Acero para armadura	Kg	480	1,100	528,000
	Estuco	m ²	14	13,000	182,000
				Sub total	1,610,000
D	OBRAS ESPECIALES				
	Compuertas	Nº	2	51,300	102,600
	Canaleta Parshall	Nº	1	1,100,000	1,100,000
	Regla para monitoreo de piscina	Nº	2	150,000	300,000
				Sub total	1,502,600
E	ENROCADO DE PROTECCIÓN				
	Enrocado de protección	m ³	4,200	24,800	104,160,000
				Sub total	104,160,000
F	PIEZÓMETROS DE MONITOREO				
	Perforación $\phi_{min} = 8"$.	m	40	337,000	13,480,000
	Entubación cañería PVC $\phi = 3"$ sch. 80	m	29	63,000	1,827,000
	Tubería ranurada PVC $\phi = 3"$, Slot 40, sch. 80	m	12	70,000	840,000
	Suministro y colocación de filtro granular.	m	36	59,000	2,124,000
	Sello y brocal de hormigón.	gl	2	285,000	570,000
	Tapa del pozo según plano de proyecto.	gl	2	64,000	128,000
	Desarrollo y desinfección	hr	12	220,000	2,640,000
	Interrupción de faenas	hr	24	32,000	768,000
	Plano de construcción e informe final	gl	2	290,000	580,000
				Sub total	22,957,000
	TOTAL COSTO DIRECTO				234,555,495
	GG y UTILIDADES (45%)				105,549,973
	SUBTOTAL				340,105,468
	19% IVA				64,620,039
	COSTO TOTAL				404,725,507

14 CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

Una vez finalizado el estudio, se puede afirmar lo siguiente:

- Se recopiló y analizó la información disponible en estudios hidrológicos e hidrogeológicos realizados en las cuencas de interés. Además se realizó una revisión de bibliografía técnica relacionada con la recarga artificial de acuíferos.
- Se revisaron imágenes satelitales de las cuencas de Choapa y Quilimarí y a partir de ello, se hizo una selección preliminar de sectores favorables para la recarga de acuíferos en cada cuenca. El número de sectores identificados preliminarmente fue de 6 en cada cuenca.
- Se hizo un recorrido de terreno para validar o descartar los sectores seleccionados. Se observó en terreno que en la cuenca del río Choapa, los acuíferos son muy superficiales, con zonas de afloramiento en varios tramos del valle y que la presencia de los embalses (El Bato y Corrales), que otorgan seguridad al riego, ha significado que los cauces superficiales tengan caudal permanente y los acuíferos estén mucho menos explotados que en el caso de Quilimarí, donde el río está seco hace bastante tiempo, a pesar de la existencia del embalse Culimo, pues éste también lleva varios meses totalmente seco.
- Lo anterior permite afirmar que en el caso de Quilimarí, la recarga artificial aparece como un proceso que sería de gran utilidad, aun cuando no hay claridad de con qué recursos podría materializarse dicho proceso, ya que la cuenca es deficitaria y el embalse, aun en tiempos de abundancia, sólo ha vertido una decena de veces en sus 80 años de existencia.
- En el caso de la cuenca del río Choapa, la recarga artificial de acuíferos no tendrá tanta relevancia en términos de mejorar las condiciones de los acuíferos pues como fue señalado, estos se encuentran subexplotados y con niveles freáticos bastante superficiales. Además, el riego está respaldado por dos embalses, lo que le quita presión a los sistemas acuíferos como fuente de agua de riego. El hecho de presentarse niveles freáticos someros constituye una dificultad para el proceso de recarga, que puede incluso hacerlo inconveniente si las condiciones del acuífero son tales que por ejemplo, no es capaz de mantener las aguas infiltradas como flujo subterráneo y genera zonas de afloramiento en sectores vecinos.
- Como parte del estudio se realizó un catastro de captaciones de aguas subterráneas: enfocado principalmente a conocer la situación de los niveles freáticos.

- Se desarrollaron prospecciones geofísicas: para conocer profundidad del basamento, características estratigráficas y situación de niveles freáticos, por sectores dentro de cada cuenca.
- Se realizaron muestreos y análisis de calidad de aguas (superficiales y subterráneas): para conocer la situación tanto de las aguas que serían infiltradas, como de las aguas del acuífero o receptoras, de forma de verificar si las calidades son similares, si se produciría algún deterioro de la calidad de las napas, lo que podría requerir tratamiento previo a la infiltración o si se produciría un efecto positivo al mejorar la calidad de las aguas del acuífero. Los análisis realizados indican que las aguas superficiales y subterráneas en la cuenca del Choapa (ríos Choapa e Illapel) son similares, por lo que no se requeriría ningún tratamiento químico previo a la recarga. En el caso del Quilimarí, sólo se ha podido muestrear y analizar la calidad de las aguas subterráneas, pues el río está seco.
- Se realizó un análisis de los aspectos técnicos y legales relacionados con la recarga artificial de acuíferos en el país.
- Se ejecutó una serie de actividades de terreno y de gabinete tendientes a lograr una caracterización hidrogeológica detallada de las cuencas de los ríos Choapa y Quilimarí, con énfasis en los sectores favorables para la recarga de acuíferos que fueron identificados previamente.
- Las actividades señaladas incluyeron la excavación de 15 pozos someros distribuidos en ambas cuencas (10 en Choapa y 5 en Quilimarí), la toma de muestras de material y análisis granulométrico de las mismas, para efectos de determinar el contenido de finos, la realización de pruebas de infiltración en los pozos excavados y pruebas de agotamiento en reemplazo de las anteriores, en los casos en que la napa se encontró muy superficial (4 de 15 pozos), recopilación de información de la red de control de niveles de la DGA en ambas cuencas y recopilación de información de pruebas de bombeo en pozos de Agua Potable existentes en la zona, para determinar coeficientes de permeabilidad.
- Se modeló los sistemas hídricos y se determinó la disponibilidad de recursos superficiales para diferentes condiciones hidrológicas (50% y 85%) en cada cuenca. Adicionalmente, se priorizó los sectores a partir de sus condiciones hidrogeológicas (permeabilidad, profundidad de niveles freáticos o capacidad para recibir recarga y respuesta de los sectores frente a la recarga, es decir, si mantiene el flujo como subterráneo o genera afloramientos).
- La priorización de sectores de acuerdo a las variables consideradas en la modelación, se cruzó con la definición de sectores geomorfológicamente favorables, de forma de

conocer cuáles de dichos sectores presentan mayor potencial para proyectos de recarga artificial de acuíferos.

- Se generó un ranking de sectores hidrogeológicos y sus correspondientes sectores favorables para proyectos, lo que entregó los resultados que a continuación se indica.
- En Choapa, los 3 sectores con mayor potencial hidrogeológico corresponden a:
 - CH-4, Río Choapa (Panguecillo) - Sector Acuífero 8
 - CH-3, Río Chalinga – Sector Acuífero 13 y
 - CH-5, Estero Camisas – Sector Acuífero 14.
- En Quilimarí, los 3 sectores con mayor potencial hidrogeológico corresponden a:
 - Q-5, Guangualí - Sector Acuífero 8
 - Q-6, Aguas abajo de Guangualí - Sector Acuífero 9 y
 - Q-7, Quilimarí – Sector Acuífero 12.
- Para los sectores señalados, se elaboraron planos que corresponden a Mapas de Zonas de Interés, donde se presenta una vista en planta y perfiles logitudinal y transversales de los sectores, los que se complementan con información de la caracterización hidrogeológica y de la modelación.
- Al analizar los resultados de la modelación, específicamente en cuanto a disponibilidad de aguas superficiales para recarga artificial de acuíferos, se observa que en el caso de la cuenca del río Choapa, los recursos disponibles para la condición 85% permitirían abastecer uno o más proyectos de recarga artificial, a diferencia de lo que se observa en la cuenca del río Quilimarí, donde los recursos disponibles son prácticamente inexistentes, tanto para 85% como para 50% de probabilidad de excedencia.
- Lo anterior confirma lo observado en terreno en cuanto a que la recarga artificial de acuíferos aparece como necesaria en Quilimarí, pero no se tiene condiciones favorables ni hidrogeológicas ni de disponibilidad de aguas, esto ya que el acuífero no es una unidad continua sino que corresponde a pequeños subsistemas independientes producto de los angostamientos y afloramientos rocosos que se observa a lo largo del valle y los caudales superficiales son prácticamente nulos.
- En la cuenca del río Choapa en tanto, a pesar de que se observó agua superficial en los cauces y canales, aun tratándose de un año seco, los recursos superficiales disponibles no son tan cuantiosos como podría pensarse, principalmente debido a la regulación de los embalses existentes (El Bato y Corrales). Sin embargo, la condición de las napas da cuenta de niveles freáticos muy superficiales, entre 1 y 5 m, lo que significaría que en este momento no sería necesario recargar las napas e incluso dicha condición de niveles representa una limitación para dicho proceso.

- Considerando el objetivo de identificar sectores con potencial para recarga artificial, para elaborar posteriormente los Términos de Referencia de un proyecto piloto, se puede afirmar que para las condiciones actuales,

El valle del río Quilimarí se caracteriza por:

- Deficitario en recursos hídricos,
- Los escasos recursos disponibles se usan principalmente en riego, lo que dificulta buscar recursos para recarga que actualmente estén destinados a otros usos.
- Sistema acuífero disgregado en pequeños subsistemas, lo que haría menos eficiente la recarga, ya que se mantendría sólo por un corto tramo antes de aflorar.
- Pocas perspectivas de elaborar algún proyecto rentable, dado que se requerirían altas inversiones para generar retornos limitados por los pequeños caudales que se podrá aprovechar.

El valle del río Choapa se caracteriza por:

- Disponibilidad de recursos hídricos superficiales sobrantes en invierno,
- Los recursos disponibles se usan principalmente en riego, pero también son usuarios relevantes la minería y el agua potable, lo que permitiría buscar recursos para recarga que actualmente estén destinados a otros usos.
- Sistema acuífero integrado en grandes unidades, lo que ayuda a que los caudales infiltrados se mantengan en el acuífero. Sin embargo, la condición de niveles superficiales atenta contra ese objetivo.
- Las condiciones hidrogeológicas observadas en algunos sectores permiten tener perspectivas de elaborar proyectos rentables, pues los caudales disponibles permitirían obtener beneficios tangibles del proceso de recarga.
- Se realizó una evaluación técnico económica para dos proyectos, con diferentes tipos de obras, en la cuenca del río Choapa; zanjas de infiltración en el río Chalinga y piscinas de infiltración en el río Choapa, obteniéndose en ambos casos indicadores de rentabilidad, privada y social, negativos.
- Según lo planteado en los objetivos del estudio, se desarrollaron las Especificaciones Técnicas para la implementación de un proyecto piloto, el que de acuerdo a los resultados obtenidos, debe ubicarse en el sector Panguecillo del río Choapa y estar constituido por una piscina de infiltración más sus obras anexas.

Santiago, Diciembre de 2012.