



“MEJORAMIENTO DE AGUA SUBTERRÁNEA PARA RIEGO LIGUA Y PETORCA”

RESUMEN EJECUTIVO

SANTIAGO, ENERO DE 2013



Comisión Nacional de Riego

“MEJORAMIENTO DE AGUA SUBTERRÁNEA PARA RIEGO LIGUA Y PETORCA”

RESUMEN EJECUTIVO

SANTIAGO, ENERO DE 2013

Estudio Elaborado por:

GCF INGENIEROS LTDA.

Dir.: Fidel Oteiza 1971, Of. 701, PROVIDENCIA – SANTIAGO

Fonos: 02-22097179 – e-mail: gcabrera@entelchile.net

ÍNDICE

	Pág.
1 OBJETIVOS.....	1
2 RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES	1
3 SELECCIÓN PRELIMINAR DE SECTORES FAVORABLES PARA LA RECARGA	1
4 BALANCE HÍDRICO PRELIMINAR	2
4.1 Balance Hídrico a Nivel de Cuencas	2
4.2 Balance Hídrico Subterráneo a través del Tiempo	2
5 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA	5
6 SITUACIÓN ACTUAL DEL RIEGO	10
6.1 Clima.....	10
6.1.1 Caracterización Agroclimática	10
6.1.2 Adaptabilidad de los Cultivos.....	11
6.2 Derechos de Aguas Superficiales en Cuencas de Ligua y Petorca	12
6.3 Uso Actual del Suelo	13
6.4 Demandas de Agua para Uso Agrícola	13
7 PRIORIZACIÓN DE SECTORES PARA RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS ..	15
7.1 Balances, Disponibilidad y Priorización de Sectores	15
7.2 Caracterización Hidrogeológica de los Sectores de Interés.....	18
7.2.1 Determinación de Volúmenes de Almacenamiento	18
7.2.2 Sectores Río Ligua	19
7.2.3 Sectores Río Petorca	20
8 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE RECARGA Y ALMACENAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	20
8.1 Resumen de Sitios Seleccionados y Tipo de Obras	20
8.2 Evaluación Preliminar de los Proyectos Seleccionados.....	21
8.2.1 Caudales Disponibles por Mes y Sector	21
8.2.2 Coeficientes de Permeabilidad en Sitios Seleccionados.....	21
8.2.3 Criterios para el Dimensionamiento Preliminar de las Obras	21
9 MODELACIÓN DE ALTERNATIVAS	24
9.1 Disponibilidad Hídrica Superficial	24
9.2 Receptividad Acuífera	24
10 DISPONIBILIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES PARA RECARGA	25
11 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS A DESARROLLAR	28
12 ANÁLISIS AMBIENTAL.....	28
13 ESTUDIO DE SUELOS.....	29
14 USO ACTUAL DEL SUELO	29
15 ESTUDIO DE MERCADOS COMERCIALIZACIÓN Y PRECIOS	29
15.1 Mercados Situación Actual	29
15.2 Estudio General de Mercados	30
15.2.1 Análisis por Producto.....	30
15.2.2 Determinación de Precios.....	30
16 DIAGNÓSTICO SITUACIÓN ACTUAL.....	30
16.1 Sectorización.....	30
16.2 Estratificación	31
16.3 Encuesta Agropecuaria	32

16.4	Determinación y Estudio de Predios Promedio.....	32
16.5	Superficies	32
16.6	Uso del Suelo.....	32
17	SITUACIÓN AGROPECUARIA FUTURA O CON PROYECTO	32
17.1	Criterios de Desarrollo.....	32
17.2	Uso del Suelo.....	32
18	DETERMINACIÓN DE FLUJOS AGRONÓMICOS	32
19	DISEÑO PRELIMINAR DE LAS OBRAS DE RECARGA	33
19.1	Topografía.....	33
19.2	Diseño Preliminar	33
19.3	Interferencias Con Obras Existentes	34
19.4	Expropiaciones o Servidumbres De Paso	35
20	PRESUPUESTOS Y COSTOS DE OPERACIÓN	35
21	EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	36
22	ASPECTOS LEGALES PARA LA MATERIALIZACIÓN DE PROYECTOS DE RECARGA ARTIFICIAL	37
22.1	Código de Aguas.....	37
22.2	Reglamento del Código de Aguas	38
22.3	Consideraciones relacionadas con el otorgamiento y el ejercicio del derecho.....	39
22.4	Mecanismos Jurídicos para la Operación de los Proyectos.....	39
23	DISEÑO DE PROGRAMA DE INSTALACIÓN DE EQUIPOS DE MEDICIÓN DE CAUDAL Y OTROS PARÁMETROS.....	41
23.1	Monitoreo de Aguas Subterráneas	41
23.2	Monitoreo de Aguas Superficiales	42
23.3	Monitoreo Meteorológico	42
23.4	Estimación de Costos de Equipos de Medición	42
24	CONCLUSIONES Y COMENTARIOS.....	42

1 OBJETIVOS

Objetivo General:

- Analizar alternativas y desarrollar, a nivel de prefactibilidad, obras de recarga artificial, en las cuencas de Ligua y Petorca, para su uso en riego, proponiendo obras que permitan la utilización óptima del recurso superficial y subterráneo.

Objetivos Específicos:

- Complementar estudios hidrogeológicos para las cuencas de Ligua y Petorca.
- Determinar la calidad de las aguas de las cuencas de Ligua y Petorca.
- Determinar las zonas de recarga en las cuencas de Ligua y Petorca.
- Visualizar zonas donde sería posible el cierre del acuífero, con una pared subterránea, para desarrollar embalses subterráneos artificiales.
- Desarrollar a nivel de prefactibilidad los diseños de obras para la recarga artificial de acuíferos, considerando la medición del caudal a recargar.
- Modelar el sistema con las alternativas
- Evaluar económicamente las alternativas desarrolladas.
- Desarrollar un programa para la medición de caudales en los pozos existentes.

2 RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES

Se recopiló información disponible para las cuencas de La Ligua y Petorca, contenida en estudios realizados previamente en la zona por diversas instituciones (DGA, DOH, CNR, etc.). La información recopilada incluyó antecedentes hidrológicos, hidrogeológicos, de demandas de agua y de calidad de aguas.

3 SELECCIÓN PRELIMINAR DE SECTORES FAVORABLES PARA LA RECARGA

Para definir, en forma preliminar, los sitios en que se podría implementar proyectos de recarga artificial, se identificó, sobre las imágenes satelitales (Google Earth), áreas vecinas al lecho de los cauces (Ligua, Petorca y afluentes) donde se observase espacio disponible como para construir obras de recarga superficial de acuíferos. El total de sitios identificados fue de 19 (12 en Ligua y 7 en Petorca).

En Diciembre de 2011 se recorrió ambas cuencas para verificar si los sectores definidos preliminarmente eran adecuados para los fines de la Consultoría. Pudo verificarse que en general, los sectores en los lechos de los cauces elegidos presentan suficiente amplitud para que en ellos puedan construirse espigones o piscinas de infiltración, que son algunas de las alternativas contempladas de obras para recarga artificial.

4 BALANCE HÍDRICO PRELIMINAR

4.1 Balance Hídrico a Nivel de Cuencas

En este capítulo se presentan balances hídricos para los ríos Ligua y Petorca, calculados con los datos obtenidos de los modelos hidrogeológicos del estudio de la referencia¹ (MH0) y el modelo de operación de sistema² (MOS).

Los resultados presentados constituyen una aproximación inicial, dado que más adelante se desarrollan modelos subterráneos (MH1) y superficiales (MS1) integrados, que permiten cuantificar los balances con un mayor respaldo metodológico y operacional.

En la Figura 4-1 se presenta el balance para la situación actual en los acuíferos. En la Figura 4-2 se muestran los resultados para los períodos históricos de MH0 y MOS

Los balances muestran que existe un volumen de agua superficial importante, en ambas cuencas, que actualmente no es aprovechado. Ello ocurre debido a que los períodos de crecidas en los ríos no coinciden con los meses de riego.

De lo anterior, se puede concluir que existe disponibilidad superficial para ser usada en recarga artificial.

4.2 Balance Hídrico Subterráneo a través del Tiempo

En la Tabla 4-1 se presentan los caudales promedios, representativos del período 1950-2010.

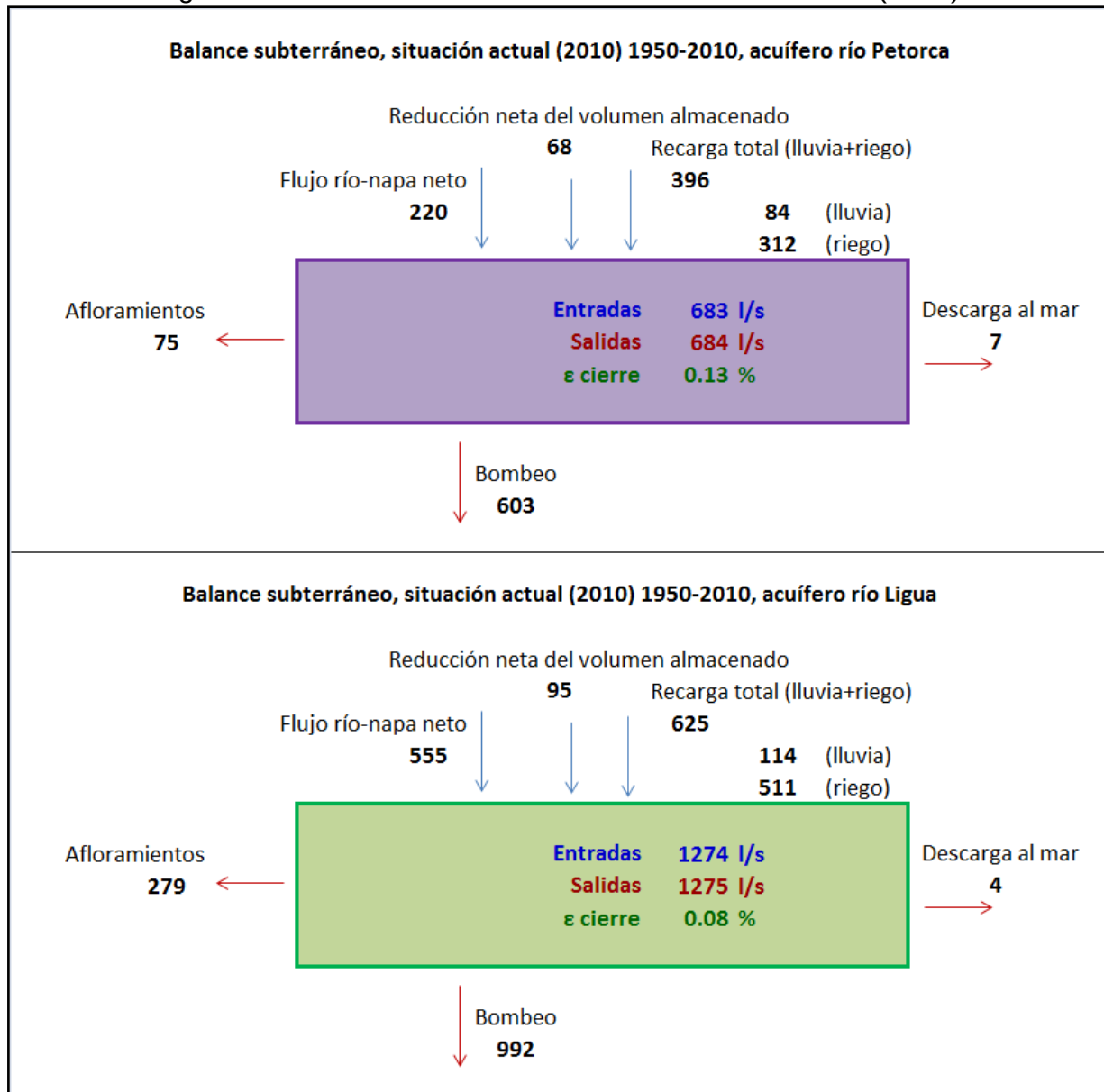
Tabla 4-1
Balance hídrico, caudales promedio período 1950-2010 [l/s]

Entradas	Petorca	Ligua
Río-napa neto	37.0	239.3
Recarga total	339.6	530.7
Reducción neta del volumen almacenado	21.0	27.0
Total entradas	397.5	797.0
Salidas	Petorca	Ligua
Descarga al mar	8.0	7.0
Afloramientos	212.3	480.4
Bombeo	177.2	309.6
Total salidas	397.5	797.0

¹ Estudio diagnóstico de los recursos subterráneos en el sistema hídrico Ligua y Petorca. CNR-GCF, 2011.

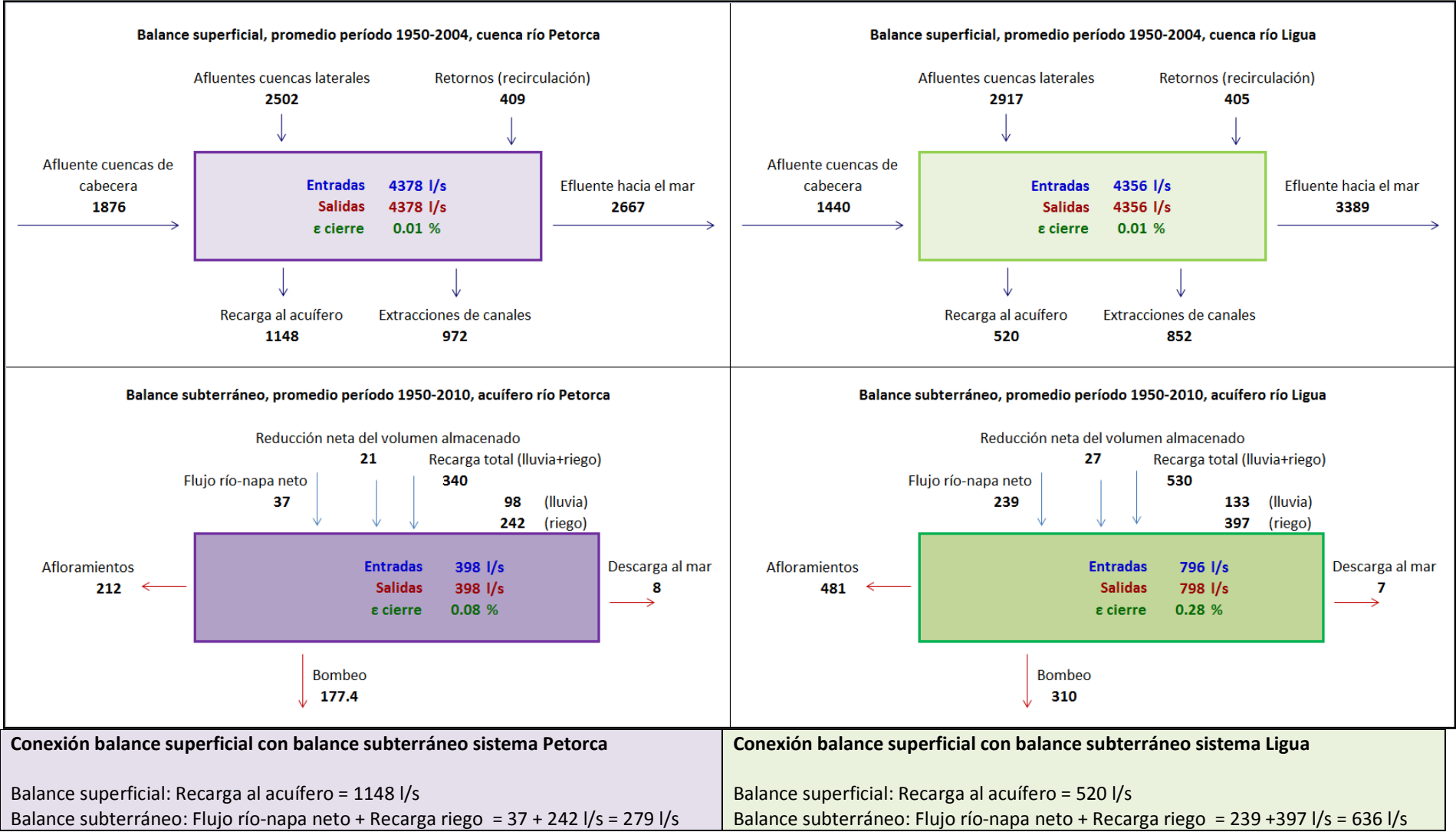
² Estudio Modelación integral de recursos hídricos de los valles de los ríos la Ligua y Petorca. DOH-P. Isensee, 2004.

Figura 4-1. Balance hídrico subterráneo situación actual (2010)



Fuente: Resultados de modelo de flujo subterráneo incluido en: Estudio diagnóstico de los recursos subterráneos en el sistema hídrico Ligua y Petorca. GCF para CNR, 2011.

Figura 4-2. Balances subterráneo y superficial, período histórico



Fuente: Resultados de modelo de flujo subterráneo incluido en: Estudio diagnóstico de los recursos subterráneos en el sistema hídrico Ligua y Petorca. GCF para CNR, 2011.

Fuente: Elaboración propia; cálculos realizados con datos a nivel mensual de salida del modelo de operación del sistema (MOS), incluido en: Estudio Modelación integral de los recursos hídricos de los valles de los ríos la Ligua y Petorca. Elaborado por P. Isensee para la Dirección de Obras Hidráulicas en 2004.

5 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

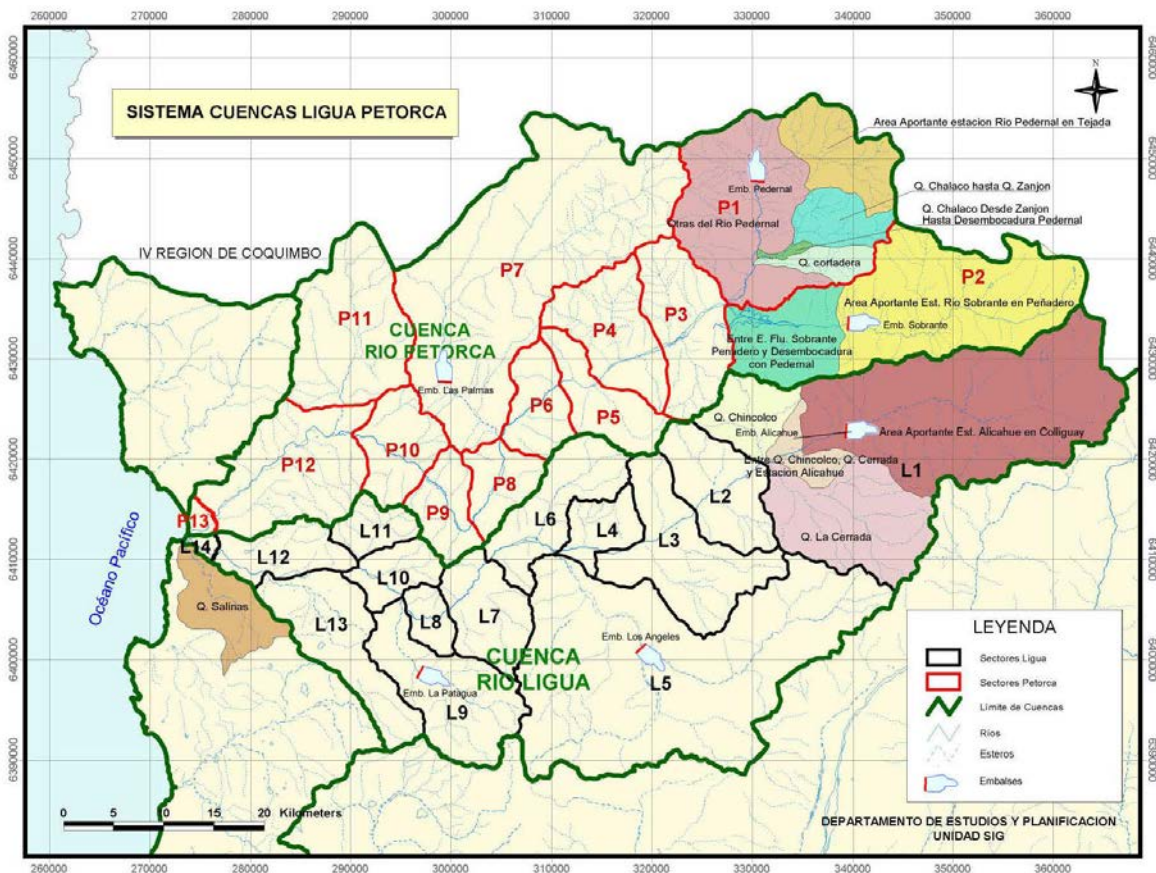
Se desarrolló una caracterización hidrogeológica, a partir de los antecedentes de estudios previos y de una serie de actividades de terreno, que incluyeron:

- Un catastro de captaciones subterráneas en ambos valles, con más de 2000 captaciones catastradas para caracterizar el uso actual de las aguas subterráneas.
- Pruebas de bombeo (4 en cada valle) para complementar la información de parámetros de los acuíferos, por sectores.
- Estudio Geofísico (gravimetría, TEMs) en ambos valles, para complementar la información geofísica disponible.

También se caracterizó la demanda y se recopiló la información de derechos de aguas subterráneas, enfocado a la implementación de un modelo de simulación hidrogeológica.

La sectorización utilizada es la que se presenta en la Figura 5-1 siguiente.

Figura 5-1
Sectorización Cuencas de Petorca y Ligua



Para conocer el uso actual del agua subterránea en el área de ambas cuencas, se efectuó un catastro. En las Tablas 5-1 y 5-2 se presenta la información resumida del catastro. A

partir de esa información, se generaron las curvas equipotenciales que posteriormente se utilizaron para definir las condiciones de borde en el Modelo Hidrogeológico.

Respecto a los niveles medidos en norias del valle del río Petorca, éstos se encuentran en promedio en torno a los 6 m de profundidad. En captaciones tipo pozo profundo, llegan incluso hasta 57 m bajo el nivel de terreno.

Para las norias del valle del río Ligua, en promedio el nivel del agua subterránea se encuentra entre 7 y 8 m bajo el nivel de terreno. En pozos, se ha medido en algunas captaciones hasta a los 34 m de profundidad.

En cuanto a afloramientos de napa a lo largo de ambos valles, no se detectaron puntos donde se observaran recuperaciones de agua del río o afloramientos. Aunque en épocas anteriores éstos efectivamente existían, en la actualidad no aparecen, debido en gran medida a la situación de escasez hídrica y a la intensa explotación a que están siendo sometidos los acuíferos, por el incremento en las áreas de cultivo.

En las Figuras 5-2 y 5-3 se muestran, respectivamente los valores de permeabilidad y almacenamiento determinados.

Figura 5-2. Permeabilidades calculadas con datos de pruebas de bombeo

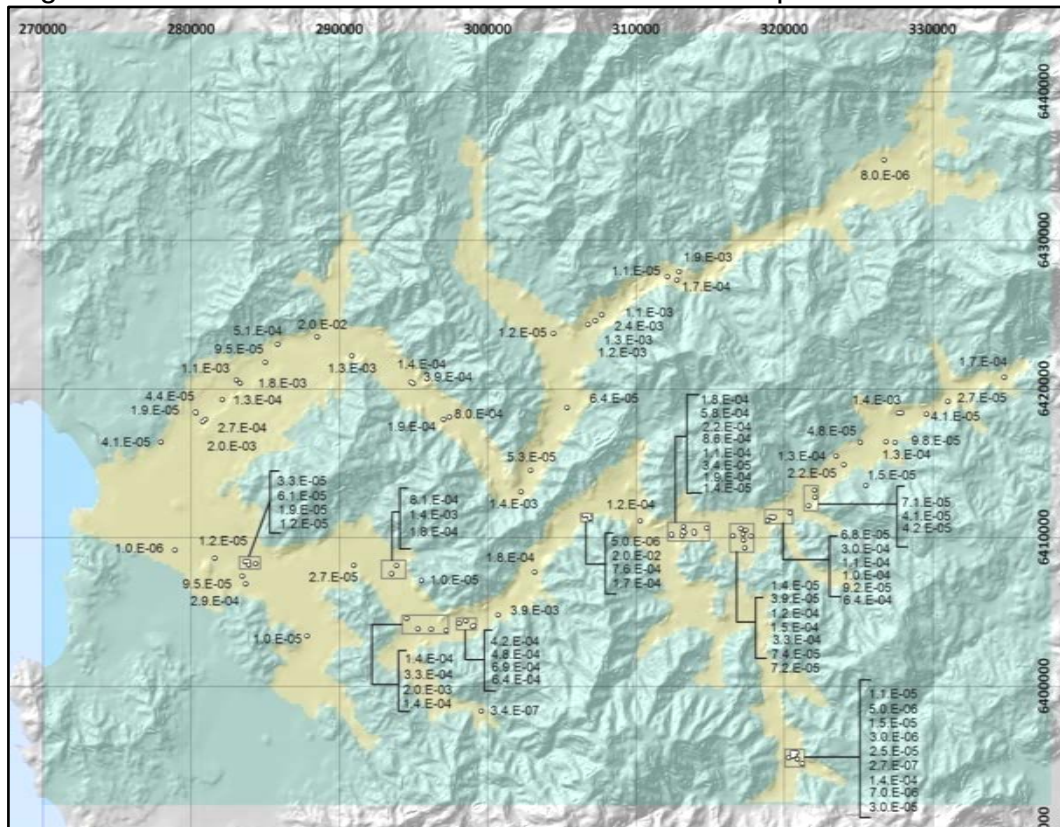


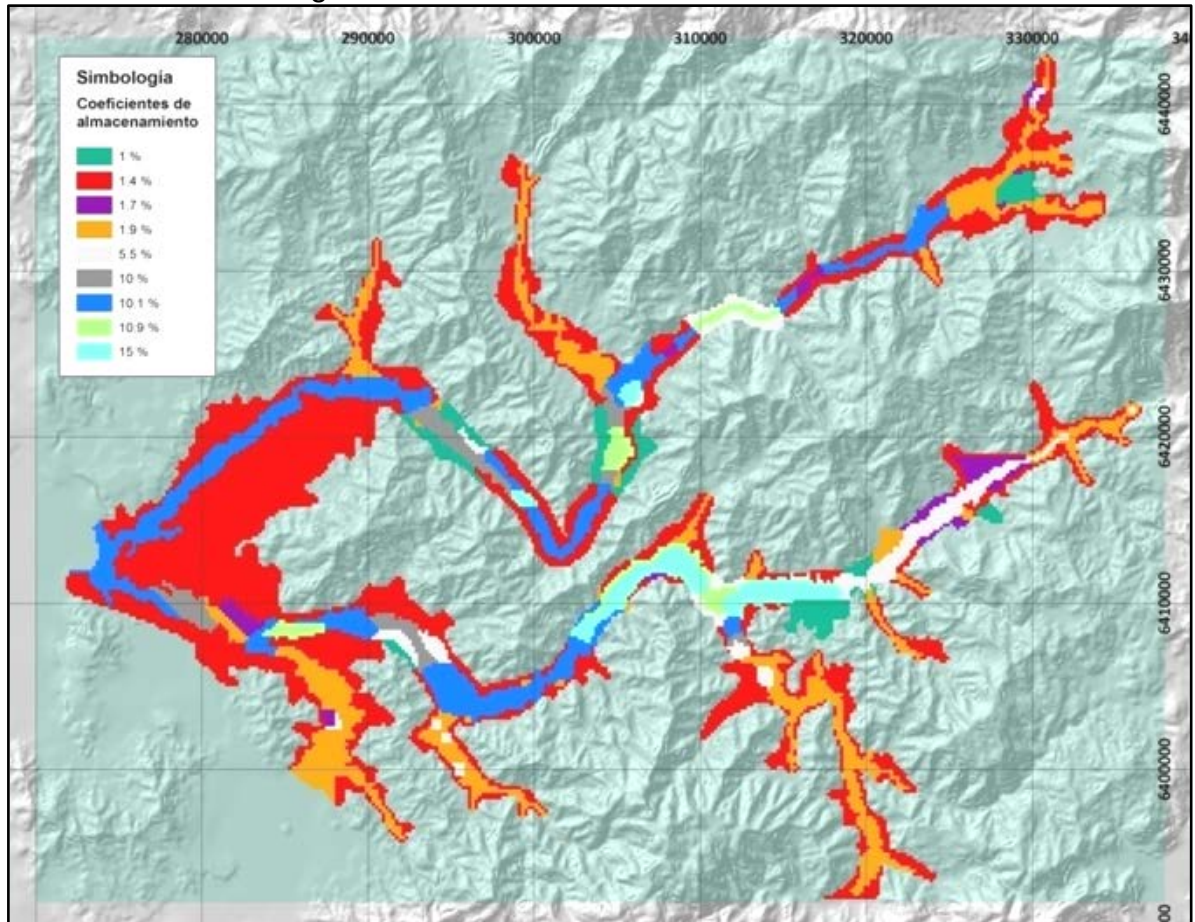
TABLA 5-1
RESUMEN CATASTRO DE CAPTACIONES RÍO PETORCA

Descripción	Pozos		Norias		Drenes		Punteras		Otros		Total	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
Nº Total de Captaciones	115	10	854	75	53	5	35	3	75	7	1128	100,0
Captaciones en Uso												
Riego	76	66	678	79	42	79	24	68	68	90	886	78,4
Potable	16	14	46	6	8	15	1	3	0	0	69	6,3
Industrial	3	3	3	0,4	0	0	0	0	1	2	7	0,6
Riego - Potable	0	0	1	0,2	0	0	0	0	0	0	1	0,1
Otro	0	0	3	0,4	0	0	0	0	0	0	3	0,3
Sin Información	6	5	51	6	2	4	0	0	3	4	62	5,5
Captaciones Sin Uso, Abandonados, Sin Información o No Encontrados												
Sin Uso o Abandonados	14	12	72	9	1	2	10	29	3	4	100	8,8

TABLA 5-2
RESUMEN CATASTRO DE CAPTACIONES RÍO LIGUA

Descripción	Pozos		Norias		Drenes		Punteras		Otros		Total	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
Nº Total de Captaciones	149	16	568	62	15	2	151	17	28	3	911	100,0%
Captaciones en Uso												
Riego	92	62	399	70	9	60	130	86	22	79	652	71,6
Potable	15	10	44	8	1	7	1	1	0	0	61	6,7
Industrial	1	0,7	2	0	0	0	0	0	0	0	3	0,3
Riego - Potable	2	1,3	5	1	0	0	0	0	0	0	7	0,8
Potable - Otro	2	1,3	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0,2
Otro	1	0,7	0	0	0	0	2	1	0	0	3	0,3
Sin Información	4	3	37	7	2	13	0	0	3	11	46	5,0
Captaciones Sin Uso, Abandonados, Sin Información o No Encontrados												
Sin Uso o Abandonados	32	21	81	14	3	20	18	12	3	11	137	15,1

Figura 5-3. Coeficientes de almacenamiento



A partir de los niveles y de parámetros hidrogeológicos, se determinó el flujo potencial que pasa por distintas secciones de escurrimiento. Aplicando la Ley de Darcy se obtuvo los caudales subterráneos pasantes por 11 secciones transversales de los cauces (5 en el Petorca y 6 en el Ligua). Estos flujos van de entre unos pocos l/s hasta más de 1 m³/s en las distintas secciones de los cauces de ambos valles.

En la Tabla 5-3 se muestran los caudales subterráneos potenciales determinados a partir de Darcy.

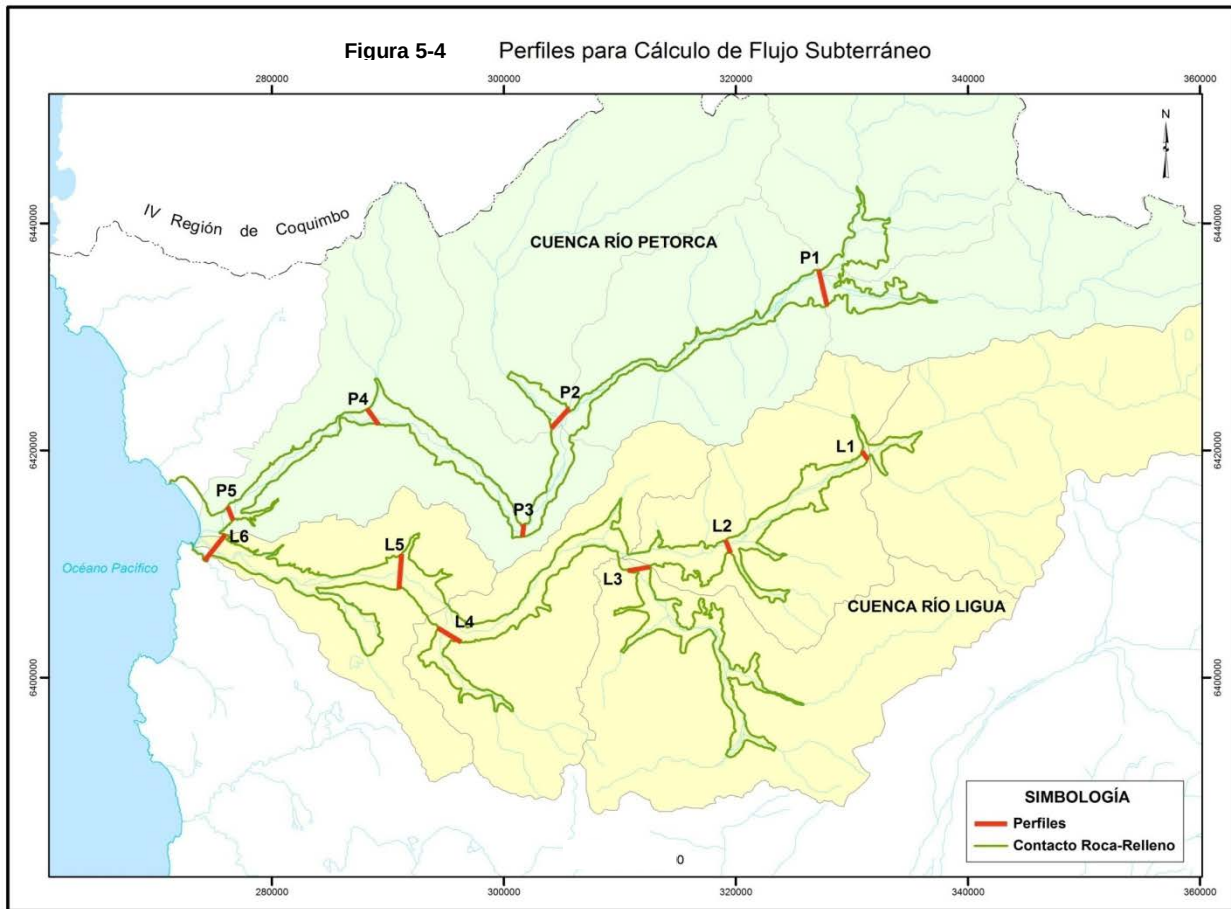


TABLA 5-3
FLUJOS SUBTERRÁNEOS PASANTES

PUNTO	K	Área Escorrimento	Pendiente	Q_{Darcy}	Q_{MOS}
	(m/s)	(m ²)	(°/1)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
L1	2,70E-05	153.450	0,023	0,096	0,000
L2	1,14E-04	182.878	0,022	0,457	0,030
L3	7,13E-05	220.049	0,011	0,180	0,317
L4	3,28E-04	264.320	0,016	1,351	0,236
L5	7,72E-04	360.360	0,007	2,078	0,239
L6	9,20E-07	496.400	0,002	0,001	0,214
P1	8,00E-06	615.600	0,027	0,131	0,000
P2	1,30E-05	312.543	0,016	0,064	0,346
P3	3,48E-04	101.338	0,010	0,355	0,442
P4	8,95E-04	130.975	0,016	1,909	0,633
P5	4,10E-05	28.703	0,002	0,002	0,789

Tal como se observa, en algunos casos los caudales pasantes potenciales determinados de la relación de Darcy, son menores que los calculados por el modelo. Esto se debe a que el MOS utilizó valores de permeabilidad mayores a los empleados con Darcy, del

orden de 10^{-3} a 10^{-4} m/s en ambas cuencas. En cambio, como se aprecia en la tabla, para estimar los caudales pasantes se utilizaron valores de K que incluso llegan a 10^{-7} m/s.

Respecto a calidad de aguas, al comparar los parámetros de las aguas superficiales y subterráneas se determinó que son de calidades similares y en general presentan buena aptitud para el riego y para uso en agua potable. Los elementos con mayor concentración son el Hierro y el Manganeseo, manejables con sistemas de filtro adecuados.

6 SITUACIÓN ACTUAL DEL RIEGO

6.1 Clima

6.1.1 Caracterización Agroclimática

El área específica de estudio está inserta en los Distritos Agroclimáticos 5.1, 54.3 y 65.1. Para una mayor comprensión del área indicada, se presenta en la Figura 6.1-1 el plano con los distritos agroclimáticos definidos por Fernando Santibáñez, 1993.

Figura 6.1-1: Plano Agroclimático

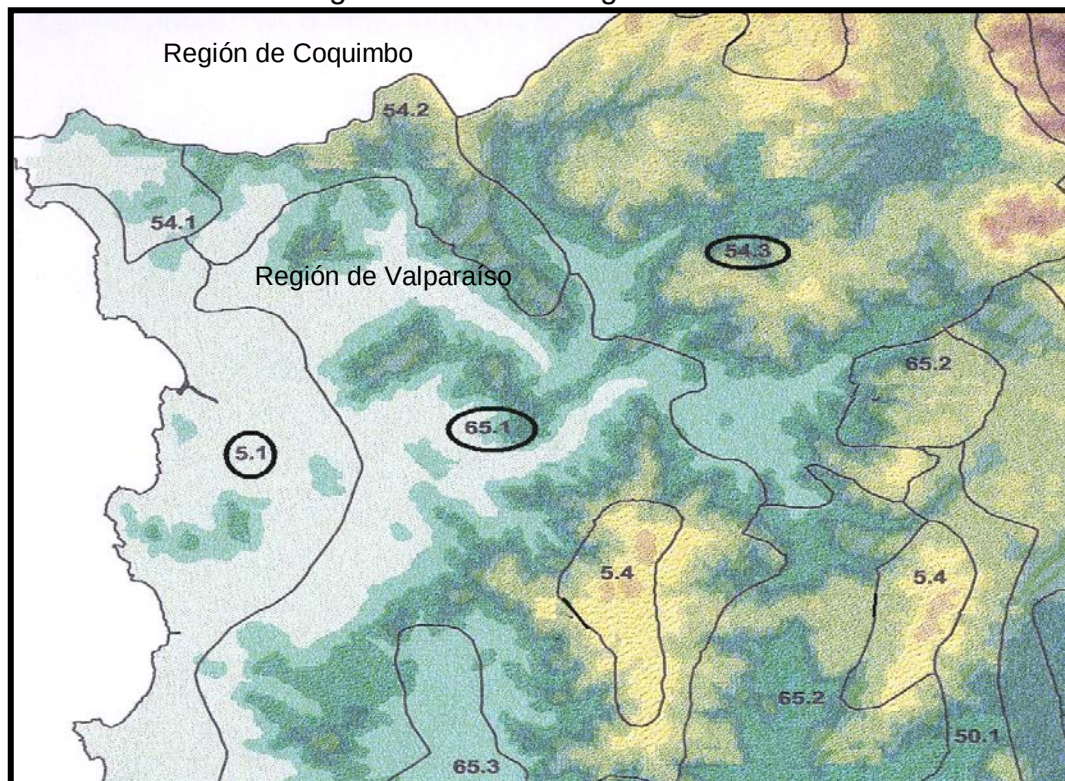


Tabla 6.1-1
Características Climáticas del Distrito 5.1

Parámetro	Unidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
T. Max	°C	23,5	22,9	21,4	19,3	17,3	15,8	15,2	15,3	16,6	18,7	21,0	22,8	19,2
T. Min	°C	12,9	12,6	11,6	10,4	9,1	8,2	7,9	7,8	8,5	9,7	11,2	12,4	10,2
T. Med	°C	17,4	17,0	15,8	14,2	12,6	11,5	11,0	11,0	12,0	13,6	15,4	16,8	14,0
Suma T.	D.G.	237	223	186	135	88	65	58	58	76	113	172	219	1.630
Hrs. Frío	Horas	0	0	0	1	11	33	45	48	24	4	0	0	166
R. Solar	Ly/día	529	505	438	347	257	190	166	190	257	348	438	505	348
H. Relat.	%	80	81	83	85	88	89	90	89	87	84	82	81	85
Precipit.	mm	5	5,3	8,1	19,1	65,8	78,2	65,4	54,8	23,7	14,1	8,5	6	354,0
Evap. Pot.	mm	151,0	142,4	119,0	87,0	55,0	31,6	23,0	31,6	55,0	87,0	119,0	142,4	1.044,0
Def. Hidr.	mm	-150,4	-141,2	-114,1	-69,9	0,0	0,0	0,0	0,0	-32,2	-75,0	-113,8	-140,4	-837,0
Exd. Hidr.	mm	0,0	0,0	0,0	0,0	13,1	56,4	51,4	28,2	0,0	0,0	0,0	0,0	149,0
Ind. Humed.	pp/etp	0,03	0,04	0,07	0,22	1,20	2,48	2,85	1,74	0,43	0,16	0,07	0,04	0,03
Heladas A	días	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: Atlas Agroclimático de Chile de la Universidad de Chile (Fernando Santibáñez), 1993.

Tabla 6.1-2
Características Climáticas del Distrito 54.3

Parámetro	Unidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
T. Max	°C	28,2	27,4	25,2	22,2	19,3	17,1	16,3	16,7	18,6	21,6	24,8	27,3	22,1
T. Min	°C	11,2	10,8	9,5	7,9	6,2	5,0	4,6	4,6	5,6	7,2	9,1	10,6	7,7
T. Med	°C	18,8	18,2	16,6	14,4	12,2	10,6	10,0	10,1	11,5	13,8	16,2	18,1	14,2
Suma T.	D.G.	270	252	208	138	90	64	56	59	80	123	192	248	1.780
Hrs. Frío	Horas	0	0	3	23	81	181	228	222	112	38	6	0	895
R. Solar	Ly/día	610	583	507	405	302	227	200	227	303	405	506	583	405
H. Relat.	%	61	62	64	66	69	70	71	70	68	65	63	62	66
Precipit.	mm	3,7	3,9	6	14,2	48,9	58,1	48,6	40,7	17,6	10,5	6,3	4,5	263,0
Evap. Pot.	mm	184,0	173,8	146,0	108,0	70,0	42,2	32,0	42,2	70,0	108,0	146,0	173,8	1.296,0
Def. Hidr.	mm	-183,6	-173,0	-142,5	-95,5	-21,5	0,0	0,0	-1,4	-53,3	-99,3	-142,3	-172,5	-1.085,0
Exd. Hidr.	mm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	24,4	25,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,0
Ind. Humed.	pp/etp	0,02	0,02	0,04	0,13	0,70	1,38	1,52	0,97	0,25	0,10	0,04	0,03	0,20
Heladas A	días	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	1,7	2,4	2,4	1,0	0,0	0,0	0,0	8,0

Fuente: Atlas Agroclimático de Chile de la Universidad de Chile (Fernando Santibáñez), 1993.

Tabla 6.1-3
Características Climáticas del Distrito 65.1

Parámetro	Unidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
T. Max	°C	27,4	26,5	24,2	20,9	17,7	15,4	14,5	14,9	17,1	20,3	23,7	26,4	20,8
T. Min	°C	11,6	11,2	10,2	8,8	7,5	6,5	6,1	6,0	6,8	8,2	9,8	11,1	8,7
T. Med	°C	18,6	18,0	16,4	14,2	12,0	10,4	9,8	10,0	11,4	13,6	16,0	17,9	14,0
Suma T.	D.G.	266	247	198	131	80	52	44	47	70	115	187	244	1.682
Hrs. Frío	Horas	0	0	1	12	51	119	160	160	82	24	3	0	612
R. Solar	Ly/día	577	550	475	373	272	197	170	197	272	374	475	550	374
H. Relat.	%	70	71	74	78	81	84	85	84	81	77	73	71	77
Precipit.	mm	6,3	6,7	10,3	24,1	83,1	98,7	82,6	69,2	29,9	17,9	10,7	7,6	447,0
Evap. Pot.	mm	174,0	164,0	136,7	99,5	62,2	35,0	25,0	35,0	62,3	99,5	136,8	164,0	1.194,0
Def. Hidr.	mm	-172,4	-161,7	-130,0	-77,5	0,0	0,0	0,0	0,0	-33,2	-83,9	-129,5	-160,8	-949,0
Exd. Hidr.	mm	0,0	0,0	0,0	0,0	23,9	72,9	66,0	39,2	0,0	0,0	0,0	0,0	202,0
Ind. Humed.	pp/etp	0,04	0,04	0,08	0,24	1,34	2,82	3,31	1,98	0,48	0,18	0,08	0,05	0,37
Heladas A	días	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0

Fuente: Atlas Agroclimático de Chile de la Universidad de Chile (Fernando Santibáñez), 1993.

6.1.2 Adaptabilidad de los Cultivos

De los parámetros agroclimáticos presentados, puede concluirse que son óptimos para una gran gama de cultivos, especialmente frutales de hoja persistente como limonero,

naranja y paltos; frutales de hoja caduca de bajos requerimientos de frío, tales como almendros, nogales, cerezos, vides viníferas, berries, duraznos, damascos, olivos, etc.

En cuanto a cultivos anuales y hortalizas, es posible aquí el cultivo de una amplia gama, tal como trigo, maíz, papa, porotos, melón, sandía, tomate, frutillas y tabaco, entre otros.

6.2 Derechos de Aguas Superficiales en Cuencas de Ligua y Petorca

En la Tabla 6.2-1 se presenta un resumen del estado de las solicitudes de derechos de aguas superficiales que han sido presentadas, asociadas a las cuencas de los ríos Ligua y Petorca, hasta Enero de 2012.

Tabla 6.2-1
Estado de las Solicitudes de Derechos de Agua Superficial

Cuenca	Total de Solicitudes de Derechos de Aguas Superficiales							
	A	D	DES	P-DARH	P-DARH-RR-OP	P-Legal	P-Reg	P-Reg-OP
La Ligua	48	10	23	8	3	0	4	2
Petorca	135	20	0	12	0	1	8	3

Donde:

A Aprobado
D Denegado
DES Desiste Solicitud
P-DARH Pendiente en DARH

P-DARH-RR-OP Pendiente en DARH con recurso de reconsideración
P-Legal Pendiente legalmente
P-REG Pendiente en Región
P-REG-OP Pendiente en Región

El análisis de las solicitudes de derecho de aprovechamiento eventual en cada cuenca ha entregado como resumen lo que se presenta en las Tablas 6.2-2 y 6.2-3 siguientes.

Tabla 6.2-2
Resumen Solicitudes de Derechos Eventuales Cuenca Río Petorca

Sit Actual Solicitud	Nº Solicitudes	Q total (l/s)	Fuente	Ubic Aprox.
A	1	317.1	Est. Las Palmas	Zona media baja Sector P7
P-REG	1	4.9	Río Petorca	Salida Sector P12
P-DARH	4	2,428.2	Ríos Sobrante, Pedernal y Río Petorca	Zona baja P2, salida P12, zona media P6 y zona baja P1
P-DARH	4	s/inf	Est Ossandon	Zona Media Sector P11
D	7	22,065.0	Río Petorca, Río Sobrante	Zona media Sector P3 y salida P2
TOTAL	17			

Tabla 6.2-3
Resumen Solicitudes de Derechos Eventuales Cuenca Río Ligua

Sit Actual Solicitud	Nº Solicitudes	Q total (l/s)	Fuente	Ubic Aprox.
A	6	1,153.0	Est. Los Ángeles, Est. Contunco	Zona media baja L5, zona alta L6
P-REG	2	550.0	Río Ligua, Est Los Ángeles	Zona alta L4, zona baja L5
P-DARH	9	5,020.8	Est. Contunco, Qdas lat.(*), río Ligua, est. Los Ángeles	Zona media L6, zona media L5, zona media L1, zona alta L3
D	3	1,609.8	Río Ligua, Est. Los Ángeles	Salida L12, Salida L1, zona baja L5
DES	20	3,131.3	Qdas. Laterales	Zona alta L6
TOTAL	40			

(*) Quebradas: Yerba Loca, Los Corrales, Las Islas, Chacrilla

Luego, para determinar la disponibilidad legal de aguas (derechos eventuales) que pudiese aprovecharse para recargar acuíferos, debiera considerarse en los balances los derechos eventuales ya constituidos y las solicitudes en trámite (P-REG y P-DARH).

6.3 Uso Actual del Suelo

La información más actualizada corresponde a la del Estudio de Factibilidad de Obras de Regulación para los Valles de Ligua y Petorca, de la DOH del año 2006. El uso actual del suelo para cada cuenca se resume en la Tabla 6.3-1 y se detalla en las 6.3-2 y 6.3-3.

Tabla 6.3-1
Resumen de Uso Actual de Suelo por Cuenca

Cuenca	Superficie		
	Riego	Secano	Total (incluye sup. no regable)
	(ha)	(ha)	(ha)
Petorca	4,345.8	16,126.3	25,679.3
Ligua	4,010.5	12,607.2	24,449.8
Total	8,356.3	28,733.5	50,129.1

6.4 Demandas de Agua para Uso Agrícola

A continuación, en las Tablas 6.4-1 y 6.4-2, se presentan las tasas de riego para cada cuenca, por sector y por mes.

Tabla 6.4-1
Tasas de Riego (l/s/ha) – Cuenca Río Petorca

Sector	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	PROM
P1	0.12	0.00	0.00	0.08	0.30	0.55	0.84	1.01	1.07	1.13	0.84	0.58	0.54
P2	0.31	0.00	0.00	0.08	0.68	1.18	1.72	2.01	2.13	2.23	1.67	1.18	1.10
P3	0.25	0.00	0.00	0.08	0.47	0.88	1.28	1.55	1.67	1.73	1.27	0.88	0.84
P4	0.06	0.00	0.00	0.09	0.16	0.34	0.58	0.76	0.80	0.83	0.60	0.39	0.38
P5	0.05	0.00	0.00	0.00	0.13	0.28	0.48	0.64	0.68	0.71	0.51	0.34	0.32
P6	0.05	0.00	0.00	0.00	0.13	0.27	0.46	0.61	0.65	0.68	0.49	0.32	0.31
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.24	0.43	0.58	0.62	0.65	0.46	0.28	0.28
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.27	0.51	0.70	0.75	0.78	0.55	0.31	0.33
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.24	0.44	0.57	0.58	0.60	0.43	0.24	0.26
P10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.31	0.52	0.67	0.69	0.71	0.49	0.28	0.31
P11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.22	0.38	0.51	0.56	0.58	0.42	0.25	0.25
P12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.60	0.86	0.99	0.90	0.91	0.61	0.35	0.45

Tabla 6.3-2
Uso Actual del Suelo Ajustado a 85% de Seguridad de Riego – Cuenca del Río Petorca

Sector	Superficies Bajo Cota Canal				Superficies Sobre Cota Canal				TOTALES			
	Riego	Secano	Sin Uso, No regable	SUBTOT 1	Riego	Secano	Sin Uso, No regable	SUBTOT 2	Riego	Secano	R + S	R+S+No Reg
	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)				
P1	24.6	79.2	316.6	420.4	133.6	457.2	546.9	1,137.6	158.1	536.4	694.5	1,558.1
P2	240.8	509.3		750.0	0.1	254.2	10.7	265.0	240.8	763.5	1,004.3	1,015.0
P3	312.3	559.9	195.9	1,068.1	37.9	579.1		617.0	350.2	1,139.0	1,489.2	1,685.1
P4	163.5	85.8	5.8	255.0	28.5	647.6	45.0	721.0	191.9	733.4	925.3	976.1
P5	56.9	5.9	0.1	63.0	157.6	65.4		223.0	214.5	71.4	285.9	286.0
P6				0.0	424.0		636.0	1,060.0	424.0	0.0	424.0	1,060.0
P7	101.6	419.2	18.2	539.0		6,448.0		6,448.0	101.6	6,867.2	6,968.8	6,987.0
P8	292.4	225.4	40.3	558.0	47.0	93.6	238.4	379.0	339.4	319.0	658.4	937.0
P9	239.3	8.7	74.0	322.0		191.0		191.0	239.3	199.7	439.0	513.0
P10	554.7	337.5	102.8	995.0	119.3	1,148.7		1,268.0	674.0	1,486.3	2,160.2	2,263.0
P11				0.0	125.4	696.2	680.4	1,502.0	125.4	696.2	821.6	1,502.0
P12	979.4	306.6	250.0	1,536.0	307.2	3,007.7	2,046.2	5,361.1	1,286.6	3,314.3	4,600.9	6,897.1
P13												
CUENCA	2,965.4	2,537.6	1,003.6	6,506.6	1,380.4	13,588.7	4,203.6	19,172.7	4,345.8	16,126.3	20,472.1	25,679.3

Tabla 6.3-3
Uso Actual del Suelo Ajustado a 85% de Seguridad de Riego – Cuenca del Río Petorca

Sector	Superficies Bajo Cota Canal				Superficies Sobre Cota Canal				TOTALES			
	Riego	Secano	Sin Uso, No regable	SUBTOT 1	Riego	Secano	Sin Uso, No regable	SUBTOT 2	Riego	Secano	R + S	R+S+No Reg
	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)				
L1	22.7	453.3		476.0			607.0	607.0	22.7	453.3	476.0	1,083.0
L2	684.6	215.6	14.8	915.0	24.0	452.2	981.9	1,458.0	708.5	667.8	1,376.3	2,373.0
L3	831.1	470.3	53.6	1,355.0		448.0		448.0	831.1	918.3	1,749.4	1,803.0
L4	583.7	43.4	140.0	767.0	16.2	84.7	543.1	644.0	599.9	128.1	727.9	1,411.0
L5	75.5	557.4	2.2	635.0	4.5	1,193.2	4,396.3	5,594.0	79.9	1,750.6	1,830.5	6,229.0
L6	275.0	85.8	41.9	402.7	118.7	2,226.6	3.7	2,349.0	393.6	2,312.4	2,706.1	2,751.7
L7	264.9	351.0	9.1	625.0	124.5	1,091.0	268.5	1,484.0	389.4	1,442.0	1,831.4	2,109.0
L8	122.6	328.8	11.7	463.0	106.8	367.2		474.0	229.4	695.9	925.3	937.0
L9	33.2	29.8		63.0	41.5	37.5		79.0	74.7	67.3	142.0	142.0
L10	43.2	1,033.2	36.7	1,113.0	18.9	622.2	40.0	681.0	62.0	1,655.4	1,717.4	1,794.0
L11	6.2	103.2	44.6	154.0	1.1	18.5	0.3	20.0	7.3	121.7	129.0	174.0
L12	564.5	745.6	108.0	1,418.0			410.0	410.0	564.5	745.6	1,310.0	1,828.0
L13	28.0	610.5	33.6	672.0	19.4	1,038.4	85.1	1,143.0	47.4	1,648.9	1,696.3	1,815.0
L14				0.0				0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CUENCA	3,535.0	5,027.7	496.1	9,058.8	475.5	7,579.5	7,336.0	15,391.0	4,010.5	12,607.2	16,617.7	24,449.8

Tabla 6.4-2
Tasas de Riego (l/s/ha) – Cuenca Río Ligua

Sector	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	PROM
L1	0.32	0.00	0.00	0.08	0.49	0.98	1.41	1.82	2.03	2.13	1.52	1.01	0.98
L2	0.06	0.00	0.00	0.00	0.17	0.39	0.61	0.78	0.82	0.86	0.62	0.41	0.39
L3	0.09	0.00	0.00	0.00	0.21	0.56	0.82	0.99	1.00	1.00	0.68	0.43	0.48
L4	0.09	0.00	0.00	0.00	0.20	0.50	0.73	0.86	0.91	0.91	0.67	0.42	0.44
L5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.37	0.65	0.85	0.90	0.89	0.62	0.36	0.40
L6	0.09	0.00	0.00	0.00	0.12	0.32	0.56	0.73	0.78	0.81	0.57	0.35	0.36
L7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.26	0.49	0.66	0.71	0.73	0.52	0.30	0.31
L8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.53	0.66	0.70	0.75	0.78	0.55	0.32	0.37
L9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.36	0.68	0.92	0.98	0.94	0.68	0.36	0.42
L10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.42	0.70	0.80	0.78	0.81	0.57	0.33	0.38
L11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	0.70	1.05	1.34	1.47	1.52	1.11	0.69	0.68
L12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.59	0.96	1.22	1.29	1.33	0.94	0.57	0.59
L13	0.01	0.00	0.00	0.00	0.24	0.60	0.89	1.06	1.12	1.16	0.85	0.54	0.54

7 PRIORIZACIÓN DE SECTORES PARA RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS

7.1 Balances, Disponibilidad y Priorización de Sectores

Se analizaron los resultados mensuales de la simulación histórica del MOS y con esos datos, fue posible cuantificar la disponibilidad hídrica superficial a nivel mensual en cada cuenca, en función de los caudales superficiales salientes de los sectores de la zona de aguas abajo que son P12 y L12 (ver Figura 7.1-1). No se consideraron los flujos de descarga al mar, como la disponibilidad total, debido a que existen aportes cercanos a la costa que no son aprovechables para la recarga artificial.

En la Tabla 7.1-1 se presentan los resultados obtenidos.

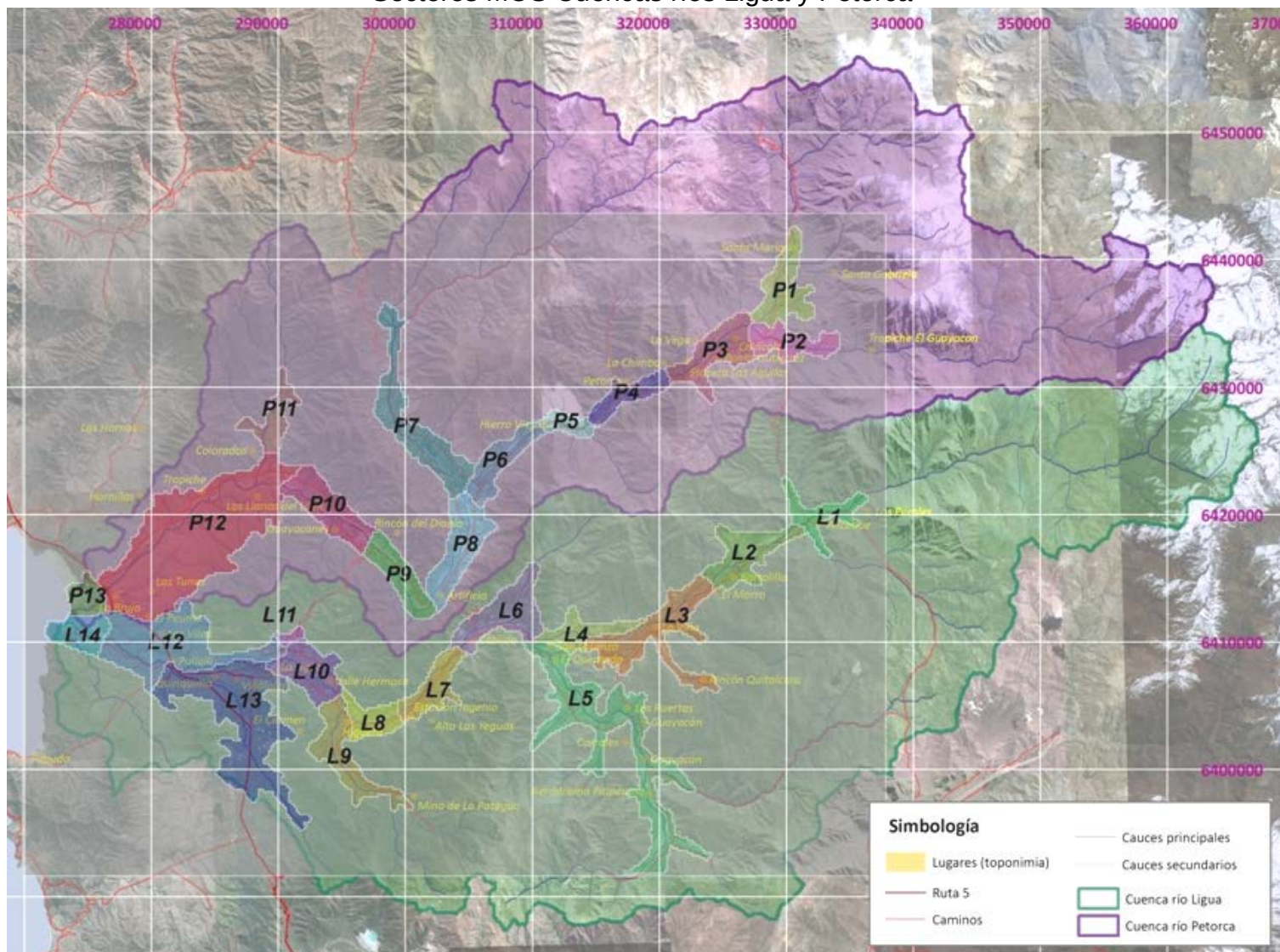
Tabla 7.1-1
Caudales 85 %, Pasantes a la Salida de los Sectores P12 y L12 [l/s]

Cuenca /mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Petorca	55	46	34	18	9	115	230	185	26	91	101	94
Ligua	68	68	68	42	486	711	927	967	377	59	68	68

De la Tabla 7.1-1 se deduce que los caudales superficiales disponibles son bastante menores en la cuenca del río Petorca y sólo se podrían aprovechar los flujos de los meses junio, julio y agosto. Para el caso del río Ligua, se agregan a esos meses, mayo y septiembre.

Para determinar la disponibilidad por sector, asociada a los caudales 85%, se realizaron simulaciones con los resultados del MOS

Figura 7.1-1
Sectores MOS Cuencas ríos Ligua y Petorca



Fuente: Elaboración propia. Base cartográfica: WGS84, huso 19 sur. Imagen base: Google Earth.

Se definieron los índices de infiltración, la recarga neta y las salidas subterráneas como parámetros para determinar las bondades de cada sector. Se seleccionaron los sectores con índices mayores, cuya recarga neta y salida subterránea son elevadas (en términos relativos al escenario), además verificando que exista disponibilidad superficial.

Según ese criterio, en las Tablas 7.1-2 y 7.1-3 se seleccionaron los 3 sectores más favorables para proyectos de recarga artificial en cada cuenca.

En la Figura 7.1-2 se muestran destacados los sectores elegidos.

Tabla 7.1-2
Priorización Ligua

Ligua			1 · Recarga base			2 · Recarga base		
Orden	Sector	Disponibilidad superficial	Índice [%]	Recarga neta [l/s]	Salida subterránea [l/s]	Índice [%]	Δ Recarga neta [l/s]	Salida subterránea [l/s]
1°	L4	Si	96	49	1163	96	49	1236
2°	L3	Si	61	62	118	56	37	158
3°	L6	Si	42	0	402	41	17	411

Ligua			5 · Recarga base			10 · Recarga base		
Orden	Sector	Disponibilidad superficial	Índice [%]	Δ Recarga neta [l/s]	Salida subterránea [l/s]	Índice [%]	Δ Recarga neta [l/s]	Salida subterránea [l/s]
1°	L4	Si	97	195	1448	95	406	1670
2°	L3	Si	50	145	274	47	317	463
3°	L6	Si	37	70	434	32	165	460

Tabla 7.1-3
Priorización Petorca

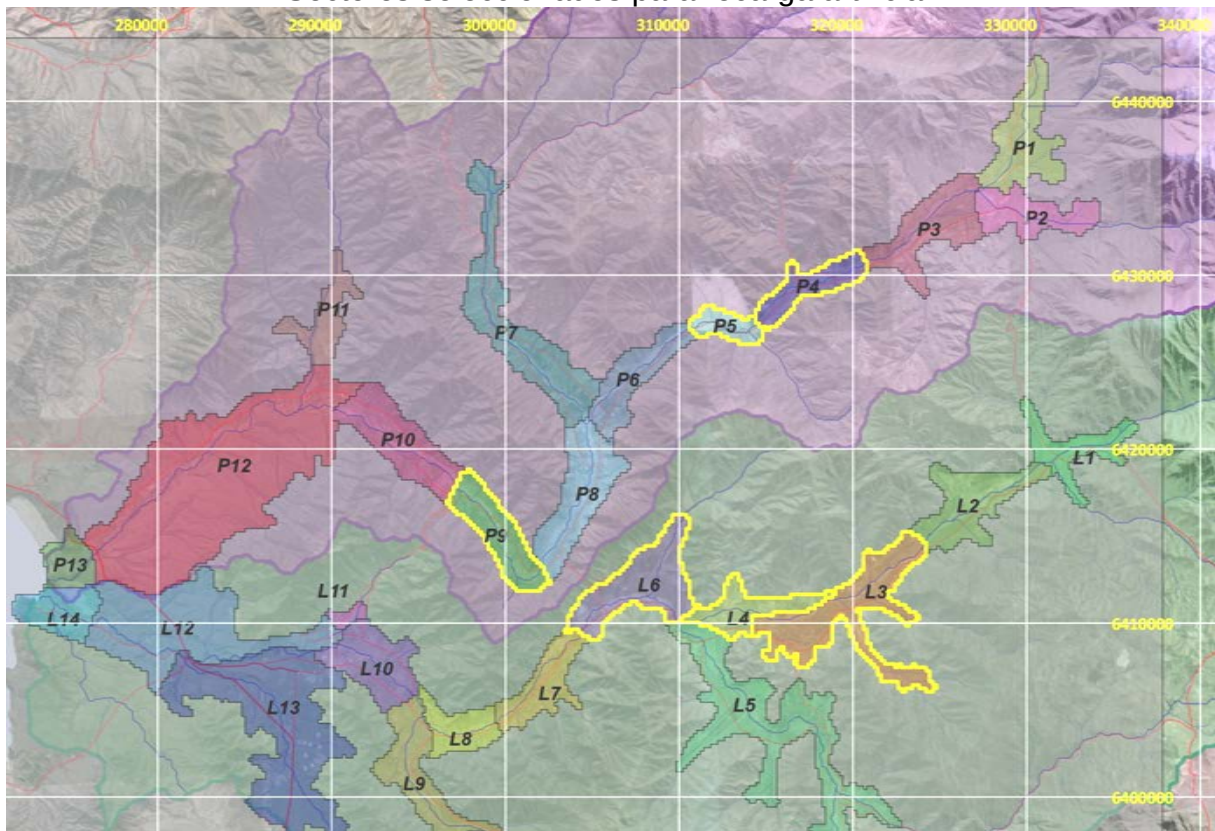
Petorca			1 · Recarga base			2 · Recarga base		
Orden	Sector	Disponibilidad superficial	Índice [%]	Recarga neta [l/s]	Salida subterránea [l/s]	Índice [%]	Δ Recarga neta [l/s]	Salida subterránea [l/s]
1°	P5	Si	61	8	25	72	8	42
2°	P4	Si	24	5	12	32	10	21
3°	P9	Si	28	33	24	24	15	26

Petorca			5 · Recarga base			10 · Recarga base		
Orden	Sector	Disponibilidad superficial	Índice [%]	Δ Recarga neta [l/s]	Salida subterránea [l/s]	Índice [%]	Δ Recarga neta [l/s]	Salida subterránea [l/s]
1°	P5	Si	83	29	82	72	38	116
2°	P4	Si	43	39	48	42	76	80
3°	P9	Si	15	32	29	9	43	33

Se deduce de los resultados que la cuenca del río Petorca presenta condiciones menos favorables para la recarga artificial con relación a la del río Ligua.

Lo anterior es una selección y priorización preliminar, dado que se debe evaluar el sistema con los modelos específicos que se desarrollarán para el presente trabajo.

Figura 7.1-2
Sectores seleccionados para recarga artificial



7.2 Caracterización Hidrogeológica de los Sectores de Interés

Los sistemas de recarga artificial serán ubicados en los sectores seleccionados mediante modelación hidrogeológica para cada cuenca. Dichos sectores son L3, L4 y L6 para la cuenca del río Ligua; y P4, P5 y P9 para la cuenca del río Petorca.

Los volúmenes de almacenamiento para cada sector son una variable relevante en el proceso de recarga artificial de acuíferos y se determinaron como sigue.

7.2.1 Determinación de Volúmenes de Almacenamiento

Se estimaron los volúmenes de agua almacenada en función de los resultados del modelo de flujo subterráneo operado en régimen permanente.

Los volúmenes geométricos de cada celda, saturados y no saturados, se ponderaron por el coeficiente de almacenamiento individual de ella; así, se calcularon los volúmenes efectivos de agua almacenada y el volumen libre o efectivo para admitir recarga. En la Tabla 7.2-1 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 7.2-1: Volúmenes de Almacenamiento

Sectores Ligua

Orden	Sector	N° de celdas	Área [km ²]	Σh_{sat} [m]	Σh_{disp} [m]	$\Sigma h_{sat} \cdot S$ [m]	$\Sigma h_{disp} \cdot S$ [m]	V_{sat} [10 ⁶ ·m ³]	V_{disp} [10 ⁶ ·m ³]	V_{disp} [%]	$\langle h_{sat} \rangle$ [m]	$\langle h_{disp} \rangle$ [m]	$\langle S \rangle$ [%]
1°	L4	280	11	33956	13031	2366	818	95	33	26	121	47	7.0
2°	L3	764	31	128935	20922	5759	1117	230	45	16	169	27	4.5
3°	L6	561	22	50717	20290	4339	711	174	28	14	90	36	8.6

Sectores Petorca

Orden	Sector	N° de celdas	Área [km ²]	Σh_{sat} [m]	Σh_{disp} [m]	$\Sigma h_{sat} \cdot S$ [m]	$\Sigma h_{disp} \cdot S$ [m]	V_{sat} [10 ⁶ ·m ³]	V_{disp} [10 ⁶ ·m ³]	V_{disp} [%]	$\langle h_{sat} \rangle$ [m]	$\langle h_{disp} \rangle$ [m]	$\langle S \rangle$ [%]
1°	P5	148	6	12569	11654	888	685	36	27	44	85	79	7.1
2°	P4	269	11	30296	15231	991	329	40	13	25	113	57	3.3
3°	P9	376	15	40830	13354	2152	234	86	9	10	109	36	5.3

Nomenclatura

N° de celdas	Número de celdas en modelo VMF asociadas al sector. Celdas de 200-200 m (en planta)
Área [km ²]	Área en planta
Σh_{sat} [m]	Suma de espesores saturados de todas las celdas del sector para escenario base
Σh_{disp} [m]	Suma de espesores no saturados de todas las celdas del sector para escenario base
$\Sigma h_{sat} \cdot S$ [m]	Suma de productos de espesores saturados y coeficientes de almacenamiento de todas las celdas del sector para escenario base
$\Sigma h_{disp} \cdot S$ [m]	Suma de productos de espesores no saturados y coeficientes de almacenamiento de todas las celdas del sector para escenario base
V_{sat} [10 ⁶ ·m ³]	Volumen efectivo saturado en sector
V_{disp} [10 ⁶ ·m ³]	Volumen efectivo no saturado en sector
V_{disp} [%]	Porcentaje de volumen efectivo no saturado en sector. Con respecto al volumen total: $P = V_{disp} / (V_{sat} + V_{disp})$
$\langle h_{sat} \rangle$ [m]	Espesor promedio saturado en sector
$\langle h_{disp} \rangle$ [m]	Espesor promedio no saturado en sector
$\langle S \rangle$ [%]	Coefficiente de almacenamiento promedio en sector

En la Tabla 7.2-1 se aprecia para el río Ligua que el sector L4 es el menos saturado; sin embargo, el sector L3 posee el mayor volumen neto para admitir recarga. Con respecto al río Petorca, el sector P5 es el menos saturado (o con mayor espacio relativo vacío) y además el que tiene el mayor volumen útil para recibir la infiltración artificial.

7.2.2 Sectores Río Ligua

Característica / Sector		L3	L4	L6
Espesor Relleno	(m)	200 a 550	100 a 150	100 a 150
Equipotenciales	(msnm)	260 a 400	220 a 300	160 a 220
Coef. Almacenam.	(%)	1.0 a 5.5	1.0 a 5.5	1.0 a 15.0
Coef. Permeab.	(m/s)	$3 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$
Transmisibilidad	(m ² /dia)	1 a 500	10 a 15000	10 a 15000
Grad. Entr. Napa	(%)	2.0	1.5	1.0
Grad. Salida Napa	(%)	1.5	1.0	0.7
Tipo de Sector		Drenante	Drenante	Drenante

7.2.3 Sectores Río Petorca

Característica / Sector		P5	P4	P9
Espeor Relleno	(m)	100 a 150	100 a 150	100 a 150
Equipotenciales	(msnm)	390 a 440	440 a 540	150 a 200
Coef. Almacenam.	(%)	5.5 a 10.9	1.4 a 10.1	1.4 a 15.0
Coef. Permeab.	(m/s)	$1 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2.6 \cdot 10^{-4}$
Transmisibilidad	(m ² /dia)	10 a 500	10 a 1000	10 a 10000
Grad. Entr. Napa	(%)	1.5	1.7	0.85
Grad. Salida Napa	(%)	1.0	1.5	0.80
Tipo de Sector		Drenante	Drenante	Drenante

8 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE RECARGA Y ALMACENAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

8.1 Resumen de Sitios Seleccionados y Tipo de Obras

La Tabla 8.1-1 resume la información del tipo de obras a proyectar en cada sitio, luego de la evaluación realizada, con las dimensiones de referencia de cada uno de ellos.

El dimensionamiento de las obras se presenta en capítulos posteriores, en función de la disponibilidad real de recursos hídricos superficiales en los meses de invierno en cada sector y de la capacidad de infiltración del terreno, determinada a partir de pruebas de terreno realizadas especialmente para tal efecto.

Tabla 8.1-2
Resumen de Obras de Recarga Asociadas a Cada Proyecto

Proyecto N°	Cuenca	Sector	Sitio	Obras a Proyectar	Dimensiones de Referencia del Sitio (*) (m x m)
1	Ligua	L6	A1-L6	Piscina de infiltración.	500 x 150
2	Ligua	L6	A2-L6	Piscina de infiltración.	220 x 50
3	Ligua	L6	A3-L6	Piscina de infiltración.	370 x 90
4	Ligua	L4	A3-L4	Piscina de infiltración.	220 x 60
5	Ligua	L4	A4-L4	Piscina de infiltración.	320 x 145
6	Ligua	L3	A3-L3	Piscina de infiltración.	440 x 75
7	Ligua	L3	A4-L3	Piscina de infiltración.	210 x 40
8	Petorca	P9	A1-P9	Piscina de infiltración.	480 x 120
9	Petorca	P9	A2-P9	Piscina de infiltración.	300 x 35
10	Petorca	P5	A1-P5	Piscina de infiltración.	190 x 90
11	Petorca	P4	A1-P4	Piscina de infiltración.	240 x 60
12	Petorca	P4	A3-P4	Espigones.	160 x 100

(*): Dimensiones de referencia, corresponden aproximadamente a longitud máxima por ancho máximo del polígono. Es el espacio disponible para instalar las obras.

8.2 Evaluación Preliminar de los Proyectos Seleccionados

8.2.1 Caudales Disponibles por Mes y Sector

De acuerdo a la información de caudales disponibles determinados, para la condición de 85% de probabilidad de excedencia, se tiene lo consignado en la Tabla 8.2-1. Debe tenerse en cuenta que los caudales disponibles no son independientes entre sí; si se usa parte de ellos para recargar en cierto sector, dichas magnitudes deben restarse de la disponibilidad para los sectores de aguas abajo.

Tabla 8.2-1
Caudales Disponibles por Mes y Sector (l/s)

Sector / Mes	May	Jun	Jul	Ago	Sep
L3	485	510	619	929	375
L4	485	510	619	929	377
L6	485	674	927	950	377
P4		90	212	163	
P5		90	228	163	
P9		90	228	181	

8.2.2 Coeficientes de Permeabilidad en Sitios Seleccionados

Los coeficientes de permeabilidad representativos de cada sitio se determinaron a partir de pruebas de infiltración, obteniéndose los resultados de la Tabla 8.2-2.

8.2.3 Criterios para el Dimensionamiento Preliminar de las Obras

Se definió un criterio para asignar los caudales a cada sector, en función de: ubicación relativa de los sectores, valores del coeficiente de permeabilidad y volúmenes de acuífero disponibles. Los resultados de la asignación de caudales son lo de la Tabla 8.2-3.

La ubicación a nivel general en el área de estudio de los sectores y los 8 sitios seleccionados se puede observar en la Figura 8.2-1.

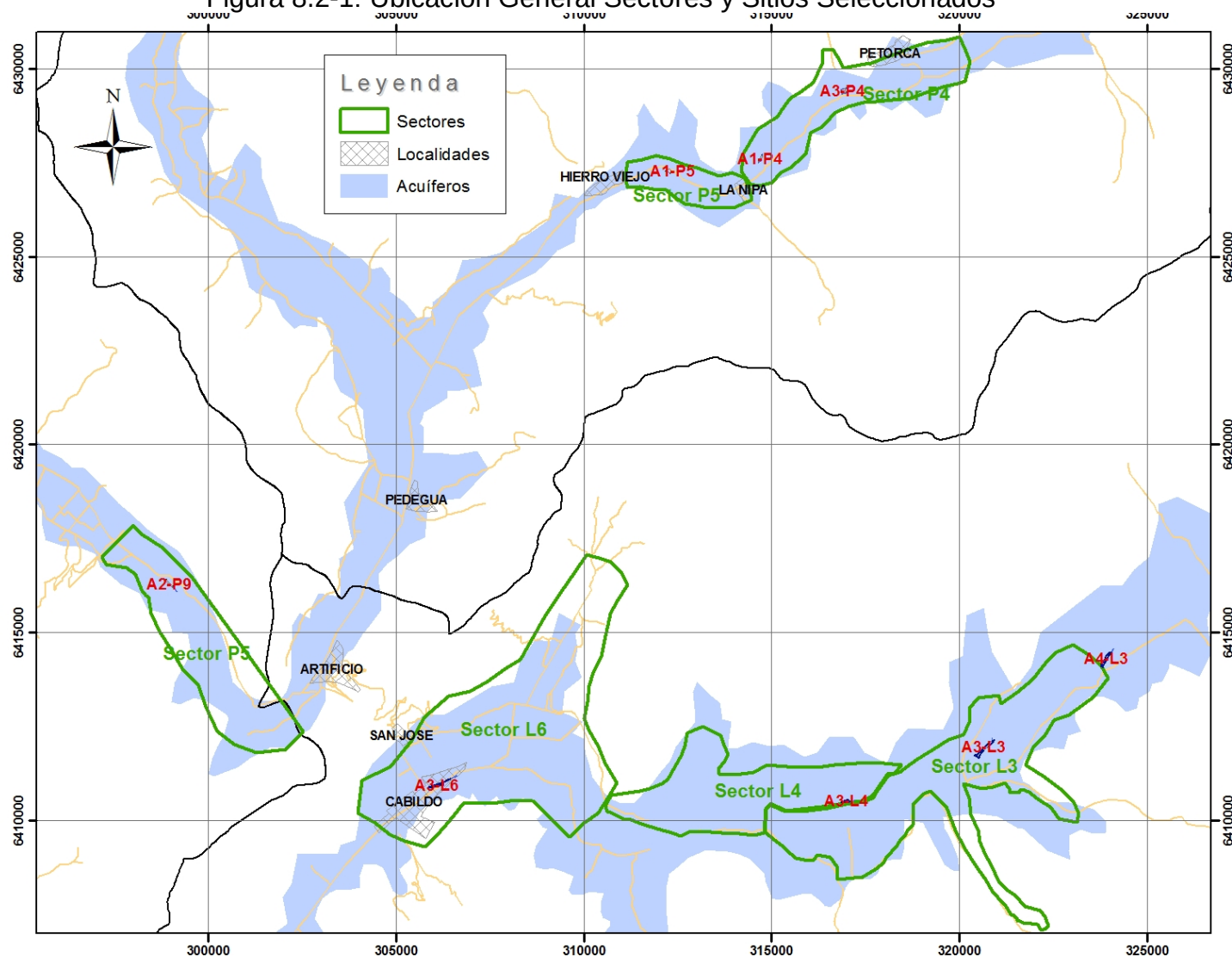
Tabla 8.2-2
Coeficientes de Permeabilidad a partir de Pruebas de Infiltración en Calicatas (*)

Proyecto N°	Sector	Calicata N°	UTM E (m)	UTM N (m)	Prof. (m)	Diám. (m)	k1 (m/s)	k2 (m/s)	k adopt (m/s)	k prom sector (m/s)
1	A1-L6	1	304.676	6.410.260	1,0	0,56	8,00E-05	8,00E-05	8,00E-05	5,50E-05
		2	304.694	6.410.256	1,0	0,56	3,00E-05	3,00E-05	3,00E-05	
2	A2-L6	3	305.065	6.410.740	1,0	0,56	8,00E-05	8,00E-05	8,00E-05	6,00E-05
		4	305.170	6.410.780	1,0	0,56	5,00E-05	4,00E-05	4,00E-05	
3	A3-L6	5	305.968	6.410.891	1,0	0,56	5,00E-05	4,00E-05	4,00E-05	1,20E-04
		6	306.168	6.410.994	1,0	0,56	2,50E-04	2,00E-04	2,00E-04	
5	A3-L4	7	316.927	6.410.447	1,0	0,56	1,40E-04	1,00E-04	1,00E-04	7,70E-05
		8	317.047	6.410.523	1,0	0,56	6,30E-05	5,40E-05	5,40E-05	
6	A4-L4	9	318.179	6.411.299	1,0	0,56	1,90E-04	1,20E-04	1,20E-04	7,50E-05
		10	318.455	6.411.473	1,0	0,56	3,00E-05	4,00E-05	3,00E-05	
7	A3-L3	11	320.734	6.411.932	1,0	0,56	1,00E-04	8,00E-05	8,00E-05	6,10E-05
		12	320.831	6.412.052	1,0	0,56	6,00E-05	4,20E-05	4,20E-05	
8	A4-L3	13	323.897	6.414.304	1,0	0,56	3,50E-05	3,50E-05	3,50E-05	5,90E-05
		14	324.034	6.414.422	1,0	0,56	8,30E-05	8,90E-05	8,30E-05	
9	A1-P9	15	297.694	6.417.508	1,0	0,56	5,00E-05	5,00E-05	5,00E-05	1,10E-04
		16	297.865	6.417.382	1,0	0,56	1,70E-04	1,70E-04	1,70E-04	
10	A2-P9	17	298.924	6.416.396	1,0	0,56	2,90E-04	2,60E-04	2,60E-04	1,65E-04
		18	299.080	6.416.206	1,0	0,56	7,00E-05	7,00E-05	7,00E-05	
11	A1-P5	19	312.267	6.427.295	1,0	0,56	1,80E-04	1,70E-04	1,70E-04	1,35E-04
		20	312.341	6.427.233	1,0	0,56	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	
12	A1-P4	21	314.701	6.427.587	1,0	0,56	2,10E-04	2,10E-04	2,10E-04	1,85E-04
		22	314.729	6.427.678	1,0	0,56	1,60E-04	3,00E-04	1,60E-04	
13	A3-P4	23	316.896	6.429.412	1,0	0,56	2,20E-03	6,20E-04	6,20E-04	3,85E-04
		24	317.004	6.429.415	1,0	0,56	1,60E-04	1,50E-04	1,50E-04	

Tabla 8.2-3
Dimensiones de Referencia de los Proyectos

Cuenca	Sitio	K	Sup Disponible	Sup Requerida	Dims. de Refer.	Q Máx a Infiltrar
		(m/s)	(m2)	(m2)	(m x m)	(l/s)
Ligua	A1-L6	5,50E-05	38000	-	-	-
Ligua	A2-L6	6,00E-05	4000	-	-	-
Ligua	A3-L6	1,20E-04	17000	20327	340 x 50	1220
Ligua	A3-L4	7,70E-05	6000	16182	200 x 30	623
Ligua	A4-L4	7,50E-05	47000	-	-	-
Ligua	A3-L3	6,10E-05	30500	30459	590 x 52	929
Ligua	A4-L3	5,90E-05	14700	14695	373 x 40	434
Petorca	A1-P9	1,10E-04	33000	-	-	-
Petorca	A2-P9	1,65E-04	5000	4901	234 x 21	405
Petorca	A1-P5	1,35E-04	11000	7726	98 x 79	522
Petorca	A1-P4	1,85E-04	5000	4950	176 x 28	458
Petorca	A3-P4	3,85E-04	17000	1101	6 x 40 x 9.2	212

Figura 8.2-1: Ubicación General Sectores y Sitios Seleccionados



9 MODELACIÓN DE ALTERNATIVAS

9.1 Disponibilidad Hídrica Superficial

Se analizaron los resultados mensuales de la simulación histórica del MOS y con esos datos, fue posible cuantificar la disponibilidad hídrica superficial a nivel mensual en cada cuenca.

Se generó directamente las estadísticas mensuales de caudales, sólo para cuantificar el orden de magnitud de los recursos existentes y poder definir los meses en los cuales se podría contar con agua sobrante en los cauces de los ríos Ligua y Petorca. En las Tablas 9.1-1 y 9.1-2 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 9.1-1
Caudales 50 y 85 %, pasantes a la salida del sector P12, río Petorca [l/s]

Cuenca/ mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Petorca 50%	55	46	34	29	509	1032	1758	1127	622	142	129	94
Petorca 85%	55	46	34	18	9	115	230	185	26	91	101	94

Tabla 9.1-2
Caudales 50 y 85 %, pasantes a la salida del sector L12, río Ligua [l/s]

Cuenca/ mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Ligua 50%	68	68	68	47	1738	2295	3361	2588	1731	340	79	68
Ligua 85%	68	68	68	42	486	711	927	967	377	59	68	68

De las tablas anteriores se deduce que los caudales superficiales disponibles son bastante menores en la cuenca del río Petorca y se podrían aprovechar los recursos de mayo a noviembre (50%) y de junio a agosto (85%). En el caso del río Ligua, entre mayo y octubre (50%) y desde mayo a septiembre (85%). Para determinar la disponibilidad por sector, asociada a caudales 50%, se hicieron simulaciones con los resultados del MOS

9.2 Receptividad Acuífera

Se analizó la capacidad del acuífero para admitir recarga desde las zonas en las que se han propuesto proyectos de recarga artificial. En el modelo hidrogeológico se asoció a cada zona de recarga proyectada un volumen de control para ser evaluado con la opción Zone Budget (balance volumétrico) del VMF.

El modelo se operó en régimen permanente, y así se analizó una situación promedio y sustentable del acuífero. Se usaron bombeos actuales de agua subterránea, con algunas restricciones para asegurar la convergencia del modelo en régimen permanente.

En la Tabla 9.2-1 se muestran los resultados obtenidos tras varias iteraciones, en las que se fue modificando gradualmente los caudales de recarga impuestos, mientras se

comparaban éstos con los incrementos del caudal de salida a la superficie (napa-río+aflorescimientos). En la Figura 9.2-1 se muestra la ubicación de los sectores.

Tabla 9.2-1. Resultado Iteración Final de Incorporación de Recargas en VMF

Zona VMF	Zona proyecto	Q de rec. artificial [l/s]	Incremento de salida a la superficie [l/s]
2	A1-P4	170.0	22.9
3	A1-P5	50.0	46.5
4	A2-P9	50.0	33.2
5	A4-L3	50.0	25.0
6	A3-L3	50.0	57.9
7	A4-L4	175.0	28.5
8	A3-L6	50.0	35.2

Como se puede apreciar en la Tabla 9.2-1, las zonas VMF identificadas con los números 2 y 7 presentan las mejores condiciones para recibir la recarga, puesto que lo que se pierde como salida hacia la superficie es pequeño, en relación al caudal de recarga artificial. Los restantes sectores, aparecen como poco recomendables.

Figura 9.2-1. Zonas de Influencia de los Proyectos de Recarga Artificial



10 DISPONIBILIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES PARA RECARGA

Se utilizó la distribución porcentual de excedentes estimada con la operación del modelo MOS. Dicha distribución permitió separar en aportes parciales, a lo largo de los cauces de los ríos Petorca y La Ligua, los caudales sobrantes medidos en las estaciones costeras.

La distribución de excedentes, que se obtuvo de los resultados del MOS³, se basa en la operación del sistema según demandas agrícolas.

Se han propuesto 8 áreas, 4 en cada cuenca, para los proyectos de recarga artificial. Las áreas se han enumerado desde aguas arriba hacia aguas abajo. (ver Figura 10-1).

Tabla 10-1. Caudales disponibles para recarga en cada área de recarga artificial [l/s]

Mes	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sept.	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sept.
Área	Distribución de mejor ajuste					Caudales 85 % [l/s]					Caudales 50 % [l/s]				
Pet1 A3-P4	Gen. Extreme Value	Gen. Pareto	Phased Bi-Weibull	Gen. Pareto	Gen. Pareto	0	0	1	0	0	18	240	113	482	575
Pet2 A1-P4	Gen. Extreme Value	Gen. Pareto	Phased Bi-Weibull	Gen. Pareto	Gen. Pareto	0	0	1	0	0	19	251	119	498	583
Pet3 A1-P5	Gen. Extreme Value	Gen. Pareto	Phased Bi-Weibull	Gen. Pareto	Gen. Pareto	0	0	1	0	0	20	255	120	498	587
Pet4 A2-P9	Gen. Extreme Value	Gen. Pareto	Phased Bi-Weibull	Johnson SB	Gen. Pareto	0	0	19	21	0	76	578	492	528	804

Tabla 10-1. Caudales disponibles para recarga en cada área de recarga artificial [l/s]

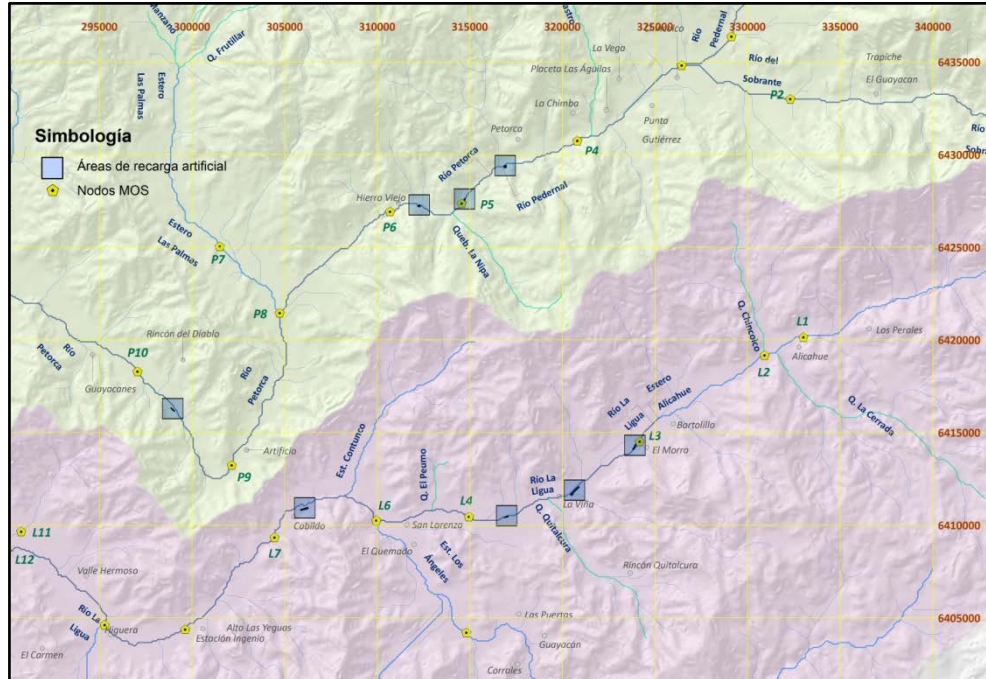
Mes	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sept.	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sept.
Área	Distribución de mejor ajuste					Caudales 85 % [l/s]					Caudales 50 % [l/s]				
Lig1 A4-L3	Gen. Pareto	Log- Pearson 3	Phased Bi- Exponential	Gen. Extreme Value	Gen. Pareto	0	33	58	183	141	158	269	611	1009	1064
Lig2 A3-L3	Gen. Pareto	Log- Pearson 3	Phased Bi- Exponential	Gen. Extreme Value	Gen. Pareto	0	33	58	183	141	158	269	611	1009	1064
Lig3 A3-L4	Gen. Pareto	Log- Pearson 3	Phased Bi- Exponential	Gen. Extreme Value	Gen. Pareto	0	33	58	183	141	158	269	611	1009	1064
Lig4 A3-L6	Gen. Pareto	Phased Bi- Weibull	Gen. Pareto	Gen. Pareto	Gen. Pareto	0	42	118	203	157	246	510	889	1357	1352

La disponibilidad hídrica superficial calculada preliminarmente se usó sólo para priorizar sectores. La cuantificación aquí presentada es más realista respecto a los caudales con los que se podría contar para abastecer a las obras de recarga artificial proyectadas.

De acuerdo a los resultados finales obtenidos, usando datos medidos, distribuidos según los resultados del MOS, en Petorca no es posible contar con caudales 85% para abastecer las obras de recarga artificial. En La Ligua, en cambio, los caudales máximos 85 % (agosto), varían aproximadamente entre 180 y 200 l/s.

Los valores de disponibilidad hídrica superficial presentados en la Tabla 10-2 son realistas y coinciden con la visión cualitativa de ambos valles y el nivel de escorrentía superficial observado en los últimos años.

³ Modelo de operación del sistema (MOS), incluido en: Estudio Modelación integral de los recursos hídricos de los valles de los ríos la Ligua y Petorca. Elaborado por P. Isensee para la Dirección de Obras Hidráulicas en 2004.



En Petorca, dos proyectos con aguas de probabilidad de excedencia 50%, es decir, para destinarlas al riego de cultivos anuales (hortalizas y chacras). Los proyectos seleccionados son: A1-P5 y A2-P9.

En La Ligua, un proyecto con aguas de probabilidad de excedencia 85%, es decir, para destinarlas a cultivos multianuales (frutales), el proyecto es: A4-L3. Además, dos proyectos con aguas de probabilidad de excedencia 50%, es decir, para destinarlas al riego de cultivos anuales (hortalizas y chacras). Los proyectos seleccionados son: A3-L3 y A3-L6.

Los caudales superficiales disponibles para cada proyecto serían los siguientes.

Proyecto	Tipo Caudal	Caudales Disponibles en el Río (l/s)
----------	-------------	--------------------------------------

Cuenca	Proyecto	Tipo Caudal	Caudales Disponibles en el Río (l/s)				
			Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Petorca	A1-P5	Q 50%		250	120	490	580
	A2-P9	Q 50%		150	420	370	240
Ligua	A4-L3	Q 85%	0	30	50	180	140
	A3-L3	Q 50%	150	260	610	1000	1060
	A3-L6	Q 50%	200	390	390	500	340

11 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS A DESARROLLAR

Con las evaluaciones de las características de cada sector y las disponibilidades de aguas superficiales de invierno en cada uno se seleccionó las alternativas a desarrollar. Esto determinó que los sectores más favorables son: 3 proyectos en la cuenca del río La Ligua (A4-L3, A3-L3 y A3-L6) y 2 proyectos en la cuenca del río Petorca (A1-P5 y A2-P9)

Se realizaron evaluaciones económicas preliminares para obtener la rentabilidad de cada proyecto y evaluar si conviene reasignar recursos hídricos de uno a otro proyecto, según dichos resultados. Estas evaluaciones económicas permitieron determinar que en todos los proyectos los indicadores económicos (VAN y TIR) resultan positivos y por encima de la tasa de actualización utilizada, y que serían factibles desde el punto de vista técnico y económico. Sin embargo, en el caso particular del proyecto A3-L3, por las condiciones de suelos y tipos de cultivos, los márgenes estimados son bastante menores que en el resto de los proyectos, a tal grado que el VAN obtenido es prácticamente cero.

En la Tabla 11-1 siguiente se presenta el resumen de las evaluaciones económicas realizadas, donde se aprecia que la rentabilidad por ha y por año del proyecto A3-L3 es mucho menor a la de los otros dos proyectos de dicho valle, por lo que se determinó reasignar los recursos de agua disponibles en invierno hacia los otros dos proyectos que generarán mayores beneficios y no avanzar más en el análisis dicho proyecto (A3-L3).

Tabla 11-1
Rentabilidad de los Proyectos

Sector	Superficie	VAN Unitario - Pr de Mercado	
	Beneficiada	Total	por año
	(ha)	(Mill \$/ha)	(Mill \$/ha/año)
A4-L3	107.7	0.72	0.024
A3-L3	195.6	0.004	<0.001
A3-L6	530.3	5.23	0.174
A1-P5	212.3	4.04	0.135
A2-P9	336.1	1.82	0.061

Con sólo 4 proyectos por evaluar, se redistribuyeron las aguas disponibles, lo que dio origen a nuevas superficies beneficiarias de los proyectos A4-L3 y A3-L6. Por lo tanto, los proyectos seleccionados para ser evaluados a nivel de prefactibilidad son los siguientes: A4-L3 y A3-L6 en Ligua y A1-P5 y A2-P9 en Petorca.

12 ANÁLISIS AMBIENTAL

Se realizó un análisis ambiental de los sectores de proyecto para determinar la pertinencia de ingreso al SEIA concluyéndose que por la naturaleza y magnitud de las obras no se requiere su ingreso al SEIA. Adicionalmente, se determinó una línea base de flora y fauna

terrestre por si se requeriría medidas especiales durante la construcción y operación de los proyectos, deduciéndose que tampoco habría limitaciones ambientales para ello.

13 ESTUDIO DE SUELOS

Se realizó una revisión del último estudio de suelos desarrollado en la zona (2007), para corroborar o modificar lo que correspondiese. No hubo cambios significativos.

14 USO ACTUAL DEL SUELO

En el área de estudio se identificaron los siguientes grupos: cultivos, frutales y vides, praderas, sin uso, arbustivos, urbanos y tranques. Posteriormente, como resultado de esta actividad, se procedió a representar el uso del suelo en forma numérica, situación que se presenta para cada uno de los ocho sectores, en la tabla resumen siguiente.

Tabla 14-1
Superficies de Uso Actual de Suelo, por Sector (ha)

Rubro/Proyecto	A3-L3	A4-L3	A3-L4	A3-L6	A1-P4	A3-P4	A1-P5	A2-P9
Cultivo	58.60		2.09	0.50		29.95	3.45	23.17
Frutales	150.14	550.26	584.40	150.74	94.31	101.36	61.89	202.84
Pradera			4.82				1.17	
Sin Uso	1.73			2.44	9.25	0.70	32.46	
Arbustivo	7.82				2.79		3.52	
Tranque	1.66		1.30	0.66				
Urbano		1.96	0.67	1.87		4.03		1.26
TOTAL	219.95	552.22	593.27	156.20	106.35	136.03	102.49	227.27

Debe señalarse que las superficies determinadas en este proceso no son necesariamente representativas de la situación actual agropecuaria, la cual se determina con mayor exactitud posteriormente en el capítulo correspondiente al “Diagnóstico de la Situación Actual”, cuyo patrón de cultivo es determinado por medio de la aplicación de una encuesta muestral simple a los agricultores del área, diferenciados por sector y estratos de tamaño.

15 ESTUDIO DE MERCADOS COMERCIALIZACIÓN Y PRECIOS

15.1 Mercados Situación Actual

En términos generales, dentro de los destinos de producción y formas de comercialización de los distintos productos, se destaca la agricultura de venta directa a intermediarios, como es el caso de papa, hortalizas y flores, que son producidos directamente en el predio. En frutales de exportación los agricultores entregan la fruta directamente a las empresas exportadoras, el descarte de ésta se destina a la agroindustria o al mercado interno.

Desde principios de la década del 2000 el área de estudio ha sido afectada por una sequía persistente que ha reducido la disponibilidad de agua, tanto en las napas subterráneas como en el agua superficial. De esta manera, algunos productores de palto han debido podar sus huertos a tocón; es decir, dejan el tronco a unos 60 cm de la superficie del suelo, lo que permite sobrevivir a los árboles por dos años, con dos a tres riegos en la temporada. Posteriormente, estos huertos brotan y parten como si fuera un huerto recién plantado, que comienza a producir fruta comercialmente a los tres años al menos. Otros productores han visto secar sus huertos y se encuentran con serios problemas de endeudamiento. Por otro lado, los agricultores que producen paltas informan la reducción de los rendimientos como la disminución de los calibres de la fruta.

15.2 Estudio General de Mercados

El análisis de mercados, tanto nacional como de exportación, se basó en información de diferentes estudios de INE, ODEPA y CIRREN-CORFO. El análisis de precios se efectuó utilizando las series de precios de ODEPA del mercado mayorista de Santiago, sin IVA, expresados en moneda de Diciembre de 2011.

15.2.1 Análisis por Producto

Se realizó el análisis para cada producto, cuyo objetivo fue conocer el comportamiento que ha tenido cada uno de ellos en las últimas temporadas. Se consideraron antecedentes de superficie, producción, comercio exterior, precios en el mercado nacional, situación en los acuerdos comerciales y perspectivas futuras.

Como resultado del análisis se determinó que los distintos acuerdos comerciales suscritos por Chile han sido beneficiosos para el sector agrícola, ya que se espera un crecimiento de las exportaciones hacia los distintos nichos comerciales. No obstante, los productos que sustituyen importaciones se han visto afectados y aquellos afectos a Banda de Precios lo harán en el corto a mediano plazo.

15.2.2 Determinación de Precios

La determinación de precios para los distintos productos se hizo tomando como base los antecedentes de: ODEPA, entrevistas a exportadoras y agroindustrias, encuesta muestral y estudios de casos.

16 DIAGNÓSTICO SITUACIÓN ACTUAL

16.1 Sectorización

La sectorización de cada cuenca se presenta en las Figuras 16.1-1 y 16.1-2. Dentro de la cuenca del Río Ligua se seleccionaron cuatro proyectos en los sectores L3, L4 y L6, mientras que en la cuenca del Río Petorca se eligieron cuatro proyectos dentro de los sectores P4, P5 y P9.

Figura 16.1-1
Sectorización La Ligua

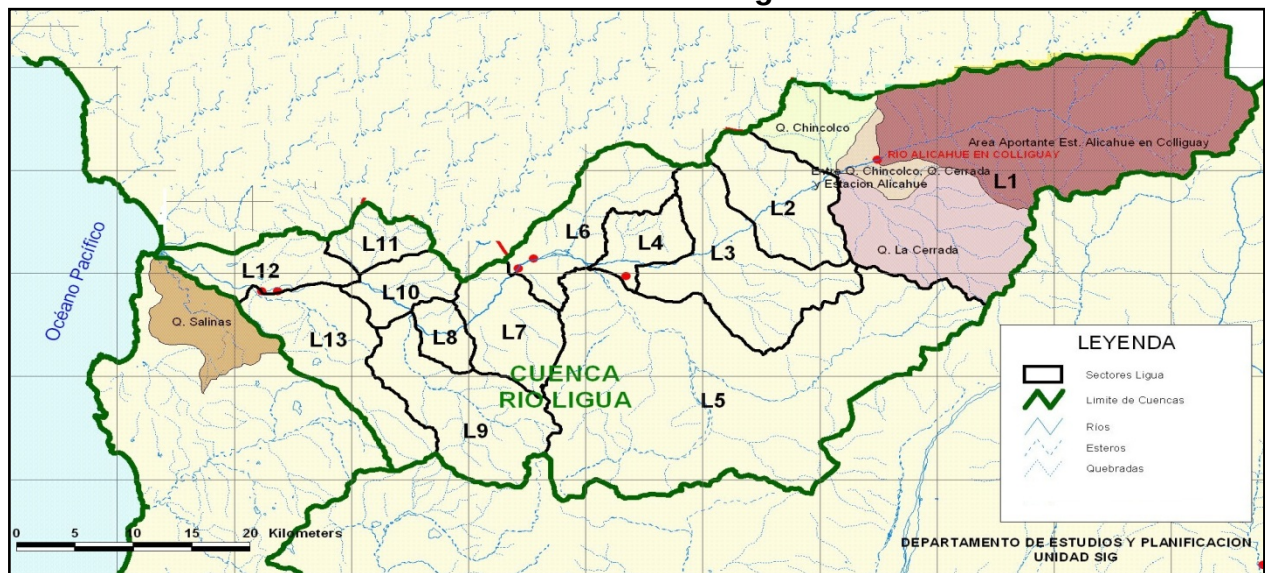


Figura 16.1-2
Sectorización Petorca



16.2 Estratificación

Una vez establecida la sectorización, identificados los proyectos y establecida la estratificación predial, se procedió a confeccionar un listado con los beneficiarios de los proyectos.

16.3 Encuesta Agropecuaria

La caracterización de la situación agropecuaria actual requirió establecer atributos físicos y económicos, asociados a los distintos tipos de agricultores en el área de estudio. Para ello se hizo una encuesta con dos partes, una simple y otra para el estudio de casos.

16.4 Determinación y Estudio de Predios Promedio

Los predios promedio obtenidos, fueron caracterizados en su estructura productiva, lo que constituye la base de asignación y expansión de cultivos, aplicable a cada sector y al total del área del proyecto.

16.5 Superficies

En base a la superficie calculada se determinó los sub estratos y los Predios Promedio.

16.6 Uso del Suelo

Con el uso del suelo de cada Predio Promedio, se expandió tanto del uso del suelo como de los valores económicos determinados para cada sector y para el total del área de estudio.

17 SITUACIÓN AGROPECUARIA FUTURA O CON PROYECTO

Se realizó la caracterización productiva y económica de la situación futura o con proyecto, a partir de los Predios Promedio previamente seleccionados.

17.1 Criterios de Desarrollo

Los supuestos de desarrollo, presentes en la definición de la situación futura se han basado íntegramente en experiencias locales y en las actuales perspectivas agroeconómicas.

17.2 Uso del Suelo

La estructura de uso futuro del suelo con proyecto se planteó suponiendo que los mismos factores y prioridades que definen el uso actual de la tierra se mantendrán; es decir, el uso se adaptará a las condiciones hidrológicas esperadas y a la seguridad de riego asociada.

18 DETERMINACIÓN DE FLUJOS AGRONÓMICOS

Considerando los criterios planteados en el capítulo de “Criterios de Desarrollo” de la situación futura y los respectivos períodos de transición, se determinaron los flujos de márgenes netos correspondientes a la situación actual y futura o con proyecto para los Predios Promedio expandidos y total de sectores que tendría agua disponible para abastecer las obras de recarga de acuerdo a la evaluación hidrológica.

19 DISEÑO PRELIMINAR DE LAS OBRAS DE RECARGA

19.1 Topografía

Se realizaron levantamientos topográficos de los sectores de proyecto, con curvas de nivel cada 1 m, lo que fue utilizado en el diseño de las obras para determinar la cubicación de los volúmenes de obra requeridos, específicamente en cuanto a movimientos de tierra.

19.2 Diseño Preliminar

Se ha definido un módulo de recarga unitario, conformado por:

- Canal de Aproximación y Desvío: Canal excavado en el terreno, de 0,6 m de ancho, de 50 m de largo aproximado, que permitirá captar las aguas desde el cauce y conducir las hasta la obra de recarga. Tendrá un brazo lateral (canal de desvío), para evitar que los flujos que entran al canal lleguen a la obra de recarga.
- Compuerta de Acceso: Ubicada en el primer tramo del canal de aproximación, permitirá o cortará el flujo de agua hacia la obra de recarga.
- Compuerta de Desvío: Ubicada en el canal de desvío, permitirá o cortará el flujo de agua hacia el cauce.
- Parshall: Dispositivo de control que se instalará en el canal de aproximación, para registrar los caudales afluentes a la obra de recarga.
- Decantador: Dispositivo que permitirá eliminar parte de los sedimentos que vengan en el agua que se utilizará para la recarga, antes de su ingreso a la piscina de infiltración. Esto para reducir la colmatación que va afectando a las piscinas a medida que son utilizadas para la recarga, con aguas naturales. Se ubicará luego del canal de aproximación y antes del Sedimentador.
- Sedimentador: Dispositivo similar, pero para retener sedimentos de menor tamaño. Se ubicará luego del Decantador y antes del ingreso a la piscina de infiltración.
- Piscina de Infiltración: Superficie apretillada de 60 m x 80 m, que permitirá acumular aguas captadas desde el cauce, para su infiltración hacia la napa.
- Reglas limnimétricas: Se contempla instalar dos reglas limnimétricas al interior de la piscina, de forma de controlar las alturas de agua y en función de sus variaciones en el tiempo, determinar cuándo la tasa de infiltración se ha reducido lo suficiente como para requerir una mantención del fondo de la piscina.

Para controlar el efecto de la recarga en los niveles de la napa se considera perforar 5 piezómetros ubicados desde las cercanías de las obras de recarga hacia aguas abajo, para obtener información sobre el avance del domo generado por las aguas infiltradas.

El tema de la calidad de las aguas fue analizado en etapas previas, concluyéndose que en ambos valles son buenas (superficiales y subterráneas), sin limitación para la recarga.

El módulo de recarga unitario señalado se ha dimensionado para un caudal de 150 l/s. Las dimensiones de las obras han sido determinadas considerando el caudal entrante, la tasa de infiltración y una carga hidráulica máxima de 1,2 m en la piscina de infiltración.

En forma previa a la operación de la obra de recarga, se debe instalar flujómetros en los pozos del área de influencia de la obra, de forma de tener registro de los caudales de extracción antes del inicio del llenado de la piscina de infiltración. Se ha estimado que el número de pozos que se deberá controlar en cada proyecto es de 20.

Respecto a la operación de las obras, una vez que todas ellas (obras principales y complementarias) estén habilitadas, y que se tenga flujo superficial en el cauce, se iniciará la captación de las aguas que serán conducidas hacia la piscina de infiltración a través del canal de aproximación. En cada sector se habilitarán entre 3 y 4 piscinas de infiltración, dependiendo de la magnitud de los caudales susceptibles de ser infiltrados.

Se debe comenzar el llenado de la primera piscina, hasta alcanzar la carga máxima. Luego de ello, las aguas deben llevarse a la segunda piscina, hasta que se produzca el llenado, para repetir el proceso, ahora en la piscina 3 y luego en la 4, si la hubiere.

Estos ciclos se repetirán en la medida que se disponga de aguas superficiales para ser infiltradas. El control de la tasa de infiltración en las piscinas definirá que se requiere mantención cuando la tasa actual se reduzca a un 60% de la original.

El monitoreo de niveles en los piezómetros y de caudales en los pozos cercanos permitirá determinar el efecto de la infiltración sobre la napa y sobre los caudales extraídos desde el acuífero. Se ha estimado que el caudal susceptible de ser extraído desde el acuífero estará acotado al 30% de los caudales afluentes a la obra de recarga.

La Figura 19.2-1 es una representación esquemática del módulo de recarga utilizado en los diseños y que se puede apreciar mejor en los planos de proyecto.

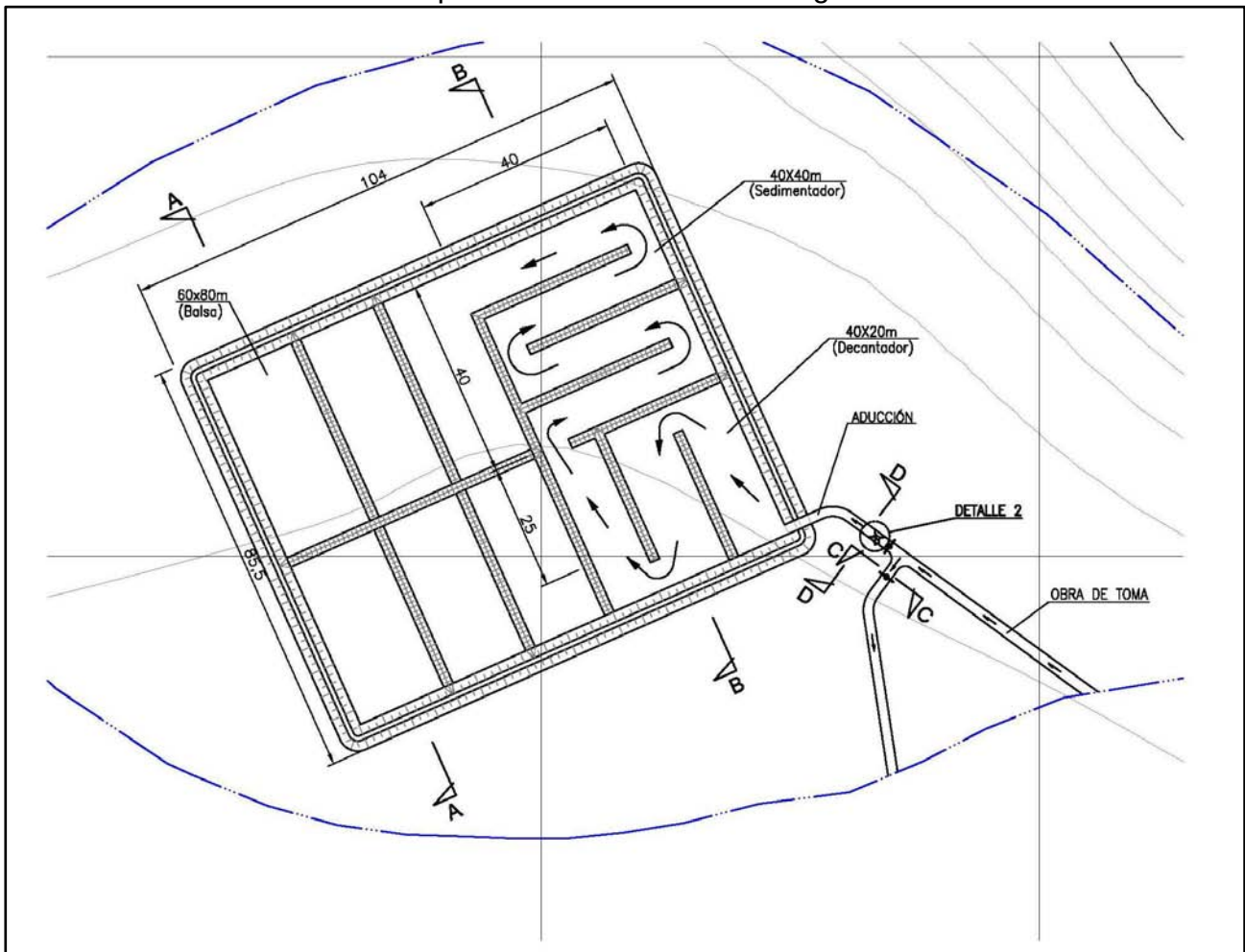
19.3 Interferencias Con Obras Existentes

El análisis del entorno asociado a los sectores donde se emplazarán las obras de cada proyecto permite afirmar que no se producirán interferencias con obras existentes, en caso que se implementen los proyectos de recarga.

Tabla 19.3-1
Descripción del entorno de los Proyectos y de Interferencias con Obras Existentes

Proyecto	Ubicación	Características del Entorno	Obras Cercanas	Observación
A1-P5	Hierro Viejo	Caja de río con presencia de matorrales arbustivos.	No hay en el sector donde se emplazarían las obras.	Sin interferencia con obras existentes.
A2-P9	La Canela	Caja de río con presencia de matorrales arbustivos.	No hay en el sector donde se emplazarían las obras.	Sin interferencia con obras existentes.
A4-L3	Pililén	Caja de río con presencia de matorrales arbustivos.	No hay en el sector donde se emplazarían las obras.	Sin interferencia con obras existentes.
A3-L6	Los Molinos	Caja de río con presencia de matorrales herbáceos.	No hay en el sector donde se emplazarían las obras.	Sin interferencia con obras existentes.

Figura 19.2-1
Esquema del Módulo de Recarga



19.4 Expropiaciones o Servidumbres De Paso

Los proyectos han sido concebidos como piscinas de infiltración que se ubican en las riberas de los ríos, en sectores donde el lecho es más ancho, lo que permitirá la instalación de las obras de recarga, protegidas contra las crecidas, en terrenos de bienes nacionales de uso público, por lo que no se requerirá de expropiaciones.

De igual forma, no se contempla solicitar servidumbres de paso en ninguno de los casos, ya que las obras diseñadas se ubicarán en bienes nacionales de uso público y los accesos se realizarán a través de las vías existentes en cada sector.

20 PRESUPUESTOS Y COSTOS DE OPERACIÓN

Los costos de los proyectos de recarga artificial consideran:

Inversiones:

- Construcción de los Módulos de Drenaje.
- Enrocados de protección en el lado expuesto al río.
- Canales de aducción y de desvío.
- Decantador y Sedimentador,
- Instrumentos para el monitoreo de caudales afluentes a la obra, de niveles de agua en las piscinas y de niveles de napa en los piezómetros.
- Instrumentos para el monitoreo de los caudales de extracción desde los pozos ubicados en la vecindad del proyecto.

Gastos de Operación y Manutención:

- Costos de Administración.
- Costos de Manutención.
- Costos de Energía.

A continuación se presenta un resumen con los costos de construcción y los costos de administración, mantenimiento y elevación mecánica para cada proyecto.

Tabla 20-1
Costos de Construcción, Administración, Mantención y Operación de los Proyectos

Resumen	Costo Neto	Admin	Mantención	Energía	Energía
	Construcción	Anual	Anual	Año C/uso	Año s/uso
Sector	(sin IVA)			Costo anual	Costo anual
	(Mill. \$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)
A4-L3	844.55	6,000,000	16,890,932	4,619,094	4,431,057
A3-L6	844.72	6,000,000	16,894,341	5,286,623	4,431,057
A1-P5	844.45	6,000,000	16,888,949	5,311,467	3,811,779
A2-P9	635.52	6,000,000	12,710,430	4,660,018	3,563,375

21 EVALUACIÓN ECONÓMICA

Con los proyectos de recarga artificial diseñados, se aumentaría la disponibilidad de agua en las napas y se mejorarían las condiciones del riego en el área circundante, lo que permitiría incorporar nuevas tierras a la producción y/o aumentar los rendimientos de las que se regaban que, por efecto del proyecto, mejorarían la seguridad de riego.

Las evaluaciones económicas han sido elaboradas en base a los flujos de costos y beneficios, al comparar las situaciones sin y con proyecto. Estas evaluaciones se han realizado utilizando el método del presupuesto y considerando una tasa de descuento de 12% para la evaluación privada, 6% para la evaluación social, los factores de corrección de precios sociales vigentes de MIDESO y un horizonte de evaluación de 30 años.

A continuación se presentan un resumen de los resultados obtenidos de la evaluación económica, desarrollados a nivel de prefactibilidad en las cuencas de La Ligua y Petorca.

Tabla 21-1
Resumen de Resultados Evaluación Económica

Sector	Costo Obras	Precios de Mercado			Precios Sociales		
		VAN	TIR	IVAN	VAN	TIR	IVAN
	(Mill \$)	(Millones de \$)	(%)		(Millones de \$)	(%)	
A4-L3	844.5	741.8	19.0	0.74	3172.7	27.5	3.02
A3-L6	844.7	757.2	13.7	0.76	8872.8	18.2	8.44
A1-P5	844.4	-121.5	11.2	-0.12	2260.9	14.8	2.15
A2-P9	635.5	-226.5	10.5	-0.30	2092.5	14.7	2.65

Tabla 21-2
Rentabilidades Unitarias de los Proyectos

Sector	Superf.	Q Medio	VAN Unitario - Pr de Mercado		Rentabilidad
	Benefic.	Infiltrado	Total	por año	
	(ha)	(l/s)	(Mill \$/ha)	(Mill \$/ha/año)	mill \$/(l/s)
A4-L3	687.8	445	1.08	0.036	1.7
A3-L6	672.4	511	1.13	0.038	1.5
A1-P5	295.1	365	-0.41	-0.014	-0.3
A2-P9	375.0	450	-0.60	-0.020	-0.5

Los proyectos de la cuenca del río La Ligua tienen rentabilidad positiva, tanto para precios de mercado como sociales. Al comparar el indicador VAN, se observa que el proyecto A3-L6 es el más conveniente en la cuenca del río La Ligua.

Los proyectos de la cuenca del río Petorca tienen rentabilidad negativa, para precios de mercado. Al considerar los precios sociales, la rentabilidad es positiva. El indicador VAN señala que el proyecto A2-P9 es el más conveniente en la cuenca del río Petorca.

22 ASPECTOS LEGALES PARA LA MATERIALIZACIÓN DE PROYECTOS DE RECARGA ARTIFICIAL

22.1 Código de Aguas

En la modificación efectuada en el año 2005 se 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 restricción. En dichas zonas, la citada Dirección limitará prudencialmente los nuevos derechos pudiendo incluso dejarlos sin efecto en caso de constatar perjuicios a los derechos ya constituidos. Sin perjuicio de lo establecido en el inciso primero del artículo 67, y no siendo necesario que anteriormente se haya declarado área de restricción, previa autorización de la Dirección General de Aguas, cualquier persona podrá ejecutar obras para la recarga artificial de acuíferos, teniendo por ello la preferencia para que se le constituya un derecho de

aprovechamiento provisional sobre las aguas subterráneas derivadas de tales obras y mientras ellas se mantengan.

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.

Dependiendo del tipo de solución que se desarrolle, particularmente en el caso de obras superficiales, puede ser necesaria la obtención de permisos o autorizaciones.

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 obras y el establecimiento de garantías; que es necesario tener presente si las obras a proyectar o construir quedan comprendidas dentro de estas especificaciones.

Cualquier utilización del recurso hídrico asociada a este tipo de proyectos requiere contar con los derechos correspondientes. La obtención de los derechos puede hacerse por la vía administrativa, judicial en el caso de regularización o bien por la compra de ellos.

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

22.2 Reglamento del Código de Aguas

El Reglamento de Aguas Subterráneas (Res DGA N° 425, 2007) establece:

“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.”*

22.3 Consideraciones relacionadas con el otorgamiento y el ejercicio del derecho

Los derechos que se constituyen como resultado de la operación de una obra de recarga artificial son de carácter provisional, así se soliciten en un área abierta, declarada de restricción e incluso de prohibición. La cuantía del derecho no queda condicionada al concepto de derechos provisionales que establece el art. 66, sino que se liga con los volúmenes que el sistema es capaz de infiltrar al acuífero.

Ya que no es posible otorgarlos en zonas de prohibición, por el beneficio global que genera un proyecto de recarga artificial al sistema de agua subterránea, la DGA debería aceptar que sea factible implementar proyectos de recarga artificial, aplicando criterios y normas equivalentes a las que el Código de Aguas establece para áreas abiertas y de restricción. En efecto, ya que una parte o fracción de los volúmenes de esta recarga son los que se extraerán como derechos provisionales, el resto tendrá como destino mejorar la condición de la napa subterránea en esta área de prohibición, lo que evidentemente será algo positivo para este sistema.

22.4 Mecanismos Jurídicos para la Operación de los Proyectos

Debido a que los proyectos de recarga artificial se implementarán en cuencas donde los acuíferos están en áreas de restricción desde el punto de vista legal, será necesario que se forme una Comunidad de Aguas Subterráneas a la que pertenezcan todos los posibles beneficiarios de cada proyecto. El Código de Aguas establece los requerimientos, estructura y procedimientos que deben cumplir estas comunidades.

Por otra parte, el análisis técnico con el que se desarrollaron los proyectos de recarga artificial, consistió en evaluar la disponibilidad de agua superficial para infiltración a través de la modelación de balances hídricos, basados en establecer las demandas de agua en los valles y la disponibilidad para suplirlas, tanto superficial como subterránea.

Sin embargo, desde el punto de vista jurídico, el requerimiento de estos proyectos, de contar con el agua para infiltrarla, requiere disponer de los derechos que respalden las cifras de caudales determinadas en el estudio y que forman parte de la memoria de cada proyecto. Hay que recordar que los derechos de agua superficial contemplados en estos

proyectos corresponden a caudales medios mensuales, de uso consuntivo y ejercicio eventual (50% de probabilidad de excedencia) y discontinuo (sólo en meses de invierno).

Puesto que en ninguna de las dos cuencas habría posibilidades de conseguir derechos de agua superficial en la DGA, las alternativas se reducen a: adquirir derechos de terceros, de canales cercanos a los proyectos, o bien acudir a las reservas de derechos eventuales de agua que posee la DOH en la cabecera de los valles de Petorca y La Ligua (para los proyectos de embalse que están todavía en estudio), para que una parte los cediera a cada Comunidad de Aguas que se forme. Esos derechos deberían ser trasladados hasta el punto de captación en el río de las aguas que abastecerán el Proyecto.

Contando legalmente con el agua para infiltrar y con el financiamiento del proyecto, se analiza la pertinencia de ingresar al SEIA, lo que en este caso (para todos los proyectos analizados), no se necesita, tal como se deduce de los análisis ambientales efectuados.

Alcanzada esta instancia, el proyecto estará en condiciones de ser presentado a la DGA para su revisión, corrección y aprobación.

Debe indicarse que cada proyecto de recarga artificial tiene obras de infiltración o recarga, pozos de monitoreo para control de niveles y calidad de agua, y pozos de producción, que recuperarán una fracción del agua infiltrada, para ser usada en nuevas áreas para cultivos anuales (hortalizas y chacras) y en mejorar la seguridad de riego actual de áreas en uso.

Además, en la presentación del proyecto debe incluirse planes de monitoreo del sistema, el plan de operación y mantenimiento, el plan de contingencias y el plan de abandono. Una vez aprobado el proyecto, deberá construirse las obras de recarga y los pozos de monitoreo. Los pozos de producción se construirán posteriormente.

La operación de la red de monitoreo de control de niveles y de calidad, como parte del plan de monitoreo del sistema, se iniciará tan pronto sea posible luego de la aprobación de la construcción de las obras, para establecer la línea base ambiental. Esta red consistirá en a lo menos 5 pozos de pequeño diámetro o piezómetros, desde los cuales se pueda tomar muestras de agua, además de medir los niveles de napa. De ellos, 2 estarán aguas abajo de la obra de recarga, a menos de 100 m, de modo de controlar la influencia que tendrá la recarga junto a la obra una vez que entre en operación. El resto de los pozos de control se perforarán en el área desde donde se extraerán los caudales de los pozos de producción y, al menos 1, en áreas vecinas a la de los pozos de producción para verificar el efecto del bombeo adicional sobre estos sectores.

Comenzando el invierno se iniciará la operación de la obra de recarga para conocer los caudales de recarga que admite y comprobar lo realista de las estimaciones del proyecto.

Cualquiera sea el resultado de este procedimiento, se podrá iniciar la construcción de los pozos de producción, mientras se sigue controlando niveles y calidad de la napa, a lo que se agrega el control de la calidad del agua superficial que se esté infiltrando.

Dado que la construcción de los pozos no debe tardar más de 3 meses, se podrá efectuar las pruebas de bombeo de cada uno de ellos para solicitar de los derechos provisionales, extrayendo los caudales que les correspondan, calculados como la fracción ya definida (30% en este caso), de los caudales que realmente infiltren en la obra de recarga. Con estos antecedentes, para cada pozo se solicitará los derechos provisionales de agua subterránea, entendiendo que de una vez constituidos el proyecto en su totalidad podrá operar. Dado que los plazos para constituir estos derechos podrían ser de 6 meses o más, el control de las napas a través de los pozos de pequeño diámetro debe continuar.

En este lapso, la Comunidad de Aguas, dueña del proyecto, debe solicitar a la DGA la instalación de los instrumentos de medición de caudal en todos los pozos que serían influidos por la recarga artificial, tanto en los nuevos pozos de producción, como en los pozos ya en uso que posean derechos, a fin de verificar que los caudales que se extraen en estos últimos se mantengan una vez que el proyecto opere normalmente.

Iniciada la operación del sistema deberá aplicarse todas las indicaciones del plan de operación y mantenimiento, teniendo especial cuidado en controlar la eficiencia de cada laguna de infiltración para realizar las labores de mantenimiento cuando esta eficiencia disminuya en forma clara. En efecto, una disminución de ello será indicativo que se requiere una limpieza del fondo de la laguna, para lo cual se vaciará y será reemplazada por otra que esté en condiciones óptimas.

El plan de contingencias a elaborarse, servirá para resolver situaciones inesperadas que se presenten. Para instalaciones como las de este proyecto, éstas podrían presentarse cuando se produzcan crecidas que puedan amagar la seguridad de las lagunas o producir colmatación de los decantadores y sedimentadores. En otros tipos de instalaciones (por ej. pozos de inyección), las contingencias podrían tener que ver con las obras mismas de recarga (fallas eléctricas, rotura de tubería de admisión, bomba de inyección, etc.).

Finalmente, el plan de abandono que se elabore debe dar cuenta de la forma en que el área que ocupan las instalaciones de recarga artificial serán desmanteladas para dejar la superficie que ocuparon de una forma semejante a como se encontraban antes de la construcción de las obras. No se requiere plan de abandono para dejar de usar los pozos de producción o para dejar de controlar los pozos de monitoreo.

23 DISEÑO DE PROGRAMA DE INSTALACIÓN DE EQUIPOS DE MEDICIÓN DE CAUDAL Y OTROS PARÁMETROS

23.1 Monitoreo de Aguas Subterráneas

Se contempla instalar medidores de caudal en los pozos que se ubiquen en el área de influencia de cada proyecto que vaya a ser materializado. Estos instrumentos contarán con un sistema de almacenamiento de la información (datalogger) que permitirá la extracción periódica de los datos. También se requiere medir los niveles de la napa en la vecindad más próxima de cada proyecto, para lo cual se utilizarán piezómetros.

23.2 Monitoreo de Aguas Superficiales

Se requiere controlar los caudales que ingresan a las piscinas, para lo que se instalarán flujómetros tipo Parshall en los canales de aproximación de éstas. La información limnigráfica será almacenada en un datalogger y deberá ser rescatada de forma periódica.

Para controlar el volumen de agua en las piscinas, se instalarán limnímetros en el sector de infiltración. Se contempla instalar dos reglas limnimétricas en cada obra de recarga.

23.3 Monitoreo Meteorológico

Se sugiere la medición de las precipitaciones y tasa de evaporación en el entorno de cada proyecto. Para esto se requerirá la instalación de estaciones meteorológicas, las que debieran contar con un pluviógrafo y un evaporímetro cada una.

23.4 Estimación de Costos de Equipos de Medición

Monitoreo de Caudales en pozos cercanos.	20 pozos x \$3.750.000 c/u = \$75.000.000.-
Monitoreo de Niveles de Napa.	2 piezóm. x \$6.250.000 c/u = \$12.500.000.-
Monitoreo de Caudales entrantes a recarga.	1 Parshall x \$3.500.000 c/u = \$3.500.000.-
Monitoreo de niveles de carga en piscinas.	2 regletas x \$250.000 c/u = \$500.000.-
Monitoreo meteorológico.	1 estación x \$2.500.000 c/u = \$2.500.000.-

En consecuencia, el costo total estimado por la instalación de instrumentos de control para cada proyecto de recarga, asciende a \$94.000.000.

24 CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

- Se desarrolló el presente trabajo con el fin de identificar sectores favorables para proyectos de recarga artificial en las cuencas de La Ligua y Petorca, desarrollar proyectos a nivel de prefactibilidad en los sectores que resultasen seleccionados y evaluar dichos proyectos desde el punto de vista técnico-económico.
- Se desarrolló un capítulo especial relacionado con los antecedentes técnicos y legales generales de la recarga de acuíferos, donde se mostró los métodos usados para en recarga de acuíferos y el marco legal al que deben circunscribirse.
- Se determinó que la recarga superficial a través de pozas o piscinas es el método que mejor se adapta a las condiciones de las cuencas de Ligua y Petorca.
- Entre los tipos de obras asociadas, las balsas o piscinas de infiltración aparecen como las más recomendables para las condiciones de magnitud y oportunidad en que se dispondrá de caudales para recargar la napa en el área estudiada.
- Se caracterizó hidrogeológicamente las cuencas de La Ligua y Petorca, para determinar capacidad de infiltración y volúmenes de almacenamiento por sector.
- Se revisó la información disponible de calidad de aguas, tanto superficiales (aguas infiltrables), como subterráneas (medio receptor de la infiltración), determinándose que ambas son semejantes y buenas, sin restricción para su uso en riego.

- Se hizo una selección preliminar de sectores favorables, a partir de imágenes satelitales, lo que fue posteriormente validado con recorridos de terreno.
- Se identificaron sectores favorables para la recarga y hubo una selección de ellos, progresiva, en función de las disponibilidades de agua, la que se fue afinando, con la utilización de un modelo de simulación con celdas pequeñas, aplicado a sectores específicos. De igual modo, el tipo de obras consideradas en la primera evaluación se fue ajustando a la disponibilidad de aguas y de superficie para instalarlas, hasta llegar al diseño que finalmente se sometió a evaluación económica, consistente en piscinas de infiltración agrupadas en módulos de recarga.
- Se seleccionó inicialmente 19 sitios favorables para recarga (12 en La Ligua y 7 en Petorca), de los que finalmente quedaron solo 4 (2 en La Ligua y 2 en Petorca).
- Se realizó una modelación que permitió establecer las magnitudes de los caudales que estarían disponibles para ser utilizados en las obras de recarga. Se determinó los caudales para probabilidad de excedencia 85% y 50%.
- Los caudales asociados al 85% de probabilidad de excedencia podrían solicitarse como derechos de ejercicio permanente y discontinuo, mientras que los correspondientes a 50%, como derechos de ejercicio eventual y discontinuo.
- Para el caso de 85% de probabilidad de excedencia, los caudales disponibles en cada cuenca varían: entre 19 y 21 l/s para el período Julio a Agosto en Petorca y entre 33 y 203 l/s para el período Junio a Septiembre en Ligua.
- Para el caso de 50% de probabilidad de excedencia, los caudales disponibles en cada cuenca varían: entre 240 y 804 l/s para el período Junio a Septiembre en Petorca y entre 158 y 1357 l/s para el período Mayo a Septiembre en La Ligua.
- Los recursos asociados a 85% de probabilidad de excedencia, podrían destinarse a frutales por representar una disponibilidad promedio de 5 por cada 6 años. Los recursos asociados a 50% en cambio, podrían destinarse a chacras y hortalizas por representar una disponibilidad promedio de 1 por cada 2 años.
- Los proyectos fueron evaluados considerando que se dispondrá de los caudales 50% de probabilidad de excedencia.
- El análisis y los balances realizados con el modelo consideraron la situación de usos actuales de aguas subterráneas y no la situación de derechos, más restrictiva.
- Los proyectos seleccionados para la evaluación técnico económica fueron los siguientes:
En La Ligua:
A3-L3 (Sector La Viña), con caudales 50% probabilidad de excedencia y
A3-L6 (Sector Cabildo), con caudales 50% probabilidad de excedencia y
En Petorca:
A1-P5 (Sector Hierro Viejo), con caudales 50% probabilidad de excedencia y
A2-P9 (Sector La Canela), con caudales 50% probabilidad de excedencia.
- Se hizo un análisis ambiental y se estableció la línea base de flora y fauna terrestre en los sectores de proyecto. Se determinó también que los proyectos no tienen ninguna limitación de este tipo; aunque se recomienda su ingreso voluntario al sistema de evaluación ambiental.
- Se desarrolló un estudio agronómico enfocado a las áreas de influencia de los proyectos, actualizándose la información de series de suelos y de uso de suelos.

- En las áreas de influencia de cada proyecto se hizo encuestas agropecuarias a la gran mayoría de los potenciales beneficiarios, para definir la situación actual agropecuaria y la situación futura o con proyecto.
- Se hizo un estudio de mercados, comercialización y precios, para establecer las condiciones de comercialización asociadas a la situación futura.
- Se determinó los flujos de márgenes agrícolas para cada sector, como antecedentes para la evaluación económica de los proyectos.
- Se realizó el diseño a nivel de prefactibilidad de las obras de recarga, lo que incluyó: dimensionamiento, cubicación y presupuesto de las obras asociadas a cada sector y proyecto seleccionado, determinándose que el costo de implementarlos variará entre 635 y 845 millones de pesos.
- Se realizaron las evaluaciones económicas de los proyectos (o sectores), las que entregaron los resultados que se presentan en las Tablas siguientes.

Tabla 24-1
Resumen de Resultados Evaluación Económica

Sector	Costo Obras	Precios de Mercado			Precios Sociales		
		VAN	TIR	IVAN	VAN	TIR	IVAN
	(Mill \$)	(Millones de \$)	(%)		(Millones de \$)	(%)	
A4-L3	844.5	741.8	19.0	0.74	3172.7	27.5	3.02
A3-L6	844.7	757.2	13.7	0.76	8872.8	18.2	8.44
A1-P5	844.4	-121.5	11.2	-0.12	2260.9	14.8	2.15
A2-P9	635.5	-226.5	10.5	-0.30	2092.5	14.7	2.65

Tabla 24-2
Rentabilidades Unitarias de los Proyectos

Sector	Superf.	Q Medio	VAN Unitario - Pr de Mercado		Rentabilidad
	Benefic.	Infiltrado	Total	por año	
	(ha)	(l/s)	(Mill \$/ha)	(Mill \$/ha/año)	mill \$/(l/s)
A4-L3	687.8	445	1.08	0.036	1.7
A3-L6	672.4	511	1.13	0.038	1.5
A1-P5	295.1	365	-0.41	-0.014	-0.3
A2-P9	375.0	450	-0.60	-0.020	-0.5

- Los proyectos de la cuenca del río Petorca tienen rentabilidades negativas, para precios de mercado. Al considerar los precios sociales, la rentabilidad es positiva. El indicador IVAN señala que el proyecto A2-P9 es el más conveniente en la cuenca del río Petorca.
- Los proyectos de la cuenca del río La Ligua tienen rentabilidad positiva, tanto para precios de mercado como sociales. Al comparar el indicador IVAN, se observa que el proyecto A3-L6 es el más conveniente en la cuenca del río La Ligua. Esto se mantiene si se observa la rentabilidad unitaria (por hectárea).
- Por lo tanto, de concretarse algún proyecto en estos valles, debiera ser en la cuenca del río La Ligua y si se considera solo los aspectos económicos, debiera

ser en el sector cercano a Cabildo, que tiene mejores indicadores que el proyecto que se ubica en el sector La Viña.

- Se esbozó un programa para la instalación de equipos de medición de caudal en los pozos que se ubiquen cercanos a las obras de infiltración, de forma de controlar adecuadamente los caudales de extracción atribuibles a la recarga. Adicionalmente, se plantea controlar los niveles freáticos aguas abajo de las obras, mediante piezómetros; los caudales afluentes a las obras, mediante flujómetros del tipo Parshall y limnígrafos; los volúmenes en las piscinas, mediante reglas limnimétricas; y la precipitación y evaporación en cada sector con obras de recarga, mediante la instalación de pluviógrafos y evaporímetros.
- Los proyectos de recarga artificial que han sido evaluados en este estudio, que serán complementarios con los proyectos de embalse, son muy pequeños en el contexto de cada valle, por lo que sus efectos, si bien tendrán una influencia en la vecindad inmediata, serán marginales a nivel de cuenca.

Santiago, Enero de 2013