



**DIAGNÓSTICO DE ZONAS DE RECARGA  
EN CUENCAS DEL SECANO MAULE  
VII REGIÓN DEL MAULE**

**RESUMEN EJECUTIVO**

**NOVIEMBRE 2014**





**Comisión Nacional de Riego**

**DIAGNÓSTICO DE ZONAS DE RECARGA  
EN CUENCAS DEL SECANO MAULE  
VII REGIÓN DEL MAULE**

**RESUMEN EJECUTIVO**

**SANTIAGO, NOVIEMBRE DE 2014**

**GCF INGENIEROS LTDA.**  
Fidel Oteiza 1971, Of. 701, PROVIDENCIA – SANTIAGO  
Fono: 02-22097179 – e-mail: [gcabrera@entelchile.net](mailto:gcabrera@entelchile.net)

**GCF INGENIEROS LTDA.**

**Jefe de Proyecto**

**Ing. Civil Sr. Guillermo Cabrera Fajardo**

**Profesionales**

**Ing. Civil Sr. Sergio Matus García**

**Ing. Civil Sr. Lem Mimica Viladrich**

**Ing. Civil Sr. Carlos Salazar Méndez**

**Ing. Civil Sr. Iván Rivera Romero**

**Ing. Agrónomo Sr. Patricio Murúa Sazo**

**Ing. Agrónomo Sra. Eliana de Amesti de Amesti**

**Biólogo Sr. Cristian Andrade Madrid**

**Médico Veterinario Sr. Rodrigo Valenzuela Aceval**

**Biólogo Sr. Daniel Salas Johnson**

**Abogada Sra. Isabel Morales Novoa**

**Ing. Civil Sr. Eduardo Riquelme Ríos**

**Ing. Civil Sr. Juan Pablo Ulloa**

## ÍNDICE

	Pág.
1 OBJETIVOS DEL ESTUDIO .....	1
2 ASPECTOS TÉCNICOS DE LA RECARGA ARTIFICIAL .....	1
3 ESTUDIOS BÁSICOS .....	1
3.1 Estudio Socioeconómico .....	3
3.2 Hidrología .....	3
3.3 Estudio Hidrogeológico .....	7
3.4 Uso Actual y Derechos de Aguas .....	9
3.5 Estudio Agronómico .....	9
3.6 Calidad de Aguas .....	11
4 IDENTIFICACIÓN DE ZONAS POTENCIALES DE RECARGA Y MÉTODOS DE RECARGA .....	14
5 DESCRIPCIÓN CONCEPTUAL DE LOS PROYECTOS .....	19
6 IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE AGUA PARA LA RECARGA .....	23
7 DEFINICIÓN DE PERFILES .....	27
8 EVALUACIÓN LEGAL .....	30
8.1 Disposiciones legales aplicables .....	30
8.2 Recomendaciones .....	30
8.3 Ideas sobre el desarrollo de proyectos de recarga .....	31
8.4 Pertinencia de Ingreso al SEIA .....	32
9 ANÁLISIS DE COSTOS .....	33
10 EVALUACIÓN AGROECONÓMICA DE LOS PERFILES .....	33
11 EVALUACIÓN AMBIENTAL DE LOS PERFILES .....	34
12 COSTOS Y BENEFICIOS DE LOS PROYECTOS .....	34
12.1 Costos de los Proyectos de Recarga Artificial de Acuíferos .....	34
12.2 Beneficios de los Proyectos de Recarga Artificial de Acuíferos .....	35
13 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS PROYECTOS .....	35
14 COMENTARIOS Y CONCLUSIONES .....	37

## **1 OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

El objetivo del estudio ha sido evaluar a nivel de perfil diez proyectos de recarga artificial en la zona del secano costero de la Región del Maule.

Para ello se identificaron zonas para realizar recarga artificial y obtener fuentes de agua, junto con proponer proyectos a nivel de perfil, los que fueron evaluados económicamente.

## **2 ASPECTOS TÉCNICOS DE LA RECARGA ARTIFICIAL**

Los principales objetivos de la recarga artificial pueden ser: almacenar agua superficial excedente en acuíferos, trasvasar agua a través del acuífero de un punto a otro sin necesidad de obras de conducción, crear barreras hidráulicas para frenar el descenso 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 y actuar ante problemas de subsidencia.

Condiciones que favorecen la infiltración y almacenado de aguas en el acuífero se refieren a contar con suelos y acuíferos permeables y una calidad del agua de recarga adecuada.

Algunas ventajas de implementar proyectos de recarga artificial son: reducir el descenso del nivel del agua producido por sobre-bombeo, usar el acuífero como embalse regulador natural y distribuidor de las aguas, evitar que aguas de inferior calidad del acuífero se desplacen.

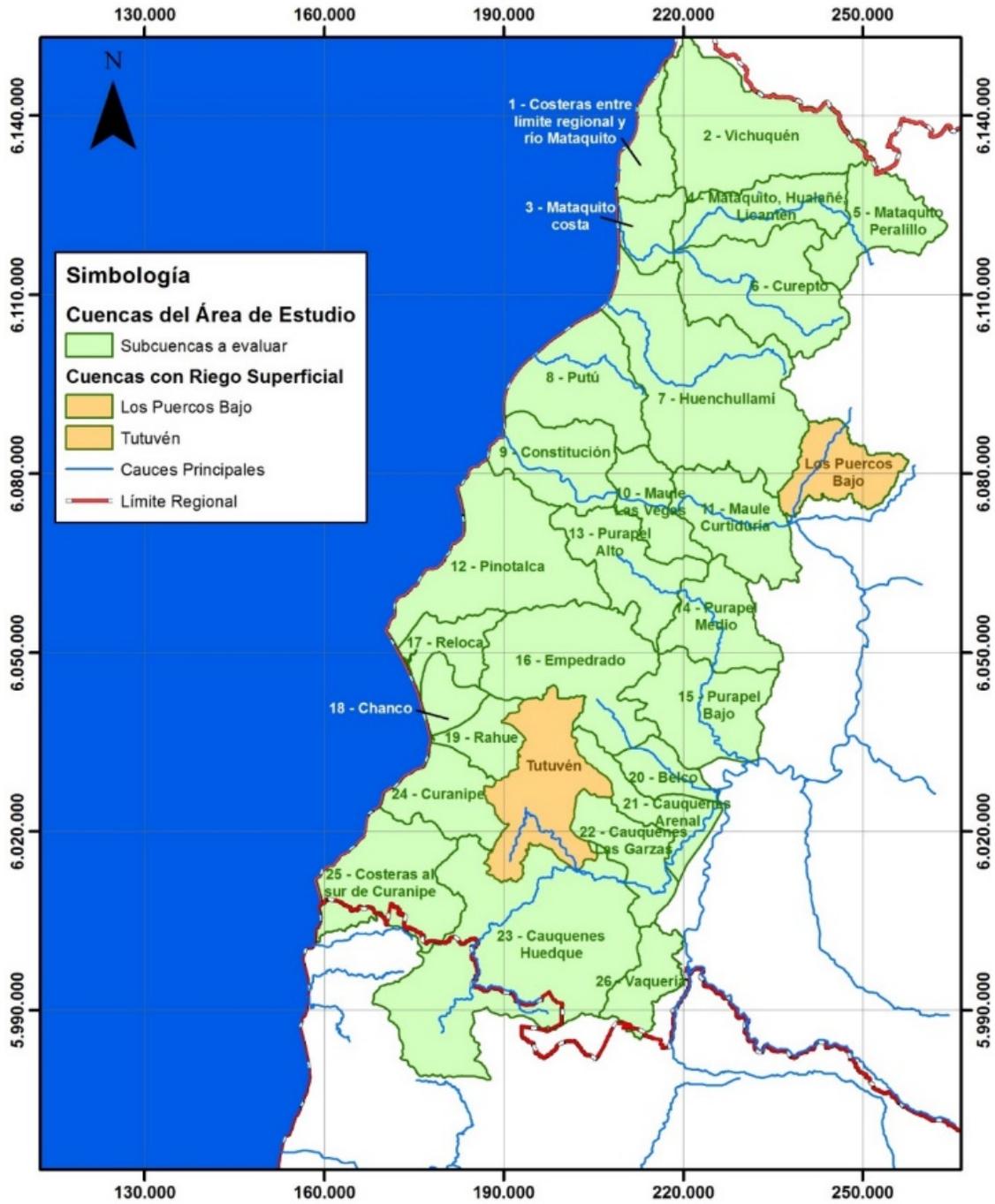
Al comparar los distintos métodos de recarga, se debe considerar las ventajas e inconvenientes de cada uno, entre los que se destaca que las obras de recarga superficial requieren mayor espacio, que deben emplazarse sobre terrenos permeables conectados directamente con el acuífero, los canales, balsas, pozas, cauces y áreas inundadas para recarga superficial favorecen la presencia de mosquitos y otros insectos u animales que acudan a beber, las instalaciones deben protegerse con cercos, suelen requerir un acondicionamiento previo del suelo, los caudales de recarga suelen ser superiores a los obtenidos con pozos, presentan pérdidas por evaporación y pueden existir problemas de colmatación de las lagunas o instalaciones de recarga.

## **3 ESTUDIOS BÁSICOS**

Se efectuó una caracterización de las cuencas a evaluar, a través de los estudios básicos. Estos correspondieron a estudio socioeconómico, hidrología, geología e hidrogeología, uso actual y demanda de agua subterránea; estudio agronómico y

estudio de calidad de aguas, para cada una de las 26 subcuencas que conforman el área de estudio y que se presentan en la Figura 3.1.

Figura 3.1  
Subcuencas Secano Costero Región del Maule



Coordenadas en Datum WGS 1984, Huso 19 S.  
Fuente: Elaboración propia

### **3.1 Estudio Socioeconómico**

En base a la información del Censo 2002 del INE, se efectuó una caracterización de la población en base a variables como análisis de género, población urbana y rural, presencia indígena, migración, grupo etario, entre otras, determinándose la o las comunas a que cada una de las cuencas pertenece, así como también, la presencia de localidades urbanas en dichas cuencas.

### **3.2 Hidrología**

#### **3.2.1 Pluviometría**

En la zona de estudio existen 29 estaciones meteorológicas de la DGA, en la Figura 3.2 se muestran sus ubicaciones.

Se han extendido los registros en las estaciones donde fue necesario para generar una estadística de 50 años desde enero de 1963 a febrero de 2013.

La Figura 3.3 muestra las precipitaciones medias anuales para cada cuenca, en la Tabla 3.1 se consignan los valores de precipitaciones medias mensuales en cada una.

#### **3.2.2 Fluvimetría**

Las estaciones fluviométricas utilizadas fueron Mataquito en Licantén, Los Puercos en puente Los Puercos, Maule en Forel, Purapel en Nirivilo, Purapel en Sauzal, Cauquenes en Desembocadura y Cauquenes en el Arrayán.

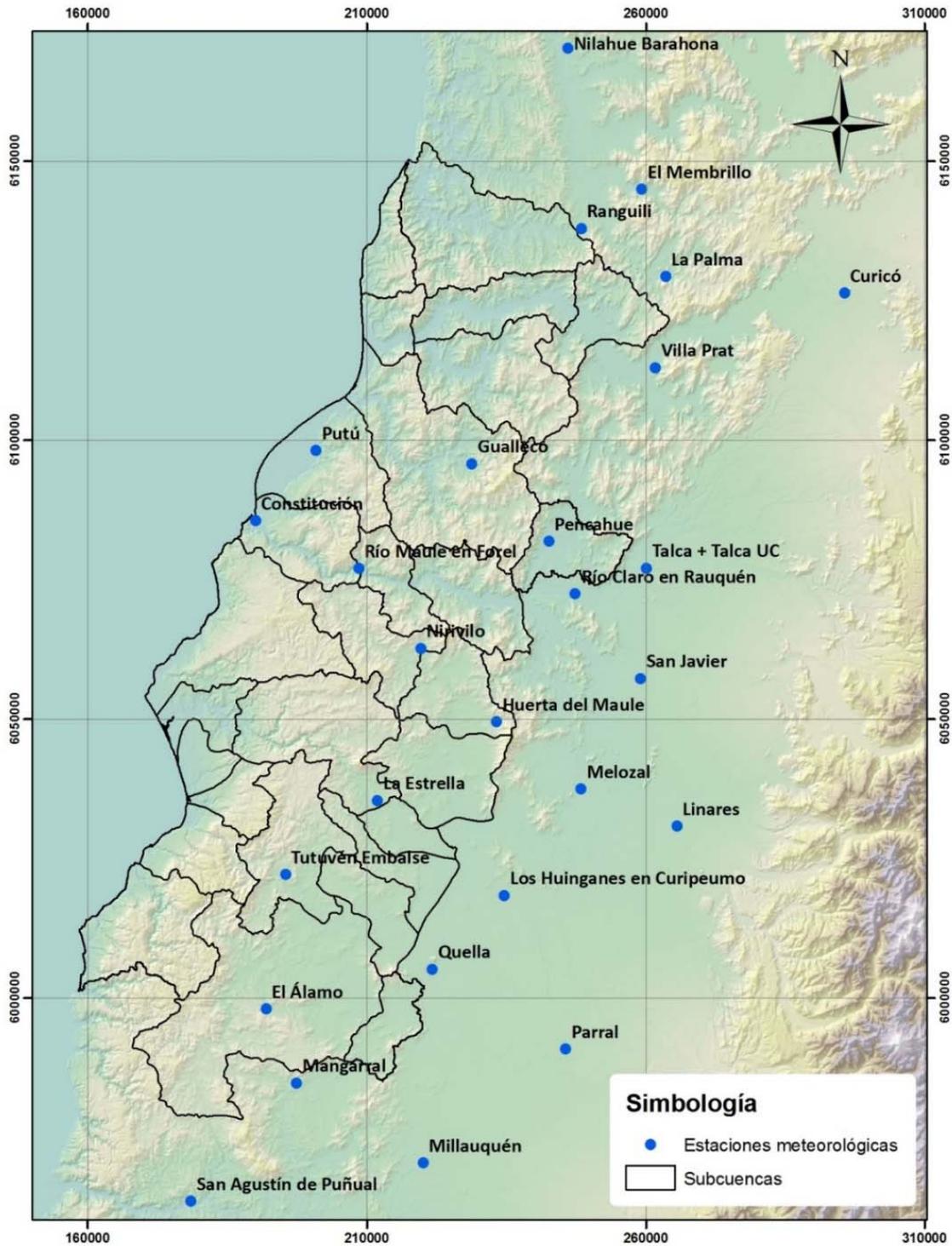
En este caso se han extendido registros en algunas estaciones para generar una estadística de 50 años (1963 a 2012).

#### **3.2.3 Modelo Pluvial de Generación de Caudales**

Para la generación de caudales medios mensuales en las cuencas sin control fluviométrico se aplicó un modelo pluvial MPL, que genera caudales de aporte de cada cuenca como escorrentía superficial.

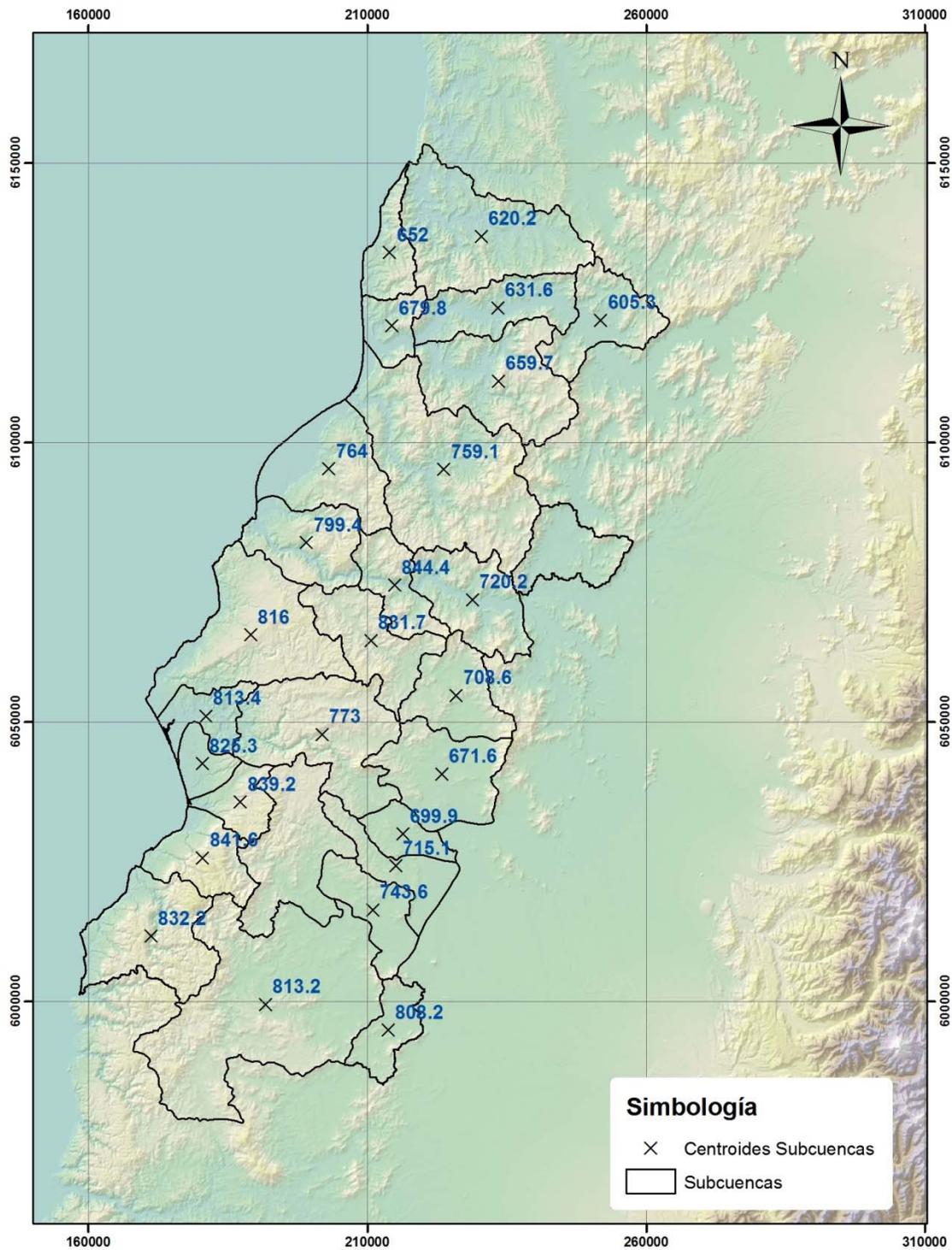
La calibración del modelo, para encontrar valores de parámetros representativos, de los parámetros, utilizó caudales medios mensuales de las cuencas con control fluviométrico que se muestran en la Figura 3.4.

Figura 3.2  
Estaciones meteorológicas



Datum: WGS84 Huso 19S  
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.3  
Precipitación media anual  
Período Enero 1963 - Febrero 2013 (mm) para las cuencas de estudio



Datum: WGS84 Huso 19S  
Fuente: Elaboración propia

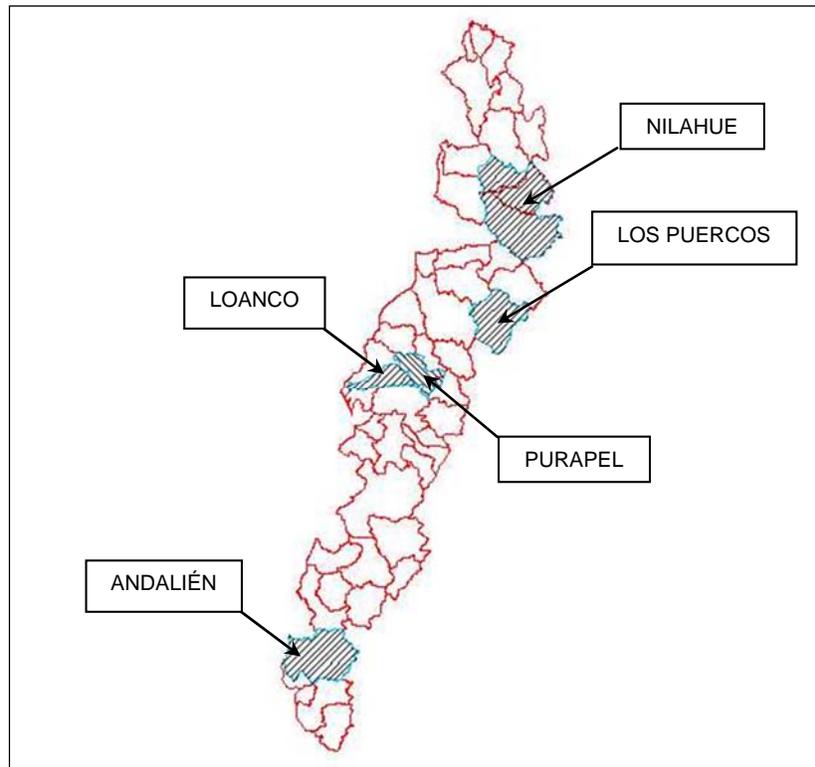
DIAGNÓSTICO DE ZONAS DE RECARGA EN CUENCAS DEL SECANO MAULE,  
VII REGIÓN DEL MAULE

Tabla 3.1 Precipitaciones Medias Mensuales y Anual por Cuenca, período enero 1963- febrero 2013 (mm)

Cuenca Nº	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media Anual
1	4,5	4,5	9,5	38,4	106,9	156,4	123,5	101,0	50,3	33,1	17,2	7,8	652,1
2	3,1	3,5	10,0	33,2	107,6	154,6	120,3	90,4	50,6	27,9	13,5	6,0	620,2
3	5,3	5,3	10,0	41,0	109,7	161,6	127,6	106,5	52,1	35,0	18,4	8,7	679,8
4	3,7	4,2	10,0	35,0	108,7	156,0	126,0	90,5	50,7	26,2	14,3	6,5	631,6
5	2,6	3,7	10,8	34,3	102,4	152,2	122,0	83,0	49,3	26,2	11,6	7,0	605,3
6	3,9	4,4	10,5	35,9	116,2	162,7	137,7	91,2	52,6	23,6	14,3	6,7	659,7
7	5,5	5,5	13,0	43,3	133,1	180,7	160,9	107,7	56,8	26,7	17,4	8,8	759,1
8	8,3	8,4	11,7	43,9	119,6	177,2	147,4	125,5	53,9	37,9	22,1	11,3	764,0
9	12,4	12,6	13,5	36,3	119,4	180,3	162,2	146,1	45,9	38,7	25,9	13,2	799,4
10	9,6	9,8	15,4	39,1	139,9	185,2	180,5	146,4	51,0	33,9	24,6	11,0	844,4
11	8,6	8,8	16,5	37,9	118,2	162,0	142,2	116,8	50,0	30,6	19,9	10,5	720,2
12	12,7	12,9	13,7	39,0	127,9	184,1	166,7	141,9	48,8	37,4	24,9	12,6	816,0
13	9,0	9,2	14,6	40,0	139,9	184,4	174,4	139,3	55,1	34,3	22,9	10,2	831,7
14	11,2	11,4	13,8	41,4	117,3	166,4	130,6	105,9	52,6	34,2	17,1	8,9	708,6
15	13,6	14,2	13,2	41,0	104,5	160,7	119,4	99,0	47,3	34,1	17,5	10,2	671,5
16	12,6	13,0	12,6	41,1	125,4	179,2	152,7	123,6	52,5	33,1	21,2	10,3	773,0
17	13,9	14,0	12,4	44,2	132,7	190,8	159,7	124,0	54,8	37,5	23,4	12,9	813,4
18	14,1	14,2	12,8	45,2	136,8	192,6	163,1	124,3	55,4	37,1	23,4	12,7	825,3
19	14,3	14,3	13,3	46,3	142,2	194,6	167,6	124,7	56,3	36,2	23,2	12,4	839,2
20	16,0	16,6	11,9	41,8	110,5	167,1	124,8	101,6	49,6	35,0	19,7	10,1	699,9
21	15,7	16,3	12,4	42,6	116,3	168,7	129,2	100,9	51,0	36,3	20,0	10,5	715,1
22	15,4	15,8	12,8	43,2	123,0	174,5	137,2	104,7	51,8	37,3	21,1	11,3	743,6
23	17,7	17,9	13,2	44,1	124,6	198,3	147,7	126,3	47,6	41,7	26,8	14,0	813,8
24	14,4	14,5	13,4	46,5	142,5	195,3	167,7	124,9	56,1	36,4	23,5	12,5	841,6
25	14,7	14,8	13,1	45,9	137,1	194,4	162,7	125,0	54,7	38,0	24,5	13,3	832,2
26	17,0	17,1	13,7	48,4	142,1	187,5	142,8	104,8	55,2	44,0	23,4	15,4	808,2

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.4 Cuencas patrón usadas en modelo de generación de caudales



Fuente: Elaboración propia

### 3.3 Estudio Hidrogeológico

#### 3.3.1 Geología

Se efectuó un análisis de la geología del área de estudio, a partir de la geología regional que se muestra en la lámina de la Figura 3.5.

La geología del área de estudio fue caracterizada mediante una descripción sintética de las unidades geológicas presentes en ella, considerando su edad y el origen predominante de las rocas que las componen. En la Tabla 3.2 se identifican dichas unidades, ordenadas según su litología predominante.



### **3.3.2 Hidrogeología**

En el análisis de la hidrogeología de la zona de estudio se utilizó los antecedentes de prospecciones geofísicas, catastros de captaciones, pruebas de bombeo, datos de niveles, valores de parámetros elásticos de los acuíferos y los resultados de 13 pruebas de bombeo realizadas en algunas de las 26 cuencas estudiadas. De ello pudo concluirse que en general, las condiciones hidrogeológicas de las cuencas del secano de la Región del Maule son bastante pobres.

## **3.4 Uso Actual y Derechos de Aguas**

### **3.4.1 Aguas Superficiales**

El área de estudio, abarca parcialmente las provincias de Curicó, Talca y Linares y totalmente la provincia de Cauquenes. La información oficial de aguas superficiales entregada por la DGA da cuenta de un total de 191 derechos constituidos.

Respecto a los usos de las aguas superficiales, el principal uso es agrícola, con casi el 100% de los volúmenes disponibles.

### **3.4.2 Aguas Subterráneas**

La información oficial de aguas subterráneas entregada por la DGA da cuenta de un total de 306 derechos constituidos.

Respecto al uso de las aguas subterráneas en el área, se puede afirmar que más del 80% es agrícola, mientras el resto se destina a agua potable e industria.

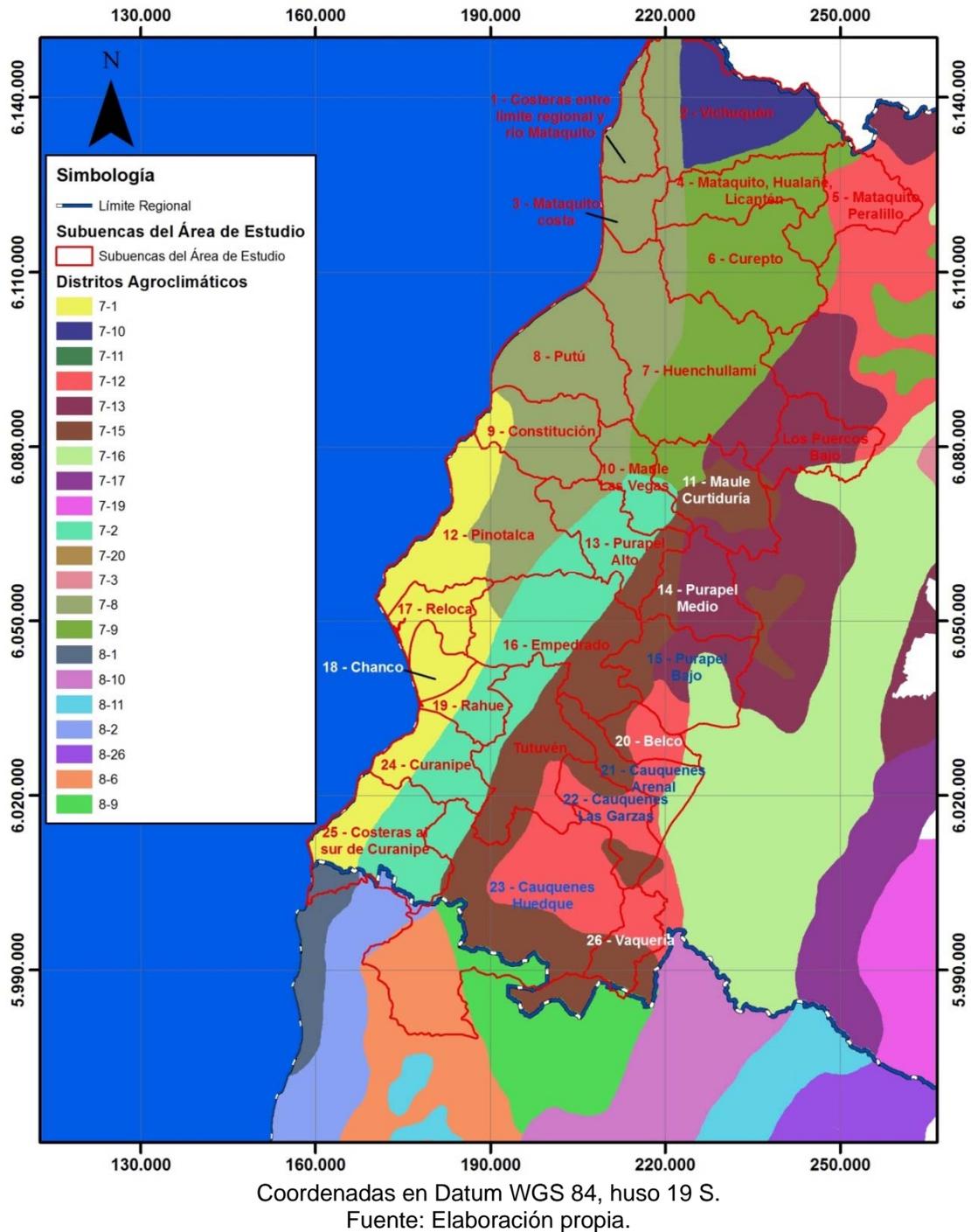
## **3.5 Estudio Agronómico**

Para la caracterización agronómica del área de estudio, se utilizó la sectorización por cuencas y subcuencas y los antecedentes de Clima, Agroclima y Suelos recopilados, los que se han complementado para cubrir toda el área.

### **3.5.1 Clima y Agroclima**

En la Figura 3.6 se presenta la distribución espacial de los Distritos Agroclimáticos, de los cuales 12 cubren el área de estudio.

Figura 3.6  
Distritos Agroclimáticos Región del Maule



### **3.5.2 Suelos**

La caracterización de los suelos en las cuencas de interés se ha realizado a partir de estudios de suelos desarrollados previamente en la VII Región y en parte de la VIII. Esa información se ha traspasado a formato ArcView para facilitar su análisis.

Cabe destacar que se procedió a determinar la superficie por series de suelo, para los parámetros agrológicos de Capacidad de Uso, Aptitud de Drenaje y Aptitud Frutal, de acuerdo a la distribución de los suelos existente al interior del total del área de influencia.

### **3.6 Calidad de Aguas**

Para caracterizar la calidad físico-química del agua superficial y subterránea, se recopiló la información de informes anteriores. Además, en este trabajo se realizó una campaña de terreno en que se midió algunos parámetros en cauces naturales y en captaciones subterráneas. En las Figuras 3.7 y 3.8 se muestran los puntos de muestreo subterráneo y superficial, medidos en este estudio.

Se aprecia que las aguas superficiales muestran una tendencia a ser básicas ( $\text{pH} > 7,5$ ), en tanto las aguas subterráneas son levemente ácidas ( $\text{pH} < 6,5$ ). Las aguas subterráneas muestran una presencia importante de hierro, lo que es común en captaciones subterráneas a lo largo de la costa, principalmente entre las regiones V y X.

Respecto a la conductividad, se observa que en general las aguas subterráneas son más conductivas que las superficiales.

Figura 3.7  
Puntos de Muestreo de Calidad Subterránea

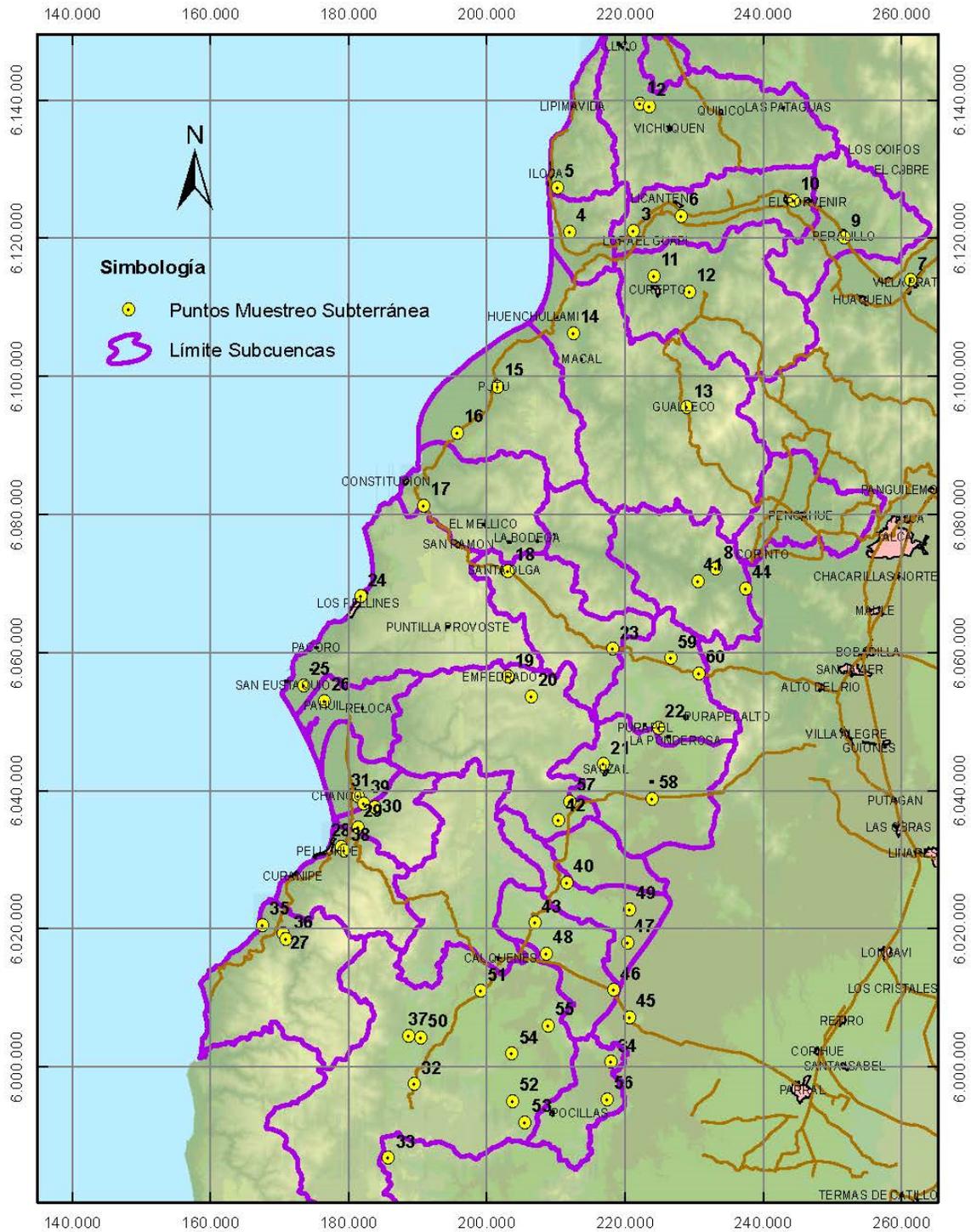


Figura 3.8  
Puntos de Muestreo de Calidad Superficial



Datum WGS 84 Huso 19 S.  
Fuente: Elaboración propia

#### **4 IDENTIFICACIÓN DE ZONAS POTENCIALES DE RECARGA Y MÉTODOS DE RECARGA**

Luego de caracterizar la hidrología, hidrogeología y agronomía, se analizaron las subcuencas del área del estudio, para determinar su aptitud y posibilidades de materializar proyectos de recarga artificial.

Donde se determinó que resulta factible implementar un proyecto, se identificaron los sectores en que esto sería posible y se definió los métodos de recarga artificial que serían adecuados en cada caso, señalando además las características de los proyectos.

En la Tabla 4.1 se ha resumido esta información y en la Figura 4.1 se muestra la ubicación de los sectores propuestos para recarga artificial.

Se ha definido un *índice de calidad compuesto* para los proyectos de recarga artificial, para cada sector, que da cuenta de su aptitud para recibir una recarga. Las variables consideradas son tres, con diferentes ponderadores, de acuerdo a la experiencia de estudios previos; nivel estático (0 a 3,5), coeficiente de permeabilidad (0 a 1) y volumen del acuífero susceptible de ser saturado (0 a 0,5).

Los resultados de la determinación de los índices por sectores se presentan en la Tabla 4.2. Además, en la Tabla 4.3 se muestra el ranking de los sectores que serían más aptos para la recarga artificial de acuíferos.

Tabla 4.1  
Sectores Propuestos para Proyectos de Recarga Artificial de Acuíferos

Sector N°	Subcuenca N°	Subcuenca	Nombre Proyecto	Posibles Métodos de Recarga
1	3	Mataquito - Costa	Los Cuervos	1.Zanjas de infiltración 2.Piscinas de Infiltración
2	4	Mataquito-Hualañé-Licantén	Pichilemu	1.Piscinas de infiltración 2.Zanjas de Infiltración
3	7	Huenchullamí	Huenchullamí 1	1.Zanjas de infiltración 2.Espigones en Cauce
4	7	Huenchullamí	Huenchullamí 2	1.Zanjas de infiltración 2.Piscinas de Infiltración
5	7	Huenchullamí	Huenchullamí 3	1.Piscinas de infiltración 2.Zanjas de Infiltración
6	11	Maule Curtiduría	Los Maquis	1.Zanjas de infiltración 2.Piscinas de Infiltración
7	11	Maule Curtiduría	El Valle	1.Zanjas de infiltración 2.Piscinas de Infiltración
8	16	Empedrado	Estero Carrizo	1.Pretilos 2.Zanjas de Infiltración
9	17	Reloca	Reloca	1.Zanjas de infiltración 2.Piscinas de Infiltración
10	18	Chanco	Chanco	1.Zanjas de infiltración 2.Piscinas de Infiltración
11	19	Rahue	Rahue	1.Zanjas de infiltración 2.Piscinas de Infiltración
12	14	Purapel Medio	Purapel Medio	1.Piscinas de infiltración 2.Zanjas de Infiltración
13	15	Purapel Bajo	Purapel Bajo	1.Piscinas de infiltración 2.Zanjas de Infiltración
14	20	Belco	Belco Alto	1.Piscinas de infiltración 2.Pozos de Infiltración
15	20	Belco	Belco Bajo	1.Piscinas de infiltración 2.Pozos de Infiltración
16	21	Cauquenes Arenal	Arenal	1.Piscinas de infiltración 2.Pozos de Infiltración
17	22	Cauquenes Las Garzas	Las Garzas	1.Piscinas de infiltración 2.Pozos de Infiltración
18	23	Cauquenes-Huedque	Coronel de Maule	1.Zanjas de infiltración 2.Piscinas de Infiltración
19	24	Curanipe	Pelluhue	1.Zanjas de infiltración 2.Piscinas de Infiltración

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-1

Ubicación Sectores Propuestos para Proyectos de Recarga Artificial de Acuíferos



Coordenadas UTM según Datum WGS 84 y Huso 19 S.  
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.2  
Determinación del Índice de Aptitud para Recibir Recarga Artificial de Acuíferos

Sector Nº	Subcuenca	Nombre	NE	I-NE	K	I-K	Superficie	Espesor	Volumen	I-VOL	Suma	Índice
	Nº		(m)		(m/s)		(m2)	(m)	(m3)			Compuesto
1	3	Los Cuervos	4,55	0,92	7,00E-04	0,70	786.400	3,55	2.791.720	0,056	1,673	44,1
2	4	Pichilemu	4,90	1,00	4,75E-04	0,47	641.058	3,90	2.500.126	0,050	1,524	39,9
3	7	Huenchullamí 1	5,20	1,07	5,00E-05	0,05	72.069	4,20	302.690	0,005	1,123	28,7
4	7	Huenchullamí 2	5,00	1,02	5,00E-05	0,05	408.220	4,00	1.632.880	0,032	1,103	28,2
5	7	Huenchullamí 3	4,80	0,98	5,00E-05	0,05	497.004	3,80	1.888.615	0,037	1,061	27,0
6	11	Los Maquis	2,30	0,38	1,34E-05	0,01	242.039	1,30	314.651	0,005	0,397	8,4
7	11	El Valle	2,73	0,49	1,00E-03	1,00	669.404	1,73	1.158.069	0,022	1,507	39,5
8	16	Estero Carrizo	3,48	0,66	1,00E-05	0,01	671.599	2,48	1.665.566	0,033	0,702	17,0
9	17	Reloca	8,00	1,74	3,80E-06	0,00	81.844	7,00	572.908	0,010	1,748	46,2
10	18	Chanco	12,02	2,69	4,00E-06	0,00	191.762	11,02	2.113.217	0,042	2,736	73,9
11	19	Rahue	8,00	1,74	4,20E-06	0,00	458.989	7,00	3.212.923	0,065	1,803	47,8
12	14	Purapel Medio	5,50	1,14	8,00E-05	0,08	1.527.786	4,50	6.875.037	0,140	1,360	35,4
13	15	Purapel Bajo	4,00	0,79	5,00E-04	0,50	1.988.717	3,00	5.966.151	0,121	1,406	36,7
14	20	Belco Alto	9,06	1,99	2,60E-04	0,26	3.020.599	8,06	24.346.028	0,500	2,747	74,2
15	20	Belco Bajo	7,50	1,62	5,00E-04	0,50	1.195.027	6,50	7.767.676	0,158	2,276	61,0
16	21	Cauquenes Arenal	1,36	0,16	8,00E-06	0,00	209.506	0,36	75.422	0,000	0,164	1,9
17	22	Cauquenes Las Garzas	1,58	0,21	8,00E-06	0,00	3.002.815	0,58	1.741.633	0,034	0,250	4,3
18	23	Coronel de Maule	0,69	0,00	1,00E-04	0,10	438.326	0,19	83.282	0,000	0,097	0,0
19	24	Pelluhue	15,41	3,50	1,40E-04	0,14	115.940	14,41	1.670.695	0,033	3,670	100,0
		máx	15,41		1,00E-03				24.346.028		3,670	
		mín	0,69		3,80E-06				75.422		0,097	

NE: Nivel Estático.

K: Coeficiente de Permeabilidad.

I-VOL: Índice de Volumen.

I-NE: Índice de Nivel Estático.

I-K: Índice de Permeabilidad.

Tabla 4.3  
Ranking de Sectores Favorables para la Recarga artificial de Acuíferos

Sector Nº	Subcuenca Nº	Nombre	NE (m)	I-NE	K (m/s)	I-K	Superficie (m2)	Espesor (m)	Volumen (m3)	I-VOL	Suma	Índice Compuesto
19	24	Pelluhue	15,41	3,50	1,40E-04	0,14	115.940	14,41	1.670.695	0,033	3,670	100,0
14	20	Belco Alto	9,06	1,99	2,60E-04	0,26	3.020.599	8,06	24.346.028	0,500	2,747	74,2
10	18	Chanco	12,02	2,69	4,00E-06	0,00	191.762	11,02	2.113.217	0,042	2,736	73,9
15	20	Belco Bajo	7,50	1,62	5,00E-04	0,50	1.195.027	6,50	7.767.676	0,158	2,276	61,0
11	19	Rahue	8,00	1,74	4,20E-06	0,00	458.989	7,00	3.212.923	0,065	1,803	47,8
9	17	Reloca	8,00	1,74	3,80E-06	0,00	81.844	7,00	572.908	0,010	1,748	46,2
1	3	Los Cuervos	4,55	0,92	7,00E-04	0,70	786.400	3,55	2.791.720	0,056	1,673	44,1
2	4	Pichilemu	4,90	1,00	4,75E-04	0,47	641.058	3,90	2.500.126	0,050	1,524	39,9
7	11	El Valle	2,73	0,49	1,00E-03	1,00	669.404	1,73	1.158.069	0,022	1,507	39,5
13	15	Purapel Bajo	4,00	0,79	5,00E-04	0,50	1.988.717	3,00	5.966.151	0,121	1,406	36,7
12	14	Purapel Medio	5,50	1,14	8,00E-05	0,08	1.527.786	4,50	6.875.037	0,140	1,360	35,4
3	7	Huenchullamí 1	5,20	1,07	5,00E-05	0,05	72.069	4,20	302.690	0,005	1,123	28,7
4	7	Huenchullamí 2	5,00	1,02	5,00E-05	0,05	408.220	4,00	1.632.880	0,032	1,103	28,2
5	7	Huenchullamí 3	4,80	0,98	5,00E-05	0,05	497.004	3,80	1.888.615	0,037	1,061	27,0
8	16	Esteros Carrizo	3,48	0,66	1,00E-05	0,01	671.599	2,48	1.665.566	0,033	0,702	17,0
6	11	Los Maquis	2,30	0,38	1,34E-05	0,01	242.039	1,30	314.651	0,005	0,397	8,4
17	22	Cauquenes Las Garzas	1,58	0,21	8,00E-06	0,00	3.002.815	0,58	1.741.633	0,034	0,250	4,3
16	21	Cauquenes Arenal	1,36	0,16	8,00E-06	0,00	209.506	0,36	75.422	0,000	0,164	1,9
18	23	Coronel de Maule	0,69	0,00	1,00E-04	0,10	438.326	0,19	83.282	0,000	0,097	0,0

NE: Nivel Estático.

K: Coeficiente de Permeabilidad.

I-VOL: Índice de Volumen.

I-NE: Índice de Nivel Estático.

I-K: Índice de Permeabilidad.

## 5 DESCRIPCIÓN CONCEPTUAL DE LOS PROYECTOS

En las cuencas del secano del Maule, las cuencas de algunos ríos y de pequeños esteros no tienen un respaldo hidrológico que les permita tener flujos permanentes ni grandes caudales de invierno, por lo que los caudales disponibles para la recarga son escasos o nulos.

En atención a las magnitudes de sus caudales, los ríos que han sido considerados como alternativas para contribuir con recursos para ser trasvasados son el Mataquito y el Maule.

En la Tabla 5.1 se presentan las descripciones conceptuales de los proyectos.

Tabla 5.1  
Sector de Proyecto y Descripciones Conceptuales

Nº	Subcuenca	Proyecto	Ubicación		Descripción Conceptual
			Pto. de Captación o Traslase		
			E(m)	N(m)	
1	Mataquito Costa	Los Cuervos (Con aguas del Estero Los Cuervos)	759.894	6.121.992	Captación desde el Estero Los Cuervos, recursos que se acumulan en el mismo estero, mediante pretil, para recargar sectores vecinos.
		Los Cuervos (Con trasvase desde Río Mataquito)	762.145	6.119.178	Captación desde río Mataquito, recursos que se conducen al área de recarga mediante aducción con elevación mecánica.
2	Mataquito-Hualañé-Licantén	Mataquito – Pichilemu (Con aguas del Estero Pichilemu)	238.340	6.128.102	Captación desde el Estero Pichilemu de excedentes del embalse existente, los que se conducen por canal gravitacional hasta sectores ribereños del río Mataquito, para recargar mediante zanjas.
		Mataquito – Pichilemu (con aguas del Río Mataquito)	241.056	6.125.795	Captación desde río Mataquito, recursos que se conducen al área de recarga mediante aducción gravitacional o con elevación mecánica.
3	Huenchullamí	Huenchullamí 1 (Con aguas del Río Huenchullamí)	761.825	6.097.010	Captación desde el río Huenchullamí, recursos que se acumulan en el mismo estero, mediante pretil en sector Loma Limpia, para recargar sectores vecinos.
		(Sin opción de trasvase)	-	-	-

Tabla 5.1 (Continuación)  
Subcuencas, Sectores de Proyecto y de Puntos de Captación y Traslase

Nº	Subcuenca	Proyecto	Ubicación		Descripción Conceptual
			Pto. de Captación o Traslase		
			E(m)	N(m)	
4	Huenchullamí	Huenchullamí 2 (Con aguas del Estero Pudú)	760.766	6.105.957	Captación desde el estero Pudú, recursos que se conducen al área de recarga (ribera del río Huenchullamí) mediante aducción gravitacional.
		(Sin opción de traslase)	-	-	-
5	Huenchullamí	Huenchullamí 3 (Con aguas del Río Huenchullamí)	759.085	6.107.921	Captación desde el río Huenchullamí, recursos que se conducen al área de recarga mediante aducción gravitacional o con elevación mecánica.
		(Sin opción de traslase)	-	-	-
6	Maule Curtiduría	Los Maquis (Con aguas del Estero Los Maquis)	229.688	6.065.774	Captación desde el estero Los Maquis, recursos que se acumulan en el mismo estero, mediante pretil en sector alto, para recargar sectores vecinos.
		Los Maquis (Con traslase o elev. desde Río Maule)	230.663	6.070.775	Captación desde el río Maule, recursos que se conducen al área de recarga mediante aducción con elevación mecánica.
7	Maule Curtiduría	El Valle (Con aguas del Estero El Valle)	236.236	6.064.276	Captación desde el estero El Valle, recursos excedentes al embalse existente, que se conducirían gravitacionalmente para recargar sectores vecinos.
		El Valle (Con Traslase o elev. desde Río Maule)	236.301	6.070.822	Captación desde el río Maule, recursos que se conducen al área de recarga mediante aducción con elevación mecánica.
8	Empedrado	Esteros Carrizo (Con aguas del Estero Carrizo)	754.923	6.054.315	Captación desde el estero Carrizo, de forma de aprovechar parte de los flujos de invierno, para acumularlos en presas de pequeña altura y luego conducirlos en una aducción gravitacional o con elevación mecánica hasta los sectores de recarga, donde se infiltraría mediante zanjas o piscinas.
		(Sin opción de traslase)	-	-	-
9	Reloca	Reloca (Con aguas del Río Reloca)	725.423	6.054.680	Captación desde el río Reloca, para aprovechar parte de los flujos de invierno, para conducirlos en una aducción gravitacional o con elevación mecánica hasta los sectores de recarga, donde se infiltraría en zanjas o piscinas.
		(Sin opción de traslase)	-	-	-

Tabla 5.1 (Continuación)  
Subcuencas, Sectores de Proyecto y de Puntos de Captación y Traslase

Nº	Subcuenca	Proyecto	Ubicación		Descripción Conceptual
			Pto. de Captación o Traslase		
			E(m)	N(m)	
10	Chanco	Chanco (Con aguas del Estero Lircay)	727.083	6.039.959	Captación desde el estero Lircay, aguas abajo de la confluencia con los esteros Peralillo e Infiernillo, para aprovechar parte de los flujos de invierno, para conducirlos en una aducción gravitacional o con elevación mecánica hasta los sectores de recarga, donde se infiltraría en zanjas.
		(Sin opción de traslase)	-	-	-
11	Rahue	Rahue (Con aguas del Estero Lircay)	727.083	6.039.959	Captación desde el estero Lircay, aguas abajo de la confluencia con los esteros Peralillo e Infiernillo, para aprovechar parte de los flujos de invierno, para conducirlos en una aducción con elevación mecánica hasta los sectores de recarga, donde se infiltraría en zanjas.
		(Sin opción de traslase)	-	-	-
12	Purapel Medio	Purapel Medio (Con aguas del Río Purapel)	225.463	6.049.917	Captación desde el río Purapel, para aprovechar parte de los flujos de invierno, para conducirlos en una aducción con elevación mecánica hasta los sectores de recarga, donde se infiltraría en pozas o zanjas.
		(Sin opción de traslase)	-	-	-
13	Purapel Bajo	Purapel Bajo (Con aguas del Río Purapel)	766.171	6.044.824	Captación desde el río Purapel, en el tramo bajo de éste, para aprovechar parte de los flujos de invierno, para conducirlos en una aducción gravitacional o mediante elevación mecánica hasta los sectores de recarga, donde se infiltraría en zanjas o piscinas
		(Sin opción de traslase)	-	-	-
14	Belco	Belco Alto (Con aguas del Estero sin Nombre)	751.015	6.036.485	Captación desde estero sin nombre y afluentes laterales al río Belco, para infiltrar recursos de invierno mediante lagunas o pozos de inyección, en función de las condiciones que se observe.
		(Sin opción de traslase)	-	-	-

Tabla 5.1 (Continuación)  
Subcuencas, Sectores de Proyecto y de Puntos de Captación y Traslase

Nº	Subcuenca	Proyecto	Ubicación		Descripción Conceptual
			Pto. de Captación o Traslase		
			E(m)	N(m)	
15	Belco	Belco Bajo (Con aguas del Río Belco)	763.329	6.028.513	Captación desde el río Belco en la zona baja o desde el río Perquillauquén, recursos de invierno para infiltrarlos mediante zanjas o pozos de inyección, en sectores vecinos.
		(Sin opción de traslase)	-	-	-
16	Cauquenes-Arenal	Arenal (Con aguas del Estero El Arenal)	756.706	6.025.875	Captación desde el estero El Arenal, de forma de aprovechar parte de los flujos de invierno, para conducirlos en una aducción gravitacional o con elevación mecánica hasta los sectores de recarga, donde se infiltraría en zanjas o piscinas.
		(Sin opción de traslase)	-	-	-
17	Cauquenes-Las Garzas	Las Garzas (Con aguas del Estero Las Garzas)	750.771	6.019.610	Captación desde el estero Las Garzas, y la construcción de un pequeño pretil, de forma de aprovechar parte de los flujos de invierno, para acumularlos y luego conducirlos a los sectores de recarga.
		(Sin opción de traslase)	-	-	-
18	Cauquenes - Huedque	Coronel de Maule (Con aguas del Río Cauquenes)	727.670	6.005.635	Captación desde el río Cauquenes, de forma de aprovechar parte de los flujos de invierno, para conducirlos en una aducción gravitacional o con elevación mecánica hasta los sectores de recarga, donde se infiltraría en zanjas o piscinas.
		(Sin opción de traslase)	-	-	-
19	Curanipe	Pelluhue (Con aguas del Estero El Molino)	721.496	6.033.199	Captación desde el estero Los Molinos, de forma de aprovechar parte de los flujos de invierno, para conducirlos en una aducción con elevación mecánica hasta los sectores de recarga, donde se infiltraría mediante zanjas o piscinas.
		(Sin opción de traslase)	-	-	-

(\*): Coordenada E: 7xx.xxx (m), indica Huso 18 S.  
Coordenada E: 2xx.xxx (m), indica Huso 19 S.  
Todas en WGS84. - Elaboración propia.

## **6 IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE AGUA PARA LA RECARGA**

En la Figura 6.1 se presentan los 19 sectores potenciales. Se ha evaluado la disponibilidad hidrológica, para diferentes probabilidades de excedencia, asociada a las fuentes potenciales de agua.

El período relevante para efectos de realizar recarga artificial de acuíferos corresponde al comprendido entre mayo y septiembre, que es cuando disminuye considerablemente el riego y paralelamente aumentan las precipitaciones.

Se han determinado los caudales efectivos disponibles para 85% y 50% de probabilidad de excedencia. Los primeros, permitirían abastecer de riego rubros productivos del tipo frutales o cultivos anuales, dado que se dispondría de ellos 5 de cada 6 años en promedio.

Los caudales asociados a probabilidad de excedencia 50%, permitirían abastecer de riego cultivos estacionales, hortalizas y chacras, dado que se dispondría de ellos sólo 1 de cada 2 años en promedio.

El procedimiento de cálculo utilizado ha sido determinar:

- Disponibilidad hidrológica, ya sea a partir de recursos propios de la subcuenca o por recursos trasvasados desde alguna cuenca vecina.
- Caudales a respetar en cada caso, dados por los caudales ecológicos, los derechos de aguas superficiales, tanto constituidos como en trámite y los usos históricos del agua.
- Disponibilidad efectiva de recursos para recarga artificial, que corresponde a la disponibilidad hidrológica menos el caudal ecológico, menos los derechos constituidos y en trámite en la subcuenca y menos los usos históricos.

En la Tabla 6.1 se presentan las disponibilidades hidrológicas, menos los caudales ecológicos y menos los derechos constituidos o usos históricos.

Figura 6.1  
Ubicación Sectores Propuestos para Proyectos de Recarga Artificial de Acuíferos

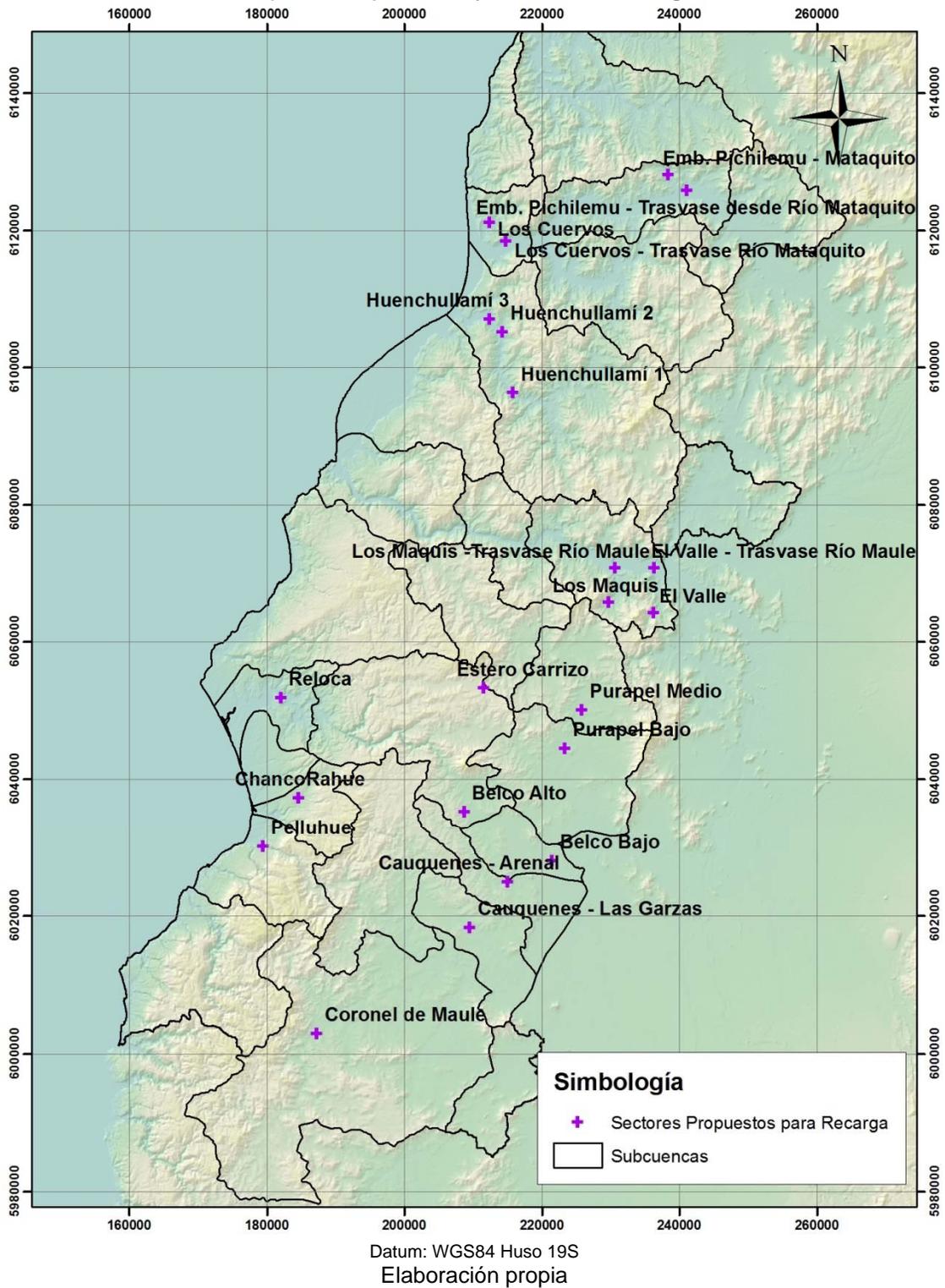


Tabla 6.1  
Resumen de Resultados de Disponibilidad para Recarga Artificial (m3/s)

Subcuenca	Proyecto	Tipo de Caudal	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Mataquito Costa (Subcuenca N°3)	Los Cuervos (Est. Los Cuervos)	(=) Disponib. Efectiva 50%	0,103	0,296	0,568	0,802	0,586
		(=) Disponib. Efectiva 85%	0,000	0,000	0,000	0,117	0,232
Mataquito Costa (Subcuenca N°3)	Los Cuervos - Trasn. Mataquito	(=) Disponib. Efectiva 50%	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		(=) Disponib. Efectiva 85%	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		Acuerdo con Canalistas Docamavida o Licantén Ote.	0,170	0,170	0,170	0,170	0,170
Mataq - Hualañé - Licantén	Pichilemu	(=) Disponib. Efectiva 50%	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		(=) Disponib. Efectiva 85%	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mataq - Hualañé - Licantén	Pichilemu - Trasn. Mataquito	(=) Disponib. Efectiva 50%	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		(=) Disponib. Efectiva 85%	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		Acuerdo con Canalistas Idahue (riegan mismo sector)	1,380	1,380	1,380	1,380	1,380
Huenchullamí	Huenchulamí 1	(=) Disponib. Efectiva 50%	2,687	4,476	9,364	8,628	7,773
		(=) Disponib. Efectiva 85%	0,000	0,000	0,000	0,000	0,913
Huenchullamí	Huenchulamí 2	(=) Disponib. Efectiva 50%	0,164	0,267	0,550	0,559	0,458
		(=) Disponib. Efectiva 85%	0,000	0,000	0,000	0,000	0,062
Huenchullamí	Huenchulamí 3	(=) Disponib. Efectiva 50%	3,257	5,404	11,272	10,389	9,362
		(=) Disponib. Efectiva 85%	0,000	0,000	0,000	0,000	1,127
Maule Curtiduría	Los Maquis	(=) Disponib. Efectiva 50%	0,039	0,098	0,183	0,234	0,159
		(=) Disponib. Efectiva 85%	0,000	0,000	0,000	0,019	0,043
Maule Curtiduría	Los Maquis - Trasn. Maule	(=) Disponib. Efectiva 50%					
		(=) Disponib. Efectiva 85%					
		Acuerdo con Canalistas Canal Pencahue	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200

Tabla 6.1 (Continuación)  
Resumen de Resultados de Disponibilidad para Recarga Artificial (m3/s)

Subcuenca	Proyecto	Tipo de Caudal	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Maule Curtiduría	El Valle	(=) Disponib. Efectiva 50%	0,033	0,082	0,150	0,194	0,133
		(=) Disponib. Efectiva 85%	0,000	0,000	0,000	0,015	0,036
Maule Curtiduría	El Valle - Trasn. Maule	(=) Disponib. Efectiva 50%					
		(=) Disponib. Efectiva 85%					
		Acuerdo con Canalistas Canal Pencahue	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200
Empedrado	Estero Carrizo	(=) Disponib. Efectiva 50%	0,000	0,179	0,560	0,728	0,232
		(=) Disponib. Efectiva 85%	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Reloca	Reloca	(=) Disponib. Efectiva 50%	1,680	3,978	6,791	7,000	4,395
		(=) Disponib. Efectiva 85%	0,086	0,548	0,200	1,529	1,828
Chanco	Chanco	(=) Disponib. Efectiva 50%	0,123	1,025	1,502	1,217	0,910
		(=) Disponib. Efectiva 85%	0,000	0,000	0,017	0,342	0,438
Rahue	Rahue	(=) Disponib. Efectiva 50%	0,123	1,025	1,502	1,217	0,910
		(=) Disponib. Efectiva 85%	0,000	0,000	0,017	0,342	0,438
Purapel Medio	Purapel Medio	(=) Disponib. Efectiva 50%	1,259	3,522	6,470	8,403	4,813
		(=) Disponib. Efectiva 85%	0,000	0,000	0,000	0,407	1,434
Purapel Bajo	Purapel Bajo	(=) Disponib. Efectiva 50%	1,107	3,832	7,385	9,713	5,388
		(=) Disponib. Efectiva 85%	0,000	0,000	0,000	0,081	1,318
Belco	Belco Alto	(=) Disponib. Efectiva 50%	0,000	0,000	0,012	0,020	0,000
		(=) Disponib. Efectiva 85%	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Belco	Belco Bajo	(=) Disponib. Efectiva 50%	0,611	1,394	1,419	2,000	1,556
		(=) Disponib. Efectiva 85%	0,082	0,000	0,000	0,213	0,495
Cauquenes Arenal	El Arenal	(=) Disponib. Efectiva 50%	0,373	0,699	1,221	0,996	0,795
		(=) Disponib. Efectiva 85%	0,004	0,000	0,000	0,000	0,080

Tabla 6.1 (Continuación)  
Resumen de Resultados de Disponibilidad para Recarga Artificial (m<sup>3</sup>/s)

Subcuenca	Proyecto	Tipo de Caudal	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Cauq. Las Garzas	Las Garzas	(=) Disponib. Efectiva 50%	0,000	0,648	0,947	1,233	0,833
		(=) Disponib. Efectiva 85%	0,000	0,000	0,000	0,029	0,135
Cauq. Huedque	Coronel de Maule	(=) Disponib. Efectiva 50%	1,972	4,951	4,596	5,633	3,634
		(=) Disponib. Efectiva 85%	0,000	0,492	0,000	0,000	0,000
Curanipe	Pelluhue	(=) Disponib. Efectiva 50%	0,000	0,612	0,931	0,568	0,406
		(=) Disponib. Efectiva 85%	0,000	0,000	0,000	0,109	0,160

Fuente: Elaboración propia

## 7 DEFINICIÓN DE PERFILES

Se han seleccionado diez proyectos para ser desarrollados a nivel de perfil. Sólo dos de ellos tienen la opción de trasvase; Los Cuervos, con trasvase desde el río Mataquito y El Valle, con trasvase desde el río Maule.

Se ha determinado que las superficies a beneficiar en general son pequeñas, entre 20 y 25 ha en promedio, por lo que los recursos propios de las cuencas, para la condición hidrológica evaluada, son suficientes.

Tabla 7.1  
Proyectos Seleccionados para ser Desarrollados a Nivel de Perfil

Nº	Subcuenca	Proyecto	Descripción
1	Mataquito Costa	Primera Opción: Los Cuervos (Con aguas del Estero Los Cuervos)	Captación desde el Estero Los Cuervos, recursos que se acumulan en el mismo estero, mediante pretil, para recargar sectores vecinos.
		Alternativa: Los Cuervos (Con trasvase desde Río Mataquito)	Captación desde río Mataquito, recursos que se conducen al área de recarga mediante aducción con elevación mecánica.
2	Huenchullamí	Primera Opción: Huenchullamí 3 (Con aguas del Río Huenchullamí)	Captación desde el río Huenchullamí, recursos que se conducen al área de recarga mediante aducción gravitacional o con elevación mecánica.
		Alternativa: (Sin opción de trasvase)	-
3	Huenchullamí	Primera Opción: Huenchullamí 2 (Con aguas del Estero Pudú)	Captación desde el estero Pudú, recursos que se conducen al área de recarga (ribera del río Huenchullamí) mediante aducción gravitacional.
		Alternativa: (Sin opción de trasvase)	-

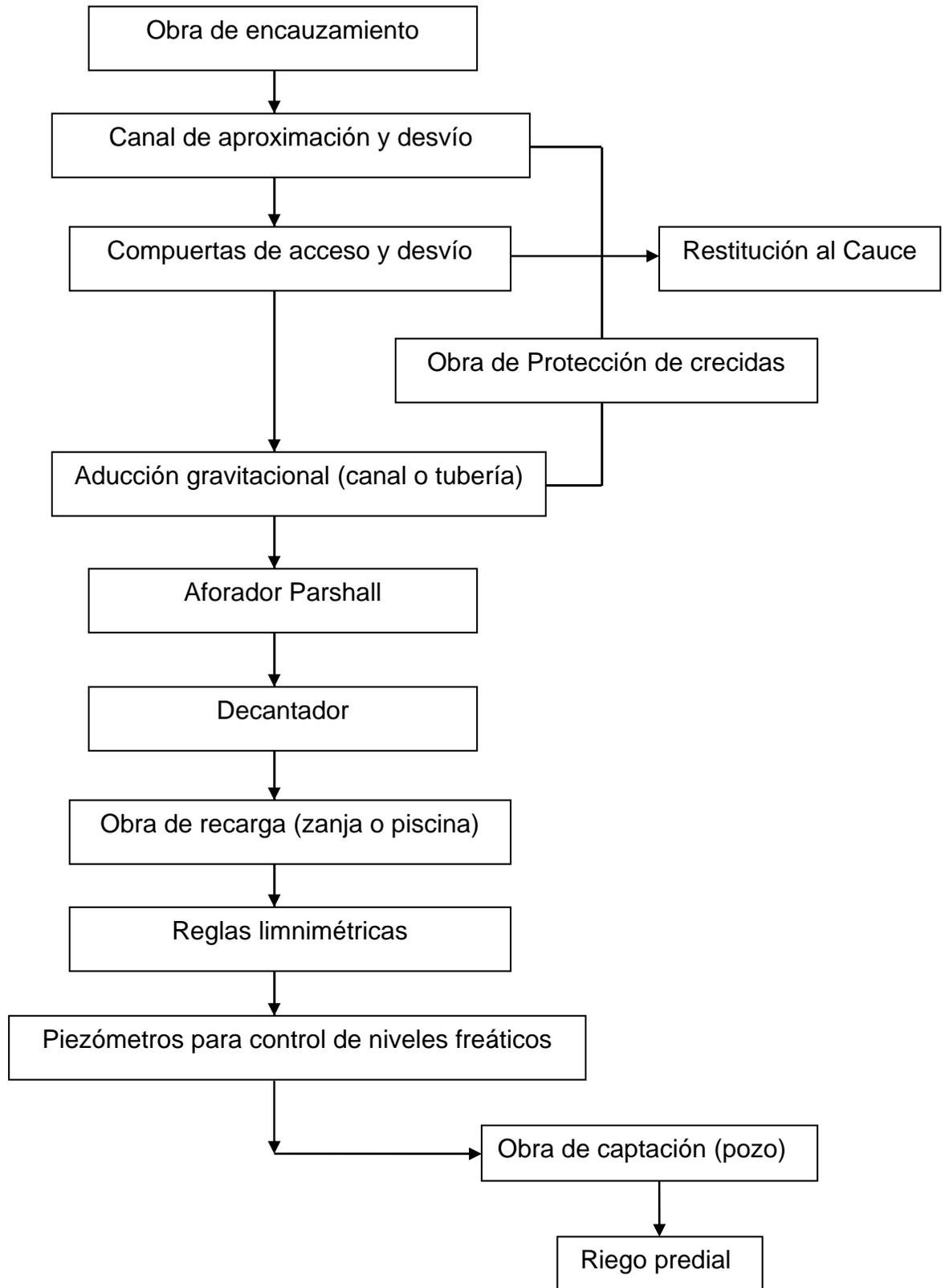
Tabla 7.1 (Continuación)  
Proyectos Seleccionados para ser Desarrollados a Nivel de Perfil

Nº	Subcuenca	Proyecto	Descripción
4	Huenchullamí	Primera Opción: Huenchullamí 1 (Con aguas del Río Huenchullamí)	Captación desde el río Huenchullamí, recursos que se acumulan en el mismo estero, mediante pretil en sector Loma Limpia, para recargar sectores vecinos.
		Alternativa: (Sin opción de trasvase)	-
5	Maule Curtiduría	Primera Opción: El Valle (Con aguas del Estero El Valle)	Captación desde el estero El Valle, recursos excedentes al embalse existente, que se conducirían gravitacionalmente para recargar sectores vecinos.
		Alternativa: El Valle (Con Trasvase o elev. desde Río Maule)	Captación desde el río Maule, recursos que se conducen al área de recarga mediante aducción con elevación mecánica
6	Reloca	Primera Opción: Reloca (Con aguas del Río Reloca)	Captación desde el río Reloca, para aprovechar parte de los flujos de invierno, para conducirlos en una aducción gravitacional o con elevación mecánica hasta los sectores de recarga, donde se infiltraría en zanjas o piscinas.
		Alternativa: (Sin opción de trasvase)	-
7	Chanco	Primera Opción: Chanco (Con aguas del Estero Lircay)	Captación desde el estero Lircay, aguas abajo de la confluencia con los esteros Peralillo e Infiernillo, para aprovechar parte de los flujos de invierno, para conducirlos en una aducción gravitacional o con elevación mecánica hasta los sectores de recarga, donde se infiltraría en zanjas.
		Alternativa: (Sin opción de trasvase)	-
8	Rahue	Primera Opción: Rahue (Con aguas del Estero Lircay)	Captación desde el estero Lircay, aguas abajo de la confluencia con los esteros Peralillo e Infiernillo, para aprovechar parte de los flujos de invierno, para conducirlos en una aducción con elevación mecánica hasta los sectores de recarga, donde se infiltraría en zanjas.
		Alternativa: (Sin opción de trasvase)	-
9	Purapel Bajo	Primera Opción: Purapel Bajo (Con aguas del Río Purapel)	Captación desde el río Purapel, en el tramo bajo de éste, para aprovechar parte de los flujos de invierno, para conducirlos en una aducción gravitacional o mediante elevación mecánica hasta los sectores de recarga, donde se infiltraría en zanjas o piscinas
		Alternativa: (Sin opción de trasvase)	-
10	Curanipe	Primera Opción: Pelluhue (Con aguas del Estero El Molino)	Captación desde el estero Los Molinos, de forma de aprovechar parte de los flujos de invierno, para conducirlos en una aducción con elevación mecánica hasta los sectores de recarga, donde se infiltraría mediante zanjas o piscinas.
		Alternativa: (Sin opción de trasvase)	-

Fuente: Elaboración propia.

En general, los proyectos de recarga incluirán un conjunto de obras que estará conformado por:

Figura 7.1: Obras Consideradas en los Proyectos de Recarga Artificial en Superficie



## **8 EVALUACIÓN LEGAL**

En este capítulo se analizó el uso del agua destinado a operaciones de recarga artificial, en todos sus aspectos legales, poniendo énfasis en los derechos de aguas y en la distribución y utilización de los caudales asociados a las obras de recarga. El objetivo de este análisis es tener claridad respecto del marco legal que regula la construcción y operación de estos sistemas.

Se ha analizado también el mecanismo jurídico que debe operar para que estas obras funcionen adecuadamente, esto apunta a la necesidad de que exista una comunidad de usuarios del acuífero.

A continuación se presentan algunos de los principales temas de la Evaluación Legal realizada.

### **8.1 Disposiciones legales aplicables**

Las disposiciones consideradas son el Código de Aguas (DFL 1.122 de 1981), la Ley General de Bases del Medio Ambiente (Ley 19.300 de 1994) y la Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas (DS 46 de 2002), incluyendo cada uno de sus reglamentos asociados.

Adicionalmente, se ha considerado el nuevo Reglamento sobre Normas de Exploración y Explotación de Aguas Subterráneas, incluido en el DS N°203 de 2013.

### **8.2 Recomendaciones**

Luego del análisis realizado, se puede señalar que la obtención de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas a partir de recarga artificial sigue, en lo esencial, los mismos pasos que la tramitación de un derecho de aprovechamiento convencional. Sin embargo, dada la diferencia fundamental de generar un volumen de agua incremental por efecto de la presencia de obras destinadas a recarga, hay aspectos que la legislación debiera considerar en forma explícita.

#### **a. Protección de la zona de recarga**

La zona de recarga en sí misma es fundamental para lograr que el recurso se incorpore al acuífero, por lo cual es esencial que no se produzcan alteraciones o afecciones al proyecto, que afecten el proceso de infiltración.

Considerando que la extracción del agua subterránea almacenada a través de la recarga artificial no necesariamente se realiza en la misma zona de infiltración de las aguas, debe asegurarse la debida protección en la zona de recarga, que impida que se materialicen extracciones por parte de

terceros sobre un recurso producido artificialmente y con un destino predeterminado.

**b. Diferenciación respecto de limitaciones**

Atendido el hecho de que los recursos que se generan para un derecho de aprovechamiento derivado de obras de recarga artificial son diferenciables de la recarga natural, las limitaciones que eventualmente lo afecten, como por ejemplo la reducción temporal del ejercicio, requieren una diferenciación cuando éstas se apliquen a un área donde coexisten con éstos derechos otorgados por mecanismos convencionales.

**c. Ampliar el mecanismo de recarga artificial a zonas de prohibición**

El hecho de incorporar a un acuífero aguas adicionales, ya sea provenientes de fuentes ajenas o de la misma que genera la recarga natural, sustentará un aprovechamiento incremental al sistema que no afectará la situación allí existente; incluso producirá un mejoramiento de la condición general del acuífero, dado que se extraerá sólo una parte de todo el volumen infiltrado.

Se estima más efectivo y conveniente que exista la facultad de otorgar derechos sobre aguas infiltradas dentro de una zona de prohibición, en lugar de alzar la restricción de zona de prohibición y luego otorgar los derechos provisionales. El resultado es el mismo y el ahorro en términos procedimentales es evidente.

### **8.3 Ideas sobre el desarrollo de proyectos de recarga**

Luego de revisar los elementos que el Código de Aguas define, que se han descrito, podría hacerse una similitud entre un proyecto de recarga artificial con el desarrollo de un embalse, considerando lo siguiente:

- Ambas contemplan obras para captar y acopiar las aguas; en un caso la obra de acopio la construye la mano del hombre en el otro la provee la naturaleza.
- En ambos casos se “genera” un recurso adicional al de condiciones naturales.
- En ambos la utilización de las aguas se realiza en la medida que éstas existan.

Sobre esta base parece razonable explorar alternativas legales para establecer instrumentos o mecanismos que permitan promover el desarrollo de proyectos de recarga artificial de interés público; ya sea a través de instrumentos existentes o bien la creación de éstos a través de modificaciones legales.

Aquí se habla de proyectos que cumplan con requisitos básicos de carácter técnico y que hagan atractiva una inversión pública; es decir, proyectos donde exista una capacidad importante de almacenamiento y retención y una oferta hídrica suficiente.

Para estos casos parece razonable la búsqueda de un mecanismo legal que permita su desarrollo, similar a la Ley 1.123 (DFL 1.123 de 1981, “Establece Normas sobre Ejecución de Obras de Riego por el Estado”) para el desarrollo de obras de riego, aunque en este caso la inversión del Estado en proyectos de recarga no sería sólo con fines de riego.

En lo esencial estos mecanismos apuntarían a lo siguiente:

- El Estado aporta con su capacidad técnica y de financiamiento.
- Los usuarios o beneficiarios de aguas subterráneas se organizan legalmente en comunidades, para asegurar el funcionamiento de las obras.
- Los beneficiarios asumen la obligación de cofinanciar la construcción de las obras y asumen la operación y mantenimiento de ellas en un cierto plazo.

En lo sustantivo, el Estado (DOH, CNR) desarrolla el proyecto de recarga artificial que es sometido a la consideración de los potenciales beneficiarios.

Contando con la aprobación de un porcentaje mayoritario de ellos, se desarrolla el proyecto definitivo, de acuerdo con los requisitos del Código de Aguas, presentándolo a la DGA para obtener su aprobación a través de una resolución que lo establece.

El proyecto se construye una vez suscritos los compromisos legales correspondientes que aseguren el cofinanciamiento previamente acordado.

Una vez construidas las obras y cumplido el plazo de operación provisional en manos del Estado (dos años máximo), el traspaso a los beneficiarios se materializa, no obstante que los usuarios podrían pedir que se adelante ese traspaso.

#### **8.4 Pertinencia de Ingreso al SEIA**

Como parte del análisis legal, se determinó la pertinencia de ingreso al SEIA, lo que se define en función del tipo y magnitud de las obras proyectadas, así como por la ubicación de las áreas de proyecto, que pudiesen estar dentro, en contacto o cerca de áreas protegidas, en este caso, en la Región del Maule existen siete áreas del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) y seis Reservas Nacionales y ninguno de los proyectos está dentro de alguna de ellas.

Se determinó que solo los proyectos Chanco y Rahue se ubican cercanos a un área protegida, en este caso a 2,6 km de la Reserva Nacional Federico Albert, y los recursos de invierno que serían extraídos, desde un cauce secundario, son

marginales respecto al caudal medio del período, por lo que no habrá efecto ambiental sobre dicha área. No obstante, para mayor claridad se propone presentar DIA en forma voluntaria para dichos proyectos.

## 9 ANÁLISIS DE COSTOS

En la Tabla 9.1 se presenta el resumen de costos de construcción de las obras de recarga, por proyecto.

Tabla 9.1  
Resumen de Costos de Construcción por Proyecto

Proyecto	Obra	Q Diseño	Superficie a Beneficiar	Superficie Real Beneficiada	Porcentaje del Área	Costo Total	Costo Unitario
		(l/s)	(ha)	(ha)	(%)	(mill \$)	(mill \$/ha)
Purapel	Piscina	102	100	100	100,0	377,2	3,8
Huenchullamí 3	Zanjas	36	50	50	100,0	320,8	6,4
Huenchullamí 2	Zanjas	29	40	40	100,0	329,3	8,2
Huenchullamí 1	Zanjas	9	7	7	100,0	144,1	20,6
Pelluhue	Zanjas	9	12	12	100,0	314,6	26,2
Chanco	Piscina	6	8	8	100,0	312,2	39,0
Rahue	Zanjas	7	9	8,7	96,6	629,9	72,4
Reloca (*)	Zanjas	11	8	4,3	53,5	344,4	80,1
Los Cuervos (*)	Zanjas	55	79	1,0	1,3	488,5	488,5
El Valle (*)	Piscina	105	67	0,3	0,5	259,6	865,3

(\*): El costo unitario de estos proyectos está distorsionado pues el área beneficiada resulta mucho menor que la originalmente considerada, debido a la baja permeabilidad de los terrenos. Se ha indicado el valor solo como una información de referencia.

Fuente: Elaboración propia.

## 10 EVALUACIÓN AGROECONÓMICA DE LOS PERFILES

Se realizó la evaluación agroeconómica para obtener los flujos de márgenes netos para las situaciones con y sin proyecto.

En situación actual los principales rubros desarrollados son ganadería bovina y ovina sobre pastos naturales, trigo, papa, poroto y viñas de secano.

En situación con proyecto se plantea la producción de especies anuales más rentables, para las que se propone la comercialización en época estival en áreas aledañas a las zonas de proyecto.

Los resultados obtenidos corresponden a los beneficios netos de los proyectos y se han utilizado para determinar los indicadores de rentabilidad al momento de realizar las evaluaciones económicas.

## 11 EVALUACIÓN AMBIENTAL DE LOS PERFILES

Se realizó el análisis ambiental de los sectores de proyecto, lo que permitió caracterizar o definir la línea base de los siguientes componentes:

- Flora y Vegetación Terrestre.
- Fauna Terrestre.
- Flora y Fauna Acuática.

El análisis de pertinencia de ingreso al SEIA permitió determinar que el tipo, magnitud y ubicación de las obras proyectadas son tales que no se requiere su ingreso al SEIA. No obstante lo señalado, en dos de los proyectos (Chanco y Rahue) se propuso su ingreso voluntario, vía DIA, dado que se ubican relativamente cercanos a la Reserva Nacional Federico Albert.

En términos de impactos ambientales potenciales, se identificó los siguientes:

Impacto N°1, ***Disminución de superficie con vegetación y flora nativa***, sería leve en 8 de los 10 proyectos, y moderado en los dos restantes, que corresponden a Chanco y Rahue.

Impacto N°2, ***Alteración en la abundancia y distribución de las poblaciones de fauna terrestre por pérdida en la calidad del hábitat***, se produciría sólo en tres de los diez proyectos, (Los Cuervos, El Valle y Reloca) y sería leve.

Impacto N°3, ***Alteración de hábitat y pérdida de ejemplares de fauna acuática por actividades asociadas a la etapa de construcción y mantención de las obras durante la etapa de operación***, sería moderado en los tres proyectos del río Huenchullamí.

## 12 COSTOS Y BENEFICIOS DE LOS PROYECTOS

### 12.1 Costos de los Proyectos de Recarga Artificial de Acuíferos

En la Tabla 12.1 se presenta un resumen de los costos de los proyectos, donde se incluyen costos de los terrenos requeridos para instalar las obras, costos de construcción, costos anuales de administración y operación, de mantención, y costos de estudios ambientales complementarios y del plan ambiental, éstos últimos sólo para los dos proyectos que se propone presenten DIA voluntaria (Chanco y

Rahue), dado que el resto de los proyectos no requeriría dichos estudios, dado que no es necesario que ingresen al SEIA.

Tabla 12.1  
Resumen de Costos de los Proyectos

Nº	Proyecto	Costo de los Terrenos	Costo de Construcción de las Obras	Costo de Administración y Operación de las Obras	Costo de Manutención de las Obras	Costo de Estudios Ambientales Complementarios	Costo del Plan Ambiental (Años 0 a 3)
		Mill (\$)	Mill (\$)	Mill (\$)/Año	Mill (\$)/Año	Mill (\$)	Mill (\$)
1	Los Cuervos	2,43	460,89	5,88	7,75	-	-
2	Huenchullamí 3	1,51	293,16	5,88	4,93	-	-
3	Huenchullamí 2	1,17	301,72	5,88	5,07	-	-
4	Huenchullamí 1	0,82	130,29	5,88	2,19	-	-
5	El Valle	1,37	173,30	5,88	2,91	-	-
6	Reloca	1,71	320,24	5,88	5,38	-	-
7	Purapel	0,39	190,85	5,88	3,21	-	-
8	Chanco	1,85	298,40	5,88	5,02	19,1	-
9	Rahue	5,48	616,14	5,88	10,36	19,1	-
10	Pelluhue	3,67	300,84	5,88	5,06	-	-

Fuente: Elaboración propia.

## 12.2 Beneficios de los Proyectos de Recarga Artificial de Acuíferos

Como beneficios directos, los recursos de agua adicionales que se generarían con el proceso de infiltración, corresponden al principal beneficio de los proyectos. Esto trae aparejado, mejorar las condiciones agrícolas, pasar de seco a riego, más trabajo, mejores retornos por venta de productos.

Como beneficios indirectos o externalidades, se tiene: control de crecidas en sector de obras de toma, desarrollo organizacional de los beneficiarios, mejoramiento de accesos en sectores cercanos a la construcción de las obras, favorecer el asentamiento humano en sectores con alta migración, efecto demostrativo sobre otros agricultores.

## 13 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS PROYECTOS

Mediante el método del presupuesto se han determinado los siguientes indicadores de rentabilidad: Valor Actualizado Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Índice de Valor Actualizado Neto (IVAN). Adicionalmente, se ha realizado un análisis de sensibilidad donde se han considerado variaciones de costos (mano de obra, divisa) y de ingresos (precio de los productos), para evaluar cómo varía la rentabilidad de los proyectos frente a alzas o disminuciones en dichas variables.

Las evaluaciones han sido realizadas en términos privados y sociales, y han sido desarrolladas de acuerdo a las normas y criterios vigentes de MIDESO para este tipo de evaluaciones. El horizonte de evaluación considerado es de 30 años y la tasa de descuento de 12% para los precios de mercado y 6% para los precios sociales. Los factores de corrección de precios de mercado a precios sociales son los definidos por el MIDESO.

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la evaluación económica de los proyectos de recarga que han sido desarrollados a nivel de perfil.

Tabla 13.1  
Resumen de Resultados de las Evaluaciones Económicas

N°	PROYECTO	Precios de Mercado (Tasa = 12%)			Precios Sociales (Tasa = 6%)		
		VAN	TIR	IVAN	VAN	TIR	IVAN
		(Millones de \$)	(%)		(Millones de \$)	(%)	
1	Los Cuervos	-479,52	indet.	-1,16	-374,42	indet.	-1,30
2	Huenschullamí 3	-261,45	-7,94	-0,96	-87,80	1,19	-0,46
3	Huenschullamí 2	-271,20	-8,33	-0,98	-97,53	0,76	-0,50
4	Huenschullamí 1	-162,38	indet.	-1,33	-127,15	indet.	-1,50
5	El Valle	-249,91	indet.	-1,14	-189,91	indet.	-1,24
6	Reloca	-313,79	indet.	-1,08	-115,01	0,39	-0,57
<b>7</b>	<b>Purapel</b>	<b>-13,25</b>	<b>11,48</b>	<b>-0,04</b>	<b>536,78</b>	<b>22,96</b>	<b>2,43</b>
8	Chanco	-321,07	indet.	-1,13	-234,54	indet.	-1,16
9	Rahue	-608,94	indet.	-1,10	-438,24	indet.	-1,12
10	Pelluhue	-299,52	indet.	-1,12	-200,32	indet.	-1,07

Fuente: Elaboración propia.

- En resumen, de los diez proyectos evaluados, sólo el proyecto Purapel entrega resultados sociales positivos. (Ver Tabla 13.1).
- Se realizó un análisis de sensibilidad considerando reducciones y aumentos en los costos (mano de obra e insumos) de 10% y 20%, obteniéndose como resultado que el proyecto Purapel, pasó a tener VAN privado positivo para las dos condiciones de reducción de costos evaluadas. El resto de los proyectos mantuvo sus indicadores negativos.
- Para el caso de aumento de costos, la situación es pero en todos los proyectos, pero el proyecto Purapel mantiene su VAN positivo.

Tabla 13.2  
Resumen de Resultados de la Evaluación Económica y  
Análisis de Sensibilidad Proyecto Purapel

N°	Proyecto	Escenario	Precios de Mercado (Tasa = 12%)			Precios Sociales (Tasa = 6%)		
			VAN (Millones de \$)	TIR (%)	IVAN	VAN (Millones de \$)	TIR (%)	IVAN
7	Purapel	Base	-13,25	11,48	-0,04	536,78	22,96	2,43
		Costos (- 10%)	22,57	12,98	0,08	563,91	25,42	2,84
		Costos (- 20%)	58,40	14,78	0,23	591,04	28,42	3,35
		Costos (+ 10%)	-49,08	10,20	-0,14	509,64	20,90	2,10
		Costos (+ 20%)	-84,90	9,10	-0,22	482,51	19,15	1,82

## 14 COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

A continuación se presentan los principales comentarios y conclusiones que se derivan de la realización del estudio.

Se realizó una caracterización socioeconómica y estudios básicos de las subcuencas del secano de la Región del Maule, lo que permitió identificar 19 sectores relativamente favorables para proyectos de Recarga Artificial de Acuíferos.

Se elaboró una propuesta a nivel conceptual de las obras que permitirían realizar recarga artificial en dichos 19 sectores. La propuesta consideró realizar la recarga con aguas propias de cada cuenca, como con recursos importados, vía trasvase.

Se definió un índice de aptitud para recibir recarga artificial, que permitió ordenar prioritariamente los sectores de proyecto. Dicho índice consideró como variables relevantes; la profundidad del nivel estático, el coeficiente de permeabilidad y el volumen susceptible de ser saturado.

Se evaluó la disponibilidad de aguas superficiales para realizar la recarga en cada sector, determinándose que los recursos son muy escasos, ya que para probabilidad de excedencia 85%, que equivale aproximadamente a disponer de aguas de invierno 5 de cada 6 años, sólo hay un sector (Reloca) donde existirían caudales disponibles en el período Mayo – Septiembre. En el resto de los sectores, hay 12 de ellos que tendrían disponibilidad considerando un 50% de probabilidad de excedencia, es decir, uno de cada dos años.

A partir de la disponibilidad determinada para cada sector, se eligió los 10 sectores donde se desarrolló a nivel de perfil los proyectos de recarga artificial de acuíferos.

Se proyectó obras de recarga a nivel de perfil que consideran Zanjas de Infiltración en 7 de los 10 sectores y Piscinas de Infiltración en los 3 restantes.

Se realizó la evaluación económica de los proyectos. Los resultados obtenidos son malos, ya que los diez (10) proyectos tienen VAN privado negativo y nueve (9) VAN social negativo. Sólo el proyecto Purapel tiene VAN social positivo.

Algunas de las razones que explican estos resultados son:

La disponibilidad de aguas sobrantes de invierno es limitada.

Los suelos de buena calidad y con condiciones geomorfológicas e hidrogeológicas que permitan instalar en ellos sistemas de recarga artificial son muy limitados.

Esto se traduce en proyectos pequeños en superficie, que no permiten distribuir los costos entre más hectáreas, con la consiguiente desventaja que ello implica.

Desde el punto de vista hidrogeológico, las características de los suelos en los sectores de proyecto son de regulares a malas, debido principalmente a la presencia de materiales finos lo que da origen a permeabilidades bajas a muy bajas, por lo que para infiltrar los caudales de diseño se requieren superficies mayores que si la permeabilidad fuese más favorable.

Los factores que diferencian al proyecto Purapel, (único con VAN social positivo) del resto son:

- El valor del coeficiente de permeabilidad, uno de los más altos, y que se explica por un control geológico existente en la zona, que asociado a procesos de meteorización generaron un profundo amaillamiento, y
- La gran superficie disponible, en términos relativos.

En resumen, si bien la zona del secano costero de la Región del Maule es una zona que requiere mejorar la disponibilidad de agua para uso agrícola, los proyectos de recarga artificial no representan la solución que se requiere.

Santiago, Noviembre de 2014.