



ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD MEJORAMIENTO SISTEMA DE RIEGO EN RÍO SAN PEDRO, SAN PEDRO DE ATACAMA, REGIÓN DE ANTOFAGASTA

RESUMEN EJECUTIVO

SANTIAGO, FEBRERO DE 2014

Estudio Elaborado por:

ARRAU INGENIERÍA E.I.R.L.

Dir: María Luisa Santander 0231, PROVIDENCIA – SANTIAGO

Fonos: 02-23414800 – e-mail: oficina@arrauingenieria.cl – www.arrauingenieria.cl

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD MEJORAMIENTO SISTEMA DE RIEGO EN RÍO SAN PEDRO, SAN PEDRO DE ATACAMA, REGIÓN DE ANTOFAGASTA

INDICE GENERAL

- VOLUMEN I : INGENIERÍA**
- VOLUMEN II : TOPOGRAFÍA**
- VOLUMEN III : ESTUDIO AGROECONÓMICO**
- VOLUMEN IV : ESTUDIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL**
- VOLUMEN V : PARTICIPACIÓN CIUDADANA**
- VOLUMEN VI : PLANOS**

FEBRERO 2014

INDICE RESUMEN EJECUTIVO

Acápite	Descripción	Página
1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	ÁREA DE ESTUDIO	1
3.	IDENTIFICACIÓN Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	2
4.	OBJETIVOS DEL ESTUDIO	3
4.1.	OBJETIVO GENERAL	3
4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
5.	ESTUDIOS BÁSICOS	5
5.1.	CALIDAD DE AGUAS	5
5.1.1.	Diagnóstico de la Calidad del Agua en el Área de Estudio y Análisis Territorial	5
5.1.1.1.	Río Salado	5
5.1.1.2.	Río Grande	6
5.1.1.3.	Río San Pedro	7
5.1.1.4.	Sector Pueblo San Pedro de Atacama	9
5.1.1.5.	Síntesis de la Información	10
5.1.2.	Análisis Aguas Destinadas a la Vida Acuática	11
5.1.3.	Diagnóstico Base Para el Tratamiento de Salinidad de las Aguas en Hoya del Río San Pedro	12
5.1.4.	Mejoramiento de la Calidad del Agua	12
5.1.4.1.	Introducción	12
5.1.4.2.	Mejoramiento a Través de Tecnologías de Desalación	12
5.1.4.3.	Mejoramiento a Través de Alternativas de Obras	12
5.1.5.	Conclusiones y Recomendaciones	13
6.	ESTUDIO AGROECONÓMICO	15
6.1.	OBJETIVOS Y ALCANCES GENERALES	15
6.2.	LISTADO DE AGRICULTORES Y ESTRATIFICACIÓN PREDIAL	15
6.3.	SITUACIÓN ACTUAL	15
6.4.	SITUACIÓN SIN PROYECTO	16
6.5.	SITUACIÓN CON PROYECTO	16
6.6.	DEMANDAS DE AGUA PARA RIEGO	17
6.7.	BENEFICIOS AGRÍCOLAS NETOS DEL PROYECTO	18
6.7.1.	Beneficios Económicos Directos	18
6.7.2.	Generación de Empleo Agrícola	19
7.	ALTERNATIVAS DE OBRAS	19
8.	DISEÑO DE OBRAS	25
9.	PRECIOS UNITARIOS, CUBICACIONES Y PRESUPUESTOS	25
10.	ESTUDIO LEGAL DE DERECHOS DE AGUAS	28
10.1.	ANÁLISIS LEGAL DE LAS ALTERNATIVAS	30
11.	EVALUACION ECONÓMICA	30
11.1.	GENERALIDADES	30

INDICE RESUMEN EJECUTIVO

Acápite	Descripción	Página
11.2.	RESULTADOS	32
12.	ESTUDIO DE ANALISIS AMBIENTAL	35
13.	PARTICIPACIÓN CIUDADANA (PAC)	36
14.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES DEL ESTUDIO	38
14.1.	CONCLUSIONES	38
14.2.	RECOMENDACIONES	45

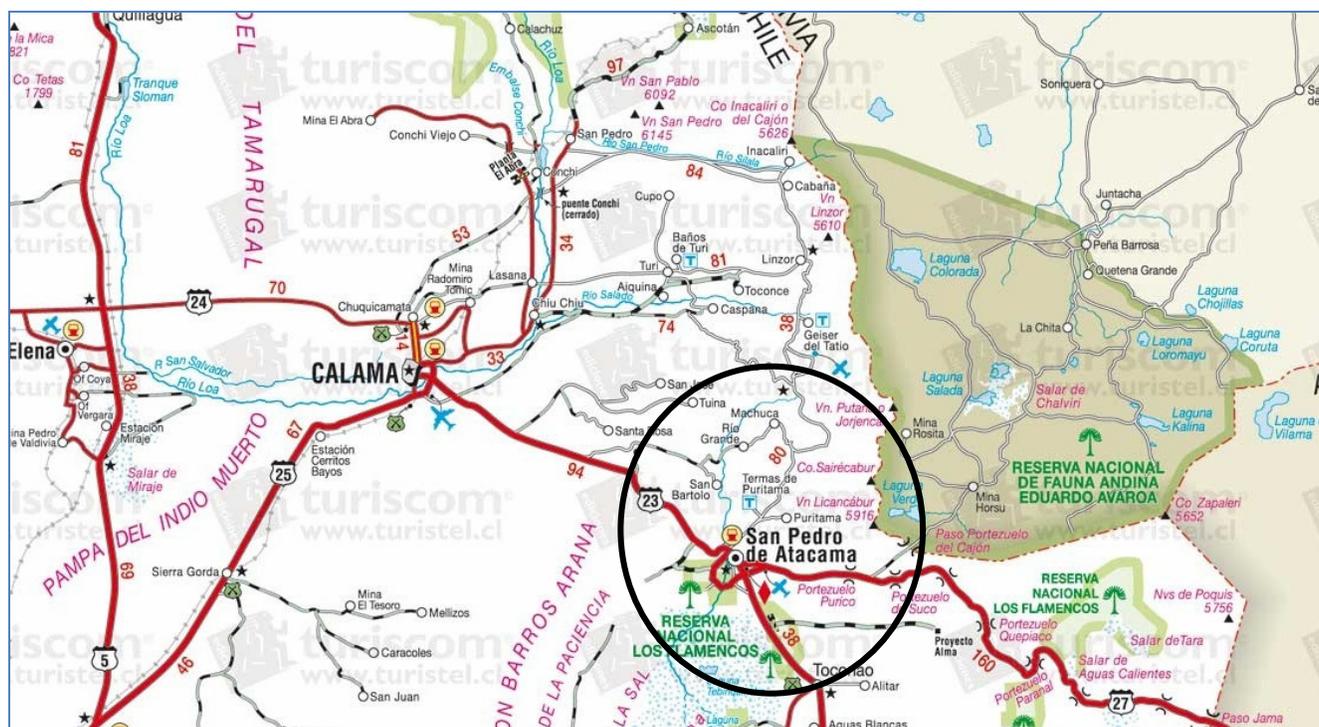
1. INTRODUCCIÓN

Este Resumen Ejecutivo corresponde al **Informe Final** de la Consultoría denominada “**Mejoramiento del Sistema de Riego en Río San Pedro, San Pedro de Atacama, Región de Antofagasta**”, fue desarrollado por la Comisión Nacional de Riego y adjudicado a la empresa consultora ARRAU INGENIERIA E.I.R.L., mediante la Res. CNR N°66 de 5-9-12, estableciéndose su comienzo oficial el día 4 de octubre de 2012.

2. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se ubica en la comuna de San Pedro de Atacama, Provincia del Loa, II Región, aproximadamente a 100 km al suroeste de la ciudad de Calama a 2.438 m.s.n.m., cerca del extremo norte del salar de Atacama, entre los 22°22' S y los 24°21' S de latitud y entre los 67°00' O y los 68°40' O de longitud. En Figura 2-1 se presenta la ubicación geográfica del área de estudio.

**FIGURA 2-1
UBICACIÓN DEL PROYECTO**



Fuente: Sitios.cl

Los accesos a San Pedro de Atacama se encuentran en buen estado, pudiendo acceder desde Calama, Socaire y Argentina por camino asfaltado; y desde el Tatio por camino de tierra.

En la comuna de San Pedro de Atacama cruza el río San Pedro, del cual se utilizan sus aguas para riego. En el sector de Cuchabrache se unen los afluentes río Salado y río Grande, formándose este último por la confluencia de los ríos Jauna y Putana, que nacen de las vegas del mismo nombre.

3. IDENTIFICACIÓN Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

San Pedro de Atacama es un sector al interior de Calama en la Región de Antofagasta, en el cual queda ubicada la localidad homónima en medio de un vasto desierto atacameño. Constituye desde hace mucho tiempo, un importante atractivo turístico, nacional e internacional, para la región de Antofagasta, lo cual configura un sector socioeconómico de alto potencial de desarrollo. No obstante lo señalado anteriormente, uno de los grandes problemas, para elevar significativamente el nivel del desarrollo socioeconómico, viene dado por la muy baja calidad de la agricultura atacameña, la que se mantiene desde mucho tiempo en niveles de subsistencia. Esta realidad del sector agrícola se explica, casi en su totalidad, por la muy mala calidad y baja seguridad de abastecimiento de agua, tanto para el riego como para otros usos básicos.

Contribuye básicamente a la mala calidad de las aguas, el alto contenido salino que contienen las aguas que se utilizan a partir de los cauces de la hoya del río San Pedro y sus afluentes, como lo son el río Salado y el río Grande.

El río Grande es afluente del río San Pedro, siendo este último el que utiliza para el riego en el sector de San Pedro de Atacama. En el sector de Cuchabrache se une al río Grande el río Salado, que aporta una concentración altísima de sal, disminuyendo de esta forma la calidad de agua que utiliza en el regadío.

La actividad agropecuaria de casi toda la comuna de San Pedro de Atacama, se basa en la explotación de los ayllus, que forman sectores agrícolas pequeños, los cuales debido a la escasa disponibilidad y la mala calidad de las aguas, no pueden, en la situación actual, tener grandes expectativas de mejorar la explotación de sus cultivos.

Actualmente en el Río San Pedro no existen obras de regulación, y se producen aumentos considerables del caudal medio de dicho río y sus afluentes durante las crecidas que ocurren recurrentemente entre los meses de Diciembre a Marzo, provenientes de intensas precipitaciones convectivas originadas por el fenómeno conocido como el invierno altiplánico ó boliviano. Tales crecidas afectan la mayoría de las veces a los poblados interiores y Ayllus de San Pedro de Atacama al generar ciertas pérdidas en la infraestructura pública por los desbordes que dañan algunos caminos secundarios impidiendo por algún tiempo la adecuada conectividad del entorno; pérdidas en infraestructura de riego existente en sectores adyacentes al cauce y además las consecuentes pérdidas a predios agrícolas que están expuestos a inundaciones.

El regadío de San Pedro se encuentra en una situación crítica, viéndose amenazada su subsistencia, debido principalmente al abandono de la tierra por parte de la juventud, que hoy encuentra mayores incentivos en otros lugares ó otras actividades que proporcionan mayores ingresos.

La solución a estos problemas pasa por una capacitación agrícola y asistencia técnica permanente a los agricultores, además de la construcción de obras para el mejor aprovechamiento del escaso recurso del agua, de manera que la agricultura pueda generar rentabilidad que la haga atractiva.

Por tanto, se pretende definir alternativas de mejoramiento del riego, en la zona de San Pedro, que considere alternativas como: una obra de embalse para riego, el mejoramiento y/o diseño de las redes de conducción y distribución que permitan transportar el agua en forma eficiente, y además regulación de las crecidas; aumentando así la superficie de riego y potenciando la agricultura de la comuna y evitando los daños producidos por las crecidas. Se espera además un análisis del potencial de generación hidroeléctrica que pudiera obtenerse de este embalse.

4. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

4.1. OBJETIVO GENERAL

El presente estudio tiene por *objetivo general*, proponer y evaluar alternativas de mejoramiento para el sistema actual de riego de la Comuna de San Pedro, Región de Antofagasta y el control de crecidas del río, proponiendo alternativas como: un embalse que tenga uso múltiple principalmente para riego y control de crecidas y el mejoramiento de la red de conducción y distribución de agua, asociada a la zona beneficiada por el futuro embalse u otras obras que cumplan la misma función.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos del estudio son:

- Seleccionar la mejor alternativa de mejoramiento del riego, ya sea a través del emplazamiento de un embalse y sus obras anexas, u otra solución; y desarrollar sus diseños a nivel de diseños preliminares para el caso de un embalse o diseños definitivos en caso de soluciones de otro tipo.
- Analizar la situación de los recursos hídricos de la cuenca, identificando los derechos de agua que se hayan concedido, los que estén sin regularizar, así como aquellos recursos excedentes que pudieran ser regulados, embalsados y/o encauzados.

- Obtener un compromiso con las organizaciones de regantes, de inicio del trámite de regularización y/o perfeccionamiento de sus derechos de aguas
- Definir el trazado de los canales necesarios y elaborar sus diseños preliminares, para las zonas de nuevo riego.
- Evaluar alternativas de mejoramiento de los canales de la red existente y plantear a nivel de diseño la alternativa elegida.
- Identificar y evaluar los daños que producen las crecidas y sedimentos de acuerdo a distintos períodos de retorno.
- Plantear a nivel de diseño preliminar las obras de control de las crecidas, en el caso de que la solución no sea un embalse.
- Plantear diversos escenarios de proyecto, considerando los tres usos del embalse, la red de conducción y distribución. Caracterizarlos con estudios de ingeniería, agronomía y ambientales, a nivel de prefactibilidad.
- Realizar el diseño de ingeniería del aforo remoto de caudales en los canales.
- Estudiar la operación del sistema riego-control de crecidas-generación y optimizarla.
- Determinar los beneficios y costos para cada escenario de proyecto.
- Precisar los impactos ambientales, las medidas de mitigación y sus costos.
- Analizar y proponer alternativas de financiamiento para los proyectos de hidrogenación, así como el Modelo de Negocios y Operación.
- Desarrollar un Programa de Participación Ciudadana
- Evaluar económicamente las alternativas planteadas y recomendar la más conveniente.

5. ESTUDIOS BÁSICOS

5.1. CALIDAD DE AGUAS

Calidad del agua es un término relacionado a la composición del agua en la medida en que esta es afectada por la concentración de sustancias ya sea tóxicas o producidas por procesos naturales. De acuerdo con lo anterior, tanto los criterios como los estándares y objetivos de calidad de agua variarán dependiendo de si se trata de agua para consumo humano (agua potable), para uso agrícola o industrial, para recreación, para mantener la calidad ambiental, etc.

El objetivo de este estudio fue realizar un análisis global sobre la calidad del agua y la contaminación de las aguas en la hoya del río San Pedro, que consistió en que se analicen y determinen las causas de la contaminación de ellas, principalmente debida al alto contenido salino que poseen, en forma especial las aguas que escurren a través del Río Salado, afluente del Río San Pedro.

5.1.1. Diagnóstico de la Calidad del Agua en el Área de Estudio y Análisis Territorial

5.1.1.1. Río Salado

El Salado en la primera parte de su curso tiene un contenido salino moderado, que corresponde a la clasificación de la NCh 1.333 para riego “agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadoso”, por su CE y SDT, con valores del orden de 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 1.500 ppm respectivamente.

Poco después del cruce con el camino al Establecimiento San Bartolo, en donde existe un umbral de roca, el agua sufre un aumento brusco de salinidad, el que se produce en un corto trecho de menos de 1 km, lo que se explicaría con la aparición de una napa subterránea con fuerte concentración de sal (Dávila, 1960). Este sector es conocido, también, como la quebrada Salmuera.

Después, el río Salado recorre unos 13 km por un cajón sumamente estrecho y abrupto, aumentando paulatinamente su salinidad (Dávila, 1960).

El agua llega al río San Pedro con un “agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos”, muy cercano al límite superior, con valores de CE de 7.200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y de SDT de 5.000 ppm.

Se observó en terreno que el suelo aledaño al curso de agua presenta una costra salina, más bien disgregada, que al aumentar el caudal es arrastrada por las aguas.

Según el diagrama de Stiff las aguas en el primer muestreo son cloradas sódicas y las del segundo muestreo son sulfatadas sódicas.

La clasificación del agua según USSLS (Unites States Laboratory Salinity Staff) indica que el agua en el primer muestreo es clasificada como C4S2, que indica un agua media en sodio¹ y de muy alta salinidad². En el caso del segundo muestreo, el agua es clasificada como C4S3³ alta en sodio y muy alta en salinidad.

En el primer muestreo la NCh 1.333 para riego es superada para sodio y sulfatos. En el segundo muestreo se superan los cloruros, el sodio y los sulfatos. Estos datos se relacionan con el análisis de los diagramas de Stiff en el que se evidencia un alto contenido de sales cloradas sódicas en el primer muestreo y sulfatadas sódicas en el segundo muestreo. También muestra relación con el alto índice de CE y SDT ya analizado.

Para la NCh 1.333 el parámetro que presenta mayores problemas de control son los cloruros, que superan por 3 veces la norma en el segundo muestreo, el sodio supera 2 veces la norma en ambos muestreos y los sulfatos superan la norma, sin embargo supera por poco el valor normado. Respecto de la NCh 409, los parámetros que superan la norma son los cloruros y los sulfatos.

5.1.1.2. Río Grande

El agua en el río Grande, aguas arriba de la comunidad del mismo nombre, es clasificada como “agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita métodos de manejo cuidadoso” (NCh 1.333), tanto por su CE como por los SDT, cuyos valores son 1.700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 1.240 ppm respectivamente. En el cruce del camino en el poblado de río Grande, el agua tiene una calidad bastante similar. Antes de reunirse con el río Salado, ha aumentado moderadamente la CE (2.690 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y los SDT (1.890 ppm), sin embargo los valores siguen en la misma clasificación.

¹ En suelos de textura fina el sodio representa un peligro considerable especialmente si dichos suelos presentan una alta capacidad de intercambio de cationes. Esta agua solo puede emplearse en suelos de textura gruesa o en suelos orgánicos de buena permeabilidad.

² No puede usarse en suelos cuyo drenaje sea deficiente. Aun con drenaje adecuado se pueden necesitar prácticas especiales de control de la salinidad, debiéndose, por lo tanto seleccionar únicamente aquellas especies vegetales muy tolerantes a las sales.

³ Agua alta en sodio. Puede producir niveles tóxicos de sodio intercambiable en la mayor parte de los suelos, por lo que éstos necesitarán prácticas especiales de manejo. Los suelos yesíferos pueden no desarrollar niveles perjudiciales de sodio intercambiable cuando se riegan con este tipo de aguas.

En el muestreo efectuado en el estudio de Arrau (2000), se observa un aumento paulatino de la conductividad eléctrica de aguas arriba a aguas abajo, con valores bastante similares al muestreo efectuado en la presente consultoría.

Observaciones de terreno indican que en las riberas de los cauces es común encontrar sectores de aspecto blanquecino producto de depositaciones de sales, razón por la que si aumentan los caudales, se produce un lavado de estas sales, las que son incorporadas a la corriente natural, aumentando de esta forma la concentración salina de las aguas (Arrau, 2000).

Según el diagrama de Stiff las aguas en el primer muestreo tienen un leve predominio de las sales cloradas sódicas, sobre las sulfatadas sódicas y las del segundo muestreo son sulfatadas sódicas.

La clasificación del agua según USSLS (Unites States Laboratory Salinity Staff) indica que el agua en el primer muestreo es C3S1, que indica un agua de salinidad alta⁴ y baja en sodio⁵ y en el segundo muestreo es clasificada como C3S2, que indica un agua alta salinidad y agua media en sodio.

En el río Grande se puede observar que en el primer muestreo se superan Arsénico, Boro, Sodio y Sulfatos. En el segundo muestreo se superan estos mismos parámetros además de Cloruros y Fierro.

Los parámetros que superan mayor cantidad de veces la norma corresponden al Sodio y al Boro, sin embargo el Arsénico es superado por cerca de dos veces. La NCh 409 es superada por cerca de 4 veces en ambos muestreos, lo que muestra que la potabilización del agua se dificulta debido a la necesidad de reducir la cantidad de arsénico mediante plantas de tratamiento especializadas.

5.1.1.3. Río San Pedro

El agua en el río San Pedro, en el sector de Cuchabrachi, respecto de la CE (valores promedio datos BNA) y SDT (promedio muestreos), es clasificada como “agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita métodos de manejo cuidadoso” (NCh 1.333), cuyos valores son 2.778 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 1.823 ppm respectivamente. Aguas debajo de la bocatoma del canal San Pedro, el agua tiene una calidad de “agua que puede ser usada

⁴ No puede usarse en suelos cuyo drenaje sea deficiente. Aun con drenaje adecuado se pueden necesitar prácticas especiales de control de la salinidad se pueden cultivar plantas moderadamente tolerantes a las sales.

⁵ Puede utilizarse para el riego en la mayoría de los suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable. No obstante, los cultivos sensibles como algunos frutales, pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio.

para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de trabajo cuidadosos" (muestreo puntual in situ) con una CE de 3.610 μ S/cm y SDT 2.530 ppm.

Según el diagrama de Stiff las aguas son sulfatadas sódicas en ambos muestreos.

La clasificación del agua según USSLS (Unites States Laboratory Salinity Staff) indica que el agua en el primer muestreo es C3S2, que indica un agua de salinidad alta y media en sodio y en el segundo muestreo es clasificada como C4S2, que indica un agua de salinidad muy alta y agua media en sodio.

En el río San Pedro en el primer muestreo se superan los parámetros Boro, Cloruros, Sodio y Sulfatos. En el segundo muestreo se superan los parámetros Arsénico, Boro, Cloruros, Manganeso, Sodio y Sulfatos.

Se puede observar que el parámetro de los muestreos realizados en la presente consultoría, que supera mayor cantidad de veces la norma, corresponde al Boro. Respecto de los valores promedio, todos los parámetros superan la norma, pero ninguna se supera por más de 5 veces, sin embargo los valores máximos superan con creces los valores de ambas normas para Arsénico y Cloruros, además del Boro en el caso de la NCh 1.333.

Respecto de los valores analizados de la estación San Pedro en Cuchabrachi, se realiza un análisis respecto de la NCh 1.333 para riego, analizando el total de las muestras históricas con las que se cuenta.

La norma establecida para el Aluminio es de 5 mg/L. Se han considerado 43 muestras a contar del año 1995, de las cuales el 23% sobrepasa la NCh 1.333 para riego, al igual que el valor promedio de las muestras.

La norma establecida para el Arsénico para riego es de 0,1 mg/L y para agua potable es de 0,05 mg/L. Se han considerado 86 muestras a contar del año 1968, de las cuales el 74% sobrepasa la NCh 1.333 para riego y el 86% sobrepasa la NCh 409. El valor promedio de las muestras supera la norma.

La norma establecida para el Boro es de 0,75 mg/L. Se han considerado 94 muestras a contar del año 1967 y se sobrepasa el 100% de las veces la NCh 1.333 el valor promedio supera la norma.

La norma establecida para Cloruros es de 200 mg/L. Se han considerado 83 muestras a contar del año 1967, para éstas se sobrepasa la norma en el 100% de los casos, con un valor promedio que supera la norma cerca de 4 veces y el valor máximo de la serie supera cerca de 30 veces la norma. El valor máximo ocurre en el verano de 2002.

La norma establecida para CE está definida por rangos, los que caracterizan la calidad del agua asociando los valores de este parámetro con los SDT. El número de datos es de 107 muestras a partir del año 1967. El 100% de los datos presenta valores de restricción para cierto tipo de cultivos. El valor máximo establecido en la norma es de 7.500 mmhos/cm, el que es superado en uno de los casos correspondiente al año 2012.

La norma establecida para fierro es de 5 mg/L. se han considerado 64 muestras a partir de 1978, en que el 11% de los casos supera la norma. El valor promedio no supera la norma.

La norma establecida para Manganeso es de 0,2 mg/L. Se han considerado 41 datos a partir de 1997, donde la norma es superada un 12% de las veces. El valor promedio supera norma.

La norma establecida para Sulfatos es de 250 mg/L. Se han considerado 80 datos obtenidos a partir de 1967, superando el valor normado un 82,5% de las veces. El valor promedio supera norma.

Respecto de los valores alcanzados en crecidas, se tiene el registro de la estación Cuchabrachi en marzo de 2012, luego de la gran crecida ocurrida ese año. Los valores alcanzados para CE fueron del orden de los 15.000 μ S/cm, superando ampliamente el valor sugerido para el uso en riego. Cabe destacar que la crecida ocurrió a mediados de febrero, lo que muestra que el efecto de ésta en la salinidad fue mayor a un mes.

Además se tomaron muestras durante la crecida ocurrida en el presente año (7 de febrero), obteniendo valores de Cloruros (2.462 mg/L) y de SDT (4.882 mg/L), por lo que se estiman valores cercanos a los 8.000 μ S/cm. En muestras posteriores, los días 9 y 14 de febrero se presentan valores de CE y SDT normales para la zona, con 2.500 μ S/cm y 1.780 ppm el día 9 y 2.080 μ S/cm y 1.480 ppm el día 14.

A pesar que no se cuenta con registros de crecidas anteriores, lo transmitido oralmente por los regantes, es que al ocurrir una crecida, ellos “prueban” el sabor del agua, que generalmente se pone salada, lo que les indica que no deben regar y la dejan pasar por el río a la “playa” (la dejan correr hacia el salar), esto hasta que nuevamente adquiere un sabor no salado, lo que indica que nuevamente pueden regar. Esta ausencia de riego puede durar hasta unas 3 semanas, lo que indica que las condiciones de calidad regular del agua no mejoran automáticamente al finalizar la crecida.

5.1.1.4. Sector Pueblo San Pedro de Atacama

El Canal San Pedro es estudiado ya que es el agua que ha pasado por cierta parte del sector de riego y podría presentar problemas biológicos, especialmente por los resultados de estudios anteriores. Afortunadamente se ha registrado un valor muy bajo de coliformes

fecales en ambos muestreos. El sector muestreado corresponde a las cercanías de hoteles de importancia en el pueblo.

El agua en el canal San Pedro, en el sector del pueblo, respecto de la CE y SDT, es clasificada como “agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita métodos de manejo cuidadoso” (NCh 1.333), posee valores de 2.848 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 2.048 ppm, respectivamente.

Según el diagrama de Stiff las aguas son sulfatadas sódicas en ambos muestreos.

La clasificación del agua según USSLS (Unites States Laboratory Salinity Staff) indica que el agua en el primer y en el segundo muestreo es C3S3, que indica un agua de salinidad alta y alta en sodio.

Se puede observar los parámetros que superan la NCh 1.333 en el primer muestreo son Arsénico, Boro, Cloruros, Sodio y Sulfatos. En el segundo muestreo se superan los mismos parámetros además del manganeso.

El Boro es superado más de 7 veces respecto de la NCh 1.333 para riego en el primer muestreo y 3 veces en el segundo. El arsénico es superado en el segundo muestreo cerca de 3 veces y el cloruro supera 3 y 4 veces la norma en el primer y segundo muestreo, respectivamente. En el caso de la NCh 409 el Arsénico y el Cloruro superan la norma, en el segundo muestreo el Arsénico supera más de 6 veces la norma.

5.1.1.5. Síntesis de la Información

A continuación se presenta una síntesis de la información en el Cuadro 5.1.1.5-1, en el que se presentan las principales características de los cursos de agua estudiados.

**CUADRO 5.1.1.5-1
SÍNTESIS DE LA INFORMACIÓN**

Curso de Agua	Sector	USLSS	NCh 409	NCh 1.333
Río Salado	Parte alta	C4S2 Agua salinidad muy alta y media en sodio. C4S3 Agua salinidad muy alta y alta en sodio	Se superan: Cloruros, sulfatos y en menos medida As.	Agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadoso. Se superan: Cloruros, Sodio, Sulfatos.
	Antes junta río Grande	-	-	Agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos.
Río Grande	Antes de localidad Río Grande	C3S1 Agua baja en sodio y salinidad alta C3S2 Agua media en sodio y salinidad alta	Se supera As, Cl y SO4.	Agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita métodos de manejo cuidadoso Se supera B, As, Fe, Na, Cl y SO4

CUADRO 5.1.1.5-1 SÍNTESIS DE LA INFORMACIÓN

Curso de Agua	Sector	USLSS	NCh 409	NCh 1.333
	Antes de la junta con el río Salado	-	-	Agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita métodos de manejo cuidadoso
Río San Pedro	Cuchabrachi	C3S2 Agua alta en sodio y salinidad media C4S2 Agua muy alta en sodio y salinidad media	Se supera levemente As, Cl y SO ₄ ; en crecida se supera el As cerca de 50 veces y los Cloruros cerca de 20 veces.	Agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita métodos de manejo cuidadoso. Se superan: B, Cloruros, As, Na y SO ₄ . En la crecida de 2012 Se superan 20 veces As, B y Cloruros.
	Bajo bocatomá canal San Pedro	-	-	Agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de trabajo cuidadosos

Fuente: Elaboración Propia.

5.1.2. Análisis Aguas Destinadas a la Vida Acuática

Los valores de Oxígeno Disuelto (OD) en todos los puntos indican una calidad de agua aceptable, la que está relacionada con la alta salinidad y la menor presión atmosférica asociada a la altura sobre el nivel del mar. No se visualizan fuentes puntuales de contaminación que hagan suponer que el origen de los valores de OD son antrópicos. Los valores presentados en el estudio DGA-2004⁶ correspondiente a una campaña de monitoreo, son cercanos a 7 mg/L durante los meses de verano, lo que hace suponer que los valores de este parámetro se mantienen aceptables para la vida acuática en forma constante.

La temperatura promedio en verano en la estación San Pedro en Cuchabrachi corresponde a los 20 °C, los que se comparan con los valores medidos, que se consideran normales, a excepción de los valores medidos en el pueblo de San Pedro, que han aumentado más de 5° C respecto del valor promedio; sin embargo no se presentan descargas que puedan hacer suponer un aumento de la temperatura por fuentes puntuales, mas bien se supone un efecto del embalsamiento de las aguas en el tranque Guachar y el transporte del agua por medio de canales revestidos, asociado a una alta radiación solar.

Todos los valores alcalinidad medidos hacen ver que el agua tiene una alta capacidad amortiguadora para resistir caídas del pH (neutralización de ácidos).

El resto de los parámetros observados indican valores y/o aspectos cualitativos asociados a una adecuada calidad del agua para la vida acuática, según lo expresado en la NCh 1.333 para este uso.

⁶ DGA, 2004. Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua según Objetivos de Calidad, Cuenca Salar de Atacama.

5.1.3. Diagnóstico Base para el Tratamiento de Salinidad de las Aguas en Hoya del Río San Pedro

En el río Salado la salinidad aumenta bruscamente en el sector donde se encuentra la quebrada Salmuera. Este cambio puede deberse a un aporte de aguas subsuperficiales de mayor salinidad, ya que no se observa un aporte superficial que pudiera explicar el aumento. Desde ese punto hacia abajo, se mantienen los valores altos, presentándose un ligero aumento en la CE.

Los valores que se presentan en el río Grande corresponden a una CE alta, pero estos a pesar de presentar una tendencia creciente, no sobrepasan por mucho los 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que son valores con los que usualmente se riega en San Pedro de Atacama.

En el río San Pedro, la salinidad aumenta con la distancia, alcanzando valores superiores a los 3.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

5.1.4. Mejoramiento de la Calidad del Agua

5.1.4.1. Introducción

Se presentan las alternativas de tratamiento evaluadas para el mejoramiento de la calidad del agua asociada al mejoramiento del sistema de riego en el río San Pedro. En primer lugar, se ha estudiado lo que se refiere a tecnologías de desalinización, sus aplicaciones y su uso en Chile. En segundo lugar se han estudiado las obras factibles para mejorar la calidad del agua y los efectos esperados.

5.1.4.2. Mejoramiento a Través de Tecnologías de Desalación

Se han estudiado los procesos termales de destilación solar, destilación Multi Etapa (MSF), Destilación Multi Efecto (MED), Compresión Mecánica de Vapor (CMV); las tecnologías de membranas de micro, ultra y nano filtración, electrodiálisis, osmosis inversa, las plantas de tratamiento BOROLESS, tecnología ABAR.

Se evaluaron los costos de las tecnologías mencionadas anteriormente, y se concluye que, actualmente, los costos son altísimos, lo que lo hace inviable para los grandes caudales para riego, especialmente por la inaccesibilidad del terreno, entre otros factores.

5.1.4.3. Mejoramiento a Través de Alternativas de Obras

En el Cuadro 5.1.4.3-1 se presenta un resumen de los resultados para cada alternativa.⁷

⁷ Las alternativas de obras son explicadas en el Acápito 7 de este Resumen Ejecutivo.

CUADRO 5.1.4.3-1
RESUMEN ANÁLISIS ALTERNATIVAS CALIDAD DE AGUAS

Alternativa	Resultado CE en Bocatoma ($\mu\text{S/cm}$)
Sin proyecto	2.700
Alternativa 1	2.285
Alternativa 2	2.388
Alternativa 3	2.165
Alternativa 4	2.464
Alternativa 5	6.644

Fuente: Elaboración Propia.

La alternativa que favorece en mayor medida la entrega de agua de mejor calidad a la actual, es la Alternativa 3, que entregaría en bocatoma agua con valores de CE cercanos a los 2.170 $\mu\text{S/cm}$, lo que mejora los valores actuales, aunque igual se mantiene en valores que representan niveles altos de contaminación y que corresponden a agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadoso según la NCh 1.333.

El análisis mostrado sugiere que la alternativa 5 no debería continuar en análisis ya que no permite mejorar la calidad del agua, mejoras que sólo se obtendrían con el uso de sistemas de tratamiento que hacen la solución aún más costosa.

5.1.5. Conclusiones y Recomendaciones

Al considerar en conjunto los resultados de calidad, se observa lo siguiente:

- Las aguas del Río San Pedro en sus distintos tramos presentan claros problemas de contaminación, lo que se manifiesta en altas salinidades detectadas, y otros parámetros fuera de rango en relación a sus valores normados, ya sea como agua para riego o agua potable. En particular el boro y el arsénico muestran los problemas mayores.
- Si bien se ha realizado un completo diagnóstico de las aguas en situación de escurrimiento normal, existe una falta de datos sobre el comportamiento en régimen de crecidas, tanto de los volúmenes, como de los datos de calidad; se recomienda la instalación de una red de medición en la cuenca, que permita conocer el comportamiento de los parámetros de importancia en distintos puntos y en su relación con el caudal. La recolección de los datos, debería efectuarse en forma automática, a excepción de aquellos parámetros que requieren de análisis de laboratorio y ser almacenados en un Data

Logger. Los parámetros a analizar que se pueden medir en forma automática *in situ* son: pH, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales; aquellos que no son de medición automática son Boro, Arsénico, Cloruros, Sodio, Sulfatos, además del Mercurio (que presenta niveles que deben ser investigados con mayor profundidad), podrían colectarse por medio de un muestreador automático que dé aviso a un teléfono celular que la muestra fue tomada, para que esta sea llevada a laboratorio; otra opción para abaratar los costos es efectuar los muestreos puntuales durante los eventos de crecidas, lo que aumenta el riesgo que el muestreo no se realice, ya que en la emergencia, es posible que la institución a cargo tenga prioridades propias de la emergencia. Además, es menester que estos datos sean analizados en correlación con los datos de caudales. Los puntos recomendados son: en el río Grande aguas arriba del pueblo de Río Grande y en San Bartolo; en el río Salado 1 km aguas arriba del camino a San Bartolo y 1 km antes de la confluencia con el río Grande; en el río San Pedro: en la estación río San Pedro en Cuchabrachi, 1 km aguas arriba de la bocatoma del canal San Pedro y a la altura del hotel Alto Atacama.

- Las tecnologías estudiadas son útiles, pero los costos del tratamiento son altísimos, lo que lo hace inviable para los grandes caudales para riego, especialmente por la inaccesibilidad del terreno, entre otros factores ya explicados, no se recomienda un sistema de desalinización solar para las aguas del río Salado, ya que los existentes son para un volumen inferior de agua a tratar. Cabe señalar que no se excluye la tecnología en el tratamiento de caudales menores, que permitan un manejo intrapredial o para varios predios.
- Dados los altos costos de instalación que tendría una obra de este tipo, lo que se aconseja a priori es que el embalse en el río Grande sea sólo para controlar crecidas. Adicionalmente, se analiza la posibilidad de instalar una planta de osmosis inversa al pie del embalse, en conjunto con una Mini Central Hidroeléctrica (MCH) para usos complementarios al riego (agua potable). Por lo tanto, la viabilidad del proyecto estaría dada por la capacidad de generación de la MCH, ya que si la energía generada no es suficiente para hacer funcionar la planta, el tratamiento de las aguas no sería viable.
- Las obras a implementar estudiadas entregan buenos resultados en condiciones normales de escurrimiento, recomendando como mejor alternativa la N° 3. Sin embargo es menester investigar en las próximas etapas de este proyecto las crecidas y sus efectos en toda la cuenca, cosa ya detallada, además de un estudio hidrogeológico del sector donde se propone implementar el embalse de acumulación, para poder estudiar el efecto sobre la salinidad y concentración de otros parámetros, que pudiera tener el suelo, siendo fondo y paredes del embalse propuesto.

- El mejoramiento mediante lixiviación es la forma que en que se ha efectuado el riego en la zona tradicionalmente, pero requiere de grandes volúmenes de agua dedicados a este fin, por lo que una mejora en la calidad del agua en la bocatoma permitiría ahorrar grandes volúmenes de agua.

6. ESTUDIO AGROECONÓMICO

6.1. OBJETIVOS Y ALCANCES GENERALES

El estudio agroeconómico pretende evaluar los beneficios económicos del proyecto de mejoramiento del riego, comparando 3 escenarios distintos: Situación Actual (SA), Situación Sin Proyecto (SSP) y Situación Con Proyecto (SCP).

El área de influencia corresponde a las zonas de riego ubicadas en el valle de San Pedro de Atacama y que se abastecen por la red de canales que captan recursos directamente del cauce principal y el canal matriz.

6.2. LISTADO DE AGRICULTORES Y ESTRATIFICACIÓN PREDIAL

Una vez establecida la sectorización del área de interés, se procedió a confeccionar un listado con los beneficiarios del proyecto en base a fuentes primarias y secundarias de información. El Cuadro 6.2-1 presenta la estratificación predial para el área de estudio.

**CUADRO 6.2-1
PREDIOS POR ESTRATO AREA DE ESTUDIO**

Estrato	Predios		Superficie Física		
	Nº	%	Total		Promedio (ha)
			Ha	%	
E1 (0 a 0,5 ha)	473	38,8	120,2	8,2	0,3
E2 (0,5 a 1 ha)	291	23,9	213,6	14,5	0,7
E3 (1 a 5 ha)	426	35,0	849,1	57,6	2,0
E4 (5 a 10 ha)	19	1,6	123,8	8,4	6,5
E5 (>10 ha)	9	0,7	167,5	11,4	18,6
Total	1.218	100,0	1.474,2	100,0	-

Fuente: Elaboración propia a partir de fuentes primarias y secundarias.

6.3. SITUACIÓN ACTUAL

Para una completa caracterización de la situación actual agrícola es necesario establecer una serie de atributos físicos, productivos, legales y económicos, asociados a los distintos tipos de agricultores existentes en el área de estudio. Para lograr este objetivo se ha implementado una encuesta simple de tipo cuantitativa que indaga en cada uno de estos

ámbitos. La encuesta abarcó 358 predios de los 1.218 existentes, alcanzando el 29,4% de representatividad. Luego del análisis de los resultados de la encuesta simple se realizaron 10 estudios de caso, tienen por finalidad ahondar en los aspectos técnicos de los distintos rubros productivos del área de estudio.

El uso del suelo de la Situación Actual (Cuadro 6.5-1), se obtiene de la expansión de los resultados de la encuesta simple. La seguridad de riego actual para las 709,0 ha. regadas expandidas es 0%, en tanto que la superficie con 85% de seguridad de riego alcanza las 233 ha.

6.4. SITUACIÓN SIN PROYECTO

Con la finalidad de establecer una base de análisis en orden a reconocer los costos e ingresos de los productores(as), para la evaluación de los escenarios “sin” y “con” Proyecto, se han considerado algunos aspectos que caracterizan a la Situación Actual para confeccionar la presente Situación Sin Proyecto (SSP), que corresponde a un escenario futuro sin contemplar el mejoramiento de los canales, pero que incorpora un conjunto de acciones tendientes a mejorar los procesos productivos de la zona, con recursos que no superan el 5% de las inversiones efectuadas en la Situación con Proyecto.

Antes de realizar cualquier consideración, es necesario destacar que las condiciones de sequía severa existente en el área, y la baja periodicidad de los turnos de riego (cada dos o tres semanas), constituyen problemas que limitan en forma importante el desarrollo agroproductivo del área de estudio. Por esta razón, los cambios en Situación Sin Proyecto se sustentan solamente en mejoras incorporadas al programa de manejo de cada cultivo, sin incurrir en inversiones mayores como infraestructura de riego tecnificado, implementación de nuevos cultivos, etc. ya que el potencial aumento de margen en estas críticas condiciones, no paga tal nivel de inversiones. El uso del suelo, en estructura productiva, es el mismo identificado en la Situación Actual, manteniendo también la dinámica de doble cultivo existente.

6.5. SITUACIÓN CON PROYECTO

La Situación Con Proyecto, corresponde al mejoramiento de las condiciones actuales que enfrenta el área en estudio, a través de la ejecución y construcción de obras civiles para aumentar la eficiencia de uso del agua y dar satisfacción a la demanda hídrica de los cultivos en los próximos años.

La zona de San Pedro de Atacama presenta en general condiciones de clima apropiadas para la adaptabilidad de distintos cultivos, como hortalizas, cereales, praderas y frutales en general, salvo casos específicos como el palto.

Por otra parte, la mayor seguridad de riego posibilitada por este proyecto, daría paso a un mejoramiento del nivel tecnológico en los predios y al aumento de productividad y rentabilidad de los rubros, lo cual se podría lograr, necesariamente, mediante la aplicación de un programa de asistencia técnica y transferencia tecnológica de carácter local.

Los resultados del modelo de operación indican que la mayor superficie posible de regar con un 85% de seguridad alcanza las 614 ha, por lo que no se incorporan nuevos terrenos a la superficie física actual de riego (709 ha), pero se aumenta la seguridad de riego actual en forma muy significativa, pasando de un 0% a un 46,9%. El Cuadro 6.5-1 muestra el uso del suelo en la Situación Actual y Con Proyecto.

**CUADRO 6.5-1
COMPARACIÓN USO DEL SUELO ACTUAL Y FUTURO**

Cultivo	SA-SSP		SCP – Alternativa 3-5	
	Ha	%	Ha	%
Maíz Choclo	134,5	19,0	71,7	10,1
Tomate Aire Libre	0,0	0,0	45,8	6,5
Zapallo Italiano	0,0	0,0	58,6	8,3
Zapallo Italiano / Lechuga	0,0	0,0	34,7	4,9
Lechuga	0,0	0,0	36,0	5,1
Lechuga / Maíz Choclo	0,0	0,0	24,8	3,5
Lechuga / Otros Cultivos	0,0	0,0	39,1	5,5
Chacra Casera	8,1	1,1	25,8	3,6
Otros Cultivos	7,8	1,1	35,0	4,9
Alfalfa	461,1	65,0	189,8	26,8
Otras Praderas	14,1	2,0	0,0	0,0
Durazno	0,0	0,0	29,4	4,1
Peral	16,9	2,4	28,0	3,9
Peral / Alfalfa	22,7	3,2	22,3	3,1
Vid Vinífera	3,7	0,5	52,3	7,4
Huerto Frutal	28,7	4,0	8,8	1,2
Huerto Frutal / Alfalfa	11,4	1,6	6,9	1,0
Total Riego	709	100,0	709,0	100,0

6.6. DEMANDAS DE AGUA PARA RIEGO

Se realizó para la Situación Actual, Sin Proyecto y Con Proyecto una descripción de las demandas de agua para uso agrícola en base a la caracterización productiva predial. Como conclusión, se desprende que la demanda bruta total anual en la Situación Con Proyecto sería de 14,65 Hm³ para la alternativa 3-5⁸, valor por debajo de los 17,92 Hm³ demandados en la Situación Actual.

⁸ Las alternativas de obras son explicadas en el Acápite 7 de este Resumen Ejecutivo. La Alternativa 3-5 se refiere a la Alternativa con embalse de mayor tamaño.

6.7. BENEFICIOS AGRÍCOLAS NETOS DEL PROYECTO

6.7.1. Beneficios Económicos Directos

A partir de las margenes brutos por hectárea (unitarios) multiplicados por la estructura de cultivos de la superficie de riego y descontando los gastos indirectos generales considerados es posible obtener los margenes netos en la Situación Sin Proyecto y Con Proyecto. El beneficio económico neto que la construcción de las obras puede traer a la actividad agrícola se obtiene de la sustracción entre los flujos de beneficios de la Situación Con Proyecto y Sin Proyecto. Este resultado se presenta para el área de estudio en el Cuadro 6.7.1-1 a precios de mercado y precios sociales.

**CUADRO 6.7.1-1
FLUJO DE BENEFICIOS AGRÍCOLAS NETOS DEL PROYECTO
PRECIOS DE MERCADO Y SOCIALES (VALORES EN \$) ALTERNATIVA 3-5**

Año	Precios de Mercado			Precios Sociales		
	SSP	SCP 3-5	Flujo Neto	SSP	SCP 3-5	Flujo Neto
0	37.972.495	37.972.495	0	170.941.201	170.941.201	0
1	-112.975.124	284.353.462	397.328.586	22.000.380	440.003.711	418.003.331
2	-82.814.429	294.748.941	377.563.370	56.932.067	454.632.988	397.700.921
3	99.075.416	568.532.087	469.456.671	242.078.106	737.471.876	495.393.769
4	69.838.713	757.901.539	688.062.826	217.809.347	937.581.036	719.771.690
5	119.166.160	1.030.087.328	910.921.168	272.104.737	1.239.815.030	967.710.293
6	194.626.810	1.417.873.515	1.223.246.705	350.208.416	1.664.801.888	1.314.593.471
7	237.167.343	1.716.004.481	1.478.837.138	393.385.182	1.988.043.649	1.594.658.467
8	147.843.790	1.860.619.894	1.712.776.104	305.654.247	2.153.868.029	1.848.213.782
9	166.205.029	2.123.507.684	1.957.302.655	322.422.869	2.434.484.468	2.112.061.600
10	197.431.819	2.284.196.004	2.086.764.185	353.649.659	2.599.693.450	2.246.043.791
11	173.087.141	2.342.929.315	2.169.842.174	329.304.980	2.661.932.015	2.332.627.035
12	177.122.517	2.427.148.288	2.250.025.771	333.340.356	2.747.877.672	2.414.537.316
13	163.822.811	2.330.127.549	2.166.304.737	320.040.651	2.653.375.891	2.333.335.240
14	235.711.617	2.562.120.709	2.326.409.092	393.522.074	2.887.711.973	2.494.189.899
15	141.221.084	2.042.238.695	1.901.017.611	297.438.923	2.367.984.939	2.070.546.015
16	294.392.601	2.745.524.389	2.451.131.788	450.610.440	3.071.730.570	2.621.120.129
17	162.671.081	2.473.984.526	2.311.313.445	318.888.921	2.800.371.890	2.481.482.970
18	175.532.212	2.465.074.251	2.289.542.039	331.750.051	2.791.441.006	2.459.690.955
19	206.291.451	2.572.633.323	2.366.341.872	362.509.291	2.899.000.079	2.536.490.788
20	226.548.777	2.604.449.210	2.377.900.433	384.359.234	2.931.532.221	2.547.172.987
21	144.165.950	2.298.414.768	2.154.248.817	300.383.790	2.624.812.436	2.324.428.647
22	195.425.742	2.655.908.260	2.460.482.518	351.643.582	2.982.295.624	2.630.652.043
23	302.957.707	2.790.097.169	2.487.139.462	459.175.547	3.116.484.533	2.657.308.987
24	194.039.059	2.597.884.097	2.403.845.038	350.256.898	2.924.250.853	2.573.993.955
25	142.615.771	2.032.276.259	1.889.660.489	298.833.610	2.358.643.015	2.059.809.405
26	103.919.469	1.941.255.201	1.837.335.732	261.729.926	2.268.338.212	2.006.608.286
27	250.089.806	2.590.611.567	2.340.521.761	406.307.646	2.917.009.236	2.510.701.590
28	127.550.934	2.221.411.226	2.093.860.292	283.768.773	2.547.798.591	2.264.029.817
29	158.757.686	2.305.789.813	2.147.032.127	314.975.526	2.632.177.177	2.317.201.652
30	143.084.797	2.457.506.996	2.314.422.199	299.302.636	2.783.873.751	2.484.571.115

Nota: Precios referidos a marzo de 2013

6.7.2. Generación de Empleo Agrícola

Un aspecto importante a destacar es la generación de mano de obra agrícola versus la Situación Actual. En el Cuadro 6.7.2-1 es posible observar el balance de la generación de empleo agrícola permanente y temporal entre la Situación Actual y la Situación Con Proyecto, en el cual destaca el crecimiento anual de un 22,3% del empleo permanente femenino mensual para la alternativa 3-5.

**CUADRO 6.7.2-1
GENERACIÓN DE EMPLEO AGRICOLA TOTAL AREA; ALTERNATIVA 3-5**

Tipo Jornada	SA	SCP	Variación		
			Nº	% Total	% Anual
Jornadas Anuales Totales					
Masculinas	23.872	31.584	7.712	32,3%	1,8%
Femeninas	4.406	19.418	15.012	340,7%	9,7%
Jornadas Anuales Permanentes					
Masculinas	4.447	11.787	7.340	165,0%	6,3%
Femeninas	206	7.030	6.825	3320,9%	24,7%
Empleos Mensuales Permanentes					
Masculinos	16	41	25	156,3%	6,1%
Femeninas	1	25	24	2400,0%	22,3%
Jornadas Anuales Temporales					
Masculinas	19.425	19.797	373	1,9%	0,1%
Femeninas	4.201	12.388	8.187	194,9%	7,0%

Fuente: Elaboración propia

Como se hace mención anteriormente, la demanda de mano de obra, producto del desarrollo de agricultura de riego en las dimensiones propuestas, requiere de un análisis pertinente de abordar en un estudio posterior, ya que la demanda de mano de obra supera largamente a la oferta de este recurso en la zona.

7. ALTERNATIVAS DE OBRAS

La problemática de las alternativas de embalse para regular las aguas de riego data de varias décadas, siendo por años el deseo de los agricultores de construir un embalse en la confluencia de los ríos Jauna y Putana, nacimiento del río Grande. Esta alternativa de obra fue descartada por razones económicas al requerir de una larga y costosa obra de conducción de las aguas hasta su destino, los Ayillos de San Pedro de Atacama. El agua en esta zona alta de la cuenca es de bastante mejor calidad que en la zona baja, incluyendo las aguas de las crecidas.

Por los años 60, surgió entonces una alternativa en la zona baja de la cuenca, denominada “Embalse Coyil”, que se caracterizaba por estar ubicado en una cuenca lateral y de este modo regular solamente las aguas normales de riego, que se captaban en el río Grande y se trasvasaban, dejando pasar las aguas eventuales directamente al Salar de

Atacama. Esta idea la postularon los ingenieros de la época, basados en las experiencias de los regantes, que no podían regar con las aguas de las crecidas, ya que arrastraban gran contenido de sales y sólidos, que terminaban por destruir los cultivos.

Lamentablemente, por razones de carácter geotécnico se decidió descartar esta obra, debiendo buscarse sitios alternativos. Fue así como la Comisión Nacional de Riego postuló dos sitios alternativos para ser analizados en la presente consultoría, denominados Sitio 1 y Sitio 2, tanto para fines de riego como para control de crecidas. Estos sitios quedan ubicados en el mismo río Grande, aguas abajo de su confluencia con la quebrada de Coyil, o Abra Pampa. Rápidamente, los análisis realizados permitieron ratificar que en estos sitios no se podría regular para riego las aguas de las crecidas, por su mala calidad, quedando descartados para estos fines, pero sí resultaron apropiados para el control de las crecidas.

Con respecto al riego, entonces, se intentó volver a la idea de la alternativa en la zona alta, confluencia de los ríos Jauna y Putana, encontrándose que se trata de un sitio prohibido ambientalmente por tratarse de un humedal con existencia de gran variedad de especies de flora y fauna. Otras cuencas laterales de quebradas afluentes al río Grande no se detectaron. Por lo tanto, terminó postulándose como único sitio posible para la regulación de las aguas de riego, el río Salado en la zona alta, antes de su paso por la cordillera de la sal, sitio al cual deberían llevarse por un túnel de trasvase, denominado túnel 1, las aguas del río Grande. Este sitio, también podría contribuir al control de las crecidas que se producen en la zona alta del río Salado, siendo entonces complementario a la regulación de las crecidas en el río Grande, Sitio 1 y 2 postuladas en las Bases del estudio.

El principal problema del sitio anterior, es que debe entregar las aguas al riego evitando que se contaminen en la cordillera de la sal, para lo cual se definieron dos posibilidades básicas: devolverlas al río Grande mediante una obra denominada "túnel 2", o entregarlas a un canal o tubería que las conduzcan directamente al canal matriz San Pedro.

Es así como se definieron todas las alternativas que se presentan a continuación, que básicamente corresponden a posibles mejoramientos del riego sin o con regulación, existiendo para estos últimos fines solamente la alternativa en el río Salado, que funcionaría para fines prácticos como cuenca lateral al río Grande. Se trata de las siguientes 5 alternativas básicas:

Alternativa 1: La Alternativa 1 consiste en la captación de las aguas del río Salado hasta el Túnel 2 trasvasando el agua al río Grande. Con esta obra, se evita la salación de las aguas, ya que estas ya no fluirán por la caja del río Salado, sino que por la del río Grande. Luego, esta alternativa contempla dos opciones. La primera es, si no se contempla la construcción de retenedor de crecidas, entonces el agua se deja caer al río Grande una vez terminado el paso por el Túnel 2. Por otro lado, si se considera la construcción de una obra reguladora de crecidas, entonces también contempla un By-Pass (conducción cerrada), para que el agua proveniente del río Salado no se mezcle con el agua del retenedor de crecidas.

Alternativa 2: Similar a la alternativa 1, la Alternativa 2 considera una tubería por el cauce del río Salado que permita evitar el contacto del agua con las fuentes de contaminación naturales presentes en la parte baja de dicho río, desde la quebrada Salmuera hasta la bocatoma del canal San Pedro. La alternativa 2b considera la inclusión de un retenedor de crecidas en el río Grande.

Alternativa 3: La Alternativa 3 considera la captación y trasvase de las aguas del Río Grande a través del Túnel 1 para almacenar las aguas en el Embalse Río Salado. La entrega se realiza a través de una conducción en canal revestido o por tubería hasta la bocatoma del Canal San Pedro. Esta alternativa presenta una variación dependiendo de si se considera una obra reguladora de crecidas, por lo que se generan los dos subescenarios Alternativa N° 3a y Alternativa N° 3b.

Alternativa 4: Considera el desvío de las aguas del Río Grande a través del Túnel 1, para almacenar las aguas en el Embalse Río Salado. La Entrega se realiza a través de una conducción entubada hasta el Túnel 2, que retorna las aguas al Río Grande. Esta alternativa presenta una variación dependiendo de si se considera una obra reguladora de crecidas, por lo que se generan los dos subescenarios Alternativa N° 4a y Alternativa N° 4b. En la Alternativa N° 4b se considera el By Pass de la obra de control de crecidas, para evitar la mezcla entre las aguas de riego y las aguas de crecidas.

Alternativa 5: Considera el desvío de las aguas del Río Grande a través del Túnel 1, para almacenar las aguas en el Embalse Río Salado. La entrega se realiza en forma directa al Río Salado. Esta alternativa, quedó descartada en el Capítulo de Estudios Básicos de este Proyecto, ya que empeora notablemente la calidad de las aguas, al extremo de impedir prácticamente todo tipo de cultivos

Cabe destacar que, en las alternativas con embalse en el río Salado, se debe dejar pasar un caudal ecológico, el cual se saliniza en su paso por la cordillera de la sal, debiendo evitarse su captación en las bocatomas de algunos canales que captan directamente en el río. Para estos fines, se diseñó una tubería denominada "Tubería Aguas Salinas", de aproximadamente 13 km de longitud, que capta estas aguas antes de la confluencia con el río Grande y las conduce aguas abajo de la última bocatoma de riego.

También, para el caso de entregarse las aguas hacia el río Grande y existir un embalse controlador de crecidas en este río, las aguas de riego deben by pasear la zona de embalse, que se considera contaminada, para lo cual se diseñó también una tubería de casi 12 km de longitud, denominada "Tubería Río Grande".

La tubería de entrega desde el embalse en el río Salado al canal San Pedro, se denomina "Tubería Río Salado" y tiene 26 km de longitud.

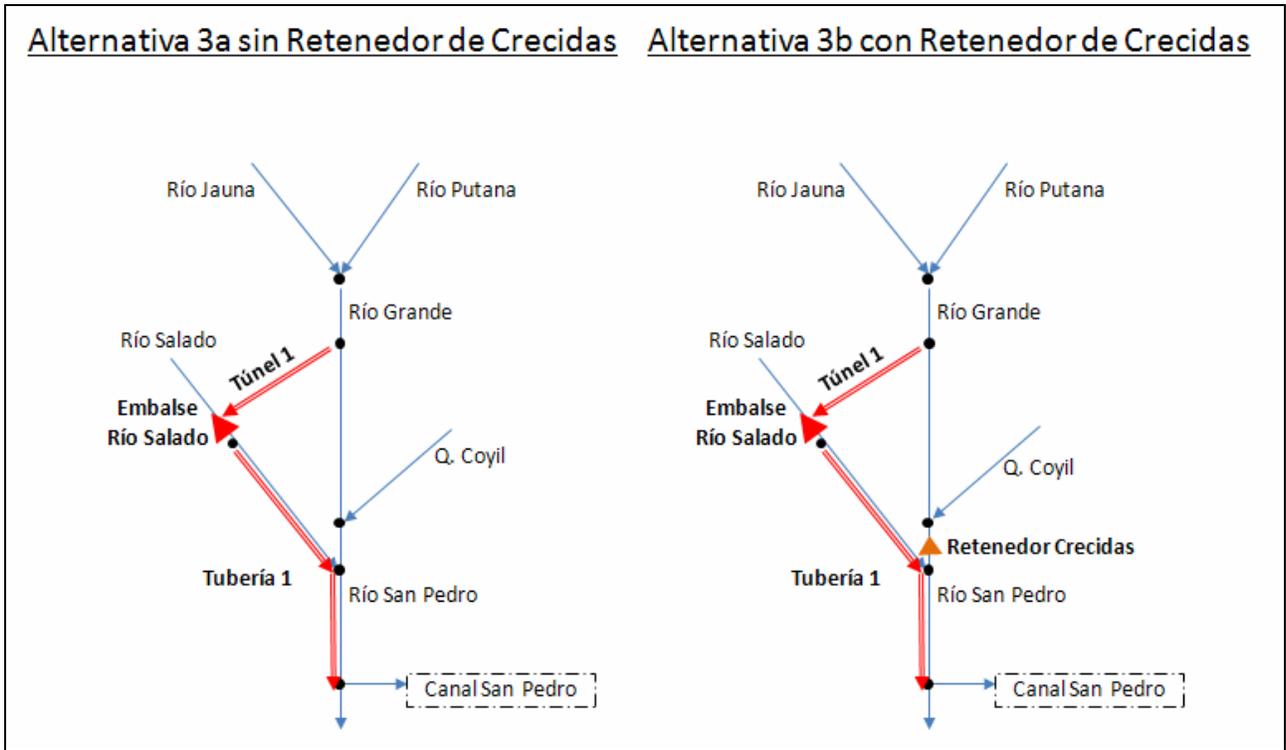
Con respecto a la red de riego, se revisó la red primaria concluyéndose en la necesidad de construir algunas obras de mejoramiento, tales como dos tranques de regulación nocturna adicionales a los existentes, 4 sifones y 12 aforadores remotos, además de la reparación y construcción de revestimientos en algunos tramos de canal.

También, se recorrió la red secundaria y terciaria de canales, y se analizó la posible rentabilidad de invertir en su mejoramiento, concluyéndose en que es muy conveniente efectuar un estudio y diseño para ello.

También, se diseñó una posible planta de desalación de las aguas para varias de las alternativas analizadas, tanto para fines de riego como para agua potable rural.

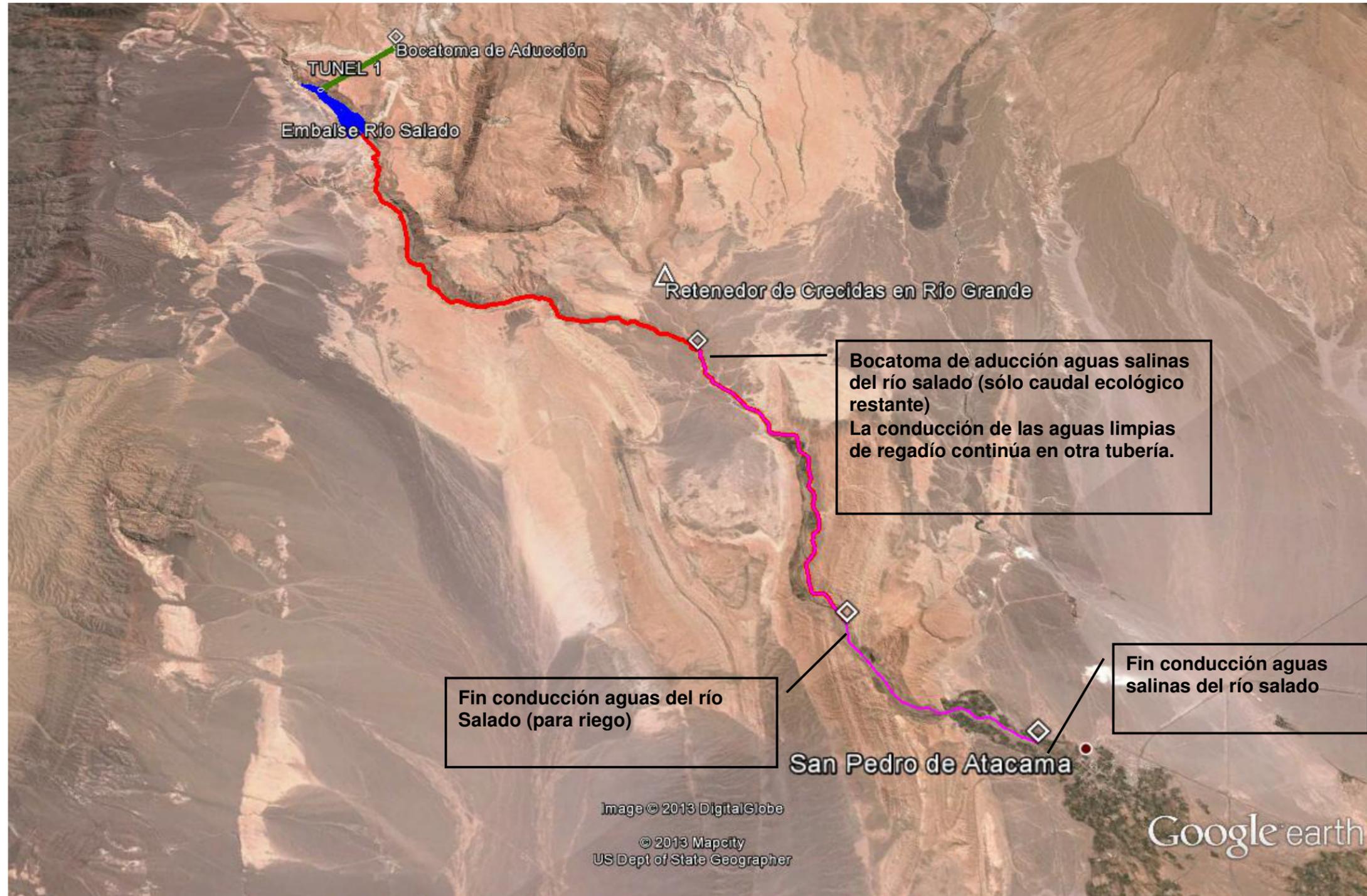
En las Figuras 7-1 y 7-2, se observa el esquema e imagen satelital, respectivamente, de la alternativa 3, que resultó ser la mejor. Entre las opciones de canal o tubería para la entrega de las aguas, se seleccionó la tubería, por su menor complejidad en el trazado y por la posibilidad de generar energía al final, aprovechando el gran desnivel disponible para estos fines. Se ha incluido en las figuras las obras complementarias que contribuyen a hacer rentable a la alternativa 3; un mejoramiento de la capacidad del río en su paso por San Pedro, ampliando su capacidad a 100 m³/s para un mejor control de las crecidas y una mini central hidroeléctrica al final de la tubería de conducción de las aguas desde el embalse al canal San Pedro.

**FIGURA 7-1
ALTERNATIVA 3**



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 7-2
ALTERNATIVA SELECCIONADA NÚMERO 3



Fuente: Elaboración propia.

8. DISEÑO DE OBRAS

En el Cuadro 8-1 se presentan las obras diseñadas en este informe.

**CUADRO 8-1
PRINCIPALES OBRAS DISEÑADAS**

Obras	Longitud / Cantidad	Volumen Útil
Túnel 1	2.300 m	-
Túnel 2	1.350 m	-
Tubería Río Grande	11.800 m	-
Tubería Río Salado	25.950 m	-
Embalse Río Salado	-	0.8 ; 1.5 ; 3.0 ; 4.5 y 6.1 hm ³
Embalse Río Grande	-	10.2 hm ³
Tubería Aguas Salinas	13.092 m	-
Tranques Nocturnos	2 tranques	Cuchabrache: 7.300 m ³ San Pedro: 14.900 m ³
Sifones de Riego	4 sifones	-
Aforadores Remotos	12 aforadores	-
Mini Centrales Hidroeléctricas	1 MCH	-
Planta de Desalación de Aguas	1 Planta	-

Fuente: Elaboración propia.

9. PRECIOS UNITARIOS, CUBICACIONES Y PRESUPUESTOS

Se presenta el presupuesto para cada una de las obras, para lo cual se preparó un análisis de precios unitarios de las distintas partidas del proyecto, y cubicaciones. En los Cuadros 9-1 a 9-8 el presupuesto de los **costos directos**, a precios privados y sociales.

**CUADRO 9-1
PRESUPUESTOS OBRAS CIVILES**

Descripción	PRECIOS PRIVADOS	PRECIOS SOCIALES
Túnel 1	\$ 1.121.756.633	\$ 1.110.585.184
Túnel 2 (San Bartolo)	\$ 679.650.430	\$ 672.532.518
Ampliacion de Canales RED Primaria	\$ 140.979.406	\$ 132.535.345
Mejoramiento de Canales Red Primaria	\$ 669.226.687	\$ 535.381.349
Mejoramiento de Canales Red Secundaria	\$ 695.766.148	\$ 668.404.645
Red de Aforadores Remotos	\$ 42.999.731	\$ 38.387.699
Conduccion de Aguas de Mala Calidad	\$ 343.567.096	\$ 343.012.750
Mejoramiento de la Caja del Río San Pedro 50 m3/s	\$ 893.112.363	\$ 803.801.127

CUADRO 9-1 PRESUPUESTOS OBRAS CIVILES

Descripción	PRECIOS PRIVADOS	PRECIOS SOCIALES
Mejoramiento de la Caja del Río San Pedro 100 m3/s	\$ 2.009.399.713	\$ 1.808.459.742
Mejoramiento de la Caja del Río San Pedro 150 m3/s	\$ 3.386.378.163	\$ 3.047.740.347

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 9-2 PRESUPUESTOS CONDUCCION RÍO GRANDE

OBRAS	PRECIOS PRIVADOS		PRECIOS SOCIALES	
	PRESION	ACUEDUCTO	PRESION	ACUEDUCTO
Conducción Aguas Río Grande Q=250 L/s	\$ 834.559.125	\$ 1.131.575.272	\$ 789.474.417	\$ 1.085.912.750
Conducción Aguas Río Grande Q=600 L/s	\$ 1.383.708.434	\$ 1.901.643.417	\$ 1.337.637.266	\$ 1.852.666.942
Conducción Aguas Río Grande Q=800 L/s	\$ 1.441.367.689	\$ 2.241.086.196	\$ 1.394.959.100	\$ 2.191.723.590
Conducción Aguas Río Grande Q=1.000 L/s	\$ 1.802.991.850	\$ 2.241.086.196	\$ 1.756.226.236	\$ 2.191.723.590

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 9-3 PRESUPUESTOS CONDUCCION RÍO SALADO PRECIOS PRIVADOS

OBRA	CANAL ABIERTO	PRESION	ACUEDUCTO
Conducción Aguas Río Salado (Q=250 L/s)	\$ 2.168.749.933	\$ 1.673.828.603	\$ 1.434.902.416
Conducción Aguas Río Salado (Q=650 L/s)	\$ 2.850.267.405	\$ 3.002.648.969	\$ 2.468.905.756
Conducción Aguas Río Salado (Q=850 L/s)	\$ 2.937.635.751	\$ 4.136.755.481	\$ 2.945.316.675
Conducción Aguas Río Salado (Q=1.050 L/s)	\$ 3.018.872.985	\$ 4.863.362.960	\$ 3.447.780.112

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 9-4 PRESUPUESTOS CONDUCCION RÍO SALADO PRECIOS SOCIALES

OBRA	CANAL ABIERTO	PRESION	ACUEDUCTO
Conducción Aguas Río Salado (Q=250 L/s)	\$ 2.022.305.879	\$ 1.623.718.029	\$ 1.388.280.172
Conducción Aguas Río Salado (Q=650 L/s)	\$ 2.665.700.651	\$ 2.949.559.473	\$ 2.420.248.691
Conducción Aguas Río Salado (Q=850 L/s)	\$ 2.748.303.597	\$ 4.082.895.795	\$ 2.896.117.670
Conducción Aguas Río Salado (Q=1.050 L/s)	\$ 2.825.109.846	\$ 4.808.717.698	\$ 3.397.982.121

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 9-5
PRESUPUESTOS EMBALSE DE RIEGO RÍO SALADO**

OBRA	PRECIOS PRIVADOS	PRECIOS SOCIALES
Embalse Riego Río Salado V. Util = 0,8 Hm3	\$ 11.136.235.806	\$ 10.510.855.460
Embalse Riego Río Salado V. Util = 1,5 Hm3	\$ 11.956.306.941	\$ 11.279.033.588
Embalse Riego Río Salado V. Util = 3,0 Hm3	\$ 14.487.703.330	\$ 13.649.076.683
Embalse Riego Río Salado V. Util = 4,5 Hm3	\$ 16.585.112.863	\$ 15.605.077.064
Embalse Riego Río Salado V. Util = 6,1 Hm3	\$ 18.897.999.210	\$ 17.754.942.806

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 9-6
PRESUPUESTOS EMBALSE CONTROL DE CRECIDAS RÍO GRANDE**

OBRA	PRECIOS PRIVADOS	PRECIOS SOCIALES
Muro Retenedor y Controlador de Crecidas H=31	\$ 7.196.520.183	\$ 6.596.525.384
Muro Retenedor y Controlador de Crecidas H=35	\$ 7.137.001.324	\$ 6.554.590.599
Muro Retenedor y Controlador de Crecidas H=38	\$ 6.914.679.561	\$ 6.378.629.278

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 9-7
PRESUPUESTOS MINICENTRALES
HIDROELECTRICAS POR ALTERATIVA**

Alternativa	Energía Promedio (kWh)	Costo Total (US\$)	Costo Total (\$)
1a	9,8	307.772	145.563.798
1b	25,4	329.630	155.901.947
2	164,8	615.608	291.158.102
3-0	123	509.515	240.980.356
3-1	150,8	577.734	273.244.836
3-2	187,7	683.184	323.118.847
3-3	276,3	1.025.110	484.836.215
3-4	360	1.508.697	713.553.522
3-5	550,8	3.664.889	1.733.345.949
4a-1	74,8	410.416	194.110.399
4a-2	83,2	426.114	201.534.972
4a-3	117,8	497.714	235.398.813
4a-4	150,8	577.734	273.244.836
4a-5	217,8	783.805	370.708.318
4b-1	77,9	416.138	196.816.439
4b-2	86,8	433.034	204.807.619
4b-3	121,4	505.853	239.248.424
4b-4	155	588.836	278.495.780

**CUADRO 9-7
PRESUPUESTOS MINICENTRALES
HIDROELECTRICAS POR ALTERNATIVA**

Alternativa	Energía Promedio (kWh)	Costo Total (US\$)	Costo Total (\$)
4b-5	225,7	812.654	384.352.883

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO 9-8
PRESUPUESTOS PLANTAS DE DESALACION POR ALTERNATIVA**

Alternativa	Q Diseño (L/s)	Q APR (L/s)	Vol APR (m3)	Costo (\$)
3-1	212	70	6048	3.651.842.880
3-2	168	40	3456	2.086.767.360
3-3	206,9	40	3456	2.086.767.360
3-4	254,8	40	3456	2.086.767.360
3-5	357,8	40	3456	2.086.767.360
4a-1	211,2	70	6048	3.651.842.880
4a-2	159,2	40	3456	2.086.767.360
4a-3	192,1	40	3456	2.086.767.360
4a-4	228,5	40	3456	2.086.767.360
4a-5	297,7	40	3456	2.086.767.360
4b-1	194,1	60	5184	3.130.151.040
4b-2	162,6	40	3456	2.086.767.360
4b-3	195,6	40	3456	2.086.767.360
4b-4	232,6	40	3456	2.086.767.360
4b-5	304,6	40	3456	2.086.767.360

Fuente: Elaboración propia.

10. ESTUDIO LEGAL DE DERECHOS DE AGUAS

En 1995, los usuarios formaron legalmente la Asociación Atacameña de Regantes y Agricultores de San Pedro de Atacama, la cual solicitó para si los derechos de aguas del río San Pedro, en conjunto con la Comunidad Atacameña de río Grande. El expediente de Regularización indica, para el río San Pedro, lo siguiente:

- Alveo: Río San Pedro
- Naturaleza de las aguas: Superficiales y Corrientes
- Caudal: 870 l/s

- Captación: Coordenadas UTM Norte 7.475.871; Este 582.233.
- Tipo de derecho: Consuntivo, permanente y continuo.

Los derechos de aprovechamiento de aguas inscritos a fojas 46, número 45 del Registro de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces de El Loa Calama del año 1997.

“La Asociación se organiza y estructura sobre la base de siete Grupos de Regantes, uno por cada canal que conduce permanentemente aguas dentro del sistema de irrigación del Río San Pedro. Cada Grupo estará integrado por los regantes cuyos terrenos capten aguas de los canales sometidos a su respectiva jurisdicción. Serán de jurisdicción de cada Grupo los canales ramales y derivados que se indican a continuación:

Grupo 1:	Ayllu de Catarpe: La Patilla, Tambillo, Bellavista, Catarpe, Huachar y Suchor. Ayllu de Quito: Capia, Silo y Morro Blanco.
Grupo 2:	Ayllu de Conde Duque: Mutar, Paxa, Amacay y Gentilar. Ayllu de Yaye: Medalla, El Monte y Toro. Ayllu de Checar: Inca, Checar Alto y Chacar Bajo.
Grupo 3:	Ayllu Conde Duque: Turbina y Aguilar. Ayllu de Larache: Larache 1 y Larache 2. Ayllu de Solcor: Solcor y sus derivados, Alana, Vilama, Martínez, San Miguel, El Calvario, El Peral y El Rayo.
Grupo 4:	Ayllu de Séquitor: Canal de Piedra, El Alto, Calvario, Mucher, El Vaca, Toroche, Milagro y su derivado, Orquiche, y Cubilante. Ayllu de Coyo: Putaisor, Corancay, Rodríguez, Sandón, Chocor y sus derivados Huliche y Ayavire, Tompator y Tocor con sus derivados Viviano y Campo Grande.
Grupo 5:	Ayllu de Solor: Cochara, Locra, Quiriute, Calvario, Chentura y Alana.
Grupo 6:	Ayllu de Cúcuter: Maylún y su derivado Pochomporo, y El Monte con su derivado Jocucha.
Grupo 7:	Estanque y sus derivados, entre ellos la Acequia El Cura.

Cada grupo será dirigido y administrado por una Directiva integrada por cinco dirigentes, a lo menos, elegidos en reunión general de Grupo, quienes durarán dos años en sus funciones...” (Estatutos Asociación).

La Comunidad Atacameña de Río Grande y a la Asoc. Atacameña de Regantes y Agricultores de San Pedro de Atacama, poseen un total aproximado a los 1.157 litros por segundo, tomados y sumados en diferentes Ríos y Vertientes que riegan al San Pedro (Ríos: San Pedro, Grande, Salado, Putana, Jauna, Incahuasi, Tocorpuri y las vertientes Yerba Buena, Guaitiquina, Vega de Paila y Felón), siendo su uso principal el de riego y pastoreo, y

del tipo consuntivo, permanente y continuo. Los derechos de aprovechamiento de aguas descritos fueron adquiridos por regularización en virtud del Código de Aguas, ordenada por el Segundo Juzgado de Letras de Calama, en causa Rol N° 4.057-96, cuyo dominio se encuentra inscrito a fojas 46, número 45 del Registro de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces de El Loa Calama del año 1997.

Además existen otros usuarios que poseen 73 L/s y corresponden a personas naturales y jurídicas.

10.1. ANÁLISIS LEGAL DE LAS ALTERNATIVAS

Todas las alternativas estudiadas son factibles de llevar a cabo, efectuando algunas modificaciones legales, especialmente en lo que refiere a la solicitud de cambio de punto de captación y a la solicitud de los derechos de aguas no consuntivos y eventuales, en los casos que corresponda. A excepción del caso del mejoramiento de los canales incluyendo la unificación de las bocatomas, no se requiere cambio de punto de captación, ya que todos los derechos están constituidos en el punto donde se contempla unificar dichos canales.

11. EVALUACION ECONÓMICA

11.1. GENERALIDADES

Se presenta la evaluación económica del proyecto, considerándose los costos y beneficios determinados en las distintas etapas del estudio. Las especificaciones y requerimientos de estos métodos se basan en los siguientes documentos.

- Normas de evaluación indicadas en los Términos de Referencias.
- Manual para el Desarrollo de Grandes Obras de Riego (CNR, 2011)
- Metodología para la Formulación y Evaluación Socioeconómica de Embalses y Obras Hidráulicas Anexas con Fines Múltiples (MIDEPLAN, 2011).
- Metodología de Valoración de Embalses y Obras Hidráulicas Anexas en Uso (MIDEPLAN, 2011).

El principal indicador de rentabilidad en la evaluación de proyectos corresponde al Valor Actual Neto (VAN), el que se priorizará al momento de seleccionar la alternativa óptima económica. Además, como complemento, se determinará la Tasa Interna de Retorno (TIR), VAN/Inversión (VAN/I) y razón n/k. Estos indicadores son comúnmente utilizados en este tipo de evaluación, pero presentan dificultades para comparar proyectos con distinto nivel de inversión.

Los parámetros básicos para el cálculo de estos indicadores son los costos de inversión y mantenimiento, el beneficio anual esperado y las tasas de descuento. Se considera un horizonte de evaluación igual a 30 años, y no se consideran impuestos de ningún tipo. Por último, se considera un nivel de precios a marzo 2013, el que queda dado por un dólar de \$ 472,96, un euro a \$ 603,81, y una UF de \$ 22.840,11.

Los costos considerados en el análisis económico son los siguientes:

- Obras civiles para el trasvase, conducción y embalse. Además se incluye el mejoramiento de los canales de riego
- Mitigación de impacto ambiental
- Expropiaciones y servidumbres
- Mejoramiento de la Caja del Río
- Obras eventuales:
 - Mini Central Hidroeléctrica (MCH)
 - Sistema de abastecimiento de Agua Potable a San Pedro de Atacama
- Operación y mantenimiento de las obras

Por su parte, los beneficios considerados para la evaluación e indican a continuación:

- Riego:
 - Según Método del Presupuesto, tanto para la condición sin mejoramiento de la calidad del agua, como con mejoramiento
 - Según Método del Valor Incremental de la Tierra
 - Según Método del Incremento de las Transacciones de Derechos de Aguas
- Control de Crecidas
- Uso para Suministro de Agua Potable
- Generación Hidroeléctrica

En el Cuadro 11.1-1 se muestra para cada alternativa las componentes a evaluar y la nomenclatura usada en la planilla de cálculo. Se hace notar que para el embalse de riego se consideran 5 tamaños diferentes, y para la obra de control de crecidas se consideran 3.

En el cuadro se incluye también una columna la que indican las condiciones bajo las que se evaluará cada alternativa, indicándose R para riego y CC control de crecidas. En el caso del mejoramiento de calidad, se incorpora explícitamente el efecto de la dilución de los contaminantes en el agua de riego, lo que permite disponer de agua de riego con concentraciones menores a 2.100 µS/cm, límite bajo el cual se puede desarrollar una agricultura más rentable.

CUADRO 11.1-1 ALTERNATIVAS Y CÓDIGOS DE EVALUACIÓN

Alternativa	Código Evaluación	Componentes	Cantidad	
1	1A-CD1	Conducción río Salado	2	2
	1B-CD1-VCC-MCR	Conducción río Salado + Embalse CC y mejoramiento caja del río	2 x 3 x 4	24
2	2A-CD2	Conducción río Grande	3	3
	2B-CD2-VCC-MCR	Conducción río Grande+ Embalse CC y mejoramiento caja del río	3 x 3 x 4	36
3	3A-CD2-VR-MCR	Conducción río Salado y Grande + Embalse Riego y mejoramiento caja del río	3 x 5 x 4	60
	3B-CD2-VR-VCC-MCR	Conducción río Salado y Grande + Embalse Riego + Embalse CC y mejoramiento caja del río	3 x 3 x 5 x 4	180
4	4A-CD1 -VR-MCR	Conducción + Embalse Riego y mejoramiento caja del río	2 x 5 x 4	40
	4A-CD1 -VR-VCC-MCR	Conducción + Embalse Riego + Embalse CC y mejoramiento caja del río	2 x 3 x 5 x 4	120
Total				465

CD1	Se consideran 2 tipos diferentes: acueducto y presión (1 y 2)
CD2	Se consideran hasta 3 tipos diferentes: canal, acueducto y presión (1, 2 y 3)
VCC	Volumen Útil Control de Crecidas. Se evalúa para 3 volúmenes de la obra (1, 2 y 3)
MCR	Mejoramiento de la Caja del Río Se consideran 4 capacidades de mejoramiento de la caja del río (1, 2, 3 y 4)
VR	Volumen Útil Riego Se evalúa para 5 volúmenes útiles para riego (vur=1,5)

Fuente: Elaboración propia.

Se debe hacer notar también que para la Alternativa 3 se considera también la inclusión de una MCH antes de la entrega a la zona de riego para el caso de la tubería. Adicionalmente para ese caso se considera alternativamente la inclusión de un sistema de osmosis inversa para el tratamiento de agua para San Pedro de Atacama, planta que utiliza parte de la energía generada por la MCH. En todo caso el análisis de la MCH y del sistema de APR sólo se realizará para la configuración más apropiada.

En lo que respecta al número de resultados a analizar, se tiene que en total son 465 resultados a precios privados e igual número a precios sociales.

11.2. RESULTADOS

En el Cuadro 11.2-1 se presentan los mejores resultados para cada una de las 4 alternativas de proyecto analizadas, considerando los diferentes tipos de conducción y por tipo de embalse.

Se observa que para la alternativa 1 no hay factibilidad, lo que es compatible con la baja cantidad de superficie regada. Por otra parte, la alternativa 2 no es rentable, aunque cuando se incorpora el control de crecidas se tiene que el proyecto mejora considerablemente. En el caso de la alternativa 3 se observa que no hay variaciones rentables, aunque hay alternativas que se encuentran muy cercanas a ser rentables. Tanto para el caso sin controlador o con controlador, lo más rentable es el embalse de riego más grande con tubería en presión. Estas alternativas tienen la particularidad adicional que pueden generar hidroelectricidad, por lo que serán analizadas en mayor detalle, tanto en el análisis de sensibilidad como en el análisis de generación de hidroelectricidad.

Al analizar en detalle las mejores soluciones asociadas a la Alternativa 3, se observa que la mejor variación sin embalse de control de crecidas engloba adicionalmente el mejoramiento de la caja del río para conducir caudales de hasta 100 m³/s. Por otra parte, la mejor alternativa que incluye el embalse de control de crecidas no incluye mejoramiento de la caja del río, lo que es compatible, ya que incluir ese mejoramiento aumenta los costos, pero aumenta marginalmente los beneficios.

Por último, es interesante considerar que los mejores indicadores se obtienen para la alternativa 3 sin control de crecidas, esto es porque el embalse de riego, aunque controla en forma muy limitada las crecidas, afecta los periodos de retorno más bajos, los que en definitiva contribuyen en mayor medida a disminuir los daños.

**CUADRO 11.2-1
RESULTADOS EVALUACIÓN ECONÓMICA**

Alternativa	Precios	Volumen Riego (hm ³)	Volumen CC (hm ³)	Caudal Mejoramiento (m ³ /s)	Conducción	VAN (MM \$)	IVAN	VAN/Sup (MM \$/ha)	n/k	TIR (%)
Alternativa 1										
1A-1	PS	-	-	-	Acueducto	-4.270,9	-2,90	-13,3	0,15	No Hay
1A-2	PS	-	-	-	Presión	-3.860,6	-2,62	-12,0	0,16	No Hay
1B-1-3-1	PS	-	10,2	0	Acueducto	-5.882,4	-0,59	-17,7	0,57	2,10%
1B-2-3-1	PS	-	10,2	0	Presión	-5.472,1	-0,54	-16,4	0,59	2,29%
Alternativa 2										
2A-1	PS	-	-	-	Canal	-4.183,6	-9,32	-12,53	0,23	No Hay
2A-2	PS	-	-	-	Acueducto	-3.917,5	-8,73	-11,73	0,25	No Hay

CUADRO 11.2-1 RESULTADOS EVALUACIÓN ECONÓMICA

Alternativa	Precios	Volumen Riego (hm ³)	Volumen CC (hm ³)	Caudal Mejoramiento (m ³ /s)	Conducción	VAN (MM \$)	IVAN	VAN/Sup (MM \$/ha)	n/k	TIR (%)
2A-3	PS	-	-	-	Presión	-3.520,1	-7,85	-10,54	0,26	No Hay
2B-1-3-1	PS	-	10,2	0	Canal	-6.578,3	-0,75	-19,70	0,57	2,29%
2B-2-3-1	PS	-	10,2	0	Acueducto	-5.272,7	-0,60	-15,79	0,62	2,81%
2B-3-3-1	PS	-	10,2	0	Presión	-5.981,3	-0,68	-17,91	0,59	2,51%
Alternativa 3										
3A-1-5-3	PS	6,1	0,0	100	Canal	-7.635,5	-0,2	-10,2	0,78	4,36%
3A-2-5-3	PS	6,1	0,0	100	Acueducto	-7.767,7	-0,2	-10,3	0,78	4,37%
3A-3-5-3	PS	6,1	0,0	100	Presión	-7.158,4	-0,2	-9,5	0,80	4,47%
3B-1-3-5-1	PS	6,1	10,2	0	Canal	-16.545,5	-0,43	-22,0	0,61	2,89%
3B-2-3-5-1	PS	6,1	10,2	0	Acueducto	-16.021,2	-0,42	-21,3	0,63	3,00%
3B-3-3-5-1	PS	6,1	10,2	0	Presión	-16.068,4	-0,42	-21,4	0,63	3,00%
Alternativa 4										
4A-2-1-5-1	PS	6,1	0,0	0	Acueducto	-10.249,4	-0,3	-13,6	0,71	3,74%
4A-3-1-5-1	PS	6,1	0,0	0	Presión	-10.140,2	-0,3	-13,5	0,71	3,76%
4B-2-1-1-3	PS	6,1	10,2	100	Acueducto	-21.197,8	-0,5	-28,2	0,53	2,11%
4B-3-1-1-1	PS	6,1	10,2	0	Presión	-19.945,2	-0,5	-26,6	0,54	2,22%

Posteriormente, para las alternativas seleccionadas, se incluyó la MCH para evaluar la rentabilidad del proyecto conjunto. En el Cuadro 11.2-2 se resumen los resultados de la evaluación, en los que se muestran los indicadores sin y con la MCH, los que muestran claramente que los indicadores financieros mejoran notablemente, siendo mayor la mejora para la alternativa 3.

CUADRO 11.2-2 RESULTADOS INCLUSIÓN MCH

Alternativa	Sin MCH		Con MCH		ΔVAN (MM\$)
	VAN (MM \$)	TIR (%)	VAN (MM \$)	TIR (%)	
3A-3-5-3	-7.158,4	4,47%	324,6	6,06%	7.483,0
3B-3-3-5-1	-16.068,4	3,00%	-7.659,8	4,67%	8.408,6

Fuente: Elaboración propia.

En definitiva, los resultados presentados son mixtos. Cuando se analiza el proyecto por componente, en general no hay rentabilidad, con excepción de la red secundaria. Al analizar el proyecto de multipropósito que incluye riego, control de crecidas inherente del embalse de riego, mejoramiento de la caja del río y generación hidroeléctrica, además de APR, se tiene que el proyecto es rentable a precios sociales, con un VAN social de 324,6 millones de pesos y TIR social igual a 6,06%. Si además se incorpora el mejoramiento de la red secundaria, los resultados son aún mejores a precios sociales.

Por lo anteriormente expuesto, se recomienda continuar con el proyecto multipropósito de la Alternativa 3 con un volumen útil de embalse de 6,1 hm³, con uso para riego, mejoramiento de la caja del río, generación hidroeléctrica y APR.

12. ESTUDIO DE ANALISIS AMBIENTAL

Se analizaron a nivel de prefactibilidad y desde la perspectiva ambiental, los efectos o implicancias sobre el medio ambiente de las diferentes obras que componen las alternativas planteadas como solución en el Estudio, considerando en esto un análisis legal, descripción y evaluación de impactos potenciales y estimando preliminarmente los costos ambientales asociados a cada alternativa.

Respecto del análisis de pertinencia de ingreso al SEIA, se concluye, que cualquiera sea la alternativa seleccionada, el proyecto deberá someterse al SEIA como un Estudio de Impacto Ambiental (EIA), ya que el tipo de obras en el presente Proyecto genera impactos ambientales relevantes e irreversibles y que determinan el modo de ingreso como un EIA de acuerdo al Artículo 11 de la Ley 19.300, sus modificaciones (Ley 20.417) y sus especificaciones en el Artículo 6 (letras m y p) del Reglamento del SEIA.

Los componentes más afectados serían la Hidrología, seguido de Flora, Vegetación y Fauna terrestre, lo cual resulta esperable a la luz de los antecedentes del medio biótico levantados en terreno y al tipo de obra. Debe tenerse en cuenta que la evaluación efectuada es de carácter relativa, es decir, los valores obtenidos no son comparables con otros estudios de otros sectores ni con otro tipo de proyectos, por lo cual el presente análisis sólo permite dar relevancia a aquellos componentes que podrían verse más afectados y dirigir los esfuerzos a minimizar estos impactos mediante los planes de manejo ambiental.

Se ha recomendado la realización de algunos estudios ambientales específicos, actualización y seguimiento de la línea de base del medio biótico, en el funcionamiento hidrogeológico y ecosistémico del Oasis y el Salar de Atacama, el caudal ecológico basado en criterios biológicos (no sólo hidrológicos), calidad del aire y ruido, con el fin de afinar el conocimiento referente a estos temas y aumentar así el nivel de claridad y seguridad al momento de evaluar el impacto ambiental correspondiente, con todo lo que esto involucra en términos de la toma de decisiones futuras, planificación y manejo. Se propone que estos estudios deberían realizarse en una próxima etapa del proyecto.

En relación al valor cultural y patrimonial, la prospección en la zona del Río Grande, donde se ubica el embalse de control de crecidas (inicialmente se encontraban allí las alternativas de embalse de riego), da cuenta de la presencia de sitios arqueológicos, algunos de alta relevancia en el contexto local, como sitios habitacionales y petroglifos. Algunas de las estructuras asociadas pudieron asociarse a redes viales, de tipo pastoril o incluso como parte del Camino del Inca en dirección al tambo de Catarpe. Es por ello que se recomienda la prospección exhaustiva del área en las futuras etapas, además de la realización de prospecciones en el sector del Río Salado, en donde se identificaron terrenos agrícolas actualmente sin uso, de los cuales se desconoce su antigüedad.

Respecto de los costos estimados para las medidas ambientales, se han estimado montos que alcanzan un máximo de aproximadamente 3.397 millones de pesos, que aumentan hasta 3.669 millones al incorporar planta desalinizadora o 3.475 si la obra anexa incorporada es una minicentral hidroeléctrica de pasada. Esto se debe a los diferentes niveles de intervención de cada una de las alternativas en función de la cantidad de obras comprometidas en ellas (en algunos casos considerando dos muros de embalse), en conjunto con la lejanía y accesibilidad de la zona de estudio, además del tamaño de las obras.

Es necesario tener en cuenta que las medidas costeadas corresponden a medidas sugeridas a priori, y que las medidas de mitigación, reparación y/o compensación definitivas deben ser obtenidas como resultado de la realización del Estudio de Impacto Ambiental que es pertinente a este proyecto.

13. PARTICIPACIÓN CIUDADANA (PAC)

Los principales resultados son la descripción del área de estudio y la caracterización de los actores relevantes, además de la realización de una serie de actividades en el programa de participación ciudadana que se han llevado a cabo durante el desarrollo del estudio. A saber: una reunión inicial de trabajo, visitas a terreno, una ceremonia de Pago a la Madre-Tierra, una reunión con la Asociación Atacameña de Regantes y Agricultores de San Pedro de Atacama, reuniones previas por grupo de riego, una reunión Comunidad Atacameña Catarpe, una reunión organizada por la SEREMI Agricultura, dos reuniones con la Comunidad Atacameña de Río Grande y tres reuniones ampliadas de participación ciudadana.

El presente Estudio, especialmente en las actividades de Participación Ciudadana, se ha visto obstaculizado con otra iniciativa que en ocasiones se ha confundido con el presente estudio, que es el impulso a la conformación de una Junta de Vigilancia

La sola posibilidad de conformar una Junta de Vigilancia en el río San Pedro ha generado un ambiente complejo que se ha visualizado en las distintas reuniones relacionadas con el estudio por parte de grupos opositores al proyecto. Esto ha sido enfrentado dialogando con los distintos grupos opositores, intentando complementar el estudio a partir de las observaciones de ellos, lo que ha permitido un descenso en la reactividad del grupo y los regantes han estado llanos a escuchar, pudiendo realizarse reuniones de buena forma y donde -a pesar de la oposición- se ha logrado discutir los temas que atañen al Estudio, lo que favorece una futura toma de decisiones informada por parte de los regantes.

Además el Estudio ha sido bien recibido por los regantes, quienes han comprendido que la información que será generada en su elaboración será útil, y que se trata de un estudio integral que no incluye solamente un proyecto de embalse.

Si bien las dudas persisten, el nivel de confianza percibido en la segunda y tercera reuniones de participación ciudadana fue mayor y permitió discutir sobre temáticas más relacionadas con las obras estudiadas. Las principales dudas presentadas se relacionan con el pago que deberán efectuar los regantes en caso de concretarse alguna de las obras estudiadas, sobre la pertinencia de la Consulta Indígena en la etapa actual, el comportamiento de las obras ante los altos niveles de sedimentos, la relación del embalse con la minería, temas ambientales como el caudal ecológico y el efecto sobre el Salar de Atacama y Oasis de San Pedro de Atacama.

Durante el desarrollo de las distintas actividades se presentaron diferencias internas en la asamblea de la Asociación Atacameña de Regantes y Agricultores de San Pedro de Atacama, que se deben a la relación de directivas anteriores con instituciones del Estado y entre dirigentes, las que se evalúan como una debilidad de la Asociación, ya que el que estas polémicas sigan en boga no les permite enfrentar nuevos desafíos con toda la energía y apoyo de la asamblea, a pesar que el problema ha sido resuelto.

Se ha percibido en los dirigentes el cansancio que ha generado la realización de este estudio, ya que han aflorado posturas extremas, que han cuestionado las intenciones de autoridades, consultores y dirigentes, poniendo en jaque a la actual directiva, que ha asumido una postura conciliatoria. Han asumido públicamente que esperarán los resultados del estudio para discutir su postura frente a las autoridades como organización frente a un eventual embalse multipropósito.

La empresa consultora, por su parte, ha acompañado a la directiva de la asociación en este proceso, respondiendo a sus consultas con la mayor diligencia posible, además de participar en variadas reuniones dirigidas a los regantes que no estaban programadas desde el inicio y se han incorporado en este programa de participación ciudadana.

Dentro de las sugerencias para los futuros procesos de participación que se realicen en las próximas etapas del proyecto, están la realización de las actividades en días no hábiles, ya que en días hábiles gran parte de los usuarios de los recursos hídricos, dirigentes e interesados, se encuentran efectuando sus labores personales en San Pedro de Atacama o en otras localidades de la región. Esto se ve reflejado en la gran diferencia en el número de asistentes de la primera reunión ampliada respecto de la segunda y la tercera. Si bien no se pueden ligar directamente estos factores, la experiencia del consultor hace considerar que el horario ha sido clave en la menor participación de regantes y dirigentes.

Se recomienda que en las asambleas de participación ciudadana estén presentes las autoridades regionales de las instituciones vinculadas a la temática del agua, debido al alto grado de conflicto que hay en torno al tema del agua, cosa que ha sido constatada por los consultores no solo en este Estudio, al igual que por personal de la CNR; situación que se suma a la sensación de que no han sido escuchados. Esto requerirá de la coordinación

interinstitucional y no tan solo de la convocatoria que pueda realizar la empresa que adjudique las próximas etapas.

El alto grado de conflictividad, se ha acrecentado por la falta de consulta en la reglamentación de la Consulta Indígena en el marco del Convenio 169 de la OIT. Aunque esto no tiene una solución de corto plazo, el consultor ha acercado este programa de participación ciudadana a las demandas de las organizaciones indígenas relacionadas con el estudio, programando reuniones que no estaban previstas en la propuesta inicial, como las reuniones establecidas con los Grupos de Riego al inicio del estudio y las reuniones con la Comunidad Indígena de Río Grande. A pesar de esto, el tema va a seguir siendo visible a lo largo de este Proyecto.

Se recomienda que los resultados de esta consultoría sean sometidos a Consulta Indígena por parte del Estado a las comunidades indígenas involucradas, antes de iniciar la próxima etapa del proyecto, de manera de cumplir con los estándares del Convenio 169, ya que se dispondrá de la información pertinente para que estas comunidades puedan tomar decisiones respecto del manejo de su territorio y sus recursos naturales. Una propuesta al respecto se presenta en este informe.

Para finalizar, cabe destacar que en el caso de la construcción de un embalse para riego que va en directo beneficio de los pueblos indígenas, no basta con la aplicación de la consulta, si no que obligatoriamente tiene que haber un consentimiento previo, libre, informado y vinculante, información que el presente estudio pretendió generar.

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES DEL ESTUDIO

Se ha desarrollado el Estudio de Prefactibilidad del “Mejoramiento del Sistema de Riego en Río San Pedro, Comuna de San Pedro de Atacama”, localizado en la Región de Antofagasta, obteniéndose las siguientes conclusiones principales:

14.1. CONCLUSIONES

1. La agricultura en el valle de San Pedro de Atacama, se encuentra bastante deprimida por la escasez de agua y por su mala calidad, lo que originó el presente estudio de prefactibilidad de un embalse regulador de las aguas para riego, obra ansiada por varios años por parte de los agricultores. De hecho, la juventud se ha ido dedicando fundamentalmente al turismo y a la minería, quedando solamente gente mayor cultivando la tierra, lo que hace prever que, con el tiempo, la superficie de riego seguirá disminuyendo, e incluso podría desaparecer.
2. A partir de lo que indica el Manual para Grandes Obras de Riego y las recomendaciones del Ministerio de Desarrollo Social, se ha analizado el proyecto de embalse a través del concepto de multipropósito considerando

como usos complementarios al riego, el control de crecidas y la generación hidroeléctrica.

3. El sitio anhelado por los agricultores desde antaño fue uno ubicado en la confluencia de los ríos Jauna y Putana, nacimiento del río Grande, pero siempre fue descartado por razones económicas, ya que la obra de conducción de las aguas sería muy cara debido a la distancia a las zonas de riego. Hoy en día, además, queda descartado por razones ambientales.
4. Por los años 60 del siglo pasado, nació como sitio alternativo el del embalse Coyil, muy atractivo por tratarse de un embalse lateral, que regularía solamente las aguas normales del río, dejando pasar las aguas eventuales, de crecidas, que arrastran muchas sales y gran cantidad de sedimentos, al extremo que no es posible regar con ellas. Posteriormente, fue descartado por la DOH y por la CNR por razones geotécnicas. No existen en el río Grande otros afluentes que puedan postularse como embalses laterales en la zona baja, ni frontales en la zona alta.
5. Durante el desarrollo del presente estudio, se evaluaron a nivel de prefactibilidad dos sitios, ubicados en el río Grande aguas abajo de la confluencia con la quebrada Coyil, para situar un embalse frontal con el propósito de dar solución principalmente a la baja seguridad de riego del sector agrícola de San Pedro de Atacama y controlar las crecidas provocadas por el invierno altiplánico. En el estudio se determinó que estos sitios son inadecuados para embalsar aguas para riego con buena calidad, por cuanto atraparían las aguas contaminadas de las crecidas. Dichos sitios quedaron propuestos para ser analizados para el control de crecidas, solamente.
6. Los sondeos y otras prospecciones realizados en el sitio 1 y sitio 2 del río Grande, mostraron que no existe roca en la fundación ni estribos. Sin embargo, los ensayos realizados demuestran que el estrato es altamente cementado e impermeable, y sería suficiente para fundar una presa controladora de crecidas, sin necesidad de tratamiento complejo de la fundación. La presa puede plantearse de enrocados filtrante, o de enrocado con pantalla impermeable, como primera opción. En el primer caso, el talud de aguas abajo debe ser muy tendido, pero garantiza que la presa puede ser auto vertedora.
7. En consideración a que no puede plantearse presa de riego en el río Grande, se inspeccionó el río Salado y se detectó un sitio posible en la zona alta, sector de cruce del río con el camino a San Bartolo, que funcionaría como sitio lateral para las aguas del río Grande, que serían trasvasadas por un túnel. En este sector, el embalse sería frontal para las aguas del río Salado y también tendría un pequeño efecto regulador de crecidas, aunque no se le dé una capacidad extra con esos fines. Este sitio fue finalmente seleccionado

y analizado como única alternativa de embalse para riego, pero no fue prospectado por lo que sus diseños quedaron definidos a nivel de perfil avanzado, con algunos valores de costos sobreestimados, debido a la consideración de altos factores de seguridad.

8. Para la presa de riego seleccionada en el río Salado, desde el punto de vista de disponibilidad de materiales para la construcción del muro del embalse, y de las visitas realizadas, la presa más adecuada para el proyecto en cuestión corresponde a una del tipo CFRD, es decir una presa de enrocado con pantalla de hormigón.
9. El estudio hidrológico realizado permitió determinar los caudales de diseño para el túnel de desviación de la presa de riego en río Salado ($58 \text{ m}^3/\text{s}$) y para el vertedero, caudal de diseño de $520 \text{ m}^3/\text{s}$ y verificación para $1.353 \text{ m}^3/\text{s}$. De igual forma, el estudio sedimentológico permitió definir un volumen muerto del embalse de $3,00 \text{ hm}^3$.
10. La calidad de aguas presenta restricciones en los niveles de conductividad eléctrica, que sobrepasa la norma chilena de calidad de agua para riego, lo que limita la productividad de los cultivos del área de estudio. Esto hace imprescindible considerar obras que eviten una mayor contaminación de las aguas en los tramos más salados del río, especialmente su paso por la cordillera de la sal.
11. Con respecto al estudio agroeconómico, el tipo de agricultores presentes actualmente en el área de estudio, practica una agricultura de riego en la mayoría de los casos sólo con fines de autoconsumo. El tamaño predial es el característico de los valles precordilleranos del norte grande, es decir, terrenos muy pequeños, en su mayoría con una superficie menor a 5 ha, y escasa existencia de predios con más de 10 ha. Existe una cantidad no menor de predios deshabitados.
12. El área de estudio presenta, en general, condiciones de clima apropiadas para el desarrollo de una agricultura intensiva basada en una explotación amplia de cultivos, tales como hortalizas y frutales de hoja caduca. Los suelos presentan las características necesarias para su utilización agrícola, pero con la necesidad de efectuar lixiviación de sales para mejorar la capacidad productiva, que aumentaría el requerimiento de agua. La forma del área de riego favorece la implementación de todo tipo de cultivos y sistemas de riego.
13. Las características de los agricultores y del área de estudio, además de la magnitud del cambio productivo propuesto, justifican la necesidad de realizar inversiones adicionales al embalse, en tecnificación del riego especialmente para los predios mayores, lo que permite implementar nuevos cultivos y una producción más intensiva y rentable en el área de estudio. En la evaluación

agroeconómica se han contemplado los costos de inversión y mantención anual de sistemas de aspersión para alfalfa y goteo para hortalizas y frutales.

14. Los cambios propuestos no podrían concretarse sin una significativa asistencia técnica y transferencia tecnológica con enfoque local que permita incorporar prácticas de manejo productivo, eficiencia de riego y uso óptimo de las obras para el área de estudio, facilitando el paso a una agricultura de riego con un mayor nivel tecnológico. Por ello, se ha propuesto un programa de capacitación, asistencia técnica y transferencia tecnológica que involucra a todos los agricultores beneficiados por el proyecto, aún cuando se espera que algunos puedan preferir continuar con sus antiguas costumbres en primera instancia. Este programa tendría una duración variable dependiendo del tipo de predio que participe. Este ámbito es clave para aumentar las posibilidades de desarrollo productivo para la agricultura de la zona.
15. Un aspecto importante a destacar es la generación de mano de obra agrícola en un escenario con proyecto, ya que las jornadas totales masculinas experimentarían un crecimiento anual de 6,6%, llegando a un 180,0% el año 15 del horizonte de estudio con respecto a la Situación Actual. A esto se suma el aumento de las jornadas totales femeninas, con un crecimiento anual de un 25,1%. Ante un escenario con proyecto y con mejores ingresos, se estima que la juventud podría decidir retornar o no emigrar del lugar, para trabajar en el sector agrícola.
16. Mediante la aplicación del modelo de simulación de escala mensual que se desarrolló en este estudio, se evaluó tamaños de embalse entre 0,8 y 6,1 hm³ de volumen útil, concluyendo que es posible regar hasta 709 ha con 85% de seguridad de riego.
17. El presente estudio considera el análisis de diversas alternativas a partir de la combinación de obras propuestas, que implicarían la expropiación de terrenos, en la cantidad que se detalla en el Cuadro 16.1-1

**CUADRO 16.1-1
SUPERFICIE DE EXPROPIACIÓN**

Obra	Superficie (ha)	
	Bienes nacionales	Predios
Túnel 1	6,20	0,00
Túnel 2	3,10	1,60
Tubería Río Grande	0,70	2,53
Tubería Río Salado	6,42	0,23
Embalse Río Salado	57,7	0,00
Embalse Río Grande	45,3	0,00
Tubería Aguas Salinas	3,88	0,04

CUADRO 16.1-1 SUPERFICIE DE EXPROPIACIÓN

Obra	Superficie (ha)	
	Bienes nacionales	Predios
Tranques Nocturnos	0,00	1,70
TOTAL	123,3	6,1

Fuente: Elaboración Propia

18. En relación con la generación hidroeléctrica a pie de embalse, se determinó que esta no es factible por la necesidad de construir una línea de transmisión muy larga, además de la baja potencia disponible. Por otra parte, la instalación de una Mini Central Hidroeléctrica (MCH) aguas abajo del embalse y antes de la zona de canales permite generar hasta 550 kW, con un factor de planta superior a 80%, y presenta la ventaja de una mayor cercanía a la zona de consumo, que sería el pueblo de San Pedro de Atacama.
19. De acuerdo con la evaluación económica realizada con el método del presupuesto, la mayoría de las alternativas analizadas y asociadas a control de crecidas en el Río Grande, no resultó rentable, tanto a precios sociales como privados, es decir el VAN es siempre menor a cero, lo que se explica principalmente por el alto costo de las obras. Sin embargo, la alternativa que considera el uso múltiple de la obra, mejorando la calidad de las aguas de riego, e incluyendo el control de crecidas del propio embalse de riego en Río Salado, una ampliación del río San Pedro y generación hidroeléctrica, además de agua potable rural, sí resulta rentable a precios sociales, sin embargo a precios privados, no resulta rentable. Esta es la alternativa 3 con 6,1 hm³ de volumen útil destinado a riego, la que presenta los siguientes costos y parámetros económicos, Cuadros 16.1-2 y 16.1-3, respectivamente.

CUADRO 16.1-2 COSTO DE LAS OBRAS

Alternativa	PRECIOS PRIVADOS	PRECIOS SOCIALES
	3A-3-5-3	3A-3-5-3
Obras Civiles	1.465.323.729	1.453.597.934
Obras Riego	1.505.972.241	1.336.321.340
Conducción Río Salado	4.863.362.960	4.808.717.698
Embalse Río Salado	18.897.999.210	17.754.942.806
COSTO DIRECTO	26.732.658.141	25.353.579.779
Gastos Generales (45%)	12.029.696.163	11.409.110.900
SUBTOTAL	38.762.354.304	36.762.690.679
Expropiaciones (ha)	53.080.500	53.080.500

**CUADRO 16.1-2
COSTO DE LAS OBRAS**

	PRECIOS PRIVADOS	PRECIOS SOCIALES
MCH	1.733.345.949	1.733.345.949
Mejoramiento Caja Río	2.009.399.713	1.808.459.742
APR (*)	2.086.767.360	2.086.767.360
COSTO TOTAL	44.644.947.826	42.444.344.230

(*) Se hace notar que el costo del sistema de APR no se incluye en la evaluación económica ya que es 100 % subsidiado por el estado.

Fuente: Elaboración Propia

**CUADRO 16.1-3
RESULTADOS EVALUACION ECONOMICA ALTERNATIVA SELECCIONADA**

Alternativa (*)	VAN (MM \$)	TIR (%)
3A-3-5-3	324,6	6,06%

(*) Esta Alternativa de embalse en Río Salado consideró un análisis a nivel de perfil avanzado con factores de seguridad altos en la estimación de costos del embalse.

Fuente: Elaboración Propia

20. Para el caso de los métodos del valor incremental de la tierra y de las transacciones de derechos de aprovechamiento de aguas, el proyecto no es rentable para ninguna de las alternativas analizadas, a pesar del alto valor de los terrenos agrícolas de la zona.
21. El análisis de sensibilidad de las variables más relevantes muestra que es necesario un cambio significativo en los beneficios agrícolas o en el costo del embalse, para que el proyecto de riego solamente, se vuelva rentable a precios sociales. Sin embargo, los indicadores mejoran en forma importante si se analiza el proyecto de riego y generación hidroeléctrica en forma conjunta, ya que en este caso la rentabilidad se pone en riesgo solo si hay una disminución en los beneficios agrícolas ó en los costos de las obras de mayor envergadura.
22. Con respecto a la evaluación financiera es importante destacar que la capacidad y disposición de pago determinada es muy baja con respecto al total del valor anual a desembolsar por el costo del embalse (\$2.943.090/ha o \$3.699.567/ha, dependiendo si el interés por el pago diferido del proyecto es 2% o 4,5%, respectivamente), lo que trae como consecuencia que el

subsidio propuesto sea, para todos los tipos de predios analizados, sobre el 90%, y en la mayoría de los casos de 100%.

- 23.** Durante las actividades de PAC realizadas, se pudo comprobar que existe un importante porcentaje de los beneficiarios que están de acuerdo con el proyecto, pero también hubo otro grupo no menor de gente que no lo está. Las razones que justifican la posición de quienes se encuentran de acuerdo con el proyecto van de la mano con el deseo de tener una mayor disponibilidad y mejor calidad de agua para la agricultura, quienes se autodefinen como agricultores. El grupo que es contrario al proyecto, a pesar de considerar que el agua podría ser necesario, desconfía de la conformación de una Junta de Vigilancia y duda que el agua quede definitivamente en manos de los agricultores, suponiendo que finalmente será utilizada por actividades mineras, lo que tiene asidero en la presión que ejerce la minería en el mercado del agua, especialmente por el alto precio en que se transa este recurso. Esto se contrarresta con que la posesión actual de los derechos de agua es mayoritariamente de los agricultores de la cuenca, pero la cuenca no ha sido declarada oficialmente como agotada y el proyecto generaría aguas eventuales del río Salado, lo que hace suponer a quienes dudan del proyecto que finalmente será este rubro el controlador del mercado del agua en la cuenca. Es importante continuar con un proceso de difusión de la obra, aclarando todo tipo de dudas, en especial las relativas a que los únicos beneficiarios el día de mañana serán los poseedores de los derechos de las aguas.
- 24.** El análisis preliminar de impactos ambientales potenciales, concluye que el componente más afectado sería la Hidrología, ya que como sucede en cualquier proyecto que incluye obras de gran envergadura y numerosas intervenciones en los cauces, se ve completamente alterado el régimen de caudales y sedimentos. En cuanto a impacto, le siguen los componentes de Flora y Vegetación, junto con Fauna terrestre, ya que se han encontrado especies con problemas de conservación, que aunque son de preocupación menor cobran relevancia en un ecosistema con las características del área de estudio.
- 25.** En relación al valor cultural y patrimonial, la prospección en la zona del Río Grande, donde se ubica el embalse de control de crecidas (inicialmente se encontraban allí las alternativas de embalse de riego), da cuenta de la presencia de sitios arqueológicos, algunos de alta relevancia en el contexto local, como sitios habitacionales y petroglifos. Algunas de las estructuras asociadas pudieron asociarse a redes viales, de tipo pastoril o incluso como parte del Camino del Inca en dirección al tambo de Catarpe. Además en el sector del Río Salado, en donde se identificaron terrenos agrícolas actualmente sin uso, de los cuales se desconoce su antigüedad.

- 26.** Respecto del ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, el proyecto deberá someterse al SEIA como un Estudio de Impacto Ambiental (EIA), por cuanto el emplazamiento de la alternativa propuesta generaría impactos ambientales relevantes y que determinan el modo de ingreso como un EIA de acuerdo al Artículo 11 de la Ley 19.300, sus modificaciones (Ley 20.417) y sus especificaciones en el Artículo 6 (letras a y c) del Reglamento del SEIA.
- 27.** El sitio en donde se encuentra propuesto el Embalse Río Salado (Riego) y el Túnel 2, corresponden a los acuíferos Cocha y San Bartolo respectivamente. Estos acuíferos y las vegas asociadas se encuentran protegidos por el Código de Aguas y que figuran en el listado actualizado por la Resolución DGA No.529 (2003). Según la normativa vigente, cualquier intervención que se realice sobre estas áreas y que pueda generar alteraciones en su volumen, caudal o superficie, deberán ser sometidos a un Estudio de Impacto Ambiental. Esto obligaría de forma automática al ingreso al SEIA de cualquiera de las alternativas que contemplen tanto el Embalse Río Salado como el Túnel 2.

14.2. RECOMENDACIONES

A partir de las conclusiones anteriores las recomendaciones del proyecto son las siguientes:

- 1.** Con los resultados de rentabilidad asociados a la Alternativa 3, mencionada anteriormente, el proyecto podría recomendarse para continuar con los estudios de factibilidad, tomando en consideración que es necesario profundizar el análisis a través de estudios de ingeniería y otros que se mencionan a continuación.
- 2.** Se recomienda realizar prospecciones en el sitio seleccionado de la presa de riego en río Salado, y, alternativamente en sus vecindades, para determinar el tipo de suelo y condiciones estructurales del vaso.
- 3.** Se debe actualizar el estudio de los suelos de la zona, tomando muestras representativas de cada formación de los sectores de riego y análisis de laboratorio de cada una. De esta forma se podrán establecer con mayor detalle las limitaciones productivas de cada serie definida y la adaptabilidad edáfica de los cultivos.
- 4.** En un futuro estudio sería de gran utilidad realizar nuevas campañas de encuestas agropecuarias simples muestrales y estudios de caso, los que actualizarán el diagnóstico realizado y permitirán analizar la evolución de la agricultura, identificando tendencias demográficas, productivas y económicas,

lo que ayuda significativamente a la elaboración de escenarios con proyecto más certeros.

5. Se recomienda realizar estudios específicos de terreno para determinar la respuesta de distintos cultivos, en términos de los rendimientos alcanzados con distintas calidades de aguas, a fin de conocer con mayor precisión y realismo los beneficios económicos potenciales de la disminución de la salinidad del agua en la zona.
6. Para ahondar en la viabilidad práctica del proyecto, se debe realizar un estudio de mercado que contemple entrevistas a actores turísticos relevantes, tales como hoteles y restaurantes, con el fin de conocer sus expectativas, fortalezas y debilidades para la generación de canales de comercialización con los agricultores de la zona. Además, es necesario evaluar los beneficios de la asociación de los agricultores para aprovechar economías de escala.
7. Debe implementarse un proceso de participación y consulta indígena según los estándares del Convenio 169 de la OIT en los siguientes pasos del proyecto. Tanto los poseedores de los derechos de aguas, los dueños de algunos terrenos afectados y un importante porcentaje de los agricultores corresponden a organizaciones y/o personas de ascendencia indígena del pueblo Licanantay (atacameño). El proceso de participación y consulta debe estar íntimamente ligado al desarrollo de la ingeniería, por lo que los procesos deben ser consensuados con el pueblo afectado, a través de sus instituciones representativas.
8. Es necesario que las organizaciones de usuarios de aguas en el área de estudio, apoyen en forma participativa la redefinición de las normas de operación del sistema de riego y sus obras, con el objeto de generar una eficiente distribución del agua en ambos escenarios.
9. Si bien se ha realizado un completo diagnóstico de las aguas en situación de escurrimiento normal, la falta de datos sobre el comportamiento en régimen de crecidas, tanto de los volúmenes, como de los datos de calidad; se recomienda la instalación de una red de medición en la cuenca, que permita conocer el comportamiento de los parámetros de importancia en distintos puntos y en su relación con el caudal. Los puntos recomendados son: en el río Grande aguas arriba del pueblo de Río Grande y en San Bartolo; en el río Salado 1 km aguas arriba del camino a San Bartolo y 1 km antes de la confluencia con el río Grande; en el río San Pedro en la estación río San Pedro en Cuchabrachi, 1 km aguas arriba de la bocatoma del canal San Pedro y a la altura del hotel Alto Atacama. También se recomienda registrar la calidad de las aguas a la entrada y a la salida de los tranques Huachar, Siete y Solor.

10. Se debe realizar en las próximas etapas de este proyecto un estudio hidrogeológico del sector donde se propone implementar el embalse de acumulación, para poder estudiar el efecto sobre la salinidad y concentración de otros parámetros, que pudiera tener el suelo siendo fondo y paredes del embalse propuesto.
11. Respecto al Estudio de Análisis Ambiental, la recomendación primordial es realizar los estudios en el área de influencia directa del proyecto. Esto considerando que todos los estudios fueron desarrollados considerando las alternativas iniciales en el sector de Río Grande y sus resultados fueron extrapolados en función de las características ambientales de la zona, que deben ser corroborados.
12. Se recomienda la realización de estudios ambientales específicos: actualización y seguimiento de la línea de base, específicamente respecto al medio biótico, es fundamental identificar los efectos del cambio en el régimen del río, producto de la instalación de las obras propuestas, sobre las especies que actualmente habitan la ribera del cauce, que aunque no presentan estado de conservación que implique protección, son de relevancia para los habitantes de la zona, como sucede con el Chañar.
13. Se recomienda estudiar el funcionamiento hidrogeológico y ecosistémico del Oasis y el Salar de Atacama, el caudal ecológico basado en criterios biológicos (no sólo hidrológicos), calidad del aire y ruido, con el fin de afinar el conocimiento referente a estos temas y aumentar así el nivel de claridad y seguridad al momento de evaluar el impacto ambiental correspondiente, con todo lo que esto involucra en términos de la toma de decisiones futuras, planificación y manejo.
14. Considerando los resultados relacionados con el patrimonio cultural en el área de estudio, se recomienda la prospección exhaustiva del área en las futuras etapas, además de la realización de prospecciones arqueológicas en el sector del Río Salado, de forma participativa con los habitantes de la zona
15. Se recomienda realizar estudios de detalle específicamente en la zona de ubicación del embalse Río Salado y el Túnel 2, para evaluar los efectos de estas obras sobre los acuíferos protegidos existentes, cuyos resultados permitan evaluar los efectos de las obras sobre estos sistemas, y en caso de ser necesario proponer una nueva ubicación.
16. Sobre los derechos de aguas, se recomienda solicitar cambio de ubicación de la captación de los derechos permanentes de las comunidades beneficiadas. Solicitar los derechos consuntivos eventuales y continuos de las aguas del río Salado y además solicitar los derechos no consuntivos de todas las aguas que llegarían al embalse.