



Diagnóstico Embalses Subterráneos Cuenca de los Ríos Ligua y Petorca, Provincia de Petorca



Resumen Ejecutivo



Diciembre de 2021



Mejor Riego
para Chile

yo
cuido
el agua

Diagnóstico Embalses Subterráneos Cuenca de los Ríos Ligua y Petorca, Provincia de Petorca

Resumen Ejecutivo

REALIZADO POR:



Diciembre de 2021



**Mejor Riego
para Chile**

yo
cuido
el agua

Dirigido por:

COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO

Equipo participante:

Federeico Errázuriz Tagle

Secretario Ejecutivo

Mónica Rodríguez

jefa de la División de Estudios, Desarrollo y Políticas

Gastón Valenzuela Lillo

Coordinador Unidad de Estudios

Tania Fernández Rubilar

Coordinadora de Estudio

Javiera Herrera

Leonardo Machuca

Patricio Espinoza

Felipe Salamanca

Profesionales Unidad de Estudios

Elaborado por:

UTP ARRAU INGENIERÍA SpA – HIDRICA CONSULTORES SpA.

Equipo participante:

Enrique Kaliski Kriquer

Jefa de Estudio

Felipe Orellana Martínez

Especialista en Hidrogeología

Sergio Duarte Morales

Especialista en Hidrología

Rodrigo Alvear Contreras

Especialista en Agronomía

Juan Carlos Parra Espinosa

Especialista en Geofísica

Diego Mena Pardo

Luis Arrau del Canto

Especialista Hidráulico

Claudia Craig Palacios

Abogada

Pablo Lagos Mella

Especialista en Geomensura

Raúl Espinosa Fleck

Encargado Participación Ciudadana

Francisco Camus Herrera

Especialista SIG

Yuri Castillo Ávalos

Especialista en Modelación Hidrológica

Wilson Ureta Parraguez

Especialistas en Gestión de Recursos Hídricos y Evaluación de Proyectos

William Lincaqueo Novoa

Lorudes Alcántara

Cristóbal Méndez

Ingeniero de Proyecto

Catalina Eastman Mendoza

Especialista Ambiental

Darío Vargas González

Especialista en Modelación Hidrogeológica

Rony Ramírez Vega

Especialista en Geotécnica



**Mejor Riego
para Chile**

yo
cuido
el agua

Irene Bernaus López

Especialista en Hidrología e Hidráulica

Matías Faundes Silva

Ingeniero Ambiental y SIG

José Astudillo Henríquez

Especialista en Desarrollo Agropecuario

Alejandra Segovia

Tamara Rabi

Ingeniera Ambiental

Myrna Cortés Paine

Secretaria Administrativa

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	General	1
1.2	Objetivo del Estudio	2
2.	RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES	3
2.1	Caracterización Ambiental del Territorio	3
2.2	Caracterización Agroambiental y Agrícola	3
2.3	Análisis de Calidad de Aguas	4
2.4	Análisis de la Situación Legal Actual	5
3.	PROPUESTA DE SITIOS A EVALUAR COMO EMBALSES SUBTERRÁNEOS	7
3.1	Selección de Sitios Finales para Embalses Subterráneos	7
3.2	Trabajos de Terreno en los 8 Sitios de Selección Preliminar	11
3.2.1	Ejecución de la Campaña Geofísica	11
3.2.2	Medición de Calidad de Aguas	11
3.2.3	Mecánica de Suelos	12
3.3	Topografía en los Cuatro Sitios de Embalses Finales Seleccionados	12
4.	MODELACIÓN DE LOS EMBALSES SUBTERRÁNEOS	13
4.1	Modelo Conceptual Superficial	13
4.2	Modelo Conceptual Subterráneo	14
4.3	Modelación Numérica	15
4.3.1	Simulación Embalse en sitio Petorca D	17
4.3.2	Simulación Embalse en sitio Petorca A	18
4.3.3	Simulación Embalse en sitio A3-L6	19
4.3.4	Simulación Embalse en sitio La Ligua B	20
5.	ELABORACIÓN DE PERFILES DE PROYECTOS	22
5.1	Concepto General del Proyecto.	22
5.2	Emplazamiento de los Proyectos	22
5.3	Diseño de Muro Impermeable	23

5.4	Diseño Red de Distribución Aguas Abajo del Muro	23
5.5	Superficie Afectada y Beneficiada	25
5.6	Presupuestos	25
5.7	Análisis de Pertinencia de Ingreso al SEIA	27
6.	DETERMINACIÓN DE LOS BENEFICIOS DEL PROYECTO	28
6.1	Situación Actual Agropecuaria	28
6.2	Situación Futura Con y Sin Proyecto	31
6.3	Demandas de Aguas para Uso en Riego	31
6.4	Conclusiones del Estudio Agroeconómico	32
7.	EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO	34
8.	PRESENTACIÓN FINAL DE DATOS EN PLATAFORMA SIG	35
9.	ACTIVIDADES DE PARTICIPACIÓN CIUDADANA	36
10.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	38
10.1	Conclusiones	38
10.1.1	Conclusiones Generales	38
10.1.2	Factibilidad del Proyecto	39
10.2	Recomendaciones	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1: Selección sitios Petorca	10
Tabla 3-2: Selección sitios La Ligua	10
Tabla 3-3 Resultados de la campaña geofísica	11
Tabla 3-4 Resultados de análisis de calidad de aguas subterráneas sitios priorizados	11
Tabla 3-5 Número de calicatas realizadas en cada sitio y permeabilidad promedio	12
Tabla 4-1 Balance hídrico superficial, obtenido de a partir del modelo integrado (l/s)	14
Tabla 4-2 Balance hídrico subterráneo, obtenido a partir de modelo integrado (l/s)	14
Tabla 4-3: Propiedades hidráulicas por sector	16
Tabla 5-1 Profundidades y longitudes de muro en cada sitio seleccionado	23
Tabla 5-2: Superficie afectada y beneficiada	25
Tabla 5-3: Resumen presupuestos de los 4 perfiles de proyectos (\$)	26
Tabla 5-4 Porcentaje por partida de los 4 perfiles de proyecto	26
Tabla 5-5 Superficie y costo de expropiación de cada sitio	27
Tabla 6-1 Predios por estrato área de estudio para cada proyecto	28
Tabla 6-2 Comparación parámetros productivos cultivos Situación Actual, Sin Proyecto y Con Proyecto	31
Tabla 6-3 Tasas de riego ponderadas (m ³ /ha/mes) Situación Actual y Con Proyecto	32
Tabla 6-4 Demandas brutas de agua para riego (m ³ /ha) Situación Actual y Con Proyecto	32
Tabla 7-1 Resultados de la evaluación económica a precios sociales (con ingreso al SEIA)	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Área de estudio y sectores acuíferos	1
Figura 3-1: Ubicaciones preliminares de sitios de embalses	8
Figura 3-2: Ubicación de los sitios finales seleccionados	9
Figura 4-1: Sectorización superficial cuencas de los ríos La Ligua y Petorca	13
Figura 4-2: Sectores acuíferos de las cuencas de los ríos La Ligua y Petorca	15
Figura 4-3: Topología de modelos integrados	17
Figura 4-4: Satisfacción de riego sector de demanda agrícola P08	18
Figura 4-5: Variación de niveles entre caso base y escenario con embalse – Petorca D	18
Figura 4-6: Satisfacción de riego sector de demanda agrícola P12	19
Figura 4-7: Variación de niveles entre caso base y escenario con embalse – Petorca A	19
Figura 4-8: Satisfacción de riego sector de demanda agrícola L06	20
Figura 4-9: Variación de niveles entre caso base y escenario con embalse – A3-L6	20
Figura 4-10: Satisfacción de riego sector de demanda agrícola L08	21
Figura 4-11: Variación de niveles entre caso base y escenario con Embalse – La Ligua B	21
Figura 5-1: Esquema del proyecto de embalse subterráneo. Arriba: Situación sin Proyecto. Abajo: Situación con Proyecto	22
Figura 5-2: Esquema de las zonas beneficiadas y afectadas	24
Figura 5-3: Trazados a nivel de perfiles de la red primaria y secundaria	25

1. INTRODUCCIÓN

1.1 General

El presente informe final corresponde al estudio “Diagnóstico Embalses Subterráneos, Cuencas de los Ríos Ligua y Petorca, Provincia de Petorca”, contratado por la Comisión Nacional de Riego (CNR), a través de la Resolución C.N.R. N°2564 de 24-08-2020. Este estudio fue realizado por la Unión Temporal de Proveedores conformada por “Hídrica Consultores SpA” y “Arrau Ingeniería SpA”.

El área de estudio corresponde a las cuencas de los ríos La Ligua y Petorca, en la provincia de Petorca, región de Valparaíso. En términos comunales, ambas cuencas comprenden una buena parte de las comunas de La Ligua, Petorca, Cabildo, además de pequeños sectores de las comunas de Papudo y Putaendo. La provincia de Petorca tiene una población aproximada de 78.000 habitantes siendo La Ligua su capital comunal. La Figura 1-1 contiene la ubicación del área de estudio y sus distintos sectores acuíferos.

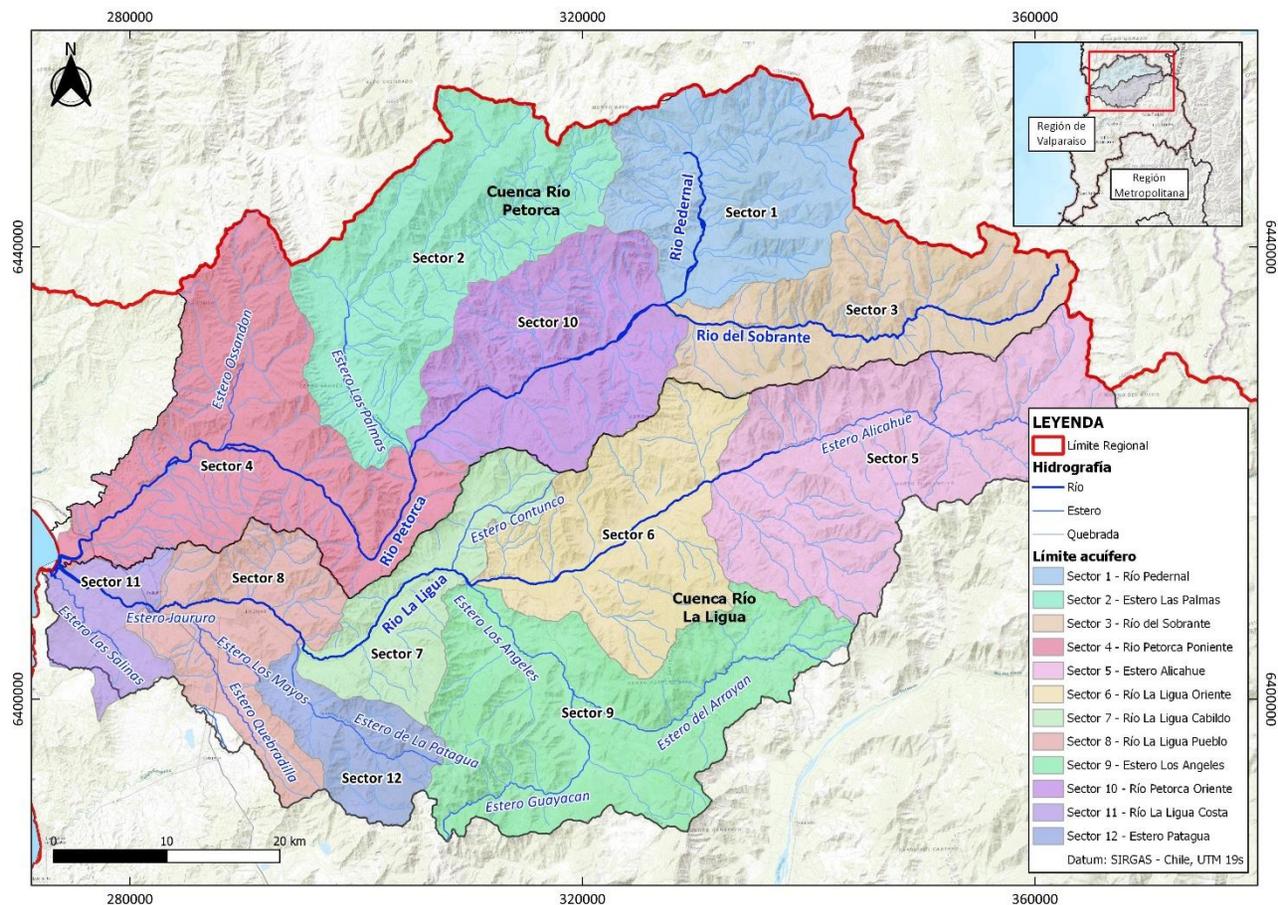


Figura 1-1: Área de estudio y sectores acuíferos

Fuente: Elaboración propia.

1.2 Objetivo del Estudio

El objetivo principal del presente estudio consiste en estudiar e identificar los sitios apropiados dentro de la cuenca de los ríos La Ligua y Petorca, para la instalación de pantallas que peralten el flujo subterráneo, considerando las condiciones hidrogeológicas del acuífero, su geometría y los efectos sinérgicos que podrían tener este tipo de proyectos con otras obras de infraestructura hidráulica presentes en la zona de estudio, como pozos de APR, entre otros.

2. RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES

2.1 Caracterización Ambiental del Territorio

La geomorfología de las cuencas del río La Ligua y Petorca corresponde a la zona típica que se ubica en la región denominada de los valles transversales, que se extienden entre los ríos Aconcagua por el sur y Copiapó por el norte. Esta región se caracteriza por la falta de la depresión central, insertada entre la Cordillera de la Costa y de Los Andes. Los cordones de cerros de ambas cordilleras se desarrollan sin intermitencias importantes, entre el océano y la frontera con Argentina, alcanza alturas de 100 a 300 msnm en la costa y unos 3.500 msnm en las cabeceras. Respecto de los climas que se distinguen en las cuencas del río La Ligua y Petorca corresponden a Estepa Cálido y Frío de altura en la Cordillera de Los Andes.

Las cuencas del río La Ligua y Petorca están ubicadas en la zona de ríos en torrente de régimen mixto en la zona semiárida de Chile, con alimentación nivo-pluvial. En la parte alta de las cuencas, antes del nacimiento de ambos ríos se tiene una alimentación nival, presentando en años húmedos los mayores caudales entre octubre y diciembre, producto de deshielos, mientras que los menores caudales ocurren entre febrero y mayo.

En relación con la flora, según los datos del sitio Sistema de Información Territorial (SIT) de Conaf, la superficie de uso de praderas y matorrales alcanza un 62,4% del total de superficie de la Provincia de Petorca y la superficie de uso de bosques alcanza un 20,8%. Respecto de la fauna, existen 296 especies nativas clasificadas dentro de las cuencas del río La Ligua y Petorca, de las cuales aproximadamente el 11% posee algún grado de vulnerabilidad según clasificación.

Respecto de áreas protegidas, existe un total de 12 áreas del Registro Nacional de Áreas Protegidas (RNAP) y 21 humedales en la cuenca del río La Ligua y 33 humedales en la cuenca del río Petorca.

2.2 Caracterización Agroambiental y Agrícola

Los Distritos Agroclimáticos presentes en Envoltentes Agropecuarias son los siguientes: Distrito 5-5 La Ligua, Distrito 5-6 Putaendo y el Distrito 5-1 Valparaíso. Por su parte, la zona agrícola de ambas cuencas presenta un tradicional y amplio desarrollo productivo, sólo limitado por el recurso hídrico.

El uso del suelo del área de estudio se caracteriza por la predominancia de bosques, praderas y matorrales, que abarcan el 82,9% de la superficie (265.774 ha). Los terrenos agrícolas alcanzan las 26.852 ha, equivalentes al 8,4% de la superficie total, de los cuales la mayor parte corresponde a agricultura de riego, en especial de frutales. El suelo bien drenado representa el 56,5% del área de estudio, siendo 23,6% de la superficie, suelos con excesivo drenaje. Solo un 6,5de % presenta drenaje imperfecto a muy pobremente drenado.

En suma, las características agroclimáticas de la zona más bien constituyen un gran y valioso potencial para producción agrícola, siendo la disponibilidad de suelo con aptitud agrícola la verdadera limitante, lo que ha llevado a las grandes empresas agrícolas de la zona, buscando aprovechar la valiosa potencialidad de adaptabilidad climática, a explotar suelos de baja capacidad de uso y sin aptitud para agricultura.

2.3 Análisis de Calidad de Aguas

La calidad de las aguas de las cuencas río Petorca y río La Ligua son, en general, de buena calidad y bajo un cumplimiento de los distintos parámetros de análisis de las normas de agua potable y riego (NCh 409/01 y NCh 1333/78). De esta forma, es recomendable su uso para ambos usos.

Sin embargo, existen zonas puntuales en ambas cuencas donde se superan algunos parámetros, los cuales podrían tener incidencia en el uso del agua, tanto para su uso doméstico como para la agricultura. Es así como en la estación de calidad de agua superficial Río Ligua en Quinquimo (Cód 5221002), ubicada en la parte baja de la cuenca río La Ligua, tanto la CE como los SDT se ubican dentro del rango C2 “Agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles”.

En el caso de las aguas subterráneas, en la cuenca del río Petorca, los sistemas APR Valle de Los Olmos (parte alta), El Sobrante (parte alta) y La Canela (parte baja), superan de forma persistente las normas de referencia para el As, Cu, Fe y/o Mn, sobre todo este último. De manera similar, en la cuenca del río La Ligua, en el sector de Quinquimo (parte baja) los pozos Fuente Subterránea Sondaje 3 Quinquimo (Cód. SISS 203-L12200301) y Pozo N°1 Quinquimo (Cód SISS 203-L12100101) superan las normas de As, Fe, Mn y SO₄. En el caso del Sondaje La Confluencia N°1 (Cód SISS BC0P99-10CP01), en el sector de Santa Laura (parte media), se supera localmente la norma de riego para el Cl.

Los parámetros fisicoquímicos además muestran implicancias sobre el uso del agua para agricultura, donde los puntos del sector Quinquimo poseen aguas clasificadas en el rango C3, “Agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadoso”, mientras que los pozos Sondaje Goenechea N°2 (Cód SISS 203-G0022706), Sondaje Goenechea N°4 (Cód SISS 203-G0022808), Aguas Claras 897 (Cód SISS 203-L01100201) y Aguas Claras 898 (Cód SISS 203-L01150301), todos cercanos a la ciudad de la Ligua, en la parte baja de la cuenca, se encuentran en el rango C2.

También, resulta relevante el hecho de que la mayoría de las estaciones utilizadas en el análisis temporal de la conductividad eléctrica mostraron un aumento progresivo de este parámetro en los últimos años, lo cual puede estar estrechamente relacionado con la disminución en la disponibilidad del agua en los cursos superficiales de los ríos Petorca y La Ligua.

Sumando todo lo anterior, se concluye que el agua subterránea en la parte baja de ambas cuencas es la que posee la peor calidad de todas, principalmente por su CE, SDT y contenidos de metales (As, Cu, Fe y/ Mn) mientras que el resto no superan los límites ni de agua potable ni de riego, para casi ningún parámetro, salvo casos aislados, por lo que serían de buena calidad.

2.4 Análisis de la Situación Legal Actual

Se llevó a cabo el estudio de la situación legal de los derechos de aprovechamiento de aguas superficiales y subterráneas, de tipo consuntivo y no consuntivo existentes en las cuencas del Río La Ligua, Río Petorca y correspondientes a la provincia de Petorca. A este análisis se sumaron aquellas solicitudes de derechos de aguas que se encuentran en curso y en proceso de tramitación en la Dirección General de Aguas, así como también el registro que lleva dicha entidad en su servicio de Catastro Público de Aguas. Dada la contingencia país y las restricciones en la zona, se ejecutó una estrategia consistente en la reutilización de los registros que se obtienen desde el Mercado de Aguas de la DGA y que corresponde a lo informado por los Conservadores de Bienes Raíces a nivel nacional. Estas planillas obtenidas permitieron generar una base para el trabajo en terreno de manera de facilitar y agilizar la verificación de aquellos títulos vigentes. Cabe mencionar que la información reportada desde los conservadores no se integra en el Catastro Público de Aguas según se observó durante este estudio legal.

Lo anterior, por ende, implicó realizar un levantamiento en los Conservadores de Bienes Raíces de La Ligua y Petorca durante 25 días con un equipo en terreno que trabajó paralelamente con un equipo en gabinete para registrar todos los derechos de aprovechamiento de aguas en estado vigente a fin de generar una base robusta de información que permita establecer el escenario actual y real de los actores de la zona en relación a los fines del proyecto de futuros Embalses Subterráneos en las cuencas en estudio de la Provincia de Petorca.

En efecto, se logró generar una base de datos consolidada con más de 6.000 titulares y cerca de 1.000 solicitantes que, para aquellos que cuentan con información de ubicación, permite sectorizar los derechos de aprovechamiento de aguas dentro de los SHAC (Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común). En el caso de las aguas subterráneas se localizan por sus coordenadas UTM y para el caso de las aguas superficiales se utilizó la capa de información geográfica de la CNR canales.shp actualizada a marzo de 2020. Esta última permitió sectorizar los canales más importantes y que generan mayor cantidad de usuarios de las aguas.

Se incluyó en este levantamiento a los titulares de las cuencas Río La Ligua y Río Petorca que están afectos a patente por No Uso de las aguas encontrándose 46 derechos todos de tipo consuntivo, permanente y continuo; y se hizo una revisión de los derechos de aprovechamiento de aguas que han sido renunciados y devueltos al estado, en este último caso no hay registros para la zona en estudio.

Al hacer la integración de la información, esto es, Conservador de Bienes Raíces, con los registros del Catastro Público de Aguas, las solicitudes pendientes en la Dirección General de Aguas y titulares de las Patentes por No Uso (PNU), se pudo constatar que existe una mayor cantidad de títulos en los conservadores que los que lleva la Dirección General de Aguas y que aproximadamente la mitad de las inscripciones no posee certificado de Catastro Público. A su vez, la mayoría de los derechos afectos a patentes por no uso de las aguas se encuentran no vigentes y se constata que los titulares no han dado el aviso correspondiente a la Dirección General de Aguas de esta situación para eliminación del listado. Lo anterior da cuenta de que la Dirección General de Aguas no tiene una actualización de lo informado por los Conservadores de Bienes Raíces a pesar de que se ordena a estos últimos por ley a reportar anualmente.

Es por esta razón que cobra relevancia el levantamiento en los Conservadores de Bienes Raíces para conocer el escenario actual y vigente, mediante el cual también se obtuvo información de los actores de la zona tales como las Asociaciones de Canalistas, Comunidades de Aguas Subterráneas y Superficiales, entre otras Organizaciones de Usuarios de Aguas.

Respecto de las Organizaciones de Usuarios de Aguas (OUAS), se identificaron 105 correspondiente a 2 Juntas de Vigilancia (JV), 2 Asociaciones de Canalistas (AC), 89 Comunidades de Aguas (CA) y 12 CASUB (Comunidad de Aguas Subterráneas), las que se encuentran encargadas de distribuir y administrar los derechos de aprovechamiento de aguas superficiales y subterráneas y que agrupan a los regantes del área perteneciente al presente estudio.

Las inscripciones de DAAs superficiales individuales pertenecen casi en su totalidad a OUAS, siendo las más importantes, por la cantidad de usuarios y Derechos de Aprovechamiento que concentran, la AC de Chicolco en la Cuenca de Río Petorca y AC Alicahue en Cuenca Río La Ligua. En cuanto a los Derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, actualmente se encuentran bajo la administración de 12 CASUB, las que se formalizaron y registraron por la DGA a partir del año 2015.

En definitiva, la administración de futuros derechos de aprovechamiento de aguas de un embalse subterráneo en la zona de estudio puede recaer tanto en las JV como en las CASUB debido a que el área de jurisdicción es coincidente, eventualmente para efectos de este estudio, resulta importante destacar que la JV pueden cumplir el rol de supervigilancia sobre un acuífero.

3. PROPUESTA DE SITIOS A EVALUAR COMO EMBALSES SUBTERRÁNEOS

3.1 Selección de Sitios Finales para Embalses Subterráneos

De acuerdo con la revisión y análisis de la información revisada desde todos los antecedentes disponibles, se definieron 10 criterios que permitieron priorizar los diversos sitios analizados, tanto los obtenidos desde estudios anteriores, como los sitios propuestos para el presente proyecto. Estos criterios evalúan los sitios desde las perspectivas ambientales, la información hidrogeológica y agrícola disponible, hasta la densidad de propietarios de derechos de agua subterránea que serían beneficiados en cada sector.

Sumado a ello, luego de ser realizada la primera preselección de sitios, se aplicaron criterios de carácter agro-social, legales y de tipo accesibilidad-constructivos que, fueron considerados una vez visitados los posibles sectores en terreno, según lo cual permitió realizar la selección definitiva de los sitios para emplazamiento de los embalses subterráneos. Los criterios evaluados fueron los siguientes:

- Criterio Ambiental: Cercanía a Áreas Protegidas.
- Criterios Hidrogeológicos: Analizados según las características hidrogeológicas de cada sector, siendo estos los siguientes: Ancho del Cauce, Profundidad del Basamento Rocoso, Espesor Acuífero en Zonas Beneficiadas, Profundidad de Niveles Freáticos, Permeabilidad del Sitio.
- Criterio Hidroquímico: Priorizando sitios cuyos monitoreos de calidad de agua subterránea se encuentre acorde a la normativa vigente.
- Áreas de Riego: Cercanías a zonas de riego existentes.
- Número de Derechos de Agua Subterránea existentes y cantidad de APR beneficiados.
- Aspectos agro-sociales, espacio-legales y de accesibilidad y constructibilidad.

La primera selección de sitios, que se presenta en la Figura 3-1, comprendió un total de 13 sitios para Petorca, denominados: a, b, c, d, e, f, g, h, A1-P5, A2-P9, Petorca 1, Petorca 2 y Petorca 3, siendo los tres últimos propuestos en este estudio y los demás obtenidos de la bibliografía analizada. Por su parte se seleccionó un total de 14 sitios para la Ligua, denominados: a, b, c, d, e, f, A3-L6, A4-L3, A3-L3, A4-L6, SPB, La Ligua 1, La Ligua 2 y La Ligua 3, siendo los tres últimos propuestos en este estudio y los demás obtenidos de la bibliografía analizada.

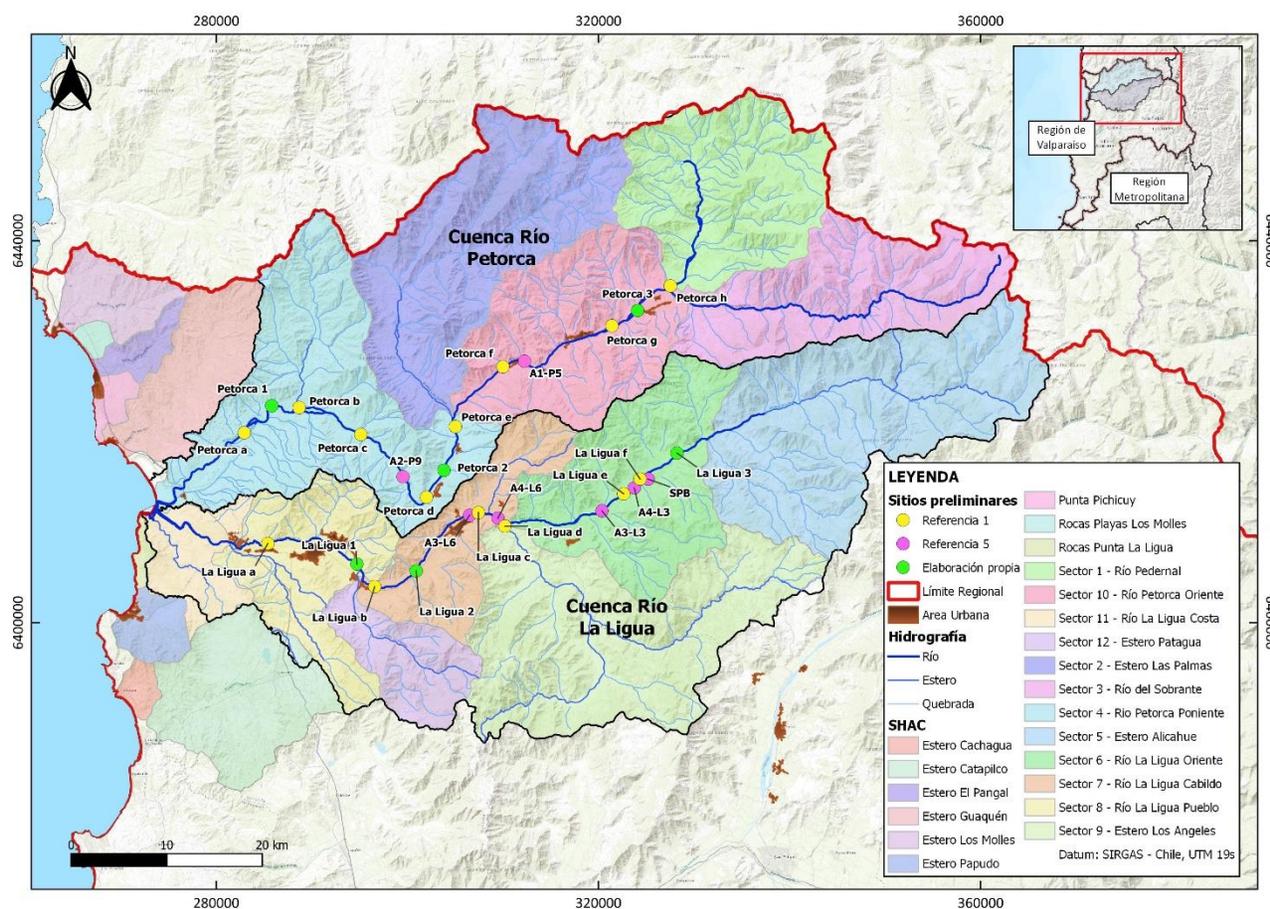


Figura 3-1: Ubicaciones preliminares de sitios de embalses

Fuente: Elaboración propia.

En general, se observa que las características litológicas y las permeabilidades obtenidas a partir de la campaña de mecánica de suelos realizada no difieren en gran medida entre los distintos sitios de ambas cuencas, manteniéndose siempre dentro del mismo orden de magnitud (K P70 entre 24,90 y 76,90 m/d).

De este modo, se utilizó la información geofísica como la información determinante en la selección final de los sitios de ambas cuencas en términos netamente técnicos, donde fueron calificados como adecuados aquellos en que se interpretó la profundidad del basamento prácticamente a lo largo de todo el perfil analizado, lo que permite dimensionar de mejor forma el muro a construir. Por otro lado, se calificaron como medianamente adecuados los sitios donde solo se interpretó parcialmente la profundidad del basamento a lo largo de los perfiles, mientras que fueron descartados los sitios donde no fue posible realizar dicha interpretación. En cuanto a los aspectos sociales, luego de realizada la evaluación se observó que los aspectos más relevantes y en que se podía diferenciar los diferentes sitios fueron el perfil de los potenciales beneficiarios y el interés de dirigentes y afectación a terceros.

Sobre la base de la aplicación de los criterios anteriormente señalados, además de las visitas técnicas a terreno, se realizó una evaluación a 8 sitios priorizados, según se resume en la Tabla 3-1 y en la

Tabla 3-2, resultando finalmente los 4 sitios definitivos siguientes: Petorca “a” y “d” y La Ligua “b” y “A3-L6”, cuyas ubicaciones se ilustran en la Figura 3-2.

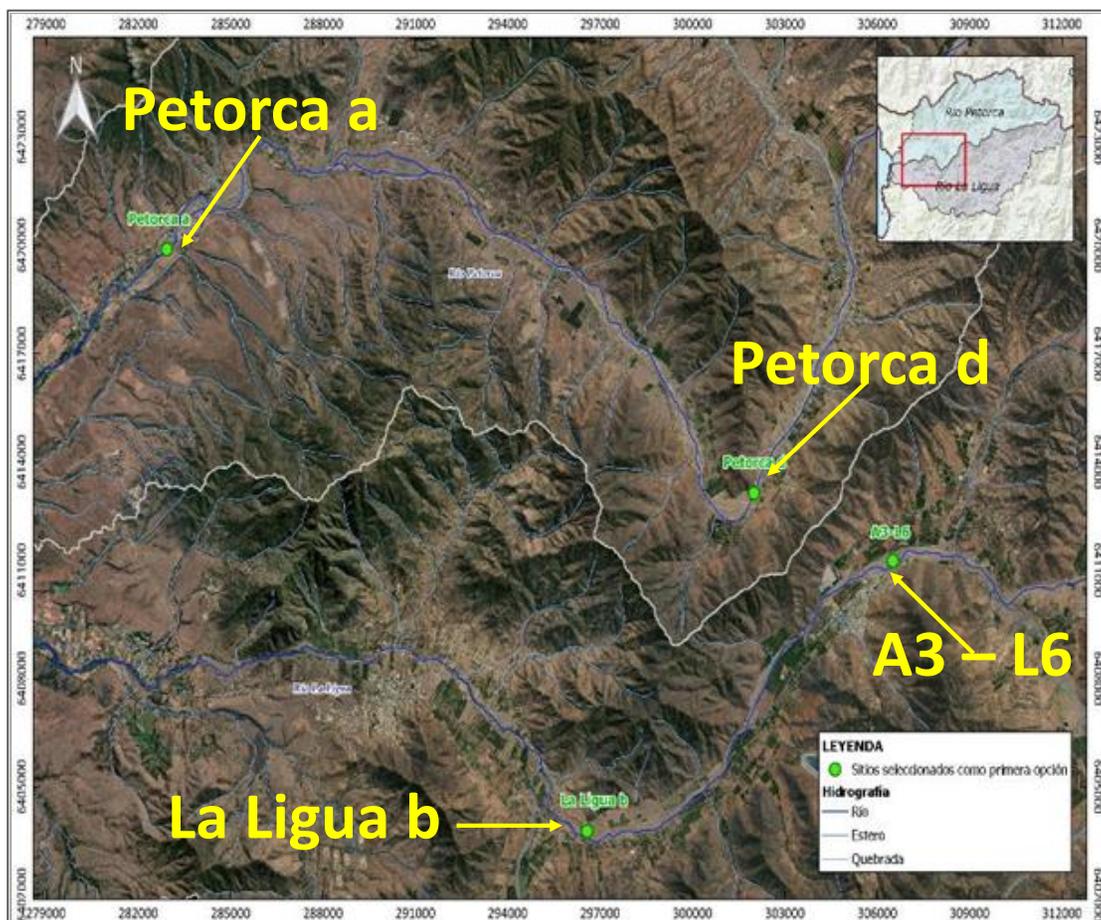


Figura 3-2: Ubicación de los sitios finales seleccionados

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-1: Selección sitios Petorca

Priorización	Sitio	Aspecto Evaluado								Seleccionado
		Prof. Acuífero	Calidad de Aguas	Prof. Nivel Freático	Caract. Hidráulicas	Perfil Potenciales Beneficiarios	ZRA	Situación Organizacional de Usuarios de Agua	Interés de Dirigentes y Afectación a Terceros	
1	Petorca a	A	A	M/A	A	M/A	A	M/A	A	Adecuado
2	Petorca d	A	A	M/A	A	N/A	M/A	M/A	M/A	Adecuado
3	Petorca 3	N/A	A	N/A	A	M/A	M/A	M/A	A	No Adecuado

A: Adecuado; M/A: Medianamente adecuado; N/A: No adecuado. Fuente: Elaboración propia

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-2: Selección sitios La Ligua

Priorización	Sitio	Aspecto Evaluado								Seleccionado
		Prof. Acuífero	Calidad de Aguas	Prof. Nivel Freático	Caract. Hidráulicas	Perfil Potenciales Beneficiarios	ZRA	Situación Organizacional de Usuarios de Agua	Interés de Dirigentes y Afectación a Terceros	
1	La Ligua 1	N/A	A	N/A	A	M/A	M/A	M/A	A	No Adecuado
2	La Ligua a	M/A	M/A	N/A	A	N/A	M/A	M/A	N/A	No Adecuado
3	La Ligua b	A	A	A	A	A	M/A	M/A	N/A	Medianamente Adecuado
4	A3-L6	A	A	A	A	A	M/A	M/A	A	Adecuado
5	La Ligua f	N/A	A	A	A	N/A	A	M/A	M/A	No Adecuado

A: Adecuado; M/A: Medianamente adecuado; N/A: No adecuado. Fuente: Elaboración propia

Fuente: Elaboración propia

3.2 Trabajos de Terreno en los 8 Sitios de Selección Preliminar

3.2.1 Ejecución de la Campaña Geofísica

Para los 8 sitios de embalse de mayor prioridad, indicados en la Tabla 3-1 y Tabla 3-2, se ha desarrollado una campaña de estudios geofísicos con la finalidad de disminuir incertidumbres relacionadas a la profundidad a la cual se ubica la roca basal y la disposición de las unidades estratigráficas que conforman el subsuelo.

Las actividades de terreno referentes a estos estudios fueron realizadas por la empresa especialista Geodatos, cuyo trabajo consistió en la realización de 40 estaciones NanoTEM y 6.000 m de longitud de perfiles de Tomografía Eléctrica. En la Tabla 3-3 se resume los resultados obtenidos, en cuanto a la profundidad de la roca en cada sitio.

Tabla 3-3 Resultados de la campaña geofísica

Sitio	Profundidad de la roca determinada (m)
Petorca a	45 a 75
Petorca d	40 a 100
Petorca 3	>100
La Ligua a	> 90
La Ligua 1	>80
La Ligua b	70
La Ligua f	>100
La Ligua A3-L6	25 a 70

Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Medición de Calidad de Aguas

Se tomó y analizó muestras de agua en cada uno de los sitios priorizados indicados en la Tabla 3-1 y Tabla 3-2, Los resultados del análisis de laboratorio, que se indican en la Tabla 3-4, indican que, en general, son aguas de buena calidad, sin superar en ningún parámetro los límites indicados por las normas NCh1333/78 y NCh409/01 (riego y agua potable respectivamente).

Tabla 3-4 Resultados de análisis de calidad de aguas subterráneas sitios priorizados

ID	pH	CE (μ S/cm)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	Al (mg/L)	As (mg/L)	B (mg/L)	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Pb (mg/L)
Petorca a	7,4	972	79,6	204	7,64	0,059	< 0,001	< 0,02	0,005	< 0,02	0,003	0,029
Petorca d	7,0	874	54,8	154	9,48	0,055	0,001	0,27	< 0,005	< 0,02	0,001	< 0,01
Petorca 3	7,4	485	10,2	40,3	1,96	0,019	< 0,001	0,065	< 0,005	< 0,02	0,001	0,013
La Ligua a	7,0	1601	93,2	445	7,76	0,048	0,001	< 0,02	0,022	2,83	0,095	0,019
La Ligua 1	7,0	545	17,3	84	6,84	< 0,01	< 0,001	0,063	< 0,005	< 0,02	< 0,001	< 0,01
La Ligua b	7,6	774	43,6	127	4,3	0,021	0,001	0,084	<0,005	< 0,02	0,005	0,018
A3-L6	7,2	632	21,6	65	5,76	< 0,01	0,002	0,077	0,007	0,041	0,003	< 0,01
La Ligua f	7,8	708	17,9	140	4,68	0,031	0,001	0,079	< 0,005	< 0,02	0,001	0,012

Fuente: Elaboración Propia.

Solamente en el caso del sitio la Ligua “a”, los valores de SO₄ y Fe se remarcan de color rojo, donde los límites permitidos por las normas son 250 mg/L (NCh1333/78) y 0,3 mg/L (NCh409/01) respectivamente.

3.2.3 Mecánica de Suelos

Se excavaron 38 calicatas de hasta 7,5 m de profundidad, según lo permitiese las condiciones del terreno, mediante el uso de un equipo del tipo excavadora Marca John Deere Modelo 210G, en cada uno de los sitios priorizados indicados en la Tabla 3-1 y Tabla 3-2. En la Tabla 3-5 se indica el número de Calicatas realizadas en cada sitio y la permeabilidad promedio obtenida.

Tabla 3-5 Número de calicatas realizadas en cada sitio y permeabilidad promedio

Sitio	Cuenca	N° Calicatas	Permeabilidad Promedio K (m/d)
Petorca a	Río Petorca	5	35,58
Petorca d	Río Petorca	4	32,83
Petorca 3	Río Petorca	5	173,85
La Ligua a	Río La Ligua	5	26,35
La Ligua 1	Río La Ligua	5	31,32
La Ligua b	Río La Ligua	5	17,96
A3-L6	Río La Ligua	4	64,35
La Ligua f	Río La Ligua	5	28,44

Fuente: Elaboración Propia

3.3 Topografía en los Cuatro Sitios de Embalses Finales Seleccionados

Se realizó los trabajos de topografía en cada uno de los cuatro sitios de embalses finales, con las características siguientes:

- Se materializó en terreno un total de 8 PRs para el control topográficos, distribuidos en pares intervisibles en cada uno de los 4 sitios de interés.
- Se obtuvo la cartografía base escala 1:2.000 de los 4 sitios en estudio, mediante la realización de vuelos fotogramétricos con sistema dron multirrotor, apoyado en puntos topográficos que permitieron dar cumplimiento a la tolerancia establecida para este tipo de levantamientos.
- La Vinculación planimétrica y altimétrica del proyecto se realizó según lo establecido en el punto 9.7 Casos Especiales del “Manual De Procedimientos Geodésicos Y Topográficos”.

4. MODELACIÓN DE LOS EMBALSES SUBTERRÁNEOS

4.1 Modelo Conceptual Superficial

En la Figura 4-1 se muestra el sistema hídrico, delimitado por las cuencas de los ríos La Ligua y Petorca que, a su vez, han sido subdivididos en 13 y 12 sectores, los cuales fueron delimitados según la distribución de los canales de riego, bocatomas, áreas regadas, ubicación de controles fluviométricos y características geomorfológicas.

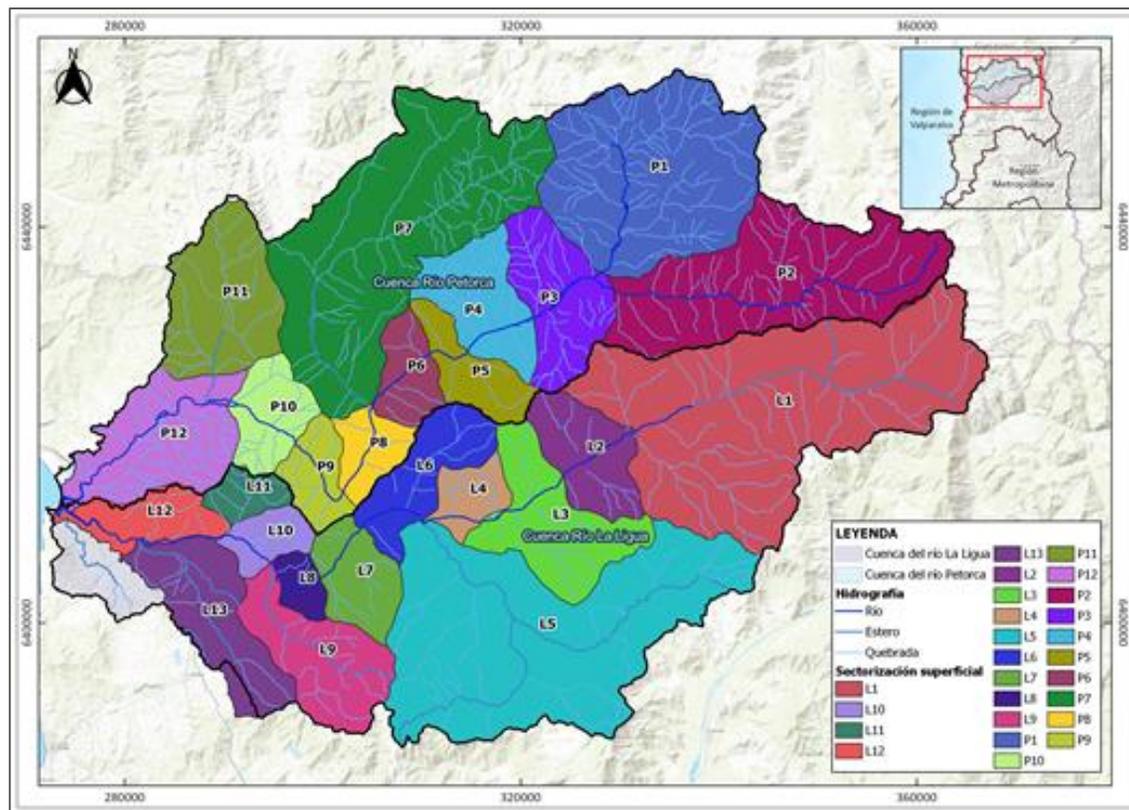


Figura 4-1: Sectorización superficial cuencas de los ríos La Ligua y Petorca

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, en la Tabla 4-1 se presenta el balance global de las componentes superficiales obtenidas a partir de la integración y actualización del modelo numérico acoplado, para ambas cuencas en conjunto.

Tabla 4-1 Balance hídrico superficial, obtenido de a partir del modelo integrado (l/s)

Parámetro	1989-1999	2000-2009	2010-2019
Entradas al sistema superficial (l/s)			
Escorrentía	4.859,9	4.971,1	26.16,3
Retornos de demanda	390,1	371,8	297,4
Afloramientos	1824-2.194	1241-1.486	538-685
Total	7.444,3	6.829,1	3.599,5
Salidas del sistema superficial (l/s)			
Aporte desde cauces superficiales a acuíferos	1119-630	988-775	463-665
Demandas	3.046,4	3.096,5	2.421,8
Salida superficial al mar	3.371,4	3.029,0	927,5
Total	7.048,6	6.091,1	4.014,4

Fuente: Elaboración propia a partir de la integración del modelo acoplado.

4.2 Modelo Conceptual Subterráneo

El sistema subterráneo es delimitado por el relleno de los valles de las cuencas de los ríos La Ligua y Petorca, subdivididos en 13 y 12 sectores, en concordancia con la sectorización superficial. Las entradas al sistema subterráneo son: recarga proveniente de precipitación, recarga por riego y recarga desde el cauce. Por su parte, las salidas al sistema subterráneo son: demandas subterráneas, descargas al mar y afloramientos hacia los cauces.

A continuación, en la Tabla 4-2 se presenta el balance global de las componentes subterráneas obtenidas a partir de la integración y actualización del modelo numérico acoplado.

Tabla 4-2 Balance hídrico subterráneo, obtenido a partir de modelo integrado (l/s)

	1989-1999	2000-2009	2010-2019
Entradas al sistema subterráneo (l/s)			
Aporte desde cauces superficiales a acuíferos	630,8	775,6	665,1
Recarga distribuida superficial	2.224,8	2.317,0	1.863,8
Reducción de volumen almacenado	1.362,8	1.914,4	2.234,5
Total	4.218,5	5.007,0	4.763,4
Salidas del sistema subterráneo (l/s)			
Afloramientos	2.194,3	1.486,2	685,8
Flujo subterráneo de salida al mar	5,5	5,5	5,1
Pozos de bombeo	807,3	1.896,8	2.551,3
Aumento de volumen almacenado	1.211,3	1.618,4	1.521,1
Total	4.218,5	5.007,0	4.763,4
Error porcentual (%)	0,0	0,0	0,0

Fuente: Elaboración propia a partir de la integración del modelo acoplado.

La interacción entre río y acuífero puede verse reflejado como afloramientos en los cauces o como pérdidas desde el sistema superficial hacia el acuífero. Los acuíferos identificados para cada sector hidrológico se presentan en la Figura 4-2.

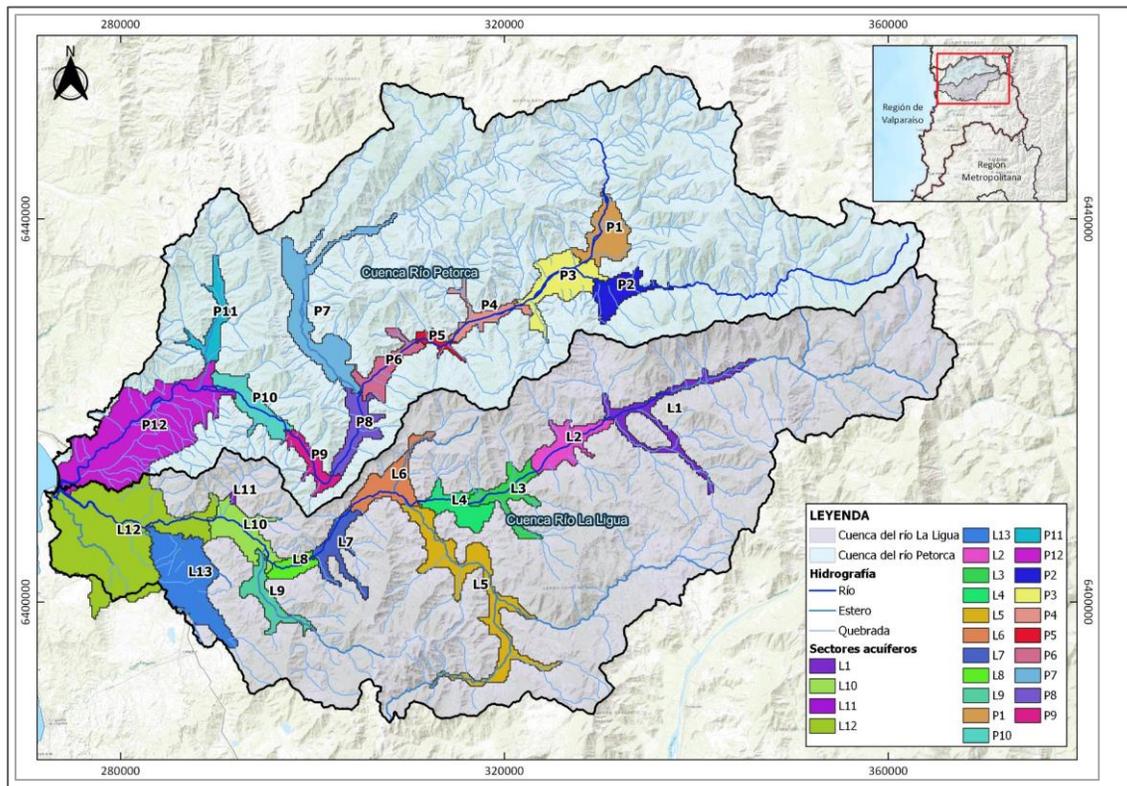


Figura 4-2: Sectores acuíferos de las cuencas de los ríos La Ligua y Petorca

Fuente: Elaboración propia.

4.3 Modelación Numérica

El modelo numérico tomado como base de modelación para la cuenca de los ríos La Ligua y Petorca corresponde al modelo acoplado desarrollado en la plataforma WEAP-MODFLOW, con periodo de modelación entre 1976 y 2013. Este modelo fue actualizado, desacoplado y posteriormente integrado iterativamente por este Consultor.

Las principales características constructivas de los modelos superficial y subterráneo son las siguientes:

- La implementación del modelo de flujo se realizó en la plataforma Groundwater Vistas, con el motor MODFLOW USG y solver SMS.
- Discretización horizontal de tamaño constante de 200 x 200 m, totalizando 350 filas (de norte a sur) y 476 columnas (de oeste a este), refinada hasta un tamaño de 25 x 25 m para los sitios seleccionados en la evaluación de embalses subterráneos. La Discretización Vertical es de 1 estrato.
- El modelo numérico se construyó en régimen transiente y cuenta con un inicio del periodo de modelación en el mes de abril de 1976, terminando su periodo de calibración en marzo de 2020.

- La implementación de los embalses subterráneos se hace mediante el paquete de MODFLOW HFB6 – Horizontal Flow Barrier Package, que permite simular barreras al flujo reduciendo la conductancia entre un par de celdas individuales.
- Para las extracciones, en base a la información provista por los expedientes de la DGA, así como también la información que provee la Superintendencia de Servicios Sanitarios y la revisión de la información desde el conservador de bienes raíces, se llevó a cabo una actualización de la información de pozos de bombeo.
- Las Propiedades hidráulicas por sector se detallan en la Tabla 4-3.

Tabla 4-3: Propiedades hidráulicas por sector

Sector	Permeabilidad (m/d)	Almacenamiento (%)
Petorca a	8,64	9,1
Petorca d	8,64	12
Petorca 3	0,864	12
La Ligua a	4,32	6,1
La Ligua 1	8,64	7,8
La Ligua b	17,28	8,7
A3-L6	25	20
La Ligua f	0,864	12

Fuente: Elaboración propia.

Para efectos del modelo superficial, los nodos de demanda del modelo base son utilizados para representar: Extracciones subterráneas sobre los elementos acuíferos, destinadas a uso de Agua Potable, Minero e Industrial; Nodos destinados a la demanda agrícola; Extracciones subterráneas sobre los elementos acuíferos destinadas a uso agrícola.

El proceso de integración de modelos WEAP –MODFLOW corresponde a la exportación de resultados desde el modelo superficial WEAP, que se incluyen en el modelo hidrogeológico Groundwater Vistas, y viceversa. En la Figura 4-3 se incluye la topología de ambos modelos, de manera de relacionar elementos acuíferos WEAP con sectores acuíferos en MODFLOW, tramos de río, y recargas superficiales provenientes desde sectores de riego y subcuencas superficiales.

El proceso de ajuste del modelo subterráneo se realizó en base al cumplimiento de un valor máximo de 5% para los estadígrafos MAE normalizado y RMS normalizado, junto a un valor máximo de 1% de error en el balance para cada periodo de stress, todo ello de acuerdo a la Guía Para el Uso de Modelos de Aguas Subterráneas en el SEIA. La generación de los estadígrafos, gráfico de comparación entre niveles piezométricos observados versus simulados y registros en pozos de observación frente al valor simulado, necesarios para el análisis del proceso de calibración tanto en términos estadísticos como de tendencia, se realizan mediante una rutina en código Python construida para el presente estudio.

Respecto al modelo superficial, la verificación del ajuste de la calibración se realizó de manera gráfica, permitiendo estimar la correspondencia de los resultados a la tendencia y estacionalidad de las estaciones fluviométricas, junto a un análisis estadístico entre el registro y algunos parámetros. A modo

de resumen, se observan valores de estadígrafos KGE y NSE superiores a 0,3, lo que se considera un buen ajuste en cuanto a representación de correlación y variabilidad entre series observadas y simuladas.

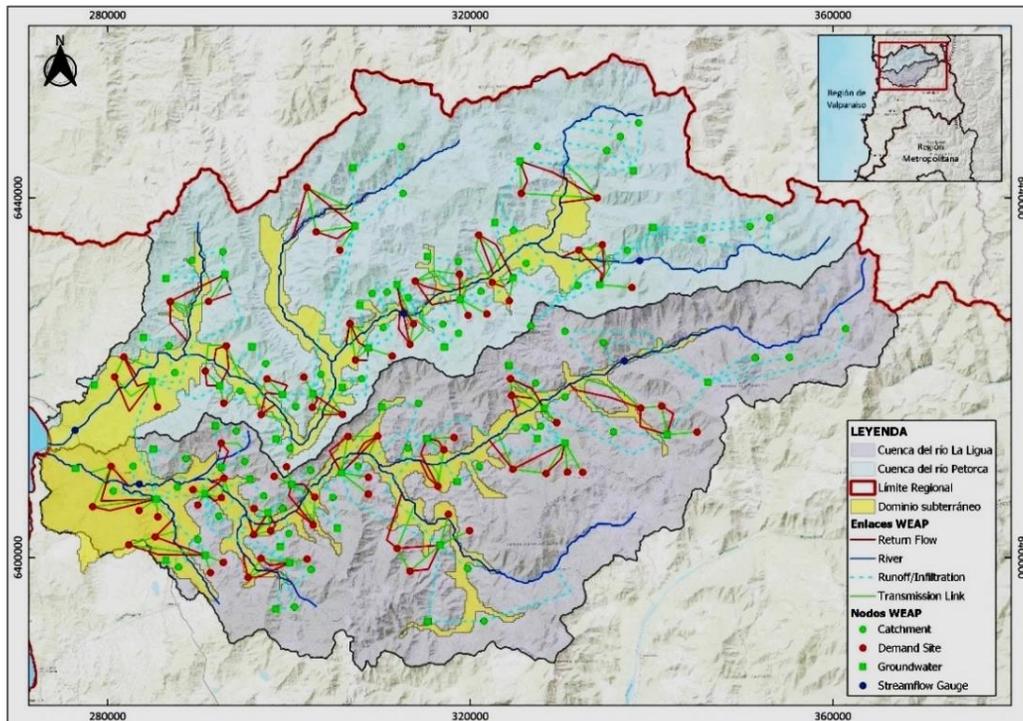


Figura 4-3: Topología de modelos integrados

Fuente: Elaboración propia.

Para la elaboración de escenarios de simulación futura, se hace uso de las forzantes meteorológicas obtenidas del MCG CSIRO en el horizonte de evaluación 2020-2050. Para contar con un escenario de comparación base, se construye un único escenario sin implementación de proyecto y con demandas proyectadas concorde a lo establecido en el estudio agronómico. Este escenario se utiliza para hacer comparaciones respecto al eventual beneficio que pudiese entregar la implementación de los embalses en cuanto a satisfacción de demanda agrícola. En los siguientes acápite se presentan los resultados de satisfacción de demanda para los 4 escenarios de embalses implementados.

4.3.1 Simulación Embalse en sitio Petorca D

En la Figura 4-4 se presenta la comparación de la satisfacción de demanda del caso base con respecto al escenario con embalse para el sector de riego (P08) aguas arriba del mismo. En la Figura 4-5 se presenta la comparación de niveles entre el caso base con respecto al escenario con embalse. Se observa que, dada la profundidad del basamento, los efectos en los niveles y en la satisfacción de demanda son mínimas.

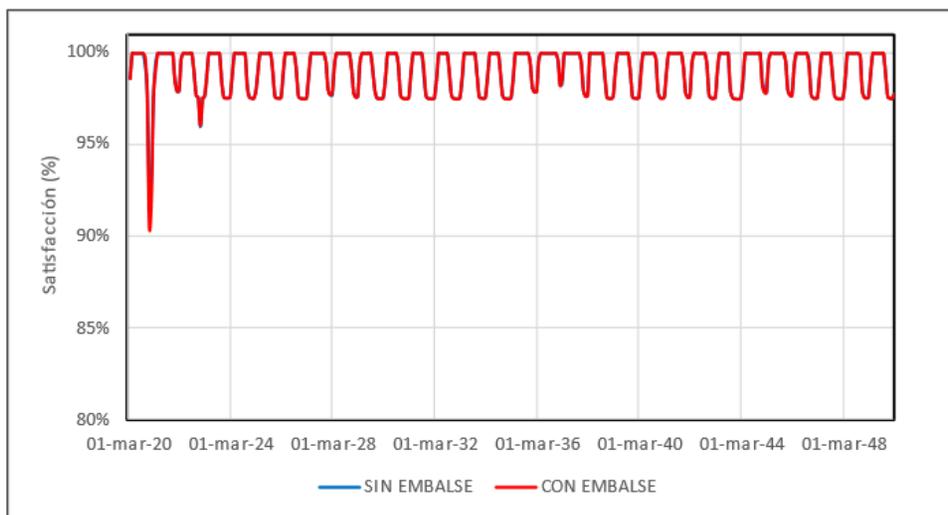


Figura 4-4: Satisfacción de riego sector de demanda agrícola P08

Fuente: Elaboración propia.

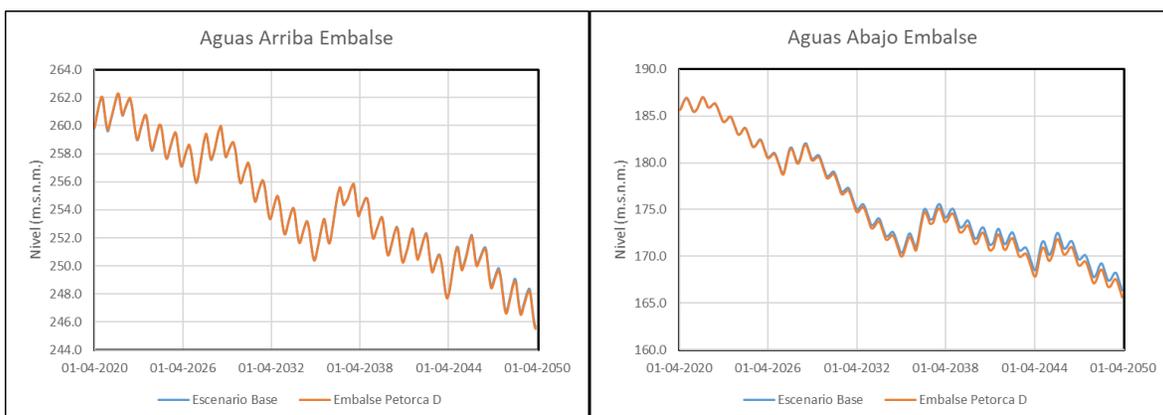


Figura 4-5: Variación de niveles entre caso base y escenario con embalse – Petorca D

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2 Simulación Embalse en sitio Petorca A

En la Figura 4-6 se presenta la comparación de la satisfacción de demanda del caso base con respecto al escenario con embalse para el sector de riego (P12) asociado al mismo. En la Figura 4-7 se presenta la comparación de niveles entre el caso base con respecto al escenario con embalse. Se observa que, dada la profundidad del basamento, los efectos en los niveles y en la satisfacción de demanda son mínimas.

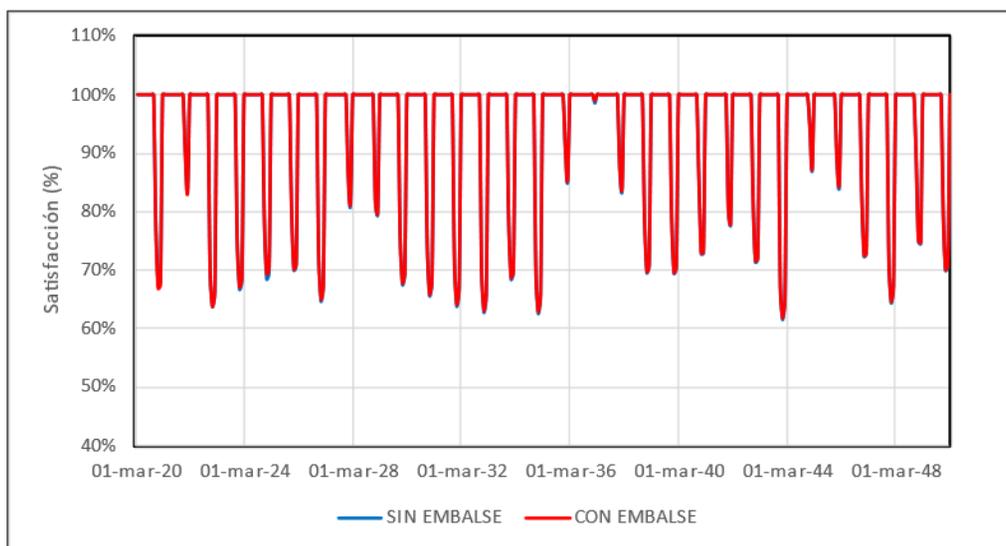


Figura 4-6: Satisfacción de riego sector de demanda agrícola P12

Fuente: Elaboración propia.

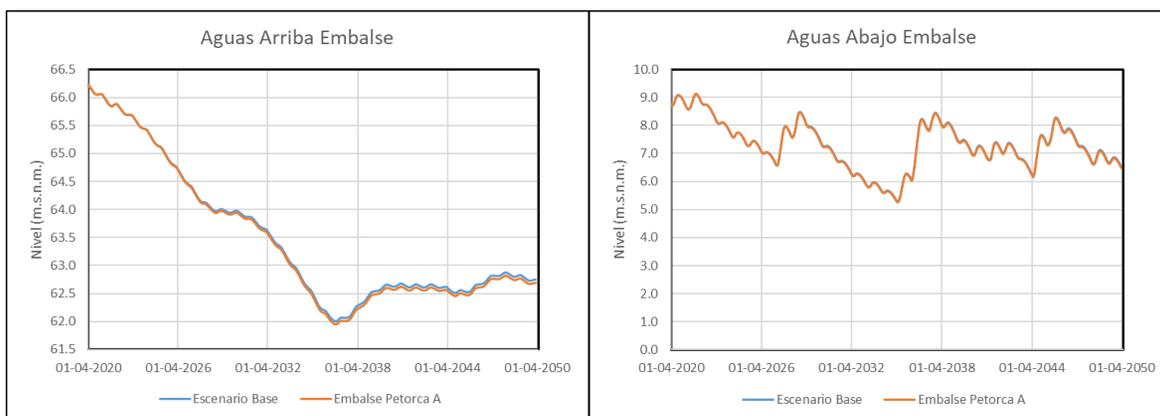


Figura 4-7: Variación de niveles entre caso base y escenario con embalse – Petorca A

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3 Simulación Embalse en sitio A3-L6

En la Figura 4-8 se presenta la comparación de la satisfacción de demanda del caso base con respecto al escenario con embalse para el sector de riego (L06) aguas arriba del mismo. En la Figura 4-9 se presenta la comparación de niveles entre el caso base con respecto al escenario con embalse. Se observa que, dada la profundidad del basamento, los efectos en los niveles y en la satisfacción de demanda son mínimas.

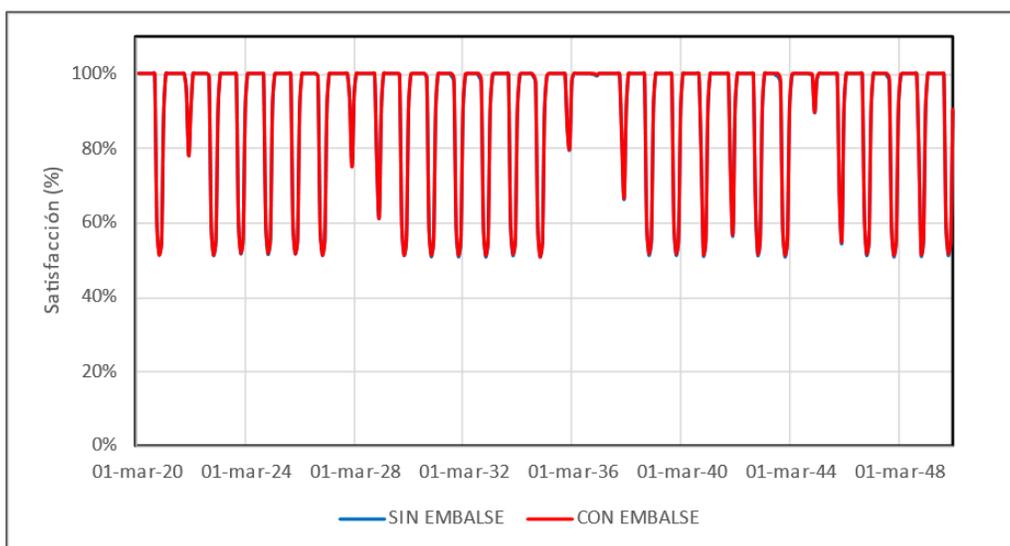


Figura 4-8: Satisfacción de riego sector de demanda agrícola L06

Fuente: Elaboración propia.

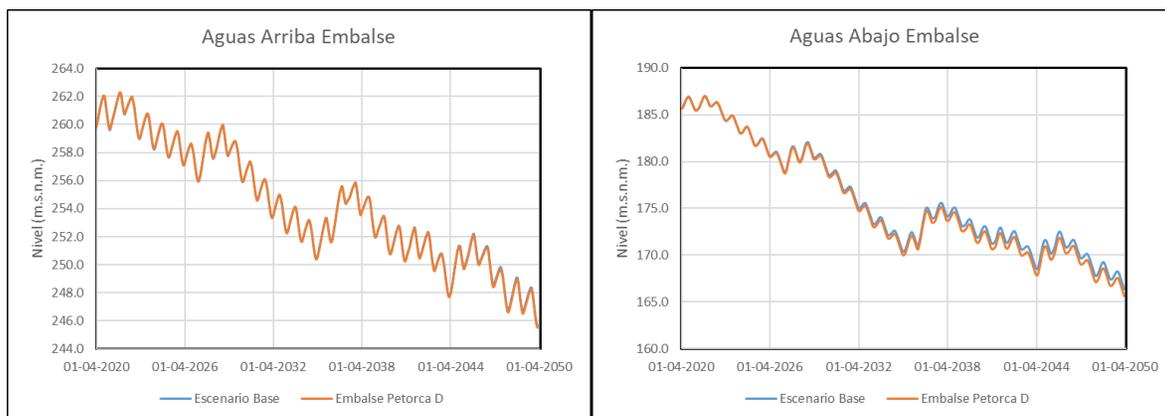


Figura 4-9: Variación de niveles entre caso base y escenario con embalse – A3-L6

Fuente: Elaboración propia.

4.3.4 Simulación Embalse en sitio La Ligua B

En la Figura 4-10 se presenta la comparación de la satisfacción de demanda del caso base con respecto al escenario con embalse para el sector de riego (L08) aguas arriba del mismo. En la Figura 4-11 se presenta la comparación de niveles entre el caso base con respecto al escenario con embalse. Se observa que, dada la profundidad del basamento, los efectos en los niveles y en la satisfacción de demanda son mínimas.

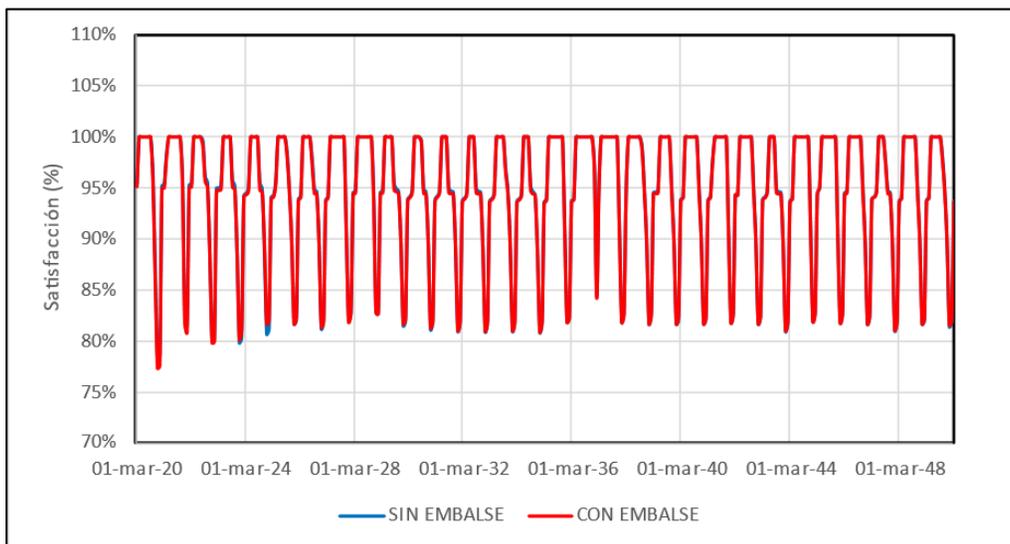


Figura 4-10: Satisfacción de riego sector de demanda agrícola L08

Fuente: Elaboración propia.

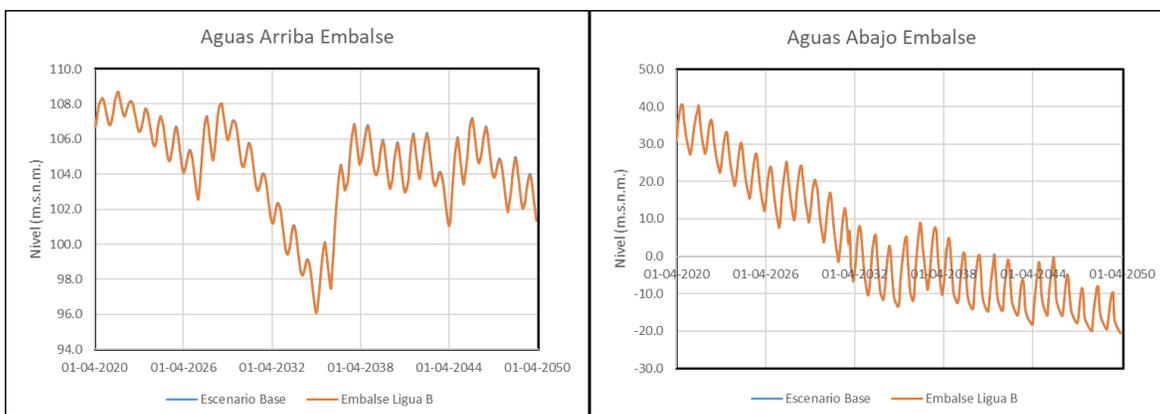


Figura 4-11: Variación de niveles entre caso base y escenario con Embalse – La Ligua B

Fuente: Elaboración propia.

5. ELABORACIÓN DE PERFILES DE PROYECTOS

5.1 Concepto General del Proyecto.

En la Figura 5-1, parte superior, se presenta el esquema de la situación sin proyecto de un área de riego y pozo de bombeo. En la parte inferior de dicha figura, se presenta el proyecto de embalse subterráneo, compuesto por un muro que retiene el flujo permitiendo que se eleve el nivel de la napa y se pueda almacenar un volumen mayor de agua.

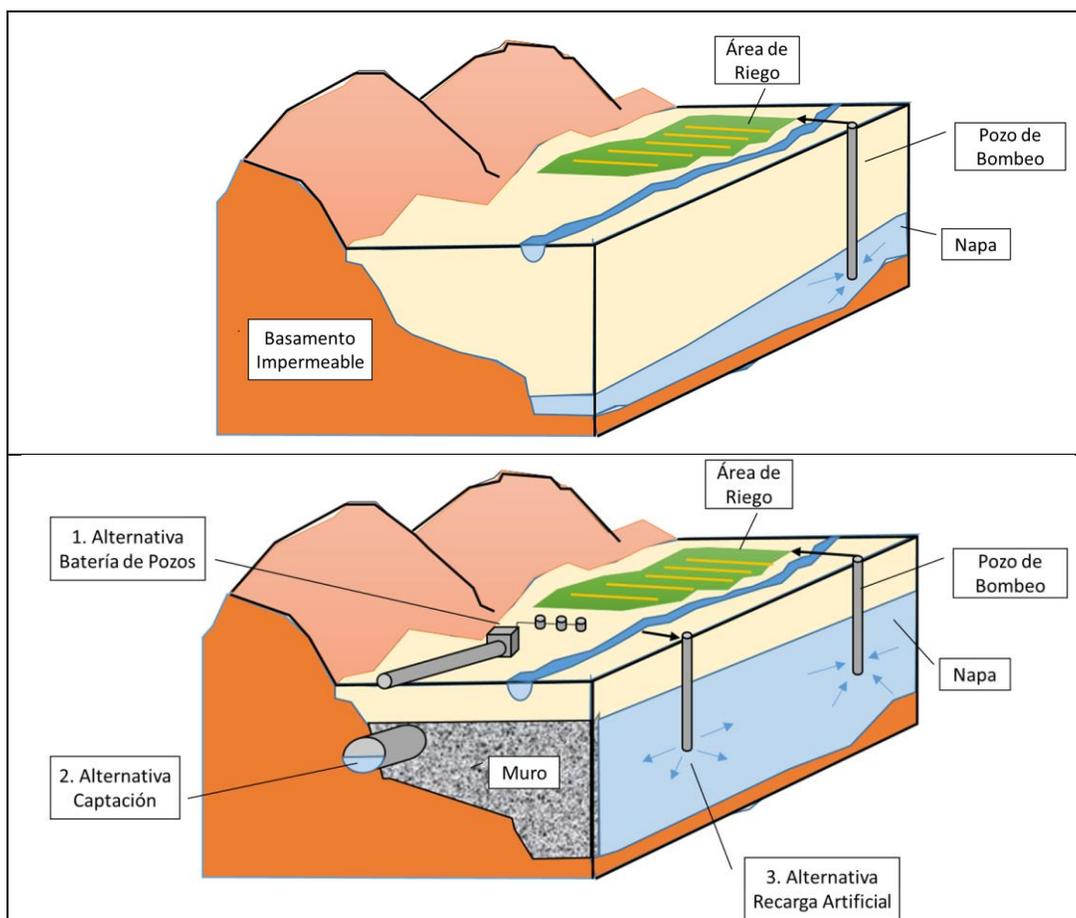


Figura 5-1: Esquema del proyecto de embalse subterráneo. Arriba: Situación sin Proyecto. Abajo: Situación con Proyecto

Fuente: Elaboración propia.

5.2 Emplazamiento de los Proyectos

La ubicación del eje de la pantalla impermeable de los cuatro muros es la siguiente:

- Perfil Petorca a: Se sitúa en la Región de Valparaíso, en la comuna de La Ligua, aguas arriba del sector de Casas Viejas, Longotoma. Las coordenadas UTM corresponden a: 282.924 Este; 6.419.894 Norte.

- Perfil Petorca d: Se sitúa en la Región de Valparaíso, en la comuna de Cabildo, aguas abajo de la localidad de Artificio. Las coordenadas UTM corresponden a: 302.240 Este; 6.412.864 Norte.
- Perfil La Ligua b: Se sitúa en la Región de Valparaíso, en la comuna de La Ligua. Las coordenadas UTM corresponden a: 296.354 Este; 6.403.468 Norte.
- Perfil A3-L6: Se sitúa en la Región de Valparaíso, en la comuna de Cabildo. Las coordenadas UTM corresponden a: 306.086 Este; 6.411.599 Norte.

5.3 Diseño de Muro Impermeable

La tecnología factible para lograr la impermeabilización deseada es por medio de un muro Pantalla de hormigón flexible. El muro impermeable está conformado por un hormigón plástico G-25, de baja resistencia y baja permeabilidad, con incorporación de bentonita en la mezcla, sin enfierraduras. La Cota de Coronamiento del muro es la misma a la mínima cota de fondo del lecho del río Petorca o La Ligua, según corresponda. Con lo anterior se busca captar la mayor porción de flujo subterráneo sin ser obstáculo de los flujos superficiales. Se consideró, además, que el recubrimiento sobre el coronamiento de los rellenos fluviales no supere los 5 m.

Tabla 5-1 Profundidades y longitudes de muro en cada sitio seleccionado

Sitio	Profundidad	Longitud (Ancho perpendicular al cauce)
La Ligua A3 L6 (Nueva Esperanza)	60 metros	1.120 metros
La Ligua b (La Higuera)	60 metros	971 metros
Petorca d (Artificio)	60 metros	530 metros
Petorca a (El Boldo)	60 metros	810 metros

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados de la interpretación geofísica, en ninguno de los sitios se logró un perfil completo de la roca basal. Esta condición imposibilita el estancamiento total del valle considerando la limitante constructiva de profundidad de hasta 60 m del muro pantalla. En función de lo anterior, todos los muros pantalla se proyectan de hasta 60 m de profundidad donde no se alcanza la roca. En este caso, para garantizar la continuidad de la pantalla (que no existan gaps en las juntas en la zona inferior de la pantalla) se recomienda un espesor de 1,0 m la que está dada por la tolerancia de la verticalidad de la pantalla, adoptando una tolerancia en la verticalidad de 0,7%, con lo que se consigue continuidad en toda la profundidad de la pantalla a partir de un mayor control en la verticalidad de la excavación, pero aumenta los costos de ejecución. En la Tabla 5-1 se presentan profundidades y longitudes de muro en cada sitio.

5.4 Diseño Red de Distribución Aguas Abajo del Muro

En la Figura 5-2 se presenta el esquema de las zonas beneficiadas aguas arriba del muro y la ubicación de derechos de agua de terceros, aguas abajo del muro. Estos últimos, eventualmente podrían

ser afectados por el proyecto de embalse subterráneo, como consecuencia de un mayor bombeo de aguas subterráneas en la zona de aguas arriba del muro subterráneo. Por esta razón, se plantea una medida de compensación consistente en restituir el caudal de los derechos de aguas abajo del muro, mediante una estación de bombeo y red de distribución, cuyo objeto es entregar el caudal a compensar (diminución del caudal respecto de la situación sin proyecto), hacia aguas abajo del muro. Se consideró una profundidad de funcionamiento de 40m para las bombas de cada pozo, donde extraerán el agua hacia el sistema de distribución.

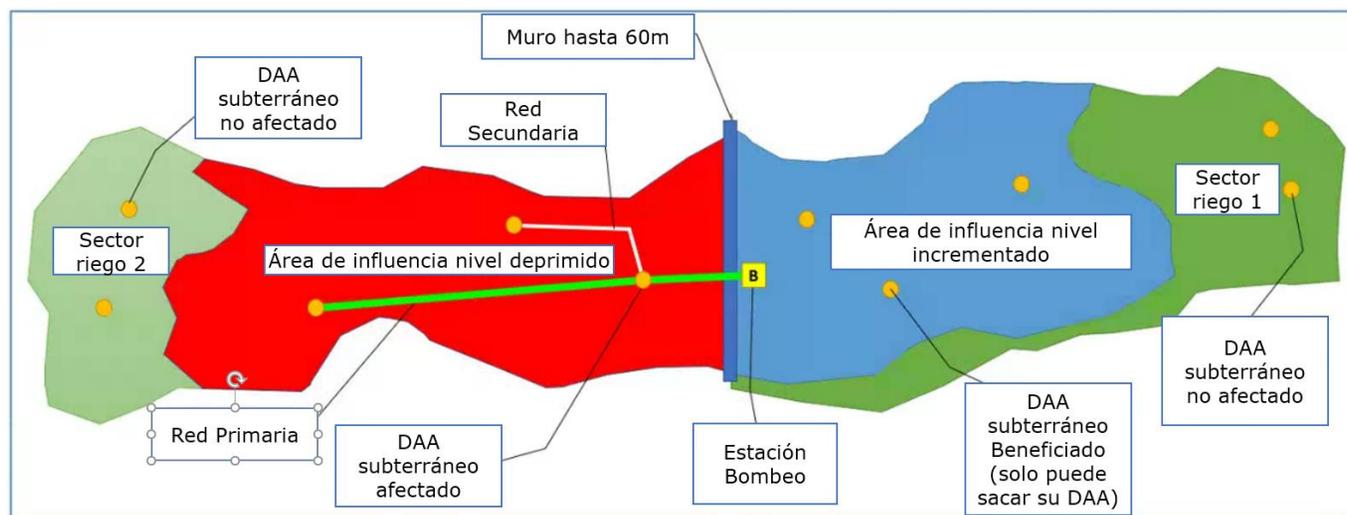


Figura 5-2: Esquema de las zonas beneficiadas y afectadas

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 5-3 se presentan los trazados a nivel de perfiles de la red primaria que corresponde a una conducción principal de HDPE soterradas (diámetro 300 mm) y red secundaria (diámetro 50 mm).

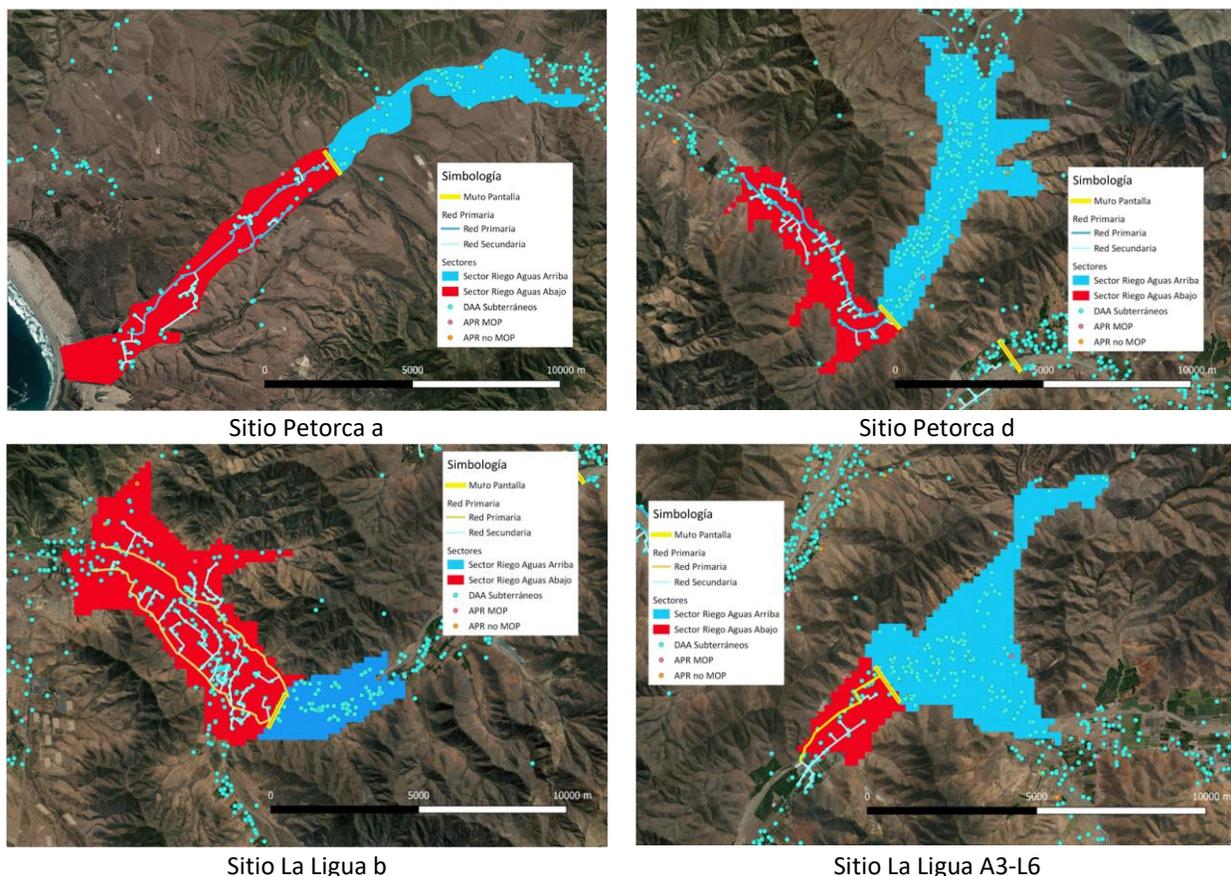


Figura 5-3: Trazados a nivel de perfiles de la red primaria y secundaria

Fuente: Elaboración propia.

5.5 Superficie Afectada y Beneficiada

En la Tabla 5-2 se indica las zonas afectadas y beneficiadas por el proyecto, que corresponden a las áreas de riego utilizadas en el modelo actual.

Tabla 5-2: Superficie afectada y beneficiada

Sitio	Zona Afectada		Zona Beneficiada	
	Sector Modelo	Sup. Regada (ha)	Sector Modelo	Sup. Regada (ha)
Petorca a	P12	673,2	P12	395,4
Petorca d	P09	648,2	P08	787,0
La Ligua b	L10	796,6	L08	660,9
La Ligua A3L6	L06	221,3	L06	832,4

Fuente: Elaboración propia

5.6 Presupuestos

Para la elaboración del presupuesto de cada uno de ellos sitios de embalse, se consideró lo siguiente:

- Los precios unitarios que se utilizaron para determinar los presupuestos de los distintos proyectos, se prepararon a partir de información disponible en la base de datos del Consultor y cotizaciones a actores claves, como es el caso de la construcción del muro.
- Las cubriciones de las principales partidas, tales como la superficie y longitud del muro pantalla, se obtuvieron a partir del cálculo automático de área de un polígono proyectado en AutoCAD. La longitud de la red Primaria y secundaria se calculó con el programa Quantum Gis a partir de las polilíneas trazadas en un archivo de capas o shape.
- La fecha de los precios es abril de 2021. Valor UF al 30 de abril de 2022: \$29.494,13.

En la Tabla 5-3 se resume los presupuestos de los 4 perfiles de proyectos, en tanto que en la Tabla 5-4 se presenta los porcentajes por Partida de los 4 Perfiles de Proyecto. Además, en la Tabla 5-5 se indican las superficies y costos de expropiación de cada sitio. Cabe destacar que el ítem de costo más relevante, en los cuatro sitios, es la construcción del muro, con una incidencia, entre 86% y 95% del total.

Tabla 5-3: Resumen presupuestos de los 4 perfiles de proyectos (\$)

N°	Ítem	Petorca a	Petorca d	La Ligua b	A3-L6
1	Instalación de Faenas	119.700.000	93.100.000	159.600.000	172.900.000
2	Desvío del río	5.600.000	5.600.000	5.600.000	5.600.000
3	Construcción del muro	10.396.152.703	7.061.849.584	13.838.036.768	15.755.661.253
4	Transporte del material excavado a botadero	173.980.719	117.508.851	232.274.646	264.752.748
5	Construcción de soluciones para interferencias	10.000.000	10.000.000	10.000.000	10.000.000
6	Soluciones para mitigación de efectos aguas abajo del muro	908.260.324	829.596.933	1.524.673.179	346.415.639
7	Actividades finales	8.925.000	8.925.000	8.925.000	8.925.000
	SUB TOTAL CD	11.622.618.746	8.126.580.367	15.779.109.593	16.564.254.640
	CONTINGENCIAS (10%)	1.162.261.875	812.658.037	1.577.910.959	1.656.425.464
	GASTOS GENERALES (20%)	2.324.523.749	1.625.316.073	3.155.821.919	3.312.850.928
	TOTAL	15.109.404.369	10.564.554.477	20.512.842.471	21.533.531.032

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-4 Porcentaje por partida de los 4 perfiles de proyecto

N°	Ítem	Petorca a	Petorca d	La Ligua b	A3-L6
1	Instalación de Faenas	1,03%	1,15%	1,01%	1.04%
2	Desvío del río	0,05%	0,07%	0,04%	0.03%
3	Construcción del muro	89,45%	86,90%	87,70%	95.12%
4	Transporte del material excavado a botadero	1,50%	1,45%	1,47%	1.60%
5	Construcción de soluciones para interferencias	0,09%	0,12%	0,06%	0.06%
6	Soluciones para mitigación de efectos aguas abajo del muro	7,81%	10,21%	9,66%	2.09%
7	Actividades finales	0,08%	0,11%	0,06%	0.05%
	TOTAL	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-5 Superficie y costo de expropiación de cada sitio

Sitio de Embalse	Superficie Total a Expropiar (m2)	Costo Total Expropiación (UF)	Costo Total Expropiación (\$)
Petorca a	21.001	5.670	\$ 166.684.699
Petorca d	24.817	6.701	\$ 196.973.271
La Ligua b	44.747	12.082	\$ 355.164.803
La Ligua A3L6	39.355	10.626	\$ 312.364.407

Fuente: Elaboración propia.

Respecto de la duración del proyecto en cada sitio, se estimó que la realización de las actividades señaladas en las Tabla 5-3 y Tabla 5-4 tendrían las siguientes duraciones: Petorca a: 9 meses; Petorca d: 7 meses; La Ligua b: 14 meses y La Ligua A3-L6: 13 meses.

5.7 Análisis de Pertinencia de Ingreso al SEIA

Los proyectos de embalses subterráneos, en caso de requerir someterse al SEIA, deberán hacerlo a través de un Estudio de Impacto Ambiental (EIA), por cuanto el emplazamiento de las alternativas propuestas podría generar impactos ambientales relevantes que determinan el modo de ingreso como un EIA, de acuerdo al Artículo 11 de la Ley 19.300 y sus especificaciones en el D.S. N° 40/2012.

Específicamente, por las características territoriales de los proyectos, podría aplicarse el artículo 6° letra b) del Reglamento del SEIA, que se refiere a que los proyectos podrían generar, durante la etapa de operación, alteración del hábitat de especies de flora y fauna con problemas de conservación, debido a la alteración/reducción de los niveles aguas, aguas arriba y aguas debajo de los embalses subterráneos. De acuerdo al análisis realizado en este estudio, se identificaron sitios prioritarios con especies con problemas de conservación.

6. DETERMINACIÓN DE LOS BENEFICIOS DEL PROYECTO

6.1 Situación Actual Agropecuaria

La Tabla 6-1 presenta la estratificación predial para el área de estudio en cuanto al número de predios y la superficie física involucrada, para cada uno de los 4 sitios de embalse subterráneo estudiados.

Tabla 6-1 Predios por estrato área de estudio para cada proyecto

Sitio	Estrato	Predios		Superficie	
		N°	%	ha	%
La Ligua A3-L6	E1 (Menor a 1 ha)	40	41,2	22,3	5,4
	E2 (1 a 5 ha)	30	30,9	73,8	18,0
	E3 (5 a 10 ha)	18	18,6	129,8	31,7
	E4 (10 a 20 ha)	5	5,2	54,5	13,3
	E5 (20 a 50 ha)	4	4,1	129,2	31,5
	Subtotal	97	100,0	409,5	100,0
La Ligua B	E1 (Menor a 1 ha)	9	13,0	3,7	1,0
	E2 (1 a 5 ha)	28	40,6	59,8	16,2
	E3 (5 a 10 ha)	28	40,6	212,3	57,5
	E4 (10 a 20 ha)	3	4,3	60,0	16,2
	E5 (20 a 50 ha)	1	1,4	33,5	9,1
	Subtotal	69	100,0	369,3	100,0
Petorca A	E1 (Menor a 1 ha)	113	60,8	47,3	7,1
	E2 (1 a 5 ha)	40	21,5	87,8	13,3
	E3 (5 a 10 ha)	17	9,1	122,2	18,4
	E4 (10 a 20 ha)	13	7,0	188,4	28,4
	E5 (20 a 50 ha)	1	0,5	38,8	5,9
	E6 (Mayor a 50 ha)	2	1,1	178,0	26,9
	Subtotal	186	100,0	662,5	100,0
Petorca D	E1 (Menor a 1 ha)	50	54,3	28,0	6,5
	E2 (1 a 5 ha)	31	33,7	62,0	14,4
	E3 (5 a 10 ha)	3	3,3	20,2	4,7
	E4 (10 a 20 ha)	5	5,4	79,2	18,4
	E5 (20 a 50 ha)	1	1,1	24,2	5,6
	E6 (Mayor a 50 ha)	2	2,2	216,6	50,3
	Subtotal	92	100,0	430,2	100,0
Total		444	-	1.871,5	-

Fuente: Elaboración propia, a partir de REA-CIREN.

Para una completa caracterización de la Situación Actual Agropecuaria es necesario establecer una serie de atributos físicos, productivos, legales y económicos, asociados a los distintos tipos de agricultores existentes en el área de estudio. Para lograr este objetivo, se ha implementado una encuesta simple de tipo cuantitativa que indaga en cada uno de estos ámbitos. En total, se tomó 267 encuestas de un universo de 444 predios, en el mes de febrero de 2021. Los temas consultados se refieren a tenencia de la tierra, tipo de superficie, superficie cultivada, métodos de riego, mercados, comercialización y precios, ganado, uso de tecnologías y asesoría, intenciones de cultivos futuros, expectativas sobre potenciales proyectos y las restricciones al desarrollo.

Respecto al uso del suelo, sobre la base de la información disponible y la encuesta realizada, se determinó el uso del suelo situación actual - predios expandidos, en cada uno de los 4 proyectos de embalses subterráneos. De igual forma, se estimó la caracterización productiva y las demandas actuales de agua para uso en riego.

Además, sobre la base de la información disponible y la encuesta realizada, se elaboró la caracterización económica, la cual comprendió las Fichas Técnico Económicas y el cálculo de ingreso, costos y margen bruto.

Las conclusiones sobre la situación actual agropecuaria, en las zonas de cada proyecto, son las siguientes:

El déficit hídrico, ocasionado por la prolongada sequía que ha impactado durante las dos últimas décadas a la zona centro norte del país, ha mermado drásticamente la superficie de cultivo en el área de estudio. Dicha merma se expresa en muy menores intenciones de siembra y de plantación, además de plantaciones establecidas perdidas totalmente por la imposibilidad de regar.

La superficie cultivada actual cubre un 37% del total encuestado, desarrollándose en su totalidad con riego a partir de fuentes subterráneas. Los terrenos "Sin Uso potencialmente regables" son los que cubren la mayor superficie en el área de estudio, con un 58%.

La escasez hídrica y el acceso al recurso hídrico son expresados como los factores de mayor restricción para el desarrollo de la agricultura, siendo una opinión constante en todos los sitios en estudio. En este contexto, se da cuenta el especial interés por la disponibilidad del recurso subterráneo, única alternativa hoy en día para el uso de fuentes para riego. Otras restricciones indicadas que prevalecen, hacen referencia a la falta de fiscalización en la extracción de agua subterránea y, de forma relacionada, la extracción ilegal de dicho recurso.

El déficit hídrico ha producido un creciente conflicto social, ya que no solo ha hecho escasear el agua para riego, sino también para consumo humano doméstico, donde el foco del problema se asocia a la gran extracción de recursos que ejercen grandes empresas agrícolas en la zona, principalmente ligadas a la producción de palta.

El efecto devastador en la agricultura, por tanto, ha afectado principalmente a estratos de tamaño predial medio a bajo, agricultores pequeños de gran vulnerabilidad imposibilitados de competir de manera justa por el recurso, ya que, por lo general, el gran empresario hace valer sus derechos por sobre los del pequeño agricultor.

La agricultura presente en el área de estudio, mayoritariamente está representada por frutales, cultivos que, dada la escasez hídrica y el alto costo alternativo del uso del agua, se orientan a la comercialización, con ingresos elevados y un nivel tecnológico de medio a alto. Representan de este modo, referentes productivos y económicos para la generalidad de los agricultores, los que manifiestan intenciones de implementar dichos cultivos si tuvieran recursos hídricos para hacerlo.

Siempre existe una agricultura de autoconsumo y subsistencia asociada a pequeños agricultores que desarrollan chacras, hortalizas y huertos frutales caseros para abastecer el consumo propio y vender excedentes de su producción.

Los métodos de riego de mayor uso en el área de estudio, respecto a la superficie involucrada, corresponden principalmente al riego por microaspersión y el riego por goteo, con un 52% y un 42% de superficie regada respectivamente. En términos generales, no se aprecia grandes diferencias de esta situación entre los sitios de proyecto.

Lo anterior configura una excelente base para el planteamiento de un escenario productivo en Situación Con Proyecto, potenciando el resultado de una estructura de cultivos con el mayor nivel posible de tecnificación y aspirando alcanzar un nivel tecnológico alto a medio en la generalidad de los aspectos productivos.

En general los agricultores priorizan regar es un predio para la cual les alcanza el agua, quedando muchas veces la mayor parte del terreno sin cultivar o perdiendo parte de sus plantaciones para priorizar lo demás. Por esta razón, los rendimientos informados, por lo general no asocian una merma demasiado importante producto del déficit hídrico, ya que se trata de rendimientos unitarios y están medidos en la superficie que efectivamente cada agricultor puede regar de regular a buena forma.

Los estándares productivos de la estructura de cultivos existente en las cuencas estudiadas, se asocian a niveles tecnológicos de medios a altos, exceptuando cultivos de subsistencia como lo son las chacras y en general las hortalizas, no obstante, se ha establecido un nivel tecnológico medio para los frutales en el área particular de los proyectos en estudio, el que potencialmente es posible de proyectar a un nivel alto en situación con proyecto

No obstante, los rendimientos informados a través de la encuesta simple permiten, en asociación con los precios de comercialización informados, la obtención de márgenes de comercialización atractivos, constituyendo así referentes productivos para situación con proyecto.

La producción ganadera en la zona no guarda significancia, dado el alto costo alternativo del uso del agua, que no se justifica para rubros extensivos y de baja rentabilidad como la ganadería. No obstante, sí existe, a nivel de autoconsumo y subsistencia.

Existe en el área de estudio superficie asociada al cultivo de especies innovadoras que en el transcurso de algunos años ha mostrado buenas condiciones de adaptabilidad climática y creando de a pocos nichos de comercialización que van transformando a estos cultivos en alternativas interesantes de incorporar en una situación con proyecto. Se trata del cultivo de flores, el papayo y el lúcumo, en los que se ha adoptado un nivel tecnológico medio sobre todo en lo referente a la tecnificación del riego.

Existen actualmente en el área de estudio cultivos de cítricos que, si bien no presentan condiciones de rentabilidad cercanas a las del cultivo del palto en la zona, sí han mostrado excelentes condiciones de adaptabilidad climática y, sobre todo, buena tolerancia a las condiciones de estrés hídrico

recurrentes en el área, motivo por el cual, son especies de interesantes de evaluar para conformar la estructura de cultivos en situación con proyecto.

Se configura de esta forma, una auspiciosa base productiva y de comercialización que puede respaldar ampliamente el planteamiento de una Situación Con Proyecto potencialmente factible que asegure la disponibilidad hídrica para la actual superficie bajo cultivo en el área de estudio.

6.2 Situación Futura Con y Sin Proyecto

En la Tabla 6-2 se puede observar los mencionados contrastes de rendimiento entre la Situación Con Proyecto y la Actual y Sin Proyecto. El esquema da cuenta también de la presencia inalterada de los cultivos presentes en Situación Actual y Sin Proyecto.

Tabla 6-2 Comparación parámetros productivos cultivos Situación Actual, Sin Proyecto y Con Proyecto

Cultivo	Unidad	Año	Nivel Tecnológico			SA	SSP	SCP	Variación SA	Variación SSP
			SA	SSP	SCP	Un./ha	Un./ha	Un./ha	%	%
Papa	Saco 25 Kg.	1	Bajo	Bajo	Medio	800	880	1.600	100%	82%
Chacra (Maíz Choclo)	Un.	1	Bajo	Bajo	Medio	10.000	11.000	30.000	200%	173%
Hortalizas (Lechuga)	Un.	1	Bajo	Bajo	Medio	8.000	8.800	24.000	200%	173%
Nogal	Kg.	9 a 25	Medio	Medio	Medio Alto	4.000	4.400	6.000	50%	36%
Limón	Malla 20 Kg.	7 a 20	Medio	Medio	Medio Alto	715	787	1.073	50%	36%
Olivo	Kg.	7 a 20	Bajo	Bajo	Medio	4.000	4.400	10.000	150%	127%
Huerto frutal Damasco	Kg.	8 a 20	Bajo	Bajo	Medio	7.000	7.700	14.000	100%	82%
Flores (Alstromelias)	Caja	1	Medio	Medio	Medio Alto	700	770	1.050	50%	36%
Lúcumo	Kg.	7 a 30	Medio	Medio	Medio Alto	15.000	16.500	22.500	50%	36%
Palto Hass	Kg.	8 a 25	Medio	Medio	Medio Alto	10.000	11.000	15.000	50%	36%
Papayo	Kg.	6 a 20	Medio	Medio	Medio Alto	6.000	6.600	9.000	50%	36%
Tuna	Kg.	4 a 20	Bajo	Bajo	Medio	7.400	8.140	14.800	100%	82%

Fuente: Elaboración propia.

6.3 Demandas de Aguas para Uso en Riego

Dada la estructura de cultivos determinada a partir de la encuesta simple agropecuaria para la Situación Actual, se propuso los cambios potenciales en la Situación Con Proyecto, tanto en términos de superficie de cada cultivo como también en los métodos de riego implementados, teniendo como base que la superficie total regada se mantendría sin variación. Esta información, complementada con los antecedentes agroclimáticos disponibles, fue el insumo para el cálculo de las demandas de agua para riego en los cuatro proyectos, las que se resumen en la Tabla 6-3 y Tabla 6-4.

**Tabla 6-3 Tasas de riego ponderadas (m³/ha/mes)
Situación Actual y Con Proyecto**

Proyecto	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	TOTAL
Situación Actual													
LA LIGUA A3-L6	965	475	59	0	268	679	966	1.274	1.720	1.795	1.646	1.338	11.185
LA LIGUA B	988	478	60	0	273	690	982	1.296	1.771	1.849	1.682	1.383	11.453
PETORCA A	631	305	52	1	57	193	589	867	1.705	1.990	1.716	1.172	9.279
PETORCA D	952	477	57	0	262	686	991	1.319	1.763	1.844	1.646	1.333	11.330
Situación Con Proyecto													
LA LIGUA A3-L6	964	472	59	0	268	679	964	1.272	1.723	1.798	1.643	1.341	11.184
LA LIGUA B	962	465	59	0	268	677	964	1.272	1.739	1.816	1.647	1.354	11.222
PETORCA A	515	239	36	1	69	221	598	863	1.663	1.908	1.621	1.112	8.845
PETORCA D	953	472	57	0	261	672	961	1.275	1.715	1.800	1.619	1.320	11.106

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 6-4 Demandas brutas de agua para riego (m³/ha)
Situación Actual y Con Proyecto**

Proyecto	Sup (ha)	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	TOTAL
Situación Actual														
LA LIGUA A3-L6	180,3	174.078	85.693	10.603	0	48.396	122.487	174.113	229.704	310.146	323.639	296.803	241.278	2.016.940
LA LIGUA B	159,8	157.848	76.371	9.645	0	43.644	110.219	156.857	207.096	282.975	295.338	268.708	220.935	1.829.634
PETORCA A	96,3	60.760	29.398	4.965	78	5.512	18.626	56.751	83.516	164.274	191.733	165.293	112.937	893.843
PETORCA D	259,7	247.185	123.757	14.878	0	68.034	178.205	257.331	342.498	457.765	478.863	427.529	346.132	2.942.177
Total	696,1	639.871	315.219	40.091	79	165.585	429.538	645.052	862.814	1.215.159	1.289.573	1.158.331	921.282	7.682.594
Situación Con Proyecto														
LA LIGUA A3-L6	180,3	173.815	85.184	10.615	0	48.389	122.360	173.815	229.392	310.719	324.279	296.355	241.882	2.016.804
LA LIGUA B	159,8	153.644	74.314	9.384	0	42.785	108.155	153.974	203.242	277.758	290.050	263.170	216.250	1.792.726
PETORCA A	96,3	49.590	22.984	3.422	73	6.649	21.285	57.597	83.120	160.207	183.763	156.187	107.126	852.001
PETORCA D	259,7	247.491	122.632	14.872	0	67.885	174.403	249.499	331.187	445.235	467.458	420.424	342.733	2.883.820
Total	696,1	624.540	305.114	38.294	73	165.708	426.204	634.885	846.942	1.193.918	1.265.549	1.136.135	907.991	7.545.351

Fuente: Elaboración propia.

6.4 Conclusiones del Estudio Agroeconómico

El área de estudio, en base a los antecedentes primarios y secundarios recabados en el presente estudio, presenta recursos de suelo y en especial de clima, muy apropiados para el desarrollo de una amplia diversidad de especies agrícolas, principal razón que ha convertido al área de estudio en un importante polo de desarrollo agroproductivo de la Región y del País. No obstante, la escasez hídrica y el acceso al recurso hídrico son los factores de mayor restricción para el desarrollo de la agricultura, siendo el recurso subterráneo la única alternativa hoy en día para el uso para riego.

Dicha potencialidad de adaptabilidad ha generado un gran atractivo para muchas grandes empresas agrícolas enfocadas en la producción de palto y cítricos, especies que presentan una alta rentabilidad asociada a una excelente adaptabilidad en la zona, evidenciada por su amplia explotación

actual, donde el cultivo en laderas de cerro es generalizado en ambas cuencas, mayoritariamente en suelos que no presentan aptitud para riego.

En relación a lo anterior, los estándares productivos de la estructura de cultivos existente en las cuencas estudiadas, se asocian a niveles tecnológicos de medios a altos, exceptuando cultivos de subsistencia, como lo son las chacras y en general las hortalizas, asociados a pequeña agricultura. De esta forma y considerando el alto nivel de interés en obras de riego manifestado transversalmente en el área de estudio, los cultivos frutícolas conforman un atractivo referente respecto de sus márgenes de comercialización, ante posibles proyectos que otorguen un aumento sustantivo en la seguridad de riego.

El gran nivel de tecnificación y uso eficiente del agua de riego actual, constante originada en el contexto de la acentuada escases hídrica actual, constituye una excelente plataforma para el excelente aprovechamiento de cualquier proyecto de infraestructura de riego y acumulación, factor preponderante que asegura los potenciales beneficios agrícolas de potenciales obras.

Al mismo tiempo, existe un creciente interés asociado al cultivo de especies innovadoras que en el transcurso de algunos años ha mostrado buenas condiciones de adaptabilidad climática y creando de a poco, nichos de comercialización atractivos, como lo son el cultivo de flores, el papayo y el lúcumo, en los que se ha adoptado un nivel tecnológico medio sobre todo en lo referente a la tecnificación del riego.

Se configura de esta forma, una auspiciosa base productiva y de comercialización que puede respaldar ampliamente el planteamiento de una Situación Con Proyecto potencialmente factible que asegure la disponibilidad hídrica para la actual superficie bajo cultivo en el área de estudio.

No obstante, dados los resultados que caracterizan el impacto de cada una de las obras en estudio, en términos del potencial aumento en la seguridad de riego que cada obra asocia, es posible señalar que, desde el punto de vista del desarrollo agrícola y de la seguridad de riego requerida por la actual superficie de cultivo ligada a cada proyecto, dicho impacto puede ser considerado bajo al compararlo con el costo de las obras evaluadas.

Finalmente, al comparar los resultados de cada sitio, estos varían proporcionalmente al tamaño del embalse subterráneo, sin que incidan mayormente factores tales como el tipo de clima, suelo y perfil de los agricultores en el mayor margen agrícola neto por hectárea.

7. EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

Los costos de inversión del proyecto corresponden a las obras, incluidas las expropiaciones y costos ambientales. Por su parte, los costos de operación se refieren a las labores propias de funcionamiento de las obras y su mantenimiento periódico.

Por su parte, los beneficios del proyecto se producen por el aumento de ingresos netos agrícolas debido al aumento en la seguridad de riego, además del ahorro en energía para el bombeo.

Los parámetros básicos para el cálculo de los indicadores de la evaluación económica son:

- Costos de inversión, mantenimiento e ingreso al SEIA.
- Beneficio anual esperado.
- Tasas de descuento: 12% y 6%, a precios de mercado y sociales. respectivamente.
- Horizonte de evaluación igual a 30 años.
- Se aplica moneda del 31/03/2021, UF=\$29.394,77 y US\$ (dólares de USA) =\$732,11

La evaluación económica de cada alternativa se resume en la Tabla 7-1. Se observa claramente los resultados muy negativos de la evaluación de todas las obras. las que incluso no permiten calcular una tasa interna de retorno (TIR). El principal motivo es el alto costo de las obras. las que no se traducen en beneficios de la misma envergadura. ya que solo logran aumentar la seguridad de riego. sin expandir la superficie agrícola en una zona que ya cuenta con rubros de una rentabilidad significativa.

Tabla 7-1 Resultados de la evaluación económica a precios sociales (con ingreso al SEIA)

Alternativa	VAN (MM \$)	IVAN	VAN/Sup (MM \$/ha)	n/k	TIR (%)
LA LIGUA A3-L6	-14.863,1	-0,69	-61,0	0,33	No Hay
LA LIGUA B	-16.834,5	-0,82	-107,3	0,21	No Hay
PETORCA A	-12.865,7	-0,85	-102,2	0,18	No Hay
PETORCA D	-7.041,5	-0,67	-49,4	0,37	No Hay

Fuente: Elaboración propia.

Se observa claramente los resultados muy negativos de la evaluación de todas las obras. las que incluso no permiten calcular una tasa interna de retorno (TIR). El principal motivo es el alto costo de las obras. las que no se traducen en beneficios de la misma envergadura. ya que solo logran aumentar la seguridad de riego. sin expandir la superficie agrícola en una zona que ya cuenta con rubros de una rentabilidad significativa.

8. PRESENTACIÓN FINAL DE DATOS EN PLATAFORMA SIG

Se generó el proyecto de Sistema de información Geográfica (SIG), a partir de los antecedentes levantados en el estudio, así como también, con la información desarrollada en éste. Se utilizó el software QuantumGIS.

El proyecto elaborado se compone de diferentes capas en formato Shape, TIF y KMZ, organizadas según la estructura definida por la Unidad de Estudios de la CNR y que abarcan los siguientes contenidos:

- Descripción general del área de estudio: se presentan las características generales para el área de estudio, en cuanto a división político-administrativa y a nivel de cuencas, suelos, aguas superficiales y subterráneas, agroclimas, infraestructura de riego presente en el área, red vial, etc.
- Trabajos de terreno realizados en el estudio (ortofotos, calicatas, topografía, encuestas agroproductivas, catastro de pozos y geofísica)
- Productos principales del estudio, entre los cuales se encuentran las alternativas preliminares y seleccionadas, así como archivos asociados a las modelaciones desarrolladas en el estudio.

9. ACTIVIDADES DE PARTICIPACIÓN CIUDADANA

El proyecto incorporó un Programa de Participación Ciudadana, a través del cual se quiso incorporar a algunos actores claves al dialogo en torno al proyecto. Este proceso estuvo obviamente condicionado por la situación sociosanitaria del país, por lo que se realizó a través de reuniones telemáticas. A la vez, al tratarse de un estudio en una etapa muy temprana dentro del ciclo de proyectos, y que se inserta en un territorio en que el tema del agua es uno enormemente complejo, se optó por un diseño focalizado en actores claves identificados tempranamente, que fueron los equipos PRODESAL de las comunas de La Ligua y Cabildo y los dirigentes de las 5 CASUB en que se emplazaron los 8 proyectos preseleccionados. A la vez, se participó en la mesa hídrica de la provincia de Petorca y en reuniones de la Comisión Regional de Riego.

Cabe señalar que, de manera permanente, se fue evaluando la opción de extender las convocatorias a nuevos actores (dirigentes APR, por ejemplo), pero dados los resultados que comenzaron a emerger del estudio, se consideró una mejor opción el consolidar el trabajo realizado con los actores antes señalados.

Así, durante las primeras etapas se sostuvieron sendas reuniones con los equipos PRODESAL, las que fueron muy útiles para levantar información, por ejemplo, del tipo de agricultores existentes en los alrededores de los sitios inicialmente analizados (dado el interés del estudio de privilegiar sectores donde existiera pequeña agricultura). A la vez, se dialogó con los representantes de las CASUB, para conocer su interés por las ideas de proyecto, ayudar en la selección de potenciales sitios e ir conociendo de primera fuente la situación de esas organizaciones. Sobre esto último, en términos generales, la realidad común es el que sean organizaciones de baja densidad, con poca participación de agricultores y que no cuentan, por ejemplo, con infraestructura común que administrar, lo que les resta posibilidades de consolidarse. La CASUB del sector alto del río La Ligua es quizás la que se encuentra en mejor estado, pues ha optado por acoplarse con la organización de aguas superficiales en uno de los pocos sectores de las cuencas donde aún existen algunos recursos hídricos en el río.

En todos los casos, existió interés por explorar el proyecto y un temor que también fue compartido: la situación en que las pantallas podían dejar a los sectores de aguas abajo, señalando lo complejo que sería que sectores de los valles se vieran aún más perjudicados de lo que se encuentran hoy.

La participación en instancias institucionales (mesa del agua, CRR), sirvió para socializar el estudio y conocer las perspectivas de distintos actores con intervenciones en los valles. En este mundo institucional, también existía una mirada cargada de expectativas sobre las posibilidades que abría este proyecto.

Los malos resultados técnicos y económicos que finalmente mostraron todos los sitios analizados hicieron que se optara por mantener la comunicación con los actores que habían participado en las etapas iniciales, para realizar la devolución de los resultados, como se había acordado hacer. Tanto los equipos PRODESAL como las CASUB mostraron evidentemente su decepción, pero agradecieron la información y señalaron que esto hace más evidente la necesidad de explorar nuevas fuentes hídricas,

como la desalinización, para intentar sostener la agricultura en la zona. Existen ya iniciativas privadas que están intentando explorar dicha opción. También emergió la necesidad de efectuar transformaciones profundas en el actual Código de Aguas.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1 Conclusiones

10.1.1 Conclusiones Generales

El presente informe aborda el desarrollo, cubicación, presupuesto y beneficios agroeconómicos de los perfiles de proyecto, en los sitios de embalses subterráneos seleccionados en etapas anteriores.

Cabe destacar que, las características propias del valle, como también la estructura legal de la administración y el régimen de propiedad actual de las aguas en Chile, restringen la posibilidad de una gestión más integral y eficiente de los recursos hídricos, la cual queda sujeta a la voluntad de las partes privadas. En efecto, se prevé que la implementación de estos proyectos requerirá de un trabajo relevante en la coordinación y gestión con los actores involucrados, especialmente aquellos ubicados aguas abajo del muro y que podrían verse perjudicados.

- Si bien en cada sitio de embalse existe infraestructura de riego (canales) ésta, en su gran mayoría, pertenece a privados u organizaciones de DAA superficiales, Por lo tanto, no es posible considerar la utilización de dicha infraestructura como definitiva, sin antes tomar acuerdos legales o expropiar los bienes para el uso común de los agricultores. Por lo anterior, se hace necesario trazar nuevas conducciones aguas abajo del muro, con implicancias directas en los costos del proyecto.
- Dadas las características del valle y los resultados de la exploración geofísica, no es posible lograr una estanquidad total del flujo subterráneo, debido a las limitaciones constructivas que alcanzan hasta 60 m de profundidad.
- Si bien el modelo aplicado puede generar resultados auspiciosos, tanto para aguas arriba como para aguas abajo del muro, no es garantía que, en la práctica, no exista una fuerte oposición al proyecto, lo que imposibilite su avance. En particular, el proyecto puede ser rechazado por los regantes ubicados aguas abajo del muro, ya que podrían verse afectados por el proyecto.
- Otra gran limitante para materializar los beneficios del proyecto, corresponde a la ubicación espacial de los DAA o pozos. En efecto, sólo aquellos pozos con DAA insertos en el área de incremento del nivel freático serán directamente beneficiados.
- Eventualmente, podrían existir beneficios indirectos del proyecto en el sector de aguas abajo del muro, que podría verse afectado. Se trata de la posibilidad que el incremento del nivel freático, una vez que asegure un riego con 85% en el sector beneficiado, aún cuente con el potencial de irrigar excedentes hacia aguas abajo.

Respecto de la afectación a terceros: Existe la posibilidad que las obras emplazadas, relacionadas con un embalse subterráneo, conlleven impactos no sólo ambientales, los cuales deben ser

debidamente evaluados, sino también afectaciones a terceros. Lo anterior se refiere a titulares de derecho de aprovechamiento de aguas mayormente de aguas subterráneas, que puedan ver menoscabo en sus extracciones efectivas ubicadas acuífero(aguas) abajo del muro del embalse. Las aguas embalsadas aumentarán los niveles freáticos del acuífero, sin embargo, pudiera detener los movimientos de las aguas subterráneas que naturalmente drenan la cuenca. Al respecto, cabe mencionar que sobre el particular son aplicables las siguientes normativas: los artículos 3°, 61° y 181° del Código de Aguas; el Artículo 120 bis 2 del Libro I, Título X - De la Protección de las Aguas y Cauces; y los artículos 60° y 182° del Código de Procedimiento Civil.

10.1.2 Factibilidad del Proyecto

Sobre la base de los trabajos de terreno y análisis realizados, se concluye que las condiciones naturales de los acuíferos de los valles de La Ligua y Petorca no son propicias para un proyecto de embalse subterráneo, lo cual produce altísimos costos del muro, el cual representa, según cada sitio, entre 86,9% y 95,1% del costo directo total del proyecto. Lo anterior se traduce en indicadores de rentabilidad negativos.

En efecto, los trabajos de terreno han permitido verificar lo siguiente:

- Acuífero de gran profundidad y alta permeabilidad, por lo cual se requiere la máxima profundidad del muro (60 metros).
- Cauce natural con acuíferos muy anchos (entre 530 y 1.120 metros), con lo cual se requiere una mayor longitud del muro, con los correspondientes mayores costos asociados.

Por otra parte, dados los resultados que caracterizan el impacto de cada una de las obras en estudio, en términos del potencial aumento en la seguridad de riego que cada obra asocia, es posible señalar que, desde el punto de vista del desarrollo agrícola y de la seguridad de riego requerida por la actual superficie de cultivo ligada a cada proyecto, dicho impacto puede ser considerado bajo al compararlo con el costo de las obras evaluadas.

Además, el aumento esperado del nivel de la napa, en la zona beneficiada, aguas arriba del muro, es muy pequeño, con lo cual el beneficio por ahorro en costos de bombeo no es relevante.

Si bien la evaluación económica es clara en cuanto a sus negativos resultados, ésta sólo descarta este tipo de obras en los sitios evaluados y posiblemente en los valles estudiados. En este sentido, resulta muy importante para la viabilidad de este tipo de obras, la presencia de sectores estrechos en el valle que reduzcan el costo del muro subterráneo, poca profundidad de la roca o del estrato impermeable y condiciones de menor permeabilidad a regular.

10.2 Recomendaciones

Se recomienda no continuar con las etapas siguientes de este proyecto, como factibilidad y diseño de detalle, mientras se mantengan los altos costos de las obras y se obtengan indicadores económicos negativos.

Respecto al objetivo general del estudio de aumentar la oferta de agua para riego, se recomienda estudiar la factibilidad, en casos específicos, de desalinizar agua de mar, considerando energías renovables no convencionales (ERNC), para los procesos de desalación y bombeos, tales como aerogeneradores y paneles solares.

Finalmente, cabe destacar que se han realizado una serie de estudios básicos, tales como análisis de derechos de aguas y de aspectos legales, encuestas agrícolas, geofísica, topografía, calicatas, caracterización ambiental, calidad de aguas, entre otros, todos los cuales pueden ser de utilidad en otros estudios a futuro que realice la CNR. También, dichos estudios básicos pueden ser de utilidad para las instituciones públicas y privadas de la Región de Valparaíso, especialmente para consulta de los usuarios de aguas de los valles de La Ligua y Petorca.