

Estudio de Prefactibilidad “Construcción Sistema de Riego Río Rapel, Región de O’Higgins”





Mejor Riego
para Chile

yo
cuido
el agua

Informe Final

Volumen I

Resumen Ejecutivo



COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO

Secretario Ejecutivo

Wilson Ureta Parraguez

Coordinador Unidad de Estudios

Gastón Valenzuela Lillo

Coordinador del Estudio

Patricio Espinoza Caniullán

Profesionales

Especialista PAC/Ambiental Javiera Herrera

Especialista Agrónomo Cristian Navarrete

Especialista Evaluación Económica Leonardo Machuca

Especialista Geólogo Estanislao Godoy

Especialista ERNC y Mercado Eléctrico Gerson Román

Especialista ERNC y Mercado Eléctrico Bastián Celis

Especialista ERNC Andrés Werner

Especialista Hidráulico/OOCC Álvaro Espinoza

Especialista Jurídico/Legal Felipe Salamanca

SMI INGENIEROS SpA

Jefe del estudio

Ingeniero Civil Carlos Garrido S.

Profesionales

Ingeniera Civil Marcela Quezada C.

Ingeniero Civil Kricor Bzdigian

Ingeniera Agrónomo Eliana de Amesti de A.

Ingeniero Geomensor Jorge Flores LL.

Ingeniero Geomensor Patricio Albornoz B.

Geógrafa Paola Hernández B.

Ingeniero Eléctrico Alberto Bernal B.

Abogada Claudia Craig P.

Geógrafo Rodolfo Gotschlich G.

Ingeniero Civil Rodrigo Torres D.

Dibujante Técnico Daniel Obando G.

Sociólogo Germán Bauerle R.

Geólogo Hugo Delucchi F.

Geólogo Franco Robbiano M.

Ingeniero Civil Haik Bzdigian Q.

Ingeniero Agrónomo Patricio Murúa S.

Técnico Agrícola Víctor Díaz A.

Ingeniero Agrónomo Miguel Ferreyra E.

Ingeniero Agrónomo Jorge Orella L.

Alarife Cristian Aburto

Alarife Nestor Silva

Secretaria Jessica Garriman M.

**“CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE RIEGO RÍO RAPEL, REGIÓN DE O’HIGGINS”
INFORME FINAL**

ÍNDICE GENERAL

<i>VOLUMEN I</i>	<i>RESUMEN EJECUTIVO</i>
<i>VOLUMEN II</i>	<i>ESTUDIOS DE INGENIERÍA PARTE 1</i>
<i>VOLUMEN III</i>	<i>ESTUDIOS DE INGENIERÍA PARTE 2</i>
<i>VOLUMEN IV</i>	<i>ESTUDIO AGROECONÓMICO</i>
<i>VOLUMEN V</i>	<i>ESTUDIOS AMBIENTALES Y DE PARTICIPACIÓN CIUDADANA</i>
<i>VOLUMEN VI</i>	<i>ÁLBUM DE PLANOS</i>

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	OBJETIVOS	3
2.1.	OBJETIVO GENERAL DEL ESTUDIO	3
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL ESTUDIO	3
3.	DIAGNÓSTICO DE LA ZONA EN ESTUDIO	5
3.1.	ASPECTOS SOCIALES	5
3.2.	ASPECTOS ECONÓMICOS.....	6
3.3.	ASPECTOS AGRONÓMICOS	6
3.4.	ASPECTOS AGROCLIMÁTICOS	8
3.5.	ASPECTOS AMBIENTALES	8
3.6.	FUENTES DE RECURSOS HÍDRICOS.....	10
3.7.	DERECHOS DE AGUA DEL PROYECTO	14
3.8.	CAUDALES DISPONIBLES EN BOCATOMA PARA EL PROYECTO	14
3.9.	ALIMENTACIÓN ENERGÉTICA DEL PROYECTO.....	15
4.	ALTERNATIVAS ANALIZADAS Y RESULTADOS OBTENIDOS	16
4.1.	ALTERNATIVAS PRELIMINARES REVISADAS	16
4.2.	TRABAJOS DE TERRENO DESARROLLADOS.....	17
4.3.	ALTERNATIVAS DEFINITIVAS DISEÑADAS A NIVEL DE PREFACTIBILIDAD.....	21
4.4.	EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS A NIVEL DE PREFACTIBILIDAD.....	25
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	27
5.1.	CONCLUSIONES.....	27
5.2.	RECOMENDACIONES	33



Cabe señalar que, para el área antes señalada, los especialistas predicen una disminución sostenida de las precipitaciones en esta zona, además del incremento en las temperaturas, ocasionando que los requerimientos hídricos de las especies cultivables también se incrementen. Sin embargo, lo anterior favorecería también a la implementación de otros tipos de cultivos que generarían una mayor rentabilidad. De esta manera, si se logra contar con recursos hídricos para riego en la zona antes descrita, se tendría un gran potencial productivo de cultivos de alta rentabilidad.

Por lo anterior, es de relevancia poder evaluar la posibilidad de generar proyectos de riego en la zona, considerando un diagnóstico tanto de las condiciones edafoclimáticas como de la disponibilidad de recursos hídricos, sean estos superficiales, subterráneos, de agua de mar o de procedencia foránea.

De esta manera, y con el fin de estudiar las alternativas de riego que permitan obtener la mejor rentabilidad agrícola en el sector, en el año 2020 la CNR efectuó el llamado a Licitación Pública del presente estudio de Prefactibilidad, denominado “Construcción sistema de riego Río Rapel, región de O’Higgins”, Código BIP 40014090-0. El que fuera asignado a la empresa consultora SMI Ingenieros SpA.

La zona en análisis de este estudio de prefactibilidad, corresponde en las localidades de Navidad (Parte alta de Rapel de Navidad), Litueche y La Estrella, Provincia de Cardenal Caro, correspondientes al secano costero e interior de la Región del Libertador General Bernardo O’Higgins.

Las alternativas de riego analizadas en el presente estudio de prefactibilidad, son proyectadas bajo una mirada del punto de vista integral, es decir, considerando los aspectos tanto técnicos, como económicos, ambientales y sociales, sopesándolos entre sí, de manera de presentar un proyecto sustentable.

De esta manera, además de incorporar suelos de secano a riego, se logra disminuir o controlar la desertificación de terrenos de secano, aumentar la rentabilidad del suelo y con ello el mejoramiento de la calidad de vida de la población beneficiada, desarrollando una expansión significativa de los puestos de trabajo en el área de proyecto, un mayor dinamismo en la economía de las comunas involucradas, así como también un incremento del desarrollo urbano y comercial.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general del estudio

El objetivo general del presente estudio es evaluar y proponer a lo menos dos alternativas de proyectos integrales, que permitan dar solución al abastecimiento de agua para riego, principalmente a las comunas de Navidad, Litueche y La Estrella, generando los diseños preliminares de las obras necesarias de captación, conducción, acumulación y distribución del agua obtenida desde el río Rapel, estimando los costos, beneficios agroeconómicos y rentabilidad privada y social para cada alternativa propuesta.

2.2. Objetivos específicos del estudio

- ✓ Recopilar la totalidad de antecedentes disponibles y necesarios para analizar la problemática agroeconómica y social del territorio y realizar un análisis crítico de esta información para proponer las mejores alternativas de solución al problema de escasez hídrica
- ✓ Determinar en función del análisis hidrológico y agroeconómico, las demandas hídricas del proyecto a nivel de prefactibilidad, de tal forma de dimensionar las obras de manera óptima.
- ✓ Generar los diseños preliminares de al menos dos alternativas integrales de proyectos, que consideren la captación, conducción, acumulación y distribución del agua hasta la zona de riego, a nivel de prefactibilidad.
- ✓ Plantear escenarios de proyecto para las alternativas seleccionadas y caracterizarlos con estudios de ingeniería y de agronomía, a nivel de prefactibilidad.
- ✓ Trabajar con la comunidad, en aras de validar las iniciativas de inversión, a través de mecanismos de participación ciudadana y mesas de trabajo.
- ✓ Identificar, analizar y cuantificar los costos de las posibles expropiaciones que tendrían que ser ejecutadas.
- ✓ Evaluación económica: utilizando el método del presupuesto, para las dos alternativas de proyecto seleccionadas y diferentes escenarios de mejoramiento del sistema de riego y definir cuál es el tamaño del proyecto y momento de inversión óptimos
- ✓ Diagnóstico legal sobre los derechos de agua constituidos, regularizados y en trámite en la cuenca del río Rapel. Diagnóstico de las organizaciones de usuarios existentes en el área de estudio, tanto las organizaciones legalmente como las de hecho. Analizar, orientar y proponer tipos de organizaciones de usuarios de agua u otros tipos de sociedad que serán en el futuro las encargadas de administrar las obras que se proyecten. Proponer instrumentos y formas de traspasar el uso, goce y/o dominio de los derechos

de agua de la DOH a los(as) beneficiarios(as). Analizar y proponer métodos de captación de los derechos de aguas. Estudio y análisis de servidumbres de acueductos y/o expropiaciones para conducir el agua en cuanto a su factibilidad legal. Analizar factibilidad, interferencias y oposiciones en eventuales traslados de ejercicio de derechos de aprovechamiento de aguas que puedan poner en riesgo la viabilidad del proyecto. Identificar y analizar eventuales intervenciones de cauces naturales tanto en las obras de captación, conducción, acumulación y otras.

- ✓ Evaluación de oferta y demanda hídrica, bajo escenarios de cambio climático.

3. DIAGNÓSTICO DE LA ZONA EN ESTUDIO

Sobre la base de la revisión de los antecedentes existentes, visitas a terreno, entrevistas y encuestas desarrolladas en marco de este estudio, se realizó un diagnóstico de la situación existente en la zona, cuyos principales resultados fueron los siguientes:

3.1. Aspectos Sociales

La identidad de las comunas del sector está asociada fuertemente al mundo agrícola, teniendo un fuerte arraigo las tradiciones campesinas y religiosas.

Desde el punto de vista de la población urbana y rural y de acuerdo a lo señalado en el censo del año 2017, se tiene que el sector urbano corresponde a un orden del 47% de la población de la zona, mientras que el restante 53% corresponde a población de carácter rural. Esta información es relevante ya que en el censo del año 1982 la población rural alcanzaba el 62%, por lo que la población que habita en la zona rural ha ido disminuyendo progresivamente en el tiempo.

En complemento con lo anterior, en los últimos años, se ha apreciado en el sector un aumento de los loteos de terrenos agrícolas, pasando el uso del suelo de ser terrenos agrícolas a terrenos urbanizados. Esto queda reflejado en el aumento de la población que ha presentado el sector en los últimos 10 años, que corresponde a un orden del 14%, la cual es superior a la presentada en la provincia de Cardenal Caro que corresponde a un 11%.

Considerando el nivel de pobreza por ingresos, se tiene que en el sector existe un nivel de pobreza del orden del 14% con respecto a la población existente, los que son coincidentes con el tramo de mayor vulnerabilidad socioeconómica. En la tabla siguiente se presenta un resumen de los principales aspectos sociales de estas comunas.

Tabla N° 3-1 Datos sociales relevantes de las comunas en estudio

Comuna	Población (hab)	% Variación Población últimos 15 años	% Población Rural	% Pobreza comunal por ingreso	% Pobreza comunal multidimensional	% Vulnerabilidad comunal	% Vulnerabilidad Regional
Navidad	6.641	22,48%	62,70	11,71%	31,34%	82%	13%
Litueche	6.294	13,90%	46,50	14,80%	16,60%	95%	15%
La Estrella	3.041	-27,96%	51,09	14,00%	21,70%	89%	7%

Fuente: Elaboración propia

De esta manera, en la actualidad las comunas del sector se encuentran viviendo desde el punto de vista social 3 dificultades principales, las que tienen relación con el proceso de urbanización de la zona (migración rural/urbana), la disminución paulatina de la actividad del sector primario y el aumento gradual del sector de servicios y la migración de la población joven y el envejecimiento de la población.

3.2. Aspectos Económicos

Las principales actividades económicas de la zona se relacionan al sector silvoagropecuario y al sector de servicios; la agricultura tradicional, principalmente en los rubros de subsistencia, cultivo de frutillas, arándanos y trigo y la apicultura, a la cual se ha ido sumando en el último tiempo la producción olivícola y vitivinícola de mayor tecnificación, la ganadería que se dedica mayormente a la crianza de animales menores, cordero, cabras, vacunos y animales domésticos.

En los últimos años ha cobrado relevancia la actividad forestal y la actividad pecuaria industrializada, transformándose esta última en la de mayor relevancia en el territorio. Además, se manifiesta aceleradamente, la expansión inmobiliaria con foco en el loteo para la construcción de parcelas de agrado para uso de segunda vivienda y arriendo con fines turísticos, en donde se prevén una serie de impactos positivos y negativos importantes de considerar.

En el sector rural, la mayor parte de la población se dedica a la explotación de sus predios, además en el último tiempo se ha ampliado y diversificado la oferta laboral debido a la instalación de empresas en la zona, como la Viña Concha y Toro y la Agrícola Ucuquer.

La generación de energía, a través de la central hidroeléctrica y una serie de campos de generación eólica y solar, son también actividades económicas de alta relevancia presentes en el sector.

Existen variaciones en la oferta del empleo provocada por la temporalidad de la oferta laboral sobre todo de la actividad agrícola.

3.3. Aspectos Agronómicos

La relevancia del rubro agropecuario se entiende como una actividad endémica del territorio y en sus explotaciones productivas, junto con ello, la alta superficie rural del territorio y sus potencialidades que permiten el desarrollo de esta actividad productiva.

Sobre la base de visitas a terreno desarrolladas y el desarrollo de encuestas agronómicas en el área de estudio, además de la revisión de antecedentes bibliográficos del sector, se definió la superficie total potencial disponible para riego en la zona del proyecto. Esta superficie se presenta en la tabla resumen siguiente.

Tabla N° 3-2 Nueva superficie identificada como cultivable en la zona de estudio

Ítem	Superficie cultivable (ha)
Litueche	5.479,8
La Estrella	3.201,8
Navidad	767,1
Total Potencial Riego	9.448,6

Fuente: Elaboración propia

Como primer diagnóstico, fue posible identificar que la superficie total posible de ser beneficiada en el área del proyecto es de 9.448,6 ha, superficie inferior a las 10.217 ha identificadas en el estudio de diagnóstico desarrollado por la CNR en el año 2019. Esta diferencia de superficie se debe a la gran cantidad de loteos que se están desarrollando en el área en estudio, los que están quitando superficie potencial de riego al total del área.

Es necesario indicar que, desde el punto de vista de la cobertura de la encuesta muestral, la representatividad en número de predios fue de 63,2% y en superficie fue de 26,6%, donde se encuestó a un total de 323 predios con una superficie de 14.168,8 ha.

Desde el punto de vista de los predios existentes en el sector, se tienen 290 predios de una superficie inferior a las 15ha, con respecto a los 511 predios totales existentes, lo que corresponde al 57% del sector. Desde el punto de vista de la superficie, esos predios pequeños corresponden a un 3% de la superficie total disponible. Lo anterior indica que, en el sector, prácticamente el 43% de los predios involucran casi la totalidad de la superficie existente.

Para la zona en análisis, desde tiempos pasados la actividad agrícola ha sido la más destacada, ya que en un primer momento estuvo enfocada a satisfacer una demanda de cereales y hortalizas de la zona central del país. No obstante, producto de la sobreutilización de los suelos y la escasez de prácticas de protección post-cosecha, se acentuó un proceso de degradación del suelo, especialmente en las zonas de ladera, implicando que las superficies productivas comenzaran a escasear.

El uso actual de los suelos es principalmente ganadero, con una explotación ovina y bovina extensiva, sustentada en la pradera natural, lo que es parte del efecto asociado a la limitada disponibilidad de obras de captación, almacenamiento y distribución del agua. Esto implica que no existen muchas alternativas de uso para estos suelos, presentándose sólo pequeñas superficies sembradas con trigo, leguminosas de grano y chacras. De esta manera, para el total del área se han identificado 48ha de cultivos y hortalizas, 725 ha de frutales y vides y 81 ha de praderas y forrajes. Se destaca el alto porcentaje del suelo de secano existente en el sector que alcanza del orden de las 10.117 ha.

Dentro de las explotaciones agropecuarias se destacan los cereales, plantas forrajeras, frutales (almendro, frutilla, ciruelo europeo, limonero, nogal, palto y cerezo, entre otras) y las viñas y parronales viníferos.

El ganado ovino concentra mayormente la producción pecuaria, seguido del ganado bovino y caprino. La actividad pecuaria es de gran importancia dentro del sistema productivo, flujos comerciales y también fuente de autoconsumo para la agricultura familiar campesina.

Como problemas identificados para el mayor desarrollo agroeconómico de la zona, se identifica la necesidad de disponer de mayores recursos hídricos, destacándose la necesidad de disponer de mayores subsidios para la captación de aguas subterráneas, principalmente de los pequeños agricultores, innovar en los cultivos, modernizar y hacer más competitiva la producción agrícola. Además, el aumento de la población y del avance inmobiliario del sector rural (loteos), son considerados un factor crítico que podría impactar en el desarrollo económico por la demanda de mayor número de empleos y la capacidad de satisfacer necesidades de bienes y servicios de la

población y que los actualmente disponibles podrán no dar abasto en un futuro próximo.

Por otra parte, la utilización de agua en los sistemas productivos está sujeta a la existencia de infraestructura de riego, la que actualmente es muy rústica y en donde es poco factible implementar mejores tecnologías, dado el costo que conlleva; lo que se traduce en la necesidad de buscar soluciones a este problema con las cuales los propietarios puedan almacenar y disponer de una mayor cantidad de agua.

3.4. Aspectos Agroclimáticos

Es válido señalar que el área de estudio cuenta con condiciones edafoclimáticas óptimas para el desarrollo de diversas especies frutales y vides. En este sentido se debe tener presente que la pradera natural de secano y otras praderas de riego de menor valor forrajero, si se cuenta con una mayor seguridad de riego podría destinarse a cultivos, forrajes o frutales más rentables.

En general, se puede decir que bajo régimen hídrico de riego es factible el cultivo de una amplia gama de especies anuales y hortalizas tales como maíz, poroto, papa y diversas hortalizas, entre otros.

Entre los frutales es posible el establecimiento tanto de especies perennes como caducas, tales como paltos, cítricos, arándano, frutilla, carozos, nogales y vides viníferas, entre otros.

Además, en esta zona es factible el establecimiento de una amplia gama de especies de praderas y forrajeras.

Considerando los efectos del cambio climático, es importante destacar que las condiciones tanto para paltos como cítricos son muy favorables, lo que podría constituir al área de estudio en un polo de producción de estos rubros, en especial si se considera la severa sequía que ha afectado a las tradicionales zonas productoras de frutales de hoja persistente como son La Ligua, Cabildo y Petorca.

3.5. Aspectos Ambientales

La fuente hídrica principal del proyecto corresponde al río Rapel en el sector de la desembocadura del estero El Rosario, aguas arriba de Rapel de Navidad. Los sitios de embalse se emplazarán en los esteros El Rosario, Manquehua y La Virgen.

Desde el punto de vista de las especies identificadas en el sector, estas representan las características actuales del ecosistema del secano interior de la región de O'Higgins, caracterizado por un alto grado de perturbación debido a la actividad agrícola y a la sequía producto del cambio climático.

Sobre la base de los trabajos desarrollados en terreno y gabinete, se identificaron los principales aspectos de relevancia en el estudio ambiental desarrollado.

Tabla N° 3-3 Principales aspectos ambientales revisados en el estudio

Obra	Calidad de Agua (NCh 1.333)	Flora y Vegetación Terrestre	Fauna Terrestre	Flora y Fauna Acuática	Asentamiento Humano	Patrimonio Cultural y Arqueológico	Infraestructura y equipamiento	Otros proyectos
Bocatoma	Molibdeno levemente fuera de normativa	No hay especies en conservación, si especies nativas, xerofíticas y forestales	Se identificaron especies de conservación - 1 especie de preocupación menor	Se identifico 1 especie vulnerable	1 predio afectando a 1 persona	No se identificó	No hay afectación	No se identificaron
Embalse el Rosario	Cumple normativa	No hay especies en conservación, si especies nativas, xerofíticas y forestales	Se identificaron especies de conservación - 2 especies casi amenazadas	Se identifico 2 especies vulnerable	3 predios afectando a 5 personas	No se identificó	No hay afectación	No se identificaron
Embalse Manquehua	Molibdeno, Boro y Arsénico levemente fuera de normativa	No hay especies en conservación, si especies nativas, xerofíticas y forestales	Se identificaron especies de conservación - 1 especie casi amenazada	No se detectó presencia de peces	17 predios afectando a 83 personas	Se encontró hallazgo de patrimonio cultural	Afectación vial	No se identificaron
Embalse La Virgen	Levemente fuera de norma para Coliformes Fecales	No hay especies en conservación, si especies nativas, xerofíticas y forestales	Se identificaron especies de conservación - 1 especie casi amenazada	Se identifico 1 especie vulnerable	5 predios afectando a 25 personas	Se encontró hallazgo de patrimonio cultural	No hay afectación	No se identificaron
Sistemas Fotovoltaicos	No Aplica	No hay especies en conservación, si especies nativas, xerofíticas y forestales	No se identificaron especies con grado de amenaza	No Aplica	2 predios afectando a 2 personas	No se identificó	No hay afectación	No se identificaron

Fuente: Elaboración propia

Es necesario recalcar que, en este caso, el gran volumen de agua del proyecto es proveniente desde el río Rapel y se mezclará con el agua de estos esteros, por lo que los indicadores de calidad de agua que se encuentran levemente sobre la norma, posteriormente se encontraran dentro de la norma debido a la gran dilución que habrá con el agua proveniente desde el río Rapel.

De acuerdo a la revisión de antecedentes bibliográficos, así como de las actas del Consejo de Monumentos Nacionales, se estableció que para el Área de Influencia directa del Proyecto no existen monumentos nacionales declarados, así como áreas colocadas bajo protección oficial de recursos de valor patrimonial cultural.

3.6. Fuentes de recursos Hídricos

3.6.1. Recursos hídricos en esteros

En la zona del proyecto en estudio, tal como se ha mencionado, existen cinco recursos hídricos principales en esteros, los que corresponden al estero Quiñicabe, Estero el Rosario, Estero Ucuquer, Estero Manquehua y Estero La Virgen. Estos tienen un carácter pluvial, presentando un leve escurrimiento del tipo superficial durante el año, pero que en época de estiaje (meses entre octubre y marzo) llegan a estar secos.

Producto de lo anterior, la posibilidad de utilizar dichos recursos hídricos para la implementación de un proyecto de riego de gran envergadura se hace insuficiente, además de considerar que los pocos recursos se generarían en época de invierno durante la ocurrencia de las precipitaciones, mientras que las principales demandas de riego ocurren en época de verano.

Producto de lo anterior, se ha descartado la utilización para este proyecto de los recursos hídricos provenientes desde los esteros existentes en el sector.

3.6.2. Recursos hídricos desde río Rapel – Entregas mensuales y horarias de caudal desde el embalse Rapel

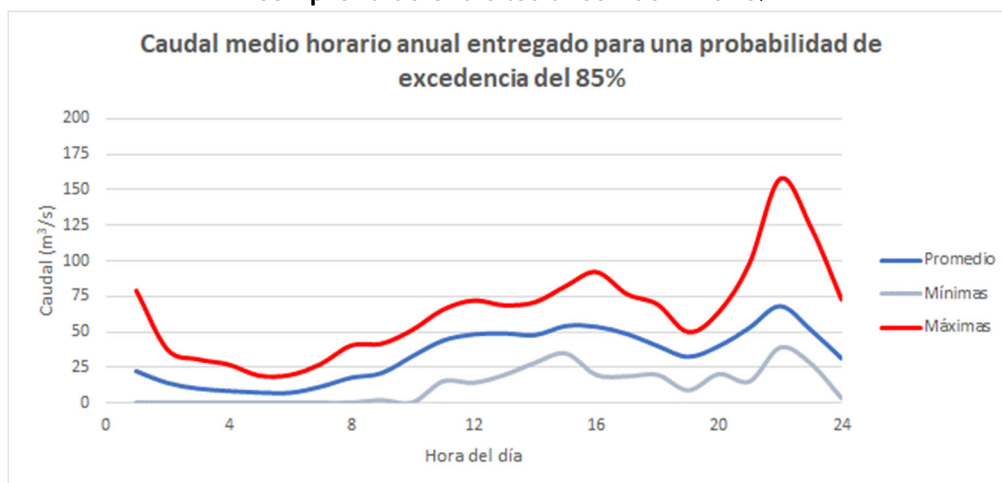
La gran fuente de recursos hídricos existente en las cercanías del proyecto, tiene relación con el río Rapel. Con el fin de analizar su viabilidad desde el punto de vista de los recursos, se han analizado los horarios de funcionamiento de las entregas de agua desde el embalse Rapel, de manera de captar y utilizar estas aguas abajo del embalse Rapel. Para lo anterior se efectuó un análisis tanto a un nivel horario, diario, como mensual, siendo este variable en el año, lo anterior fijaba una limitación adicional al sistema de bombeo a parte del ya dado por los sistemas fotovoltaicos. Las entregas de caudal a nivel mensual y horario, para diversas probabilidades de excedencia en el embalse Rapel se presentan en la tabla y figura siguientes:

Tabla N° 3-4: Caudales promedio entregados desde el embalse Rapel (m³/s) a nivel mensual

P Exc. (%)	Caudal medio anual (m³/s)												
	Anual	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
95	52,4	2,2	1,3	8,7	28,5	30,5	42,5	60,4	54,7	18,9	8,2	13,4	2,2
90	61,2	5,3	3,3	16,3	33,9	40,1	55,3	75,6	73,9	34,5	16,3	21,5	7,1
85	68,1	8,9	5,7	23,5	38,3	47,9	66,6	88,2	89,8	49,5	24,6	29,0	14,0
80	74,4	13,3	8,5	30,3	42,3	55,1	77,5	100,2	104,6	64,3	33,2	36,3	22,5
50	110,6	54,1	32,9	66,7	65,7	96,2	153,1	175,8	191,3	152,1	90,5	82,6	97,2
30	143,5	104,6	59,4	88,3	87,8	131,9	239,9	253,6	268,3	216,8	137,8	124,3	163,1
25	155,0	123,1	68,2	93,5	95,7	143,9	274,2	282,5	294,2	234,9	151,8	138,0	181,1
20	169,0	145,5	78,3	98,5	105,3	158,0	318,5	318,8	325,0	254,1	166,9	153,8	199,4
10	213,4	211,8	105,3	108,1	136,4	199,9	477,2	441,1	416,9	298,0	203,2	198,3	236,0
5	260,3	271,2	125,6	112,2	170,0	240,0	673,8	580,7	505,0	325,3	227,2	236,5	252,3
Promedio	126,9	81,7	42,8	63,7	77,9	110,6	226,7	227,2	224,3	161,4	100,7	97,2	108,8

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del coordinador eléctrico Nacional del Sistema Interconectado Central (CEN-SIC)

Figura N° 3-1: Distribución horaria promedio de caudales entregados desde el embalse Rapel (periodo comprendido entre los años 2004-2018)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del coordinador eléctrico Nacional del Sistema Interconectado Central (CEN-SIC)

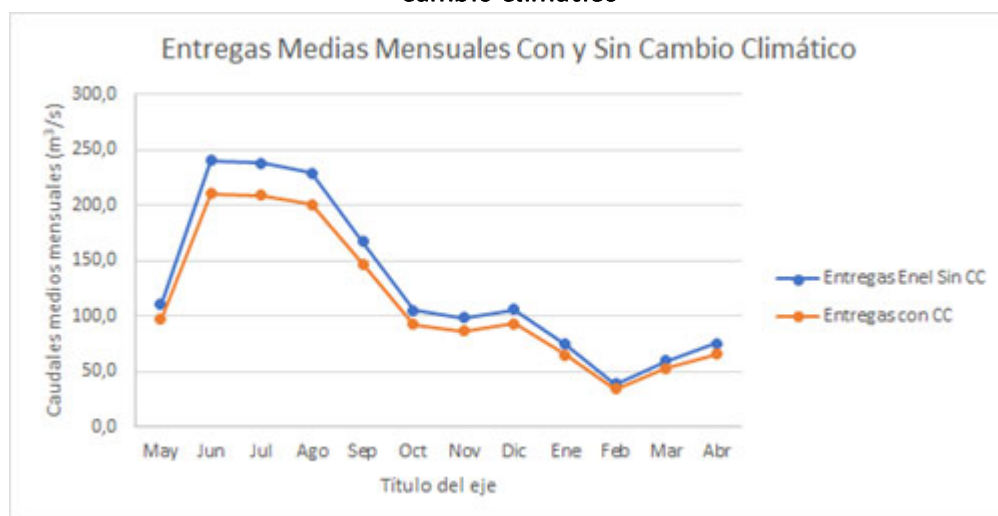
Como se aprecia en la tabla anterior, se tiene que algunos meses del año para altas probabilidades de excedencia se tienen bajas entregas de caudal desde el embalse Rapel, como son los meses de diciembre, enero y febrero. Lo anterior involucra que los bombeos de caudal desde la bocatoma al embalse, no pueden desarrollarse durante todos los días y meses del año, quedando estos restringidos a las épocas de disponibilidad de caudal.

En adición a lo anterior, la variación horaria de las entregas de caudal presenta una dificultad adicional al sistema, ya que no se tiene la misma cantidad de caudal a la misma hora del día, como se aprecia en el gráfico anterior, se tiene que las entregas peak de caudal se dan en el horario comprendido entre las 20 y 24 hrs.

Es necesario hacer notar que las entregas de agua desde el embalse Rapel, están relacionadas directamente con la operación del sistema eléctrico nacional, donde las ordenes de generación del mismo se encuentran dadas por el Coordinador eléctrico Nacional (CEN).

En adición al análisis antes presentado de los caudales disponibles en situación actual desde el embalse Rapel, se ha desarrollado el análisis de la posible afectación de los mismos producto del efecto del cambio climático, cuyos resultados se resumen en la gráfica siguiente.

Figura N° 3-2 Entregas medias mensuales de caudal estimadas desde el embalse Rapel con y sin efecto del cambio climático



Fuente: Elaboración propia

Estas variaciones así presentadas corresponden a aproximadamente una disminución en el orden de un 12% de los caudales medios mensuales estimados en las entregas desde el embalse Rapel. Lo anterior hace proyectar que en el caso del proyecto Rapel, esto podría tener un impacto en la disminución de la superficie posible a beneficiar con respecto al proyecto original del orden de un 12%.

3.6.3. Recursos hídricos directos desde embalse Rapel

En adición a las fuentes superficiales antes mencionadas, se efectuó un análisis de la posibilidad de uso de los recursos de agua disponibles en el embalse Rapel, de manera de estudiar la posibilidad de utilizar dichos recursos en forma previa a su entrega para generación.

Esta alternativa carece en la actualidad de sustento jurídico, lo anterior debido a los derechos de agua en propiedad de ENEL, los que en este caso son del tipo no consuntivos y están otorgados para generación, no existiendo disponibilidad de derechos de agua del tipo consuntivo para el sector ubicado aguas arriba del embalse.

En forma adicional, se sostuvieron reuniones con personal de ENEL, de manera de analizar la posibilidad de almacenar agua para uso en riego en el embalse Rapel, lo anterior considerando que, en base al análisis estadístico histórico de los volúmenes de embalse de los últimos años, se mantenía un volumen remanente del embalse que no era utilizado. Frente a lo anterior, personal de ENEL señaló que con posterioridad al terremoto del 27.02.2010, se produjo en terreno aledaños a la zona del embalse un problema de hundimiento de los mismos quedando construcciones y terrenos de propietarios a una cota menor a la de operación original del embalse, producto de lo que fue necesario disminuir la cota de llenado del embalse, de manera de evitar que estos terrenos quedaran sumergidos.

En adición a lo anterior, ENEL señaló que producto de las sustracciones ilegales de agua que ocurren desde el embalse Rapel, no es posible por parte de ellos garantizar el volumen de agua almacenado para riego, debido a que no tienen una manera propicia para controlar estas sustracciones. Lo anterior significa que no se puede garantizar un volumen de agua permanente disponible para riego, ya que en función de estas sustracciones lo mas posible es que este volumen se vea disminuido.

Producto de lo anterior, es que la opción de captación de aguas de manera directa desde el embalse Rapel es descartada por este momento en este estudio, situación que puede ser reanalizada mas adelante en función de la legislación y situación presente en el país.

3.6.4. Recursos hídricos de aguas subterráneas

Se analizó la posibilidad de utilizar las aguas de los acuíferos existentes en la zona del proyecto, para lo anterior, se ha efectuado un análisis de las disponibilidades de caudal por parte de estos, identificándose que la totalidad de los acuíferos del sector se encuentran cerrados o en proceso de cierre por ya tener copadas sus disponibilidades de caudal.

Lo anterior ha sido ratificado en reunión sostenida con la DGA VI Región, donde han señalado que los acuíferos existentes en el sector se encuentran en proceso de cierre en su totalidad y que las únicas disponibilidades de caudal existentes son del tipo provisorio y eventual con el fin de dar prioridad a los abastecimientos de agua potable. Producto de lo anterior, es que se ha descartado la opción de la utilización de los recursos hídricos subterráneos para el uso de este proyecto.

3.6.5. Recursos hídricos de aguas desaladas

Se analizó la alternativa de obtener el agua por medio de desalación de agua de mar. El punto mas cercano respecto a esta opción se encuentra en la comuna de Navidad, distante a unos 20km de la zona de riego. Esta obtención del recurso hídrico es factible técnicamente con las tecnologías actuales, además de proveer una fuente casi ilimitada de recurso hídrico.

Para lo anterior existen diversos procesos, sin embargo, los más comúnmente utilizados son la ósmosis inversa con un 59%, la evaporación con un 27% y la destilación con un 9%.

La implementación de plantas de este tipo involucra altos costos, tanto de la obra como de la operación y mantención de la misma (Altos costos energéticos), sin embargo, es una posibilidad de obtención de recurso hídrico, que también ha sido analizado en el estudio.

3.7. Derechos de agua del proyecto

Considerando que la mejor alternativa de obtención de recursos hídricos corresponde a la captación desde el río Rapel, para sustentar el proyecto desde el punto de vista de las disponibilidades de aguas, la CNR por medio de la DOH procedió a efectuar la solicitud de un derecho de agua, el cual se encuentra en la actualidad en tramitación. Este derecho de agua es del tipo consuntivo, de ejercicio permanente y continuo, por un volumen de 100 millones de metros cúbicos anuales, sobre las aguas superficiales y corrientes del río Rapel, provincia de Cardenal Caro, VI región del Libertador Bernardo O'Higgins, solicitado a nombre de la Dirección de Obras Hidráulicas con el fin de utilizarse para riego de una superficie estimada de 10.217 hectáreas ubicadas en las comunas de Navidad, Litueche y La Estrella, donde las aguas se captaran de manera gravitacional desde el río Rapel. y fue publicada su solicitud en el diario oficial N°42.757 de fecha martes 15 de septiembre de 2020.

Este derecho de agua se encuentra en tramitación por parte de la DGA y pendiente de resolución. Esta solicitud se encuentra bajo el número de expediente ND-0603-5255 con fecha de ingreso a la Gobernación el 28 de agosto de 2020 e ingreso a la DGA con fecha 27 de octubre de 2020.

3.8. Caudales disponibles en bocatoma para el proyecto

Efectuando el cruce de las disponibilidades de caudal dadas por las entregadas desde el embalse Rapel en el río Rapel, los derechos de agua de terceros existentes en la zona del proyecto y el caudal ecológico que debe dejar el proyecto, calculado mediante lo señalado por el D.S. N°14 de fecha 22.05.2012 de la DGA el que fija el caudal ecológico para etapas de análisis de estudio y en función de la estadística del río, se tienen los siguientes caudales disponibles de captar en bocatoma para una probabilidad de excedencia del 85%.

Tabla N° 3-5: Caudales medios mensuales disponibles (m³/s) a nivel mensual en sector bocatoma

Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Q Disp. Pexc85% (m³/s)	0,00	0,00	1,64	10,95	21,32	26,80	35,65	43,85	25,41	0,00	6,71	0,00	14,36
Vol. Disp. Pexc85% (Hm³)	0,00	0,00	4,40	28,39	57,10	69,46	95,47	117,46	65,87	0,00	17,39	0,00	455,54

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la tabla anterior, se tiene que entre los meses de diciembre y febrero no se tienen disponibilidades de caudal a captar desde la bocatoma, siendo justamente los meses en que se presentan las mayores demandas de agua por parte de los cultivos. Esta información sustenta la necesidad de implementar obras de regulación en el proyecto, las que permitan almacenar las aguas de los periodos de invierno (entre abril y septiembre), de manera de regularlas para su entrega en las épocas de estiaje de mayor necesidad. Lo anterior significa que el proyecto necesariamente conlleva el desarrollo de grandes obras de regulación, ya que sin ellas no es posible disponer de las aguas de riego en verano.

3.9. Alimentación energética del proyecto

Para el correcto funcionamiento y operación del sistema de riego en la zona en estudio, se requerirá de una gran cantidad de energía, es por este motivo que la alimentación energética del proyecto es un pilar fundamental del mismo. Desde el punto de vista de la alimentación energética del proyecto planteado, se ha efectuado el análisis considerando la alimentación mediante un sistema de energías renovables no convencionales (ERNC) con sistemas fotovoltaicos, el cual ha sido sensibilizado respecto a las horas de funcionamiento del sistema, lo anterior debido a que los paneles solares tienen una operación variable en el horario del día y en el mes, además de no permitir el bombeo en horario nocturno. Lo anterior se presenta en la figura siguiente.

Tabla N° 3-6: Horarios de funcionamiento de los paneles fotovoltaicos y factores de producción estimados

FP	Horario de funcionamiento de Paneles Solares												% Volumen diario
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
20%	8-17	9-18	8-17	8-17	9-17	9-17	9-17	9-17	8-17	8-17	8-17	8-17	51%
30%	9-17	9-17	9-17	9-17	9-17	9-17	9-17	9-17	9-17	9-17	8-17	9-17	49%
40%	9-17	9-17	9-17	9-16	9-16	9-16	9-17	9-16	9-16	9-16	9-17	9-17	47%
50%	10-17	10-17	10-16	10-16	10-16	9-16	10-16	10-16	9-16	9-16	9-16	9-16	43%
60%	10-16	10-16	10-16	10-16	10-16	11-16	10-16	10-16	10-16	10-16	10-16	10-16	40%
70%	11-16	11-16	11-16	11-15	11-15	11-16	11-16	11-15	10-15	10-15	10-15	10-16	35%
80%	11-15	12-15	11-15	11-15	12-14	12-14	11-15	11-15	11-15	11-15	11-15	11-15	28%
85%	12-15	12-15	12-15	11-15	12-14	12-14	12-14	11-14	11-14	11-14	11-14	11-15	24%
90%	12-15	12-15	12-15	12-14	12-14	12-14	12-14	12-14	12-14	12-14	12-14	12-14	20%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del explorador solar del Ministerio de Energía

De esta manera, se tiene que la componente de alimentación energética está íntimamente vinculada con las disponibilidades de caudal desde el embalse Rapel, donde se puede apreciar que las mayores disponibilidades de caudal se presentan en los meses de invierno. Lo anterior quiere decir, que en la época en la que se tendrá la disponibilidad de caudal (invierno), es cuando los paneles tendrán la menor eficiencia de funcionamiento, lo que implicará un aumento de la cantidad de paneles fotovoltaicos requeridos para el proyecto, a diferencia de que si estos fueran requeridos en verano.

Producto de lo anterior y debido a la importancia de esta componente en el proyecto, se hace necesario considerar el proyecto de alimentación energética con un respaldo de alimentación por medio de una empresa abastecedora y distribuidora, que permita suplir la energía requerida en los casos en que los paneles no puedan generar el total requerido.

4. ALTERNATIVAS ANALIZADAS Y RESULTADOS OBTENIDOS

4.1. Alternativas preliminares revisadas

Sobre la base del diagnóstico desarrollado en las primeras etapas del proyecto se procedió a efectuar el análisis preliminar de alternativas que se pudieran llevar adelante en el proyecto. De esta manera, el resumen de las alternativas analizadas es el siguiente:

Tabla N° 4-1 Cuadro resumen con las alternativas de riego analizadas a nivel preliminar

Alternativa	Breve descripción	Fuente de Energía	Sup. Max. beneficiada (Ha)	Potencia Requerida (MW)	Costo (MM\$)	Costo / Ha (MM\$ / ha)	VAN Social (MM\$)	TIR (%)
1	Estudio Perfil - Embalses Quiñicaben, Manquehua y La Virgen	FV Off Grid	10.212	126	613.061	60	-229.563	-
2	Unificación Embalses - Embalse Manquehua Bajo	FV Off Grid	10.212	180	903.015	88	-596.817	-
3	Impulsión y almacenamiento en embalse Rapel	FV Off Grid	10.212	163	740.697	73	-391.227	-
4	Almacenamiento directo en embalse Rapel	FV Off Grid	10.212	76	334.795	33	122.886	8,07
5	Utilización de Aguas Subterráneas (Acuífero)	FV Off Grid	450	0,06	4.211	9	18.552	18,02
6	Desalación e impulsión a zona de riego	FV On Grid	10.212	88	3.122.870	306	-3.408.466	-
7	Optimizada de Perfil - Embalses Ucuquer, Manquehua y La Virgen	FV Off Grid	10.212	127	666.221	65	-296.895	-
8	Embalses El Rosario, Manquehua y La Virgen	Cliente Libre	10.212	30	364.106	36	17.657	6,29
9	Tranques Pequeños y Medianos	Cliente Libre	10.212	30	761.527	75	-440.912	-

Fuente: Elaboración propia

De estas 9 alternativas planteadas, en un primer análisis se procedió a descartar aquellas que no disponían de recursos hídricos en suficiencia o que legalmente en la actualidad no pudieran ser implementadas, bajo estos criterios, fueron descartadas las alternativas N°3 de impulsión y almacenamiento en el Embalse Rapel, N°4 de almacenamiento directo en el embalse Rapel (según lo comentado en el numeral 3.2.3.), N°5 de utilización de aguas subterráneas (Acuífero) (según lo comentado en el numeral 3.2.4.).

Respecto a las alternativas que involucran el uso del embalse Rapel, en este momento no son factibles por un tema de acumulación de aguas y derechos del tipo no consuntivos que están en el embalse, pero, sin embargo, más adelante pueden volver a ser revisadas, considerando que la legislación pudiera verse modificada.

De igual manera, la opción N°6 correspondiente con desalación e impulsión a la zona de riego se descartó debido a los altos costos involucrados en su implementación, además de problemas legales que permitieran su implementación, debido a que no hay claridad jurídica respecto a su modelo de operación en un escenario concesionado de uso para riego. Sin embargo, más adelante esta opción puede volver a ser analizada, considerando que ya se tenga un marco regulatorio claro respecto a este tipo de proyectos.

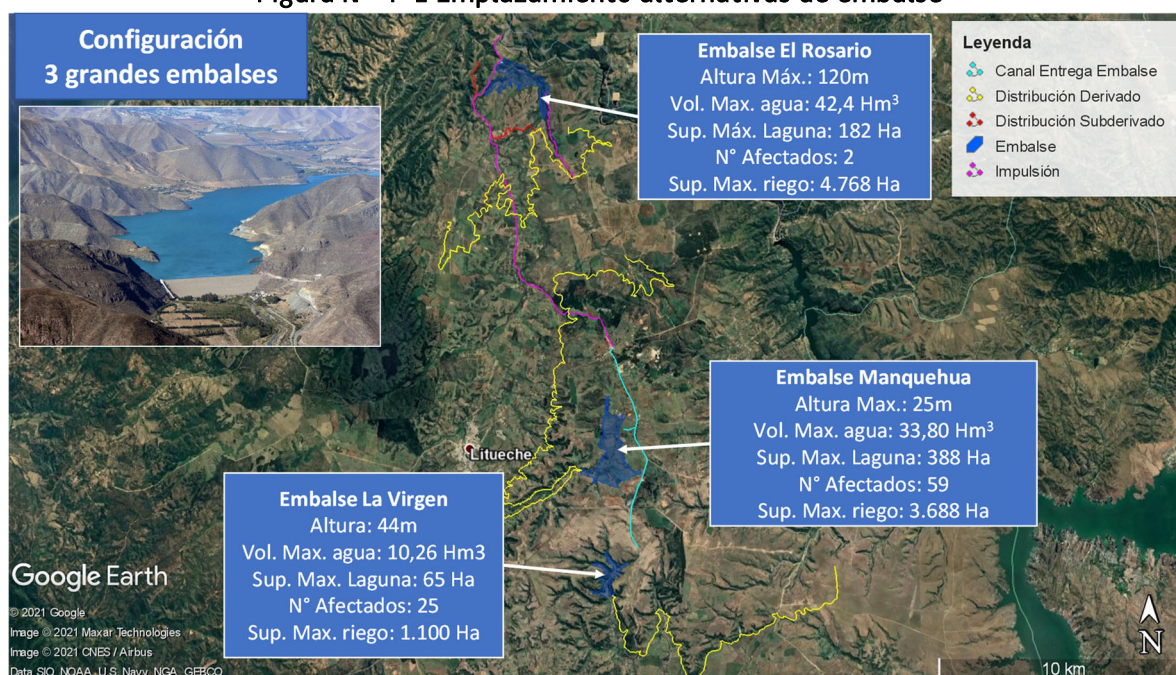
Posteriormente, se descartó la alternativa N°1 que involucraba el desarrollo del embalse Quiñicabén, lo anterior debido a que en la zona de emplazamiento de dicho embalse se desarrolló el loteo de un proyecto inmobiliario, lo que significó la subdivisión de dicho terreno en el orden de 90 propietarios. Lo anterior volvió no factible el proyecto desde el punto de vista social del mismo, además de incorporar demasiados actores afectados con los que habría que negociar.

Posteriormente la alternativa N°7, presentó la complejidad de que el embalse denominado Ucuquer, se emplazaba totalmente dentro de los terrenos de la Agrícola Ucuquer, cuyos gerentes en reuniones sostenidas con la CNR y mediante carta enviada por su representante legal, señalaron que no tenían interés en el proyecto y que en la zona de emplazamiento propuesta del embalse tenían un proyecto actualmente en desarrollo que permitirá la expansión de los cultivos al interior de la agrícola, producto de lo anterior descartaron participar en el proyecto y no facilitaron permisos de acceso a dicho sector. Es por estos motivos que dicha alternativa también tuvo que ser descartada.

4.2. Trabajos de terreno desarrollados

Como se ha mencionado, parte fundamental del proyecto tiene relación con las obras de regulación a implementarse, las que, en este caso, para las restantes alternativas preliminares que han sido factibles de seguir analizando, corresponden a los muros de embalse Manquehua Alto, Manquehua Bajo, La Virgen y El Rosario. Estos embalses se ubican en los denominados Estero Manquehua, Estero La Virgen y Estero El Rosario respectivamente. En la imagen siguiente se ubica la ubicación de los sitios de dichos embalses,

Figura N° 4-1 Emplazamiento alternativas de embalse



Fuente: Elaboración propia

4.2.1. Condiciones geológicas sector de las obras de embalse

En el análisis de las condiciones geológicas del sector de emplazamiento de los muros de embalse, se tiene que estos se ubican en la denominada **formación La Cueva**, la cual tiene como característica que corresponden a arenas altamente compactadas, las cuales presentan una alta sensibilidad frente al agua. Lo anterior fue ratificado en terreno mediante el desarrollo de ensayos triaxiales, los que al momento de ser ensayos en condiciones no drenadas presentaban que las muestras se desarmaban, no presentando resistencias de ningún tipo. Sin embargo, los ensayos del tipo SPT desarrollados en dichos terrenos presentaron indicadores de alta compacidad, por lo que correspondían con terrenos muy densos. Estas condiciones involucraban la necesidad de tomar medidas de impermeabilización especiales en las alternativas de muros de presa, además de sistemas de seguimiento específicos durante la operación de los mismos.

En adición a lo anterior y con el fin de determinar el origen de esta sensibilización al agua detectada en los materiales arenosos del sector, se procedió a desarrollar ensayos especiales, entre los que se conto con ensayos de sales totales y pin hole, este último que permite medir el grado de dispersividad de las arenas identificadas. Respecto a los ensayos de sales totales, las muestras ensayadas mostraron cantidades normales de sales para estos tipos de suelos, lo que hace suponer que el motivo de la sensibilidad no es debido a la disolución de sales presentes en las arenas. El ensayo pinhole se elaboró con el fin de cuantificar el nivel de dispersividad identificado, en este caso de los ensayos desarrollados se obtuvo que una de las muestras presentaba una clasificación del tipo ND4, que significa que es moderadamente dispersivo, lo que significa que el suelo puede ser erosionado lentamente producto del agua, ratificando el hecho de la sensibilidad encontrada en los terrenos en presencia de agua.

4.2.2. Fundación en el lecho de los muros de embalse

En el sitio del muro de presa de Manquehua Bajo no fue posible encontrar roca en el lecho de estero en los 35m de profundidad del sondaje desarrollado. Se encontró un material arenoso de alta permeabilidad. Lo anterior involucra necesariamente la incorporación de una medida de impermeabilización en el lecho del estero correspondiente a una pared moldeada, de al menos unos 35m de profundidad.

En el sector del muro de presa de Manquehua alto, se ha determinado una profundidad de la roca en el lecho del río del orden de 5m, la cual se encuentra altamente meteorizada, pero que puede ser mejorada mediante inyecciones de consolidación y de impermeabilización. Lo anterior significa que no se tendría necesidad de implementar una pared moldeada para restringir las filtraciones bajo el muro de presa.

Respecto al sitio de embalse denominado La Virgen, se ha logrado llegar a roca meteorizada a los 35m del sondaje efectuado en el lecho del río. En forma adicional, han obtenido valores de permeabilidad apropiados para la fundación de un muro de presa sin necesidad de pared moldeada, pero si incorporando un diente de fundación de material impermeable, el que se estima de una profundidad del orden de 5m.

Desde el punto de vista de la fundación en el sector del lecho del río del embalse El Rosario, el sondaje desarrollado

a encontrado la roca a una profundidad de 25m. Lo anterior involucra que no es necesaria la elaboración de una pared moldeada en el lecho del río, sino que habría que efectuar la excavación del muro de presa hasta el nivel de la roca, ahorrándose el costo de la pared moldeada.

4.2.3. Materiales de rellenos, yacimientos disponibles y tipos de muro de presa

En forma adicional, otro aspecto de importancia identificado en las zonas de los embalses tiene relación con las características de los materiales existentes para la construcción de los muros de presa. En el caso de los lugares de emplazamiento de los embalses Manquehua alto y Manquehua bajo, se tenían como materiales disponibles arcillas y arenas, las cuales presentaban malos parámetros en los ensayos realizados de triaxiales y corte directo, producto de esto, el material ubicado en dichos sectores no cumplía con los requisitos para construir un muro de presa. Producto de lo anterior fue necesaria la búsqueda de materiales en otros sectores mas alejados de la zona del proyecto. De esta manera, la solución se encontró extrayendo materiales desde la denominada quebrada La Virgen, que se corresponde con el lugar de ubicación del denominado embalse La Virgen. En este sector se identifico como material disponible gravas areno arcillosas, las que tienen buenas características para fundar un muro de presa de gravas. De esta manera, la opción de muro para los sitios de Manquehua y La Virgen sería de ejecutar muros de presa de gravas con una pared impermeabilizante de geomembrana asfáltica tipo Coletanche.

En adición a lo anterior, con el fin de determinar las curvas de embalse en el sector, se desarrollo trabajos de levantamiento topográfico en detalle en la zona del muro de presa y una restitución aerofotogrametrica que permitía determinar la información de la zona de inundación de los mismos. Con esta información se pudo determinar los volúmenes de relleno requeridos por cada muro de embalse para distintas alternativas de tamaño y volumen de almacenamiento.

En el caso del embalse Manquehua bajo, se tenía que este requería de un volumen total de rellenos de 1.817.729 m³ para lograr la ejecución de un muro de presa de 50m de alto del tipo zonificada que permitiera el almacenamiento de 85 Hm³ de agua, que es lo requerido por la alternativa preliminar N°2, sin embargo, sobre la base de los estudios desarrollados, se obtuvo que el material disponible era de 454.000 m³. Producto de esto y de que el terreno de fundación de dicha alternativa tiene malas condiciones geotécnicas, fue descartada la construcción de un muro de presa en la ubicación denominada como Manquehua Bajo, quedando solamente en este estero la denominada Manquehua Alto.

El mismo análisis de volumen de rellenos requerido, se llevó a cabo en los otros sitios de embalse, obteniéndose en el caso del embalse Manquehua alto una necesidad de materiales de relleno de 152.180 m³ para la ejecución de un muro de presa de del tipo de gravas con cara impermeabilizada con geomembrana asfáltica de 25m de altura, que permiten el almacenamiento de 33,80 Hm³ de agua. En este caso, como se menciona se considera la obtención de gravas desde el Estero La Virgen los que se estiman del orden de 300.000 m³.

Con respecto al sitio de embalse La Virgen, el muro de presa a implementar en este sector sería del tipo zonificado, para una altura de muro de 44m, que permitirá almacenar del orden de 10,26 Hm³, para esto se requiere de un volumen de rellenos de 1.073.792 m³, del análisis de los yacimientos existentes en el sector, se tiene una

disponibilidad de 1.190.000 m³. Lo anterior sobre la base de la exploración obtenida con calicatas del orden de 5m de profundidad, por lo que se podría verificar la existencia de una mayor potencia de yacimientos.

El muro de presa del embalse El Rosario proyectado, requiere de un muro de presa altura de 120m, de relleno con gravas y enrocados, con una cara impermeabilizada con geomembrana asfáltica, la que almacenaría un volumen de 42,40 Hm³. Este muro de presa necesita un volumen total de rellenos de 8.645.000 m³, los materiales de este muro se obtendrían desde yacimientos ubicados en el río Rapel y la explotación de canteras en las cercanías del muro de presa, obteniéndose un volumen estimado de materiales disponibles del orden de 13.880.000 m³, lo anterior considerando profundidades de excavación de las calicatas 5 m, cantidades que pueden ser mayores a las aquí estimadas.

Es necesario indicar que, para las alternativas de embalse analizadas, se buscó una cantidad de material de relleno necesario, de manera de que este sea 2,5 veces el volumen de rellenos requeridos por el muro de embalse diseñado.

4.2.4. Impermeabilización zona de inundación de embalses

Producto de la formación geológica La Cueva, encontrada en el sector y de los resultados obtenidos de los ensayos efectuados en terreno, es que en la zona de inundación de los embalses Manquehua y La Virgen existe alto riesgo de que se tengan problemas de sensibilidad al agua de los materiales, fue necesario considerar un recubrimiento total de la zona de inundación, también por medio de la geomembrana asfáltica impermeabilizante, además de la incorporación de sistemas de medición de filtraciones mediante piezómetros eléctricos y del tipo Casagrande, los cuales se distribuyeron en 3 líneas perimetrales de la zona de inundación a diversas alturas, a 200m de distancia entre piezómetros en la línea, ubicados en el fondo del valle, a 1/3 de la altura y 2/3 de la altura total del nivel de agua del embalse, esto con la intención de controlar totalmente las filtraciones que pudieran ocurrir en el sitio de la zona de inundación.

Respecto al sitio de embalse denominado El Rosario, este se ubicaba en la desembocadura del estero El Rosario con el río Rapel, aguas abajo de la central Rapel. En este sector, existía una división geológica de los terrenos del embalse con respecto al estero El Rosario, en la ribera derecha del mismo se encontraba la formación geológica Rapel, la cual corresponde a roca de buena calidad geotécnica, mientras que el estribo izquierdo presentaba la formación La Cueva, conformada por arenas compactadas de alta sensibilidad al agua. Lo anterior involucraba que también en este sitio de embalse se debe considerar la impermeabilización de la zona de inundación con la geomembrana asfáltica antes mencionadas y la rigurosa instrumentación antes señalada para el seguimiento de la operación.

4.2.5. Trabajos en zona de trazado de impulsiones y canales de riego

Con el fin de revisar las características de la zona de impulsiones y canales de riego, se han desarrollado 136 calicatas a lo largo del trazado, las que han tenido como objetivo definir el tipo de material existente en el trazado, para estimar las excavaciones correspondientes para la fundación de las tuberías de las impulsiones y los canales

de riego a ejecutarse.

De las calicatas desarrolladas, se identificó que el terreno preponderante en la zona es de arenas y arcillas, es decir, terrenos que son catalogados como suelos, los que no necesariamente requieren de métodos mecánicos para su excavación. Lo anterior coincidente con lo señalado por el estudio geológico de la formación La Cueva.

4.3. Alternativas definitivas diseñadas a nivel de prefactibilidad

Sobre la base del diagnóstico desarrollado y los trabajos de terreno efectuados, fue posible definir desde el punto de vista técnico aquella alternativa que cumplía las mejores condiciones para ser diseñada a nivel de prefactibilidad. En este caso, se han identificado 2 configuraciones que cumplieran con las mejores características para seguir adelante en el diseño, estas tenían relación con las siguientes:

1. Configuración con 3 grandes Embalses denominados El Rosario, Manquehua Alto y La Virgen.

Esta alternativa considera la captación en el río rapel por medio de una bocatoma y un sistema de bombeo que impulsa las aguas hacia los 3 embalses antes descritos y desde aquí por medio de canales de riego el agua es distribuida hacia la zona de riego. Las principales características de esta gran alternativa son las siguientes:

Tabla N° 4-2 Resumen principales características alternativa N°1 - 3 grandes embalses

Ubicación	Embalse	Altura máxima (m)	Zona Máxima Inundada (ha)	Volumen Máximo Acumulado (Hm ³)	N° Afectados	Superficie Máxima de Riego (Ha)	Comuna Beneficiada
Navidad - Estero El Rosario llegada a río Rapel	El Rosario	120	182	42,40	2	4.768	Navidad - Litueche y La Estrella
Litueche - Estero Manquehua	Manquehua	25	388	33,80	59	3.688	Litueche
La Estrella - Estero La Virgen	La Virgen	44	65	10,26	25	1.100	La Estrella

Fuente: Elaboración propia

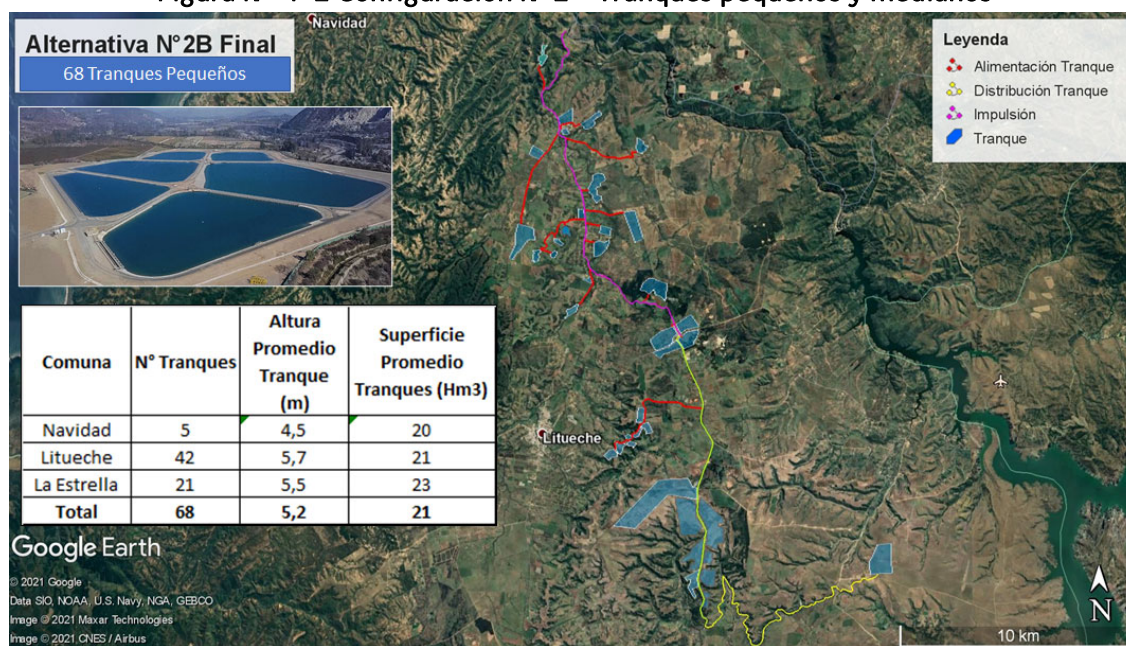
2. Configuración con sistema de tranques pequeños en la zona de riego.

Como se ha descrito con anterioridad, el sitio en estudio se encuentra emplazado en gran medida en la denominada formación La Cueva por lo que las características de la zona de fundación de los muros de presa no son las más adecuadas para el emplazamiento de este tipo de obras. De igual manera, los impactos que tienen estas alternativas desde el punto de vista del número de predios afectados, hacen plantearse una nueva alternativa que permita disminuir las afectaciones y permitir la fundación de obras de acumulación sin tener los riesgos de los grandes embalses.

Sobre la base de lo anterior, se ha elaborado esta segunda alternativa que consiste en la ejecución de pequeñas y medianas obras de regulación a lo largo de la zona en estudio (comunas de Navidad – Rapel de Navidad, Litueche y La Estrella). Los que serán semiexcavados en tierra recubiertos con una geomebrana bituminosa con el fin de evitar las filtraciones en los mismos.

En la figura siguiente se ilustra el emplazamiento propuesto de estos tranques junto con la configuración de esta alternativa de riego.

Figura N° 4-2 Configuración N°2 – Tranques pequeños y medianos



Como se aprecia en la figura anterior, se contempla en esta alternativa la ejecución 68 tranques pequeños y medianos, los que en su promedio tendrán una altura de muro de 5,2m y una superficie promedio de 21 Ha. En la siguiente tabla resumen se presentan las principales características del sistema de riego antes mencionado.

Tabla N° 4-3 Principales características configuración de riego N°2

Comuna	N° Tranques	Superficie Total Tranques (Ha)	Volumen Total Tranques (Hm3)	N° de Afectados	Superficie Beneficiada (Ha)
Navidad	5	98	4	6	543
Litueche	42	862	51	31	6.246
La Estrella	21	482	27	5	3.422
Total	68	1.442	81	42	10.212

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la tabla anterior, se consideran 68 grandes tranques en su totalidad, los que subdivididos en los 6 mini tranques antes señalados, nos entregan un total de obras de regulación de 408 tranques pequeños.

Desde el punto de vista de la superficie total cubierta por estos tranques, se tienen 1.442 ha y un total de afectados de 42, los que son inferiores a los 77 identificados en la configuración N°1.

La gran diferencia entre ambas configuraciones fue marcada por el presupuesto involucrando entre ambas, en este caso, la configuración N°1 de grandes embalses tenía un costo directo estimado de MM\$364.106, mientras que la configuración N°2 de los tranques pequeños tenía un costo directo estimado de MM\$726.156. Debido a la gran diferencia entre ambos presupuestos, se decidió seguir adelante con la alternativa de 3 grandes embalses para llevar a diseño a nivel de prefactibilidad.

De esta manera, las alternativas que fueron finalmente analizadas basándose en la configuración de 3 grandes embalses fueron las siguientes.

Figura N° 4-3 Alternativas y escenarios de evaluación considerados

Alternativa N°1 – On Grid Tres grandes embalses (El Rosario, Manquehua y La Virgen)	Alternativa N°2 – Cliente Libre Tres grandes embalses (El Rosario, Manquehua y La Virgen)	Alternativa N°3 – Off Grid Tres grandes embalses (El Rosario, Manquehua y La Virgen)
Escenarios	Escenarios	Escenarios
E1-1 On Grid	E1-2 Cliente libre 100%	E2-3 Off Grid
E2-1 On Grid	E2-2 Cliente Libre 100%	
E3-1 On Grid	E3-2 Cliente Libre 100%	
E4-1 On Grid	E4-2 Cliente Libre 100%	
E5-1 On Grid	E5-2 Cliente Libre 100%	

Fuente: Elaboración propia

De esta manera, los escenarios diseñados a nivel de prefactibilidad, junto con sus principales características se presentan en la tabla siguiente.

Tabla N° 4-4 Escenarios de proyecto definitivos

Escenario	Alimentación Energía	Superficie Riego (ha)	Tamaño Embalse (Hm ³)			Superficie de riego (ha)				
			El Rosario	Manquehua	La Virgen	S1	S2	S3	S4	Total
E1-1	On Grid	7.887	28,40	33,80	10,26	1.638	2.211	2.938	1.100	7.887
E1-2	Cliente Libre	7.887	28,40	33,80	10,26	1.638	2.211	2.938	1.100	7.887
E2-1	On Grid	9.419	42,40	33,80	10,26	1.638	2.305	2.938	2.538	9.419
E2-2	Cliente Libre	9.419	42,40	33,80	10,26	1.638	2.305	2.938	2.538	9.419
E2-3	Off Grid	9.419	42,40	33,80	10,26	1.638	2.305	2.938	2.538	9.419
E3-1	On Grid	4.768	42,40	0	0	1.638	3.098	32	0	4.768
E3-2	Cliente Libre	4.768	42,40	0	0	1.638	3.098	32	0	4.768
E4-1	On Grid	3.688	0	33,80	0	0	750	2.938	0	3.688
E4-2	Cliente Libre	3.688	0	33,80	0	0	750	2.938	0	3.688
E5-1	On Grid	8.319	42,40	33,80	0	1.638	2.305	2.938	1.438	8.319
E5-2	Cliente Libre	8.319	42,40	33,80	0	1.638	2.305	2.938	1.438	8.319

Fuente: Elaboración propia

Es necesario indicar que los proyectos finalmente desarrollados difieren en algunos casos con los planteados en un comienzo, como por ejemplo en el tamaño del embalse Manquehua, el que finalmente fue diseñado con un tamaño máximo de 33,80 Hm³ y no de 40 Hm³ como se planteaba en un comienzo, esto fue porque al momento

de desarrollar los diseños de los proyectos de embalse, se logró apreciar que producto de la topografía del sector, era inundada la ruta que une el sector del Alto con La comuna de La Estrella, la que tiene un gran uso hoy en día. Es por este motivo que se limitó el tamaño máximo del embalse a no inundar dicha vía.

De igual manera, el embalse El Rosario, fue posible de aumentar su altura al efectuar el análisis de la topografía en detalle del sector de emplazamiento del muro, por lo que su capacidad máxima de almacenamiento aumento de los 40 Hm³ planteados en un comienzo a los 42,40 Hm³ finalmente considerados.

Respecto al embalse La Virgen su tamaño no vario de mayor manera con respecto al análisis preliminar, ya que se ha efectuado el diseño para un tamaño máximo de 10,26 Hm³, los que son levemente superiores a las 10 Hm³ considerados en el análisis preliminar. En este caso la limitación del tamaño se encontró dada por los materiales disponibles para la construcción del muro de presa y no la topografía.

Con respecto a las superficies de riego es necesario destacar que, en el caso de los escenarios finalmente considerados, se disminuyó la superficie total de las 10.212 ha a las 9.419 Ha, esto debido a la disminución de la capacidad de almacenamiento del embalse Manquehua por lo señalado con anterioridad y a al aumento de las demandas de riego consideradas en el estudio, lo anterior con el fin de colocar cultivos (frutales) que permitieran aumentar la rentabilidad del proyecto.

Desde el punto de vista de los requerimientos energéticos de cada uno de ellos, a continuación, se presenta un resumen de los requerimientos energéticos que necesitan respecto a un cliente libre a quien adquirir energía. Esto en función de si la alimentación es Off Grid, On Grid o cliente libre 100%.

Tabla N° 4-5 Resumen requerimientos energéticos escenarios de evaluación desarrollados

Escenario	Alimentación Energía	Potencia máx.	Energía requerida de Cliente Libre por sistema de bombeo (GWh/año)									
		kW	SB1-1	SB1-2	SB2	SB3	SB4	SB5	SB6-1	SB6-2	SB6-3	Total anual
E1-1	On Grid	41.553	14,84	24,66	29,15	24,63	1,45	19,11	0,00	0,00	0,00	113,84
E1-2	Cliente Libre	41.533	19,93	30,80	37,95	32,18	1,72	19,69	0,00	0,00	0,00	142,27
E2-1	On Grid	47.047	22,07	22,39	22,78	23,44	1,45	4,38	5,94	11,28	7,35	121,08
E2-2	Cliente Libre	47.047	29,81	29,31	29,83	30,62	1,72	4,57	5,96	11,31	7,37	150,50
E2-3	Off Grid	99.239	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
E3-1	On Grid	35.306	22,07	0,00	31,96	0,00	0,00	14,56	0,00	0,00	0,00	68,59
E3-2	Cliente Libre	35.306	29,81	0,00	32,76	0,00	0,00	15,41	0,00	0,00	0,00	77,98
E4-1	On Grid	13.969	0,00	17,64	18,18	18,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	54,34
E4-2	Cliente Libre	13.969	0,00	23,74	24,16	24,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	72,70
E5-1	On Grid	43.323	22,07	18,18	18,60	18,99	1,45	4,38	5,94	11,28	7,35	108,24
E5-2	Cliente Libre	43.323	29,81	23,72	24,15	24,78	1,72	4,57	5,96	11,31	7,37	133,39

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, desde el punto de vista de los costos que involucran cada uno de ellos, a continuación, se presenta un resumen de los mismos.

Tabla N° 4-6 Resumen costos de los escenarios de evaluación desarrollados

Escenario	Alimentación Energía	Superficie Riego (ha)	Costo Directo	GG y Util.	Contingencia	Sub Total	Expropiaciones	Total	Costo/ha
			(MM\$)	45%	35%	(MM\$)	(MM\$)	(MM\$)	(MM\$/Ha)
E1-1	On Grid	7.887	417.404	187.832	146.091	751.326	27.834	779.160	99
E1-2	Cliente Libre	7.887	389.442	175.249	136.305	700.995	25.325	726.320	92
E2-1	On Grid	9.419	473.486	213.069	165.720	852.275	35.087	887.362	94
E2-2	Cliente Libre	9.419	445.753	200.589	156.014	802.356	25.125	827.481	88
E2-3	Off Grid	9.419	609.934	274.470	213.477	1.097.881	70.618	1.168.499	124
E3-1	On Grid	4.768	249.666	112.350	87.383	449.399	15.180	464.579	97
E3-2	Cliente Libre	4.768	222.757	100.241	77.965	400.962	13.682	414.644	87
E4-1	On Grid	3.688	209.475	94.264	73.316	377.056	15.309	392.365	106
E4-2	Cliente Libre	3.688	193.947	87.276	67.881	349.104	14.477	363.581	99
E5-1	On Grid	8.319	431.096	193.993	150.884	775.973	25.273	801.246	96
E5-2	Cliente Libre	8.319	406.753	183.039	142.363	732.155	24.533	756.688	91

Fuente: Elaboración propia

Sobre la base de lo anterior, se aprecia que la alternativa E1-2, correspondiente al embalse El Rosario con una capacidad de 28,40 Hm³, el embalse Manquehua con una capacidad de 33,80 Hm³ y al embalse La Virgen con una capacidad de 10,26 Hm³, regando una superficie total de 8.776 Ha presenta el menor costo por ha de proyecto.

La alternativa de alimentación fotovoltaica en un 100% es la que ha obtenido los valores de costo más alto del proyecto, por lo que no se recomienda su implementación.

Con respecto a la comparativa entre los escenarios on grid y cliente libre 100%, se tiene que la opción de cliente libre desde el punto de vista de los costos de las obras es la más económica.

4.4. Evaluación económica de las alternativas a nivel de prefactibilidad

De la evaluación económica a efectuada a la totalidad de los escenarios antes descritos, es necesario indicar que todos los indicadores de rentabilidad a precios privados han dado negativos, no siendo rentable el proyecto bajo ningún escenario en esta modalidad. Respecto a la evaluación social, se tiene que el único escenario que ha dado una rentabilidad positiva corresponde al denominado E3-2, el que corresponde a utilizar solo el embalse El Rosario con una capacidad de 42,40 Hm³, el que permitiría regar una superficie del orden de las 4.768 Ha. Este escenario tiene un VANS de MM\$27.880 y una TIRS de 6,40%. El resumen de los principales indicadores de rentabilidad obtenidos para los diferentes escenarios de proyecto y alternativas se presenta a continuación.

Tabla N° 4-7 Resumen de indicadores de rentabilidad de escenarios del proyecto

Escenario	Alimentación Energía Tipo	Superficie Beneficiada (ha)	Costo Total (MM\$)	Potencia Máxima (KW)	Costo / N° ha (MM\$/ha)	Costo Energía (MM\$/año)	VAN Social (MM\$)	TIR Social (%)	IVAN Social	VAN Privado (MM\$)	TIR Privado (%)	IVAN Privado
E1-1	On Grid	7,887	779,160	41,553	99	5,048	-48.577	-	0,991	-522.997	-	0,310
E1-2	Cliente Libre	7,887	726,320	41,533	92	6,240	-13.225	-	1,063	-481.779	-	0,333

Escenario	Alimentación Energía Tipo	Superficie Beneficiada (ha)	Costo Total (MM\$)	Potencia Máxima (KW)	Costo / N° ha (MM\$/ha)	Costo Energía (MM\$/año)	VAN Social (MM\$)	TIR Social (%)	IVAN Social	VAN Privado (MM\$)	TIR Privado (%)	IVAN Privado
E2-1	On Grid	9,419	887,362	47,047	94	5,389	-51.667	-	1,035	-545.819	-	0,320
E2-2	Cliente Libre	9,419	827,481	47,047	88	6,621	-12.155	-	1,110	-503.138	-	0,343
E2-3	Off Grid	9,419	1,168,499	99,239	124	0	-241.272	-	0,786	-748.026	-	0,243
E3-1	On Grid	4,768	464,579	35,306	97	3,111	-11.596	-	1,082	-279.041	-	0,345
E3-2	Cliente Libre	4,768	414,644	35,306	87	3,504	27.880	6,40%	1,212	-240.549	-	0,386
E4-1	On Grid	3,688	392,365	13,969	106	2,370	-46.439	-	0,902	-294.044	-	0,284
E4-2	Cliente Libre	3,688	363,581	13,969	99	3,140	-27.544	-	0,973	-270.436	-	0,306
E5-1	On Grid	8,319	801,246	43,323	96	4,826	-58.681	-	1,017	-494.057	-	0,317
E5-2	Cliente Libre	8,319	756,688	43,323	91	5,879	-30.684	-	1,077	-462.921	-	0,336

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la tabla anterior, se tiene que el único escenario que ha obtenido una rentabilidad positiva social corresponde al denominado E3-2, pero, sin embargo, hay que señalar los altos costos del proyecto por hectárea, los que alcanzan los MM\$87 por ha, al mismo tiempo que el alto costo de la energía al año, la que corresponde a MM\$3.504 al año.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación, se presentan las principales conclusiones y recomendaciones del estudio de prefactibilidad Construcción Sistema de Riego Rapel.

5.1. CONCLUSIONES

1. La zona en estudio cuenta con condiciones edafoclimáticas óptimas para el desarrollo de diversas especies frutales y vides. En este sentido se debe tener presente que la pradera natural de secano y otras praderas de riego de menor valor forrajero, si se cuenta con una mayor seguridad de riego podría destinarse a cultivos, forrajes o frutales más rentables.

Considerando los efectos del cambio climático, es importante destacar que las condiciones tanto para paltos como cítricos son muy favorables, lo que podría constituir al área de estudio en un polo de producción de estos rubros, en especial si se considera la severa sequía que ha afectado a las tradicionales zonas productoras de frutales de hoja persistente como son La Ligua, Cabildo y Petorca.

2. La principal dificultad encontrada en el sector para el desarrollo agropecuario tiene relación con la disponibilidad de recurso hídrico, lo que se ha visto acentuado en el último tiempo producto de los efectos del cambio climático, con las disminuciones de precipitaciones y aumentos de temperaturas. Más aún considerando que en la zona del secano costero, los principales recursos hídricos tienen relaciones con cuencas del tipo pluvial de sus esteros y la recarga de acuíferos con las aguas de las lluvias.
3. Para la zona en estudio (Zona alta de Rapel de Navidad, Litueche y La Estrella), en la actualidad, se tiene una superficie total de 11.507 ha, de las que en la actualidad 853 ha se encuentran bajo riego y 10.117 Ha en secano, las que son factibles de ser incorporadas a riego.

Del total de la superficie regada en la actualidad, se tiene que 211,7 ha corresponden a frutillas, 193,66 ha a vid vinífera, 93,65 ha de palto, 80,82 ha de almendro, 45,80 ha de nogal y 45,58 ha de alfalfa, entre otras especies.

En relación al secano, en la situación actual predomina la pradera natural con 8.167,09 ha, seguido de cereales forrajeros con 313,19 ha.

Desde el punto de vista de las demandas de agua en la situación actual, se tiene que, para el total del área bajo riego, se tiene que la demanda bruta alcanza los 6,9 millones de m³, con un mes de máxima demanda en enero con 1.620 m³/ha/mes. Cabe señalar que, en la situación actual, la tecnificación del sector bajo riego, alcanza al 90,7%.

4. Se debe señalar que el presente proyecto no consideró la ejecución de una alternativa de Situación Sin Proyecto u Optimizada, debido esencialmente a que la zona en estudio producto de la falta de agua para riego imposibilitan que se puedan producir mejorías sustanciales, sin efectuar previamente obras de ingeniería destinadas a acumulación y regulación de las aguas invernales, así como también toda la puesta en riego, mediante la construcción de la red matriz de canales y la habilitación de terrenos para su cultivo.

Sin perjuicio de lo anterior, para la elaboración de los flujos de la evaluación en la situación sin proyecto, se ha empleado como metodología el afectar los márgenes brutos de situación actual por un factor dependiente del PIB.

5. Para la situación con proyecto, en la zona en estudio, se considera como envolvente potencial de riego, el pasar de una situación actual de 853 ha de riego a 10.117 ha, es decir, pasar a riego la totalidad de las hectáreas de secano con potencial de riego identificadas en la situación actual.

De esta manera, las principales especies asignadas son frutales con 10.592 ha (principalmente almendros, cerezos, ciruelo europeo, nogales y paltos), de los cuales en la actualidad existen 521,7 ha. Luego la vid vinífera con 231,82 ha, con 193,7 ha existentes en la situación actual. Finalmente, las hortalizas totalizan 146 ha.

Desde el punto de vista de las demandas de agua en la situación actual, se tiene que, para el total del área bajo riego, se tiene que la demanda bruta alcanza los 94,5 millones de m³, con un mes de máxima demanda en enero con 1.713 m³/ha/mes. Cabe señalar que, en la situación con proyecto, se ha considerado que la tecnificación del sector bajo riego, alcanza al 100%.

6. Para la situación con proyecto, la estratificación de la envolvente total de los potenciales beneficiarios del proyecto queda de la siguiente manera.

Tabla N° 5-1 Envolvente total de potenciales beneficiarios del proyecto

Item	Tamaño Estrato (Ha)					Total
	0 a 1	1 a 5	5 a 15	15 a 50	Mayor a 50	
Superficie Regada	23	250	797	2.549	6.497	10.117
Predios Beneficiados	50	117	123	105	116	511

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar, los estratos entre 0 y hasta 15 ha, los que pueden considerarse como regantes pequeños (12 HRB), corresponden a aproximadamente un 57% de los predios a beneficiar por el proyecto, los que en superficie se corresponden con solamente el 11% de la superficie total del proyecto. Lo anterior hace notar que gran parte de la superficie a beneficiar tiene relación con grandes regantes.

7. La principal fuente de disponibilidad de recurso hídrico en el sector tiene relación con la posibilidad de uso de aguas provenientes desde el río Rapel, aguas debajo de la central Rapel, desde donde pueden ser utilizadas las aguas para riego, una vez, que estas han sido generadas por el embalse y central Rapel. Para la utilización de estas aguas, ha sido solicitado por parte de la DOH un derecho de agua de 100 millones de m³ anuales, que es el derecho de agua en el que se sustenta el proyecto. Este derecho de agua se encuentra en tramitación por parte de la DGA y pendiente de resolución. Esta solicitud se encuentra bajo el número de expediente ND-0603-5255 con fecha de ingreso a la Gobernación el 28 de agosto de 2020 e ingreso a la DGA con fecha 27 de octubre de 2020.

Este derecho de agua es de vital importancia para el proyecto, desde el punto de vista que entrega la seguridad hídrica al mismo y además, dependiendo de su forma de entrega en cuanto a tipo de caudal y distribución anual, dependerá el dimensionamiento de las obras de bombeo y requerimiento de obras de almacenamiento. Todo el diseño de las obras y sus presupuestos depende de este derecho de agua, su tipo y distribución.

8. Las disponibilidades de caudal en el río Rapel se encuentran dadas en época de invierno (meses entre abril y septiembre), mientras que las demandas máximas de los cultivos se encuentran entre los meses de diciembre y marzo. Producto de lo anterior, cualquier alternativa que busque mejorar el riego en el sector debe involucrar el desarrollo de obras de regulación, las que se deben desarrollar en las cercanías de la zona de riego.
9. Considerando las características geológico-geotécnicas de la zona en estudio, se tiene que las mejores alternativas de emplazamiento de embalses corresponden a los esteros La Virgen, Manquehua y el Rosario, los que permiten ubicar muros de presa que permitan el almacenamiento de agua.
10. Las características geológico-geotécnicas encontradas en la zona de las propuestas de muro de embalse involucran incorporar serias medidas de control de filtraciones y ejecución de obras de impermeabilización, lo anterior debido a la formación geológica de la Cueva existente en el sector, la que se caracteriza por arenas de alta compacidad, pero altamente sensibles en contacto con el agua (mediana dispersividad).
11. La dificultad geológica geotécnica detectada producto de la formación la Cueva, involucra efectuar la impermeabilización de las zonas de inundación de los embalses y sus fundaciones en los estribos. Lo anterior involucra un alto costo en este tipo de obras, el que puede llegar a un orden del 30% del costo total de los muros de embalse.
12. Desde el punto de vista de las disponibilidades de yacimientos para la ejecución de los muros de embalse, se han detectado cantidades que permiten cumplir de manera ajustada con los requerimientos de la DOH para este tipo de obras, los que corresponden a tener 2,5 veces volumen de rellenos requerido por muro.

13. Desde el punto de vista de la impulsión de las aguas desde bocatoma en el río Rapel hacia los sitios de embalse, se tiene que se deben superar altos desniveles (300m aprox.) con grandes caudales (6,0 m³/s), lo que involucra altas potencias de bombeo, las que llegan a los 35 MW y energías anuales del orden de 80 GWh. Lo anterior involucra necesariamente incorporar (en la alternativa más rentable) sistemas de energía del tipo mixto o combinaciones entre sistemas con ERNC y cliente libre. Esto garantiza tener un sistema continuo de abastecimiento energético.
14. La alimentación energética incorporado clientes libres, involucra tener capacidades instaladas in situ que permitan efectuar la captación y conducción mediante sistemas de alta tensión de las energías hacia la zona del proyecto, lo anterior involucra necesariamente el desarrollo de proyectos eléctricos de mayor envergadura para el análisis de esta parte del proyecto, al mismo tiempo que negociar con entes de generación como de distribución de energía.
15. Desde el punto de vista de las expropiaciones requeridas por el proyecto, se tiene que en el caso del embalse El Rosario se afectan a 2 propietarios, en el caso del embalse Manquehua a 59 propietarios y en el caso del embalse La Virgen a 25 propietarios. A Estos afectados, se hace necesario considerar además el número de expropiados por las obras de impulsión, conducción y distribución del sistema, los que corresponden a 88 afectados adicionales, siendo un total de 174 predios afectados, los que corresponden a 671 ha a expropiar. Desde el punto de vista de los derechos de agua, se tiene un total de 12 afectados.
16. Tema de gran importancia a considerar en este proyecto tiene relación con el alto parcelamiento que está ocurriendo en las comunas de Litueche, La Estrella y Navidad, lo anterior impulsado por un boom de compras que está ocurriendo en la zona por parte de foráneos y también por la baja productividad de los terrenos, los que al no tener agua no han podido ser utilizados en su potencial, salvo grandes agrícolas.
17. La mejor alternativa evaluada en el proyecto corresponde a la de construcción de un embalse de gran tamaño, correspondiente al embalse El Rosario, con un tamaño de 42,40 Hm³ (Escenario E3-2), el que permitiría el riego del orden de 4.768 ha, alimentado con un sistema de energía mediante 100% cliente libre, es decir, sin la inclusión de un sistema del tipo fotovoltaico ERNC.

Este proyecto (Escenario E3-2) tiene un costo de construcción de MM\$414.644 e involucra costos energéticos del orden de 3.504 MM\$/año y un costo por hectárea del proyecto de 87MM\$/ha. Bajo estas características, este escenario presenta una rentabilidad de VANS: 27.880 MM\$, con una TIRS de 6,40%.

Desde el punto de vista de las evaluaciones privadas, ninguna de las alternativas y escenarios analizados es rentable.

18. Desde el punto de vista de la sensibilidad de la evaluación económica, se tiene para el escenario E3-2, que un aumento del costo de las obras en un 20% ocasiona una rentabilidad negativa en el proyecto (VANS: - 44.399 MM\$). Con respecto a solo considerar el aumento del plazo de construcción de las obras en 1 o 2 años, el proyecto aún sigue siendo rentable (VANS: 6.240 MM\$).

Con respecto al aumento del valor de los precios agrícolas en un 10% ocasiona que aumente la rentabilidad del proyecto en el orden de 2,5 veces la rentabilidad original obtenida (VANS: 73.997 MM\$), y al mismo tiempo, un aumento importante en el valor de la TIR, llegando a valores cercanos al 7%.

19. Del análisis financiero desarrollado para la alternativa mejor evaluada (Escenario E3-2), se tiene que, para la disponibilidad de pago en el sector, se tiene que el subsidio que debería existir para el sector por parte del estado es de un ponderado anual de MM\$75 por predio y cuya suma de montos alcanza el 54,4% del total de los costos de las obras de riego. Producto de lo anterior, se aprecia que el proyecto no es rentable para los pequeños agricultores, mientras que si podría serlo para los grandes agricultores que pudieran emplazarse en la zona.
20. Desde el punto de vista de la posibilidad de uso multipropósito de las obras, se tiene que otro beneficio que puede tener el proyecto tiene relación con el abastecimiento de los APR existentes en el sector, sobretudo en las comunas de Litueche y La Estrella. En el caso de la alternativa de mejor rentabilidad, la zona que es posible beneficiar por medio de APR corresponde a la comuna de Litueche, la que corresponde al orden de 4.000 habitantes.
21. Considerando las características de las obras, se tiene que, para la construcción de las mismas, se requiere de la tramitación de permisos sectoriales vinculados con la Subsecretaría de Pesca, Consejo de Monumentos Nacionales, Autoridad Sanitaria, Servicio Agrícola Ganadero, Corporación Nacional Forestal, Ministerio de Obras Públicas y Ministerio de Vivienda y Urbanismo.
22. Desde el punto de vista de la gestión de las aguas, una vez ejecutado el proyecto, se plantea el desarrollo de 2 posibles administraciones que podrían implementarse, dependiendo si las obras son ejecutadas mediante D.F.L. 1.123 o Ley de Concesiones.

En el caso del D.F.L. 1.123, se deben implementar una Junta de Vigilancia que será la encargada de regular el uso de recursos hídricos en el río Rapel (entre entrega del embalse Rapel y descarga al mar), una Asociación de Canalistas que permita la coordinación e integración entre las comunidades de aguas de cada embalse y finalmente tres Comunidades de Aguas que serán las encargadas de distribuir los derechos de agua entre sus miembros (se plantea una comunidad por cada embalse).

En el caso de la Ley de concesiones, se plantea implementar una Junta de Vigilancia que regule los recursos hídricos del río Rapel y desde el punto de vista de la distribución hacia el interior del sistema, se dispondrá del "Concesionario", quien será el encargado de distribuir las aguas desde la bocatoma hacia la zona de riego, de acuerdo a los contratos suscritos por los usuarios e interesados en el proyecto.

23. Con relación al programa de participación ciudadana:

- Se implementó dentro de un contexto de pandemia, lo que implicó el reemplazo en las primeras etapas del estudio, de las actividades de reunión ampliadas, por el desarrollo de entrevistas y entrega de carpetas informativas de manera personal, acción que fue valorada por la comunidad.
- Por otro lado, el contexto de pandemia y las restricciones de aforo, junto con los riesgos de contagio, involucró el no poder generar una buena adhesión numérica a las actividades presenciales, lo que implicó una dificultad en la generación de lazos de confianza con la comunidad. Lo anterior se vio reflejado en la falta de apoyo por parte de los propietarios de los terrenos, con los trabajos de terreno desarrollados, dificultándose la obtención de los permisos de acceso.
- En la comuna de Navidad, sobre la base de las actividades desarrolladas, se logró avanzar hacia la generación de una nueva iniciativa de estudio por parte de la CNR y en el caso de La Estrella establecer compromisos de trabajo en forma paralela a este estudio, tendientes a generar herramientas de apoyo para mejorar su situación de riego actual.
- En las tres comunas involucradas en el estudio, en todas las reuniones de participación ciudadana que se implementaron existió poca participación del género femenino. Lo anterior se aprecia también en los resultados del estudio agronómico, donde se estimó a futuro, la generación de una gran cantidad de jornadas de trabajo masculinas por sobre las femeninas.

24. Con relación al Estudio de Análisis Ambiental:

- El proyecto debe someterse al SEIA mediante la elaboración de un EIA, según lo observado en los requisitos estipulados con la Normativa Ambiental vigente en Chile. En cuanto a la alimentación energética del proyecto, en el caso de requerirse la construcción de un parque fotovoltaico que abastezca parcialmente el sistema de riego (alternativas On Grid y Off Grid), también se requeriría del sometimiento al SEIA.

5.2. RECOMENDACIONES

1. Se debe efectuar seguimiento al derecho de agua de 100 millones de m³ anuales solicitado por la DOH, que es el derecho de agua en el que se sustenta el proyecto. Este derecho de agua se encuentra en tramitación por parte de la DGA y pendiente de resolución. Esta solicitud se encuentra bajo el número de expediente ND-0603-5255 con fecha de ingreso a la Gobernación el 28 de agosto de 2020 e ingreso a la DGA con fecha 27 de octubre de 2020.
2. Una vez otorgado el derecho de agua solicitado y se tenga claridad de los caudales otorgados y su tipo, se debe reevaluar el proyecto en su totalidad, ya que los tiempos y periodos de bombeo pueden cambiar sustancialmente respecto a los considerados en este estudio, lo que puede conducir a modificaciones importantes en el proyecto, tanto en los diseños de las obras como en la evaluación económica del mismo.
3. Como en este momento se encuentra en desarrollo una nueva Constitución para Chile, se recomienda reevaluar el proyecto teniendo una vez definido dicho texto definitivo, ya que el mismo puede significar cambios importantes en temas de derechos de agua y prioridades de desarrollo. Lo anterior puede hacer que se potencien alternativas como el uso del embalse Rapel y las aguas subterráneas que han sido descartadas en este estudio debido a lo señalado en la legislación existente a la fecha.
4. En caso de continuar el estudio en etapas siguientes, se recomienda llevar a cabo una actividad de participación ciudadana acabada en la zona, con detalle en específico en la obtención de permisos de acceso a los sitios de las obras y los trabajos, lo anterior debido a que no existe facilidad en la obtención de los mismos, es más existen varios sectores en los que no fue posible obtener los permisos correspondientes, lo anterior por no tener interés en el desarrollo del proyecto.
5. Desde el punto de vista también de las actividades de participación ciudadana y debido a lo extensa de la zona de estudio, se recomienda desarrollar actividades de participación ciudadana focalizadas en una mayor cantidad de sectores en la zona, al menos unos 5 sectores en la comuna de Litueche, lo anterior debido a lo extenso que son los sectores rurales. De igual manera se recomienda en otras actividades enfocarse más en el desarrollo de entrevistas en estas zonas más que en actividades ampliadas de participación ciudadana en un solo punto físico.
6. Se recomienda analizar en futuras etapas la posibilidad de utilización del sitio de embalse denominado Ucuquer, el que se ubica al interior de la agrícola Ucuquer ya que el sitio presentaba desde el punto de vista de inspección visual buenas condiciones para el emplazamiento de un muro de embalse.
7. Se recomienda analizar las tecnologías de desalación, una vez hayan disminuidos los costos de su implementación, esto porque en este estudio se tiene que dicha tecnología significaría una inversión de 306MM\$ /ha., pero que, sin embargo, significa una fuente casi “ilimitada” de recurso hídrico.

8. Debido que el proyecto de implementación de un embalse en el estero La Virgen, comuna de La Estrella, presenta una rentabilidad negativa, se recomienda descartarlo en futuros estudios y enfocar los trabajos en el sector de Manquehua alto o el Rosario, beneficiando a las comunas de Litueche y Navidad.
9. Debido a la condición geológica de la Cueva detectada en el sector, se recomienda en etapas futuras del estudio efectuar una campaña extensa de trabajos de terreno, de manera de disminuir el grado de incertidumbre respecto a las condiciones de fundación de los sitios de muro de presa. Lo anterior sobre la base de las arenas encontradas en el sitio Manquehua bajo y lo señalado por el estudio geológico que señala que es altamente probable que estas arenas y sus características también se encuentren en la zona de Manquehua alto, La Virgen y el Rosario por estar ubicadas en la misma formación geológica de La Cueva.
10. Se recomienda desarrollar un estudio de factibilidad de alimentación de energía eléctrica por medio de un cliente libre, al igual que el estudio de la distribución de la energía a la zona del proyecto, lo anterior, debido a que esta componente del proyecto es de una alta relevancia en el mismo ya que influye de sobremanera en los costos del mismo, sobretodo desde el punto de vista del costo directo como de los costos de operación del sistema.
11. Se recomienda en etapas siguientes del estudio prestar especial interés a la actualización de los usos de suelo en la zona, lo anterior debido al gran parcelamiento y loteo que está llevándose a cabo en el sector, lo que involucra que puede ser que en un futuro cercano se disponga de una menor superficie de riego y al mismo tiempo en alguna de las alternativas de ubicación de los sitios de embalse se produzca el parcelamiento y loteo de la zona del proyecto, lo que involucre pasar de unos pocos afectados por expropiación a una gran cantidad de predios, lo que inviabilizaría el proyecto de embalse.
12. Se recomienda en etapas futuras del proyecto y dependiendo de la evolución de la legislación del país, sobretodo en materia de derechos de aguas, volver a analizar la alternativa de utilización del embalse Rapel para el almacenamiento de los recursos para riego, los que en este estudio no pudieron ser utilizados debido a que dicho embalse tiene derechos del tipo no consuntivos, lo que no significa que dicha situación pueda cambiar a futuro.
13. Producto del cambio climático y a que la zona del proyecto presenta buenos indicadores edafoclimáticos, que permiten la incorporación de cultivos de alta rentabilidad y que las tecnologías de energía por medio de ERNC se encuentran continuamente en mejoramiento y evolucionando en el país, se recomienda mas adelante volver a evaluar dichas alternativas más adelante en el proyecto, ya que puede aumentar la rentabilidad del mismo y disminuir sus costos. Esta situación en la actualidad dio con altos costos de ejecución de ERNC y al mismo tiempo con rentabilidades que podrían verse aumentadas en función de la situación agroalimentaria del país en el futuro producto del cambio climático.

14. En la zona del proyecto, se recomienda desarrollar un programa de transferencia tecnológica en los predios agrícolas, enfocado en la innovación, incorporando tecnologías en los productos y procesos, independiente del tamaño predial, de manera de contribuir a la competitividad y sustentabilidad social, económica y ambiental del sector agropecuario. Lo anterior requiere de una toma de decisión por parte del agricultor, lo que involucra un proceso de aprendizaje que promueve un cambio de actitud mediante la adquisición de conocimiento.
15. Se recomienda el desarrollo de actividades de capacitación y difusión con un enfoque territorial, que priorice los temas a trabajar de acuerdo con las demandas locales, permitiendo una respuesta especializada y con alto nivel de irradiación, sobre la base de aquellos conocimientos y tecnologías que han sido validadas por agricultores referentes en la zona, ampliando la probabilidad de adopción por el resto de los agricultores, logrando así mayor cobertura e impacto.
16. Se recomienda apoyar a los productores agropecuarios de la zona por medio de actividades que permitan consolidar sus productos, generando valor agregado, creando o mejorando productos desde el punto de vista de su calidad, inocuidad y nivel de producción, que permitan iniciar y/o mejorar la inserción en el mercado.
17. Se recomienda diseñar y gestionar iniciativas que superen la mirada centrada únicamente en el emprendimiento individual y lograr asociatividad entre sus miembros, lo que les permitiría actuar conjuntamente ante las autoridades locales y constituyen mecanismos para la obtención de créditos, incentivos, insumos, capacitaciones y otros servicios, promoviendo el bienestar de sus miembros. Actualmente no existen ejemplos de asociatividad entre los agricultores en la zona de estudio.
18. Sobre la base de los comentarios recibidos en las actividades de participación ciudadana desarrolladas en el estudio, se recomienda el desarrollo de estudios de diseños preliminares de obras de mejoramiento en los sistemas de riego existentes en el sector, vinculándolos con consultores y concursos de la Ley de Riego 18.450. Esto debido a que los regantes del sector señalan que no existe interés por parte de los consultores por participar en dicho sector, lo anterior debido a que al no ser paquetes de obras no les conviene económicamente.
19. Con relación al programa de participación ciudadana:
 - Considerar la participación del conjunto de regantes o actores: En este estudio fue clave la integración de los grupos de riego, por lo que se recomienda esta misma forma de trabajo en futuras iniciativas, esto significa trabajar para reconocer y mantener los liderazgos de cada dirigente, lograr una mayor integración de los asociados, avanzar en la identidad de cada una de ellos y trabajar en conjunto en las convocatorias a las reuniones de PAC; para así lograr mantener la buena participación e interés demostrado por los regantes en la etapa de estudio básico realizada.

Además, se deberá retomar el contacto con los sectores que no tienen una asociatividad para insistir en que se organicen como comunidad y sean entes activos para la efectividad de los proyectos que se quieren desarrollar.

- Se recomienda la metodología utilizada en las reuniones realizadas, que permitió junto con entregar información, recibir y acoger las opiniones de los regantes a las necesidades que tienen como regantes y los intereses que tienen para poder desarrollar sus predios.
- Precisar la situación de cada una de las asociaciones de regantes: Se deberá conversar con los presidentes de cada asociación de regantes para identificar la disposición del conjunto de regantes de cada una de ellos para involucrarse con los proyectos.
- Continuar la relación con actores relevantes: Se deberá tener una especial atención con aquellas personas con capacidad de liderazgo e influencia en el grupo de presidentes de las diversas asociaciones de regantes y de las personas que destaquen en las zonas que no tengan una asociación de regantes creada. Así se podrá desarrollar con ellos un conjunto de conversaciones para dialogar y llegar a acuerdos sobre la forma de desarrollo de las iniciativas, recibiendo e incorporando sus opiniones e involucrarlos en el proceso.
- Continuar con la relación establecida con los servicios públicos: Se deberán mantener los contactos y la integración en el proyecto de las autoridades, direcciones regionales y comunales relacionadas con el proyecto, como Gobernaciones, SEREMI de OOPP, SEREMI de Agricultura, SEREMI Medio Ambiente, DGA, CNR, INDAP y Municipalidades de Navidad, Litueche y La Estrella, y de ese modo seguir contando con sus valiosos apoyos en los procesos de desarrollo de implementación de los diversos proyectos orientados para comuna.
- Generar espacios de conversación con los presidentes de las distintas asociaciones involucradas: Tomando en cuenta, lo valioso que resultaron estas reuniones en esta etapa de estudio de perfil, se deberían organizar reuniones técnicas con estos dirigentes para explicar y precisar los pasos a seguir para poder llevar el proyecto orientado para comuna al siguiente paso que es la factibilidad.
- Identificación de la situación al interior de cada asociación de regantes: En la siguiente etapa se deberá establecer una relación más directa con cada presidente de las asociaciones de regantes de cada sector, para identificar la realidad particular de cada una, identificar la situación relacionada con los derechos de agua y avanzar en procesos de regularización de derechos de aguas, en aquellas que lo necesitaran.

20. Con relación al Estudio de Análisis Ambiental

- Para el componente Patrimonio Cultural y Arqueológico, se recomienda que en la fase de construcción se implemente un monitoreo arqueológico de carácter permanente, producto de la posibilidad de reconocer elementos de interés patrimonial en el subsuelo en el área en la que se ejecutará el Proyecto. Junto a esto, se sugiere también la realización de charla de inducción arqueológica al inicio de la obra, realizada por una arqueóloga (o), para los trabajadores, contratistas y personal administrativo que participe en el proyecto.
- Se sugieren en un posterior estudio de EIA, profundizar en el análisis de los componentes que mantendrían las mayores presiones por intensidad de impactos (Calidad de agua, Flora y fauna acuática, Asentamiento Humano y Patrimonio arqueológico).
- Otros Estudios particulares recomendados, corresponden a: un diagnóstico del componente Ruido y Vibraciones, el cual se estima relevante dado que el área a intervenir es predominantemente rural y puede verse afectada en la etapa de construcción de las obras, permitiendo definir las medidas de mitigación con mayor precisión y asegurar el normal desarrollo de las actividades ecosistémicas.

