



MÁS Y MEJOR RIEGO PARA CHILE

ESTUDIO BÁSICO “DIAGNÓSTICO RECURSOS HÍDRICOS EN RIEGO SUSTENTABLE CUENCA LOA Y SALADO”

RESUMEN EJECUTIVO

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2017



MÁS Y MEJOR RIEGO PARA CHILE

ESTUDIO BÁSICO “DIAGNÓSTICO RECURSOS HÍDRICOS EN RIEGO SUSTENTABLE CUENCA LOA Y SALADO”

RESUMEN EJECUTIVO

Estudio Elaborado por:

ARRAU
Ingeniería SpA

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2017

Equipo participante:

Equipo Comisión Nacional de Riego:

María Loreto Mery Castro

Secretaria Ejecutiva:

Jaime Yañez Acevedo

Jefe División de Estudios, Desarrollo y Políticas

Wilhelm Gruss Ulloa

Coordinador Unidad de Estudios

César Navarrete Urrutia

Coordinador de Estudio:

Equipo Arrau Ingeniería Spa:

Felipe Espinoza

Jefe del Estudio y Especialista Evaluación Económica

Betsabé Gallardo

Coordinadora del Estudio

Jorge Olave

Especialista Calidad Suelos

Yuri Castillo

Especialista Modelación

Rodrigo Alvear

Especialista Agroeconómico

Rodrigo Carrasco

Especialista Hidrogeneración

Claudia Lizana
Encargada PAC

Raúl Espinosa
Profesional PAC

Denisse Santibáñez
Profesional Estudio Agroeconómico

José Astudillo
Profesional Estudio Agroeconómico

Valeska Cárcamo
Encargada Análisis SIG

Francisco Camus
Especialista SIG

Camilo González
Eduardo Sánchez
Técnicos

ESTUDIO BÁSICO “DIAGNÓSTICO DE RECURSOS HÍDRICOS PARA RIEGO SUSTENTABLE EN LA CUENCA DEL RÍO LOA Y SALADO”

RESUMEN EJECUTIVO

ÍNDICE

Acápites	Descripción	Página
1.	PRESENTACIÓN	1
1.1.	INTRODUCCIÓN	1
1.2.	OBJETIVOS DEL ESTUDIO	2
1.2.1.	Objetivo General	2
1.2.2.	Objetivos Específicos	3
1.3.	ÁREA DE ESTUDIO	4
1.4.	ÁRBOL DE PROBLEMAS ÁREA DE ESTUDIO	6
2.	REVISIÓN Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES	7
3.	CARACTERIZACIÓN SOCIAL DEL ÁREA DE ESTUDIO Y COORDINACIÓN CON COMUNIDADES	9
4.	CATASTRO Y MUESTREO DE CALIDAD DE AGUAS	12
4.1.	INTRODUCCIÓN	12
4.2.	TOMA DE MUESTRAS Y ANÁLISIS DE LABORATORIO	12
4.3.	ANÁLISIS TERRITORIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO	16
5.	CARACTERIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO FÍSICO QUÍMICO DE SUELOS	22
5.1.	DESARROLLO DEL DIAGNÓSTICO EN TERRENO	22
5.2.	RESULTADOS Y DIAGNÓSTICO DE SUELOS	25
6.	CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA	31
7.	SITUACIÓN ACTUAL AGROPECUARIA	32
7.1.	ANTECEDENTES PRODUCTIVOS Y DE TAMAÑO DE PROPIEDAD	32
7.2.	SISTEMAS DE RIEGO INTRAPREDIAL	33
7.3.	CLIMA Y AGROCLIMA	33
7.4.	USO DEL SUELO	35
7.5.	DEMANDAS DE AGUA ACTUALES PARA USO AGRÍCOLA	35
7.6.	CARACTERIZACIÓN PRODUCTIVA	36
8.	CARACTERIZACIÓN DE INFRAESTRUCTURA ACTUAL DE RIEGO	44
9.	DIAGNÓSTICO PRELIMINAR AGROPECUARIO	50
10.	MODELO DE SIMULACIÓN	51
11.	ESCENARIOS MODELADOS	51
12.	BENEFICIOS ASOCIADOS A LOS ESCENARIOS	52

ESTUDIO BÁSICO “DIAGNÓSTICO DE RECURSOS HÍDRICOS PARA RIEGO SUSTENTABLE EN LA CUENCA DEL RÍO LOA Y SALADO”

RESUMEN EJECUTIVO

ÍNDICE

Acápites	Descripción	Página
13.	DIAGNÓSTICO TERRITORIAL Y DEFINICIÓN DE IMAGEN OBJETIVO	53
14.	LÍNEAS DE ACCIÓN EN LA GESTIÓN DEL RIEGO	54
15.	EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA-SOCIAL DE LOS ESCENARIOS	57
16.	ESCENARIO PRODUCTIVO ALTERNATIVO SIN USO DEL SUELO	58
17.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62

ESTUDIO BÁSICO “DIAGNÓSTICO DE RECURSOS HÍDRICOS PARA RIEGO SUSTENTABLE EN LA CUENCA DEL RÍO LOA Y SALADO”

RESUMEN EJECUTIVO

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Descripción	Página
2-1	Resumen de Información de Fuentes Secundarias Utilizada en el Presente Estudio	7
4.2-1	Puntos de Muestreo de Calidad de Aguas Ríos Loa y Salado	12
5.1-1	Distribución de Calicatas Área de Estudio Comuna de Calama	22
5.1-2	Distribución de Calicatas y Muestras de Suelo Sectores en Calama	23
5.1-3	Distribución de Calicatas y Muestras de Suelo Pueblos Loa Salado	23
5.2-1	Indicadores de Medición en Parámetros Críticos de Caracterización de Suelos por Sub Sector	26
5.2-2	Equivalencia de Nivel de Impacto Según Medida de Tratamiento	29
5.2-3	Intensidad y Plazos de Aplicación de Medidas en Terreno	30
7.4-1	Uso del Suelo Situación Actual	35
7.5-1	Resumen Demanda Bruta Final Actual y Tasa de Riego Ponderada Final	36
7.6-1	Parámetros Productivos Cultivos Situación Actual	42
8-1	Breve Caracterización de la Infraestructura de Riego Existente	45
9-1	Principales Limitantes al Desarrollo Agrícola Área de Estudio	50
9-2	Prioridades para Inversión por Sector de Riego	51
11-1	Resumen Escenarios Modelados	52
12-1	Resumen de Modificaciones Introducidas para Determinar los Beneficios Agroeconómicos	53
14-1	Nivel de Impacto de Líneas de Acción en la Producción por Sub División Territorial Área de Estudio	56
15-1	Resultados Evaluación Económica a Precios Sociales	58

ESTUDIO BÁSICO “DIAGNÓSTICO DE RECURSOS HÍDRICOS PARA RIEGO SUSTENTABLE EN LA CUENCA DEL RÍO LOA Y SALADO”

RESUMEN EJECUTIVO

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Descripción	Página
16-1	Resultados Evaluación Económica	61

ESTUDIO BÁSICO “DIAGNÓSTICO DE RECURSOS HÍDRICOS PARA RIEGO SUSTENTABLE EN LA CUENCA DEL RÍO LOA Y SALADO”

RESUMEN EJECUTIVO

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Página
1.3-1	Área de Estudio	5
1.4-1	Árbol de Problemas Área de Estudio	6
4.2-1	Puntos de Monitoreo	15
4.3-1	Clasificación Resultados Ce	18
4.3-2	Clasificación Resultados Arsénico	19
4.3-3	Clasificación Resultados Boro	20
4.3-4	Clasificación Resultados Cloruro	21
5.1-1	Distribución Espacial de Puntos de Muestreo Sectores de Calama	24
5.1-2	Distribución Espacial de Puntos de Muestreo Chiu Chiu Lasana	24
5.1-3	Distribución Espacial de Puntos de Muestreo Ayquina Turi Paniri	25
7.6-1	Resumen Caracterización Agropecuaria Actual del Área de Estudio	43
14-1	Cambio de Paradigma en la Solución de Rentabilidad Económica de la Agricultura Local	57

ESTUDIO BÁSICO “DIAGNÓSTICO DE RECURSOS HÍDRICOS PARA RIEGO SUSTENTABLE EN LA CUENCA DEL RÍO LOA Y SALADO”

RESUMEN EJECUTIVO

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía	Descripción	Página
7.6-1	Cultivo de Alfalfa	37
7.6-2	Cultivo en terrazas Localidad de Ayquina	40

RESUMEN EJECUTIVO

1. PRESENTACIÓN

1.1. Introducción

Durante los años 2012 y 2013, la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas, llevó a cabo el **Estudio de Prefactibilidad "Alternativas de Obras de Regulación y Control de Crecidas en la Hoya del Río Salado (Afluente del Río Loa), Región de Antofagasta"**, el cual entre sus objetivos principales señalaba:

"...realizar a nivel de prefactibilidad los estudios técnicos, legales, ambientales y económicos de alternativas de solución para la mitigación de las inundaciones provocadas por las crecidas del río Salado, principal afluente del río Loa. Entre las alternativas a analizar se encuentran: obras de defensas fluviales y de encauzamiento en los ríos Loa y/o Salado, un embalse o un conjunto de ellos para la regulación de crecidas en el río Salado y sus afluentes y otras."

Debido a la posibilidad de incorporar obras de regulación en la cuenca del Río Salado, la CNR antes del comienzo de este estudio solicitó llevar a cabo esta iniciativa de inversión, por tratarse de una iniciativa con una clara aptitud de obra multipropósito, donde sería posible incorporar otras variables como regulación de recursos para riego y generación hidroeléctrica, entre otros.

Esta solicitud fue analizada por el Consejo de Ministros de la CNR N° 160 realizado el 28 de noviembre de 2011, donde se resolvió lo siguiente:

"Que la DOH continuará, según su planificación, ejecutando el estudio del Embalse Río Salado en su eje de mitigación de control de crecidas.

La Comisión Nacional de Riego está autorizada para realizar un estudio básico que determine usos complementarios al de control de crecidas, tales como potencial de riego, hidrogenación, áreas verdes u otros.

Con ambos estudios, si los resultados son positivos, se presentará a factibilidad el proyecto multipropósito al Sistema Nacional de Inversiones, y se continuará con el proceso normal para inversión en obras hidráulicas, con la salvedad que no se debe cambiar el lugar de emplazamiento del embalse Río Salado en la forma definida por la DOH"

Lo anterior, consta en la Resolución CNR N° 4369 Exenta del 29 de diciembre de 2011, que aprueba el acta de dicha sesión del Consejo de Ministros.

Durante el desarrollo del estudio llevado por la DOH, la CNR efectuó coordinaciones con los equipos técnicos del Departamento de Aguas Lluvias de la DOH, para solicitar que el estudio pudiera contar con los antecedentes necesarios para realizar un análisis multipropósito, entre ellos, estadísticas de caudales medios, parámetros geométricos de las obras (curvas de embalse) y costos asociados a esta para la elaboración de una evaluación económica, entre otros.

Dichas gestiones, se plasmaron en la confección de un estudio de Perfil denominado "**Estudio de Perfil Alternativa Embalse para Riego Sector Turi, Provincia del Loa Región de Antofagasta**" elaborado a partir de los antecedentes obtenidos del estudio de prefactibilidad, el cual se hizo llegar a la Secretaria Ejecutiva de la CNR a través del ORD. DPALL DOH N°25797 de fecha 15 de noviembre de 2013, y que forma parte de las referencias técnicas del presente estudio básico. En forma paralela al desarrollo del Informe Técnico, el equipo profesional de la CNR, ha efectuado análisis de las condiciones actuales del riego en la zona del Oasis de Calama, además de entrevistas a agricultores, concluyendo que los estudios solicitados por el Consejo de Ministros, requieren ser complementados con antecedentes de calidad de aguas y edafológicos de la zona de interés.

En función de los antecedentes y resoluciones expuestos, el presente estudio se adjudicó mediante resolución CNR nº 2.429 del 07 de junio de 2016 a Arrau Ingeniería SpA. El presente Estudio tiene por finalidad hacer la presentación, justificación y descripción del Estudio Básico "**GESTIÓN Y DIAGNÓSTICO DE RECURSOS HÍDRICOS PARA RIEGO EN LA CUENCA DEL RÍO LOA Y SALADO**", el cual, entre sus objetivos contempla dar cumplimiento a lo solicitado tanto por el Consejo de Ministros de la CNR como por los agricultores de la zona.

1.2. Objetivos del Estudio

1.2.1. Objetivo General

Los objetivos generales del Estudio son:

- Contribuir a la sostenibilidad de la agricultura del Oasis de Calama y sectores aledaños a través del estudio de la disponibilidad de la calidad de las aguas, así como la salinización de los suelos y propuestas de alternativas de mejoramiento de estos recursos.
- Diagnosticar la situación actual de la agricultura de riego de la ciudad de Calama, y proponer alternativas de mejoramiento tanto de la calidad (mezclas, desvíos, Fito remediación) como de la recuperación de los suelos destinados a la agricultura.
- Estudiar alternativas de mejoramiento de la calidad de las aguas de riego que abastecen a la ciudad de Calama, a través de la operación conjunta de los embalses

Conchi y el embalse de crecidas proyectado sobre el río Salado y medidas complementarias (fitorremediación, desvío de caudales, entre otros).

1.2.2. Objetivos Específicos

Los objetivos específicos del estudio son:

- Analizar el estado de las aguas de riego que hoy se aplican a los sectores productivos de la zona de estudio, a través de información secundaria y a través de información primaria con mediciones de calidad de aguas en terreno con campañas de muestreos.
- Cuantificar la cantidad y oportunidad de la disponibilidad de agua de riego en la zona de estudio.
- Analizar el estado de los suelos (estudio edafológico) que actualmente se riegan en la zona de estudio como de aquellos que hayan sido regados en épocas anteriores, identificando factores o agentes históricos que permitan explicar su estado actual.
- Cuantificar la actual superficie de riego, la superficie regada en épocas anteriores y aquella superficie potencial posible de ser incorporada a riego, bajo la hipótesis de contar con condiciones de riego para ello.
- En base a los estudios de aguas y suelo, desarrollar un análisis multi-criterio que permita obtener un diagnóstico de la zona de estudio en cuanto a su aptitud agrícola y productiva en Situación Actual.
- En base al Diagnóstico efectuado, proponer líneas de acción a través de perfiles de iniciativas, programas estudios o proyectos que permitan mejorar y aumentar las condiciones productivas del valle.
- Analizar el impacto en la disponibilidad y oportunidad de las aguas de riego, bajo la hipótesis de incorporar un embalse en la cuenca del Río Salado, previamente definido por la DOH, que opere en conjunto con el embalse Conchi.
- Modelar el comportamiento de la calidad del agua del río Salado y Loa, de manera de obtener una calidad de agua mejorada, estimando el posible impacto del aumento tanto del caudal como de la calidad del agua en la calidad y productividad agrícola del área beneficiada.
- Evaluar posibles usos de la obra propuesta en el estudio de la DOH, en el marco de un Plan Multipropósito.

- Proponer alternativas de mejoramiento para la calidad de aguas y suelos, y proponer eventuales medidas complementarias (fitorremediación, desvío de afluentes contaminados, entubamientos, etc.).

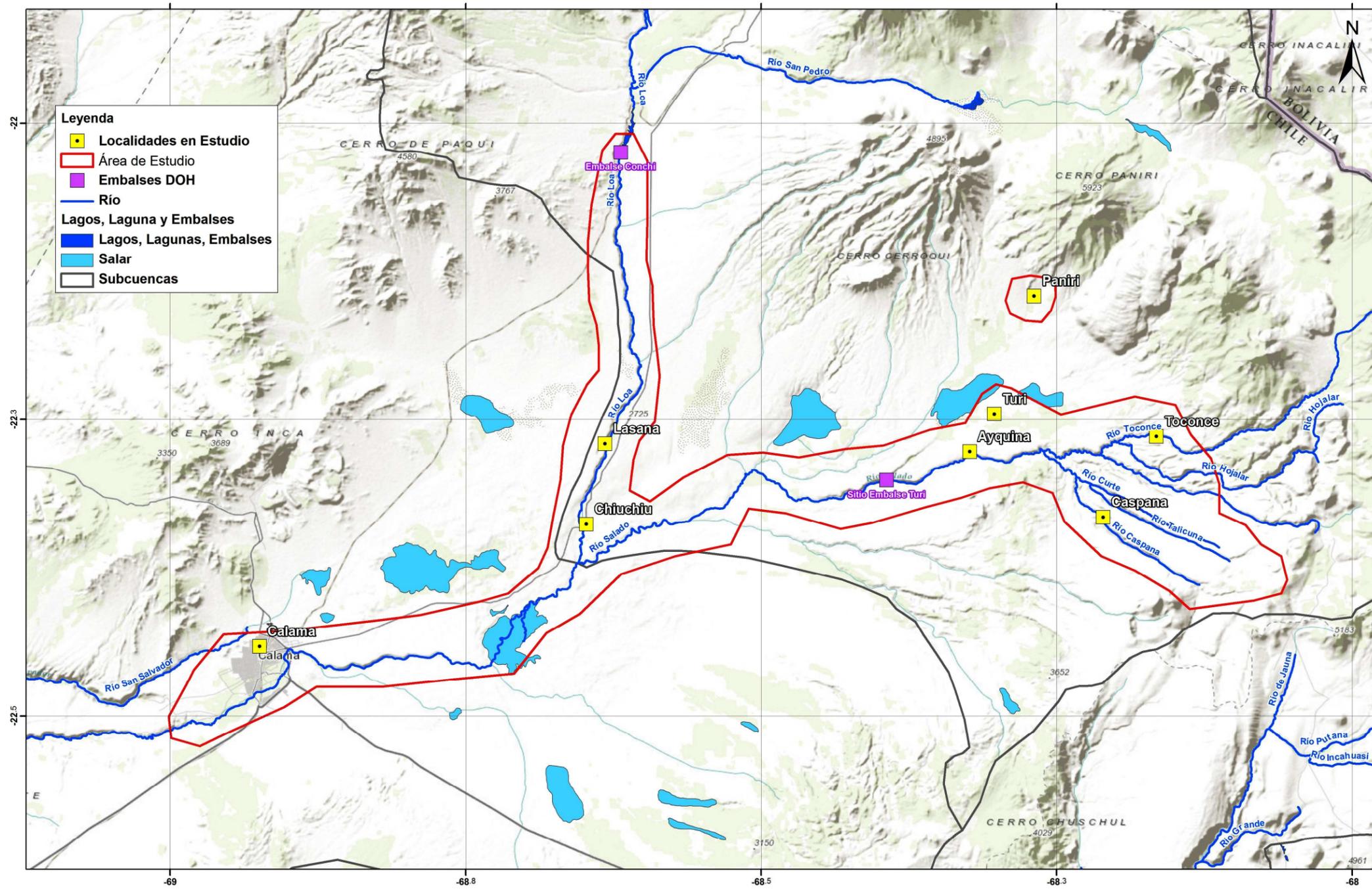
1.3. Área de Estudio

El área de estudio se encuentra inserta en la cuenca del río Loa y río Salado ubicada en la Región de Antofagasta, que limita al Sur con la Región de Atacama, al Norte con la Región de Tarapacá, al Noreste con Bolivia, al Sureste con Argentina y al Oeste con el Océano Pacífico. La zona específica del estudio corresponde al cauce del río Salado y sus afluentes, y al cauce del río Loa desde el tranque Conchi hasta más abajo de la zona agrícola de Calama (zona de potencial interés agropecuario). Ambos ríos confluyen aguas abajo de la localidad de Chiu Chiu.

La cuenca del río Loa es la única cuenca exorreica de la Región de Antofagasta. Tiene un cauce de 440 km de longitud y atraviesa el Desierto de Atacama, hasta llegar a su desembocadura en el océano pacífico. Su hoya hidrográfica comprende una superficie de 33.570 km², pero es activa en solo un 20%, en el sentido de captar recursos hídricos de precipitaciones en la cordillera (DGA, 2012).

El río Salado tiene sus orígenes en más de 30 vertientes frías y termales surgentes, en una gran hoyada que se extiende a los pies de la cadena del volcán Tatio, a unos 4.200 m.s.n.m. Después de un breve recorrido S-N, toma dirección al W, labrando también un profundo cañón de 100 m o más de altura en las tobas soldadas e ignimbritas riolíticas. En su curso medio recibe desde el norte el río Toconce reunido con el Hojalar, más abajo recibe por su orilla izquierda al río Caspana. En los afluentes del norte es donde se encuentra la principal toma de agua dulce con fines domésticos para Antofagasta, Tocopilla y las oficinas salitreras (DGA, 2012).

La zona específica de estudio, está comprendida principalmente por las actuales áreas de riego de la cuenca del río Loa, hasta la zona de Calama. Incluye los sectores de Chiu Chiu, Lasana en el río Loa, los sectores de Caspana y Toconce en el río Salado y el Oasis de Calama luego de la unión de los ríos Loa y Salado. El área de estudio se presenta en la Figura 1.3-1.



1.4. Árbol de Problemas Área de Estudio

Con el fin de visualizar la problemática identificada, se presenta la Figura 1.4-1, donde se muestra el árbol de problemas del Área de Estudio desarrollado en el marco del estudio. En la parte inferior de la figura se observan las diferentes condicionantes que afectan la actividad agrícola, y en la parte superior se muestran los efectos del deterioro de la actividad agrícola.

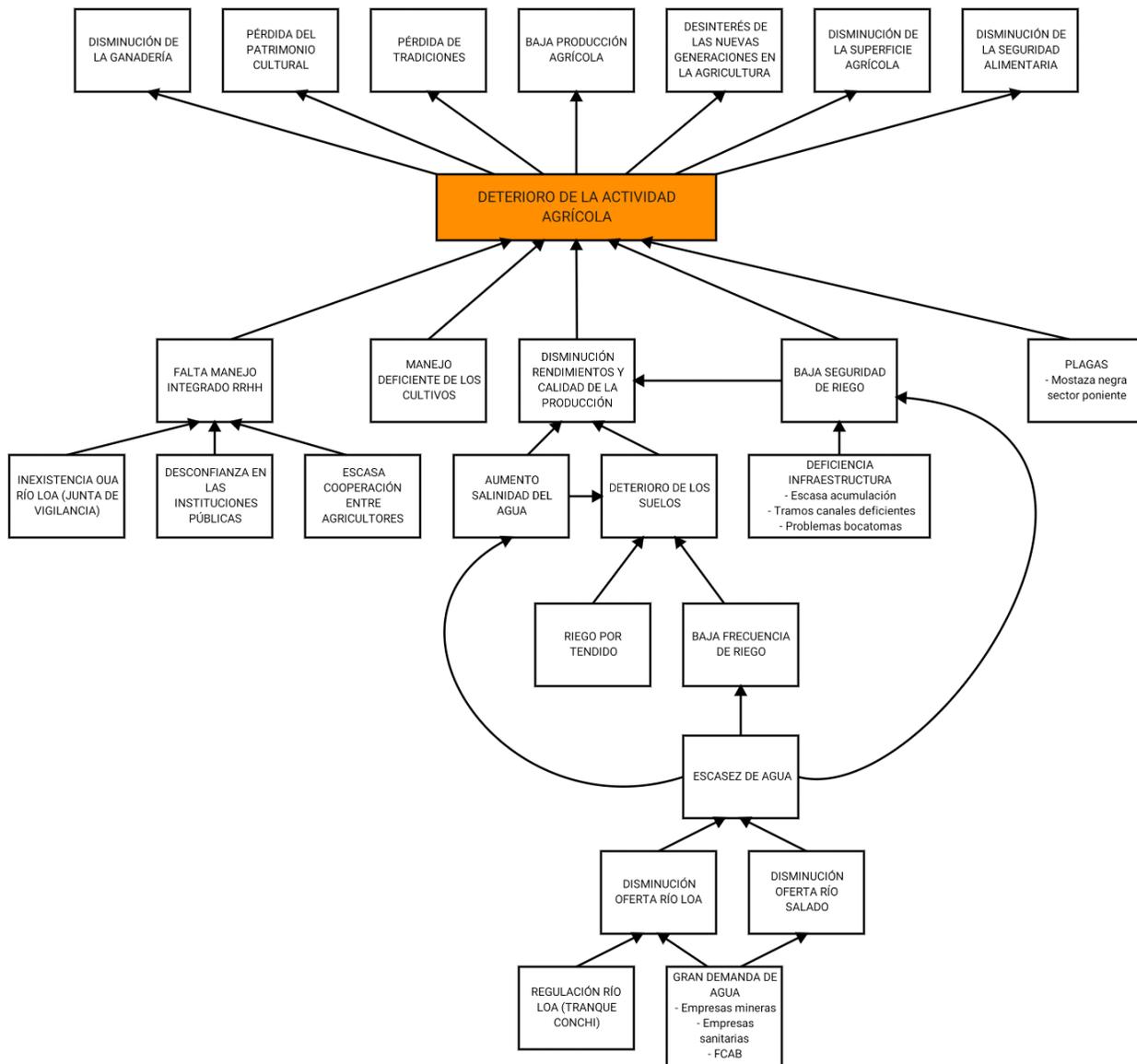


FIGURA 1.4-1
ÁRBOL DE PROBLEMAS ÁREA DE ESTUDIO

Fuente: Elaboración propia.

A modo de ejemplo, entre los elementos que se analizaron están los temas de cantidad de agua (datos bases de tipo hidrológico), calidad del agua, infraestructura, calidad de suelos, agropecuarios, disponibilidad de agua (como resultado de la modelación en situación base), consecuencias de la falta de agua, su calidad y el suelo, en el análisis del potencial agropecuario de la zona.

2. REVISIÓN Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES

Se ha efectuado la identificación y recolección de la información existente que resulta necesaria y de interés para lograr los objetivos del presente estudio. Esta información, se ha obtenido principalmente de estudios desarrollados por instituciones públicas y privadas, vinculadas a los temas de obras de control de crecidas en las hoyas hidrográficas de los ríos Salado y Loa y a otros temas directamente relacionados con éstos.

Esta recopilación ha sido realizada a objeto de obtener información preliminar de las distintas materias que se abordan en el estudio. La información ha sido clasificada por tema, en los cuales se abordan: Estudios Generales, Antecedentes de Contaminantes en Agricultura y Salud Pública, Antecedentes de Caracterización Agroproductiva y Antecedentes de Derechos de Aprovechamiento de Aguas.

En el Cuadro 2-1 se presenta el resumen del tipo de información que se obtuvo en los diferentes estudios revisados. La información secundaria aporta al marco de referencia del presente estudio, como base para el análisis de la situación actual y futura. La mayor parte de la información del presente estudio ha sido obtenida a través de las campañas de terreno, tales como datos de agua, suelos y tipo de agricultura, entre otros. En el caso de la caracterización agropecuaria los datos duros fueron obtenidos de fuentes secundarias, ya que no pudieron ser recogidos en encuestas de terreno.

CUADRO 2-1

RESUMEN DE INFORMACIÓN DE FUENTES SECUNDARIAS UTILIZADA EN EL PRESENTE ESTUDIO

ESTUDIO	INFORMACIÓN UTILIZADA
ESTUDIOS GENERALES	
Plan de Gestión de Riego Región de Antofagasta, CNR – AMPHOS 21, 2017.	Marco referencial para el análisis de derechos de agua concedidos en la zona de estudio; futuros proyectos posibles de incluir en la zona.
Compendio Cartográfico Regionalizado Proyectos de Energías Renovables en Chile. Ministerio de Energía, 2016.	Estado de proyectos hidroeléctricos en la Región de Antofagasta.
Estudio de Prefactibilidad “Alternativas de Obras de Regulación y Control de Crecidas en la Hoya del Río Salado (Afluente del Río Loa), Región de Antofagasta”, DOH – Arrau Ingeniería EIRL, 2014.	Estadísticas Hidrometeorológicas. Métodos de modelación Hidrológica.

CUADRO 2-1

RESUMEN DE INFORMACIÓN DE FUENTES SECUNDARIAS UTILIZADA EN EL PRESENTE ESTUDIO

ESTUDIO	INFORMACIÓN UTILIZADA
ESTUDIOS GENERALES	
Diagnóstico Plan Estratégico Para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta, DGA - Arrau Ingeniería EIRL, 2012.	Estadísticas Hidrometeorológicas.
Catastro de Obras de Riego y Elaboración del Plan de Inversiones al año 2018 Zona Norte. Regiones de Arica y Parinacota a Metropolitana. Informe final. Catastro de Obras de Riego y Rehabilitación de Obras Menores de Riego. PROMM.- Santiago: PROCIVIL, 2009.	Marco de referencia de propuestas para el desarrollo de la zona de estudio.
Diagnóstico del Riego y Drenaje en la II Región, CNR - AC Ingenieros Consultores Ltda., 2003	Marco referencial agropecuario para el estudio.
Diagnóstico y Clasificación de los Cursos de Agua Según Objetivos de Calidad, Cuenca del Río Loa. DGA - Cade-Idepe, 2004.	Marco referencial análisis de calidad de aguas. Información respecto de los factores incidentes de los valores altos de parámetros de calidad.
Ministerio de Obras Públicas Dirección General de Aguas Departamento de Estudios y Racionalización, Estudio de Racionalización del Área de Riego del Río Loa II Región de Chile, Hans Niemeier Fernández, 1979	Marco referencial general para el estudio
Análisis General del Impacto Económico de Norma Secundaria de Calidad de Aguas del río Loa en el Sector Silvoagropecuario. SAG, 2005.	Información sobre estudio MINSAL, 1982 Información referencial sobre los efectos de los parámetros de calidad de aguas.
ANTECEDENTES DE CARACTERIZACIÓN AGROPRODUCTIVA	
Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA)	Antecedentes de precios y volúmenes transados en el mercado mayorista de Santiago.
Comisión Nacional de Riego – Ciren Corfo	Para verificar los antecedentes de Evapotranspiración Potencial existentes para el área en estudio.
INDAP	El INDAP posee información del uso actual del suelo y de valores económicos. También aporta publicaciones enfocadas a la capacitación de agricultores de la zona norte.
Agroindustrias y Ferias	La información proporcionada por las empresas de agroindustria y ferias permitió obtener referentes sobre la situación actual y perspectivas que enfrenta la actividad en la zona, los que serán de suma utilidad en el planteamiento de los criterios de desarrollo para el área del proyecto.
Asraf, M.; Oztur, M. and Ahmad, M.S.A..2010. Plant adaptation of phytoremediation. Springer Science	Se utilizará como referencia para definir opciones de futuras medidas para mejorar la situación actual.
Guo-Xim Sun; Willians, P. and Yong-Huan Zhu. 2009. Mechanics of arsenic uptake and metabolism by plants: Focusing on Rice. Japan Meeting Manuscript.	Marco de referencia relacionado con la contaminación de arsénico en las plantas.
Guzmán, M. y Olave, J. 2006. Both electrical conductivity and sodium absorption ratio of fertigation solution affect yield and quality of soilless melon crops. Acta Hort. (ISHS)718:485-490.	Marco de referencia de efecto de sales en cultivos.

CUADRO 2-1

RESUMEN DE INFORMACIÓN DE FUENTES SECUNDARIAS UTILIZADA EN EL PRESENTE ESTUDIO

ESTUDIO	INFORMACIÓN UTILIZADA
ANTECEDENTES DE CARACTERIZACIÓN AGROPRODUCTIVA	
Guzmán, M. y Olave, J. 2006. Response of growth and biomass production of primed melon seed (Cucumis melo L. cv. Primal) to germination salinity level and N-forms in nursery. Journal of Food Agriculture & Environment, Vol.4(1):163-165	-Marco de referencia de efecto de sales en cultivos.
Marañes, A.; Sánchez, J.; de Haro, S.; Sánchez, S. y del Moral, F. 1998. Análisis de Suelos. Metodología e Interpretación. Servicio de Publicaciones Universidad de Almería, España.184 p.	-Marco de referencia general para análisis de suelo.
Diagnóstico y Propuesta de Fomento a la Agricultura Regada en la II Región, CNR y Gobierno Regional II Región-GEOFUN PROCIVIL, 2000.	-Referencia de propuestas de desarrollo comunal, que servirán para el planteamiento de escenarios a estudiar.
Agricultura en el desierto de la II Región de Chile. Proyecto agrícola San Pedro de Atacama. Calama. Universidad Arturo Prat. Ilustre Municipalidad de San Pedro de Atacama. Jornada de Difusión Agrícola, 2000.	-Marco de referencia de estado de la agricultura en San Pedro de Atacama, destacan problemáticas clave que aún persisten en zona de estudio.
Consultoría DEP-015 "Diagnóstico Obras de Riego Pueblos Hoya Río Salado, II Región"; Dirección de Riego, 1995.	-Marco referencial para el estudio de suelo, ya que contiene un análisis completo de los suelos de la Región al año 1993.
"Diagnóstico del Uso y Evaluación de Recursos Suelo, Clima y Agua en Comunidades Étnicas de la Provincia del Loa". Fundación Chile. 1993.	-Marco de referencia para conocer el uso del suelo a la fecha de estudio, pudiendo compararla con información del estudio en curso, para deducir razones de condiciones actuales.
ANTECEDENTES DE DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS	
Diagnóstico Situación Legal de Derechos de Agua Cuenca del Loa". Yanasa Massi, 2014.	-Registro de comuneros y usuarios de aguas de la cuenca del río Loa.

Fuente: Elaboración propia.

3. CARACTERIZACIÓN SOCIAL DEL ÁREA DE ESTUDIO Y COORDINACIÓN CON COMUNIDADES

El estudio encontró sus fundamentos en un diagnóstico que señala que las posibilidades de desarrollo agrícola en el oasis de Calama y sus alrededores se han visto limitadas por la baja calidad del agua de riego, la salinización de los suelos y los problemas de disponibilidad asociados al recurso hídrico. Frente a tal escenario, el desafío planteado tuvo que ver con el efectuar un diagnóstico integral y proponer líneas de acción para enfrentar dichas problemáticas, en un intento por reimpulsar una agricultura que, en las últimas décadas, ha enfrentado un permanente retroceso.

El territorio en estudio comprendió los sectores agrícolas cercanos a los ríos Loa y Salado, incorporando en este territorio tanto al oasis de Calama, como a una serie de Comunidades

Atacameñas que forman parte del Área de Desarrollo Indígena Alto El Loa¹. En concreto, las Comunidades Indígenas originalmente contempladas fueron las siguientes: Caspana, Lasana, Chiu Chiu, Toconce y Ayquina. En lo que respecta al oasis de Calama, junto con las comunidades de agua y organizaciones indígenas existentes, la Asociación de Agricultores de Calama (ASAC) es la principal organización que los agricultores se han otorgado a sí mismos para deliberar respecto a sus intereses comunes.

El proceso participativo desarrollado tuvo como primer desafío lograr involucrar a las distintas comunidades en proyecto, esto desde una doble premisa: por un lado, porque solo su incorporación daría factibilidad a los múltiples trabajos de terreno que debían efectuarse; por el otro, debido a que son ellos quienes mejor conocen sus realidades y por el interés de incorporar sus intereses al desarrollo del estudio, dotando al mismo de una mayor pertinencia territorial y legitimación social.

Cabe señalar que este desafío enfrentó un escenario complejo, pues se hizo evidente la presencia de una extendida desconfianza hacia el accionar del Estado la que, en términos generales, encuentra sus raíces en lo que fue evaluado por distintos entrevistados como una suerte de abandono a las comunidades indígenas y agrícolas del sector, las que han visto sus formas de vida retroceder frente al avance de la actividad minera, sin que existan suficientes inversiones públicas que ayuden a hacer sostenible sus opciones de vida, que incluyen el uso de su territorio y el desarrollo de sus tradiciones a través de la agricultura. Asimismo, un argumento repetido tuvo que ver con la escasa devolución de los resultados de anteriores estudios a las comunidades (las que demandan una mayor incidencia y transparencia en la ejecución de las políticas públicas) y la no materialización de los mismos en inversiones concretas en los territorios. Este marco general obligó a que los esfuerzos iniciales estuvieran orientados a viabilizar el proyecto, efectuando diversas reuniones con dirigentes en las que se adoptaron compromisos, siendo la entrega de los resultados a las comunidades interesadas un componente transversal de los mismos. Ésta se efectuó por medio de la realización de asambleas en distintas etapas del proyecto. Tales acuerdos fueron los que posibilitaron la concreción de los trabajos de terreno y la participación de la mayor parte de las comunidades en el estudio. La excepción estuvo dada por las comunidades de Caspana, cuya Asamblea determinó no involucrarse y de Toconce, que por el cambio de su directiva, el presidente prefirió no tomar decisiones de participar en un estudio que comprometiera una futura administración.

Otra de las acciones iniciales tuvo que ver con la efectuación de entrevistas a actores claves, las que permitieron levantar información territorial relevante para el diagnóstico, conocer proyectos actualmente presentes, así como las expectativas, desafíos y posicionamientos respecto al estudio y al desarrollo agrícola.

¹ La Ley Indígena N° 19.253 define Áreas de Desarrollo Indígena (ADI) como “...espacios territoriales en que los organismos de la administración del Estado focalizarán su acción en beneficio del desarrollo armónico de los indígenas y sus comunidades” (Art. 26).

Las entrevistas, así como los discursos emergentes en las asambleas dan cuenta de un territorio que, especialmente en el oasis de Calama, ve sus posibilidades de desarrollo agrícola bastante limitadas, pese a contar con una larga tradición agro ganadera. Desde la sociedad civil, el diagnóstico más extendido atribuye el declive agrícola a la multiplicidad de actores que presionan sobre el recurso hídrico y a la utilización del agua de mejor calidad (río Loa) por parte de la industria minera, la que también es frecuentemente indicada como la responsable del empeoramiento en la calidad del agua. La ya reseñada desconfianza hacia el Estado se ve también nutrida debido a lo que se considera una priorización de los intereses mineros por sobre los agrícolas. De ahí que, en el oasis de Calama una de las demandas más reiteradas por la comunidad tenga que ver con el establecimiento de un royalty minero destinado al agro. Este ejemplo sirve para constatar otro de los principales desafíos que enfrentó el diálogo con las comunidades: el hecho que las demandas efectuadas solían tener un carácter sistémico, lo que contrasta con el abordaje sectorial que efectúa el Estado y que restringe sus posibilidades de respuesta. La relación del Estado con los Pueblos Indígenas, el envejecimiento poblacional, el crecimiento urbano fueron otras de las problemáticas que emergieron y que superan con creces las posibilidades de acción del estudio.

En cuanto a las demandas emergentes que sí pueden ceñirse a los límites del estudio, cabe destacar que el mayor interés de los agricultores solía estar dado por temas de infraestructura (de contención, acumulación y conducción) y de disponibilidad, relegando a un segundo plano a la calidad de suelos y aguas. Parece pues, que los desafíos cotidianos para sostener la actividad son los que ocupan lugares prioritarios, por lo que rol que jugó el estudio en relación a dar cuenta de la relevancia de la calidad del agua para asegurar la sostenibilidad futura de la actividad agrícola fue importante.

En términos generales, los resultados del estudio proponen que, dada la condición de los suelos y las aguas, es necesario un cambio paradigmático que oriente la actividad agrícola hacia la hidroponía y la utilización de invernaderos, utilizando para ello plantas de tratamiento de aguas (Ver Capítulo 16). En términos socioculturales, tales recomendaciones suponen un desafío mayor, pues significan una transformación importante en la cultura agrícola que las comunidades han construido a lo largo de generaciones. A la vez, tales cambios deben actuar sobre una población envejecida, que suele tener mayor aversión al cambio. Es por ello que un reto futuro importante tendrá que ver con la capacidad de conciliar adecuadamente la innovación sugerida, con las prácticas culturales asentadas y con dotar a aquellos agricultores dispuestos a innovar con una red de apoyo que viabilice los proyectos y que haga atractiva la innovación para otros. En las reuniones efectuadas existieron agricultores abiertos a las transformaciones sugeridas y otros que reivindicaron su agricultura ancestral. Una máxima de la antropología política señala que aquellas sociedades que ven amenazadas sus formas de vida suelen cerrarse en torno a sus tradiciones, volviéndose más reticentes al cambio cultural y a las influencias externas. Por ello, es evidente que se requerirá diálogo, capacitación y planes pilotos para ir construyendo las condiciones adecuadas al cambio de paradigma propuesto.

4. CATASTRO Y MUESTREO DE CALIDAD DE AGUAS

4.1. Introducción

El objetivo de este capítulo es presentar una evaluación de la calidad de los recursos hídricos utilizados para el riego en el área de estudio. Con este fin, se realizó una revisión de antecedentes bibliográficos relevantes, se analizaron los datos históricos de las estaciones DGA seleccionadas y se realizaron dos muestreos de la calidad del agua en puntos relevantes del área de estudio a través de análisis de laboratorio y muestreos *in situ*.

4.2. Toma de Muestras y Análisis de Laboratorio

Se realizaron dos campañas de muestreos puntuales de calidad de aguas, analizando los parámetros necesarios para evaluar la calidad de agua para riego. La primera campaña se realizó a partir del 7 de noviembre de 2016 y la segunda campaña se realizó a partir del 15 de mayo de 2017, una vez finalizado el periodo de precipitaciones de invierno altiplánico.

En las áreas regadas se realizaron dos tipos de muestreo, los indicados "*in situ*", que comprenden: pH, temperatura (°C), conductividad eléctrica (S/cm) y sólidos disueltos totales (ppt) y aquellos en los que se realizará un análisis de laboratorio según los parámetros de la NCh 1.333 para riego.

En la segunda campaña de monitoreo, se incluyen tres puntos nuevos con el objetivo de comprender de mejor manera el comportamiento de la calidad físico química del agua en la parte alta de la cuenca del río Salado.

El detalle de los puntos seleccionados se presenta en el Cuadro 4.2-1 y en la Figura 4.2-1.

CUADRO 4.2-1
PUNTOS DE MUESTREO DE CALIDAD DE AGUAS RÍOS LOA Y SALADO

Nombre Punto	Fecha Muestreo Primera Campaña	Fecha Muestreo Segunda Campaña	Ubicación o Punto GPS		Descripción
			Norte	Este	
AL1	09/09/2016	16/05/2017	7.538.015	585.961	RÍO SALADO EN TOCONCE, AGUAS ABAJO POBLADO DE TOCONCE
AL2	09/09/2016	17/05/2017	7.534.658	578.298	RÍO CASPANA AGUAS ABAJO POBLADO DE CASPANA
AL3	09/09/2016	16/05/2017	7.536.090	578.001	RÍO SALADO, EN ESTACION DGA, AGUAS ABAJO POBLADO TOCONCE
AL4	09/09/2016	16/05/2017	7.535.005	567.480	RÍO SALADO EN ESTACION DGA AGUAS ABAJO POBLADO AYQUINA
AL5	09/09/2016	17/05/2017	7.534.062	550.117	RÍO SALADO, AGUAS ARRIBA CRUCE CON RUTA B-169

CUADRO 4.2-1
PUNTOS DE MUESTREO DE CALIDAD DE AGUAS RÍOS LOA Y SALADO

Nombre Punto	Fecha Muestreo Primera Campaña	Fecha Muestreo Segunda Campaña	Ubicación o Punto GPS		Descripción
			Norte	Este	
AL6	08/09/2016	17/05/2017	7.529.883	544.799	RÍO SALADO AGUAS ABAJO CRUCE CON RUTA B-169
AL7	08/09/2016	15/05/2017	7.564.041	539.091	RÍO LOA, EN ESTACION DGA AGUAS ABAJO EMBALSE CONCHI
AL8	08/09/2016	15/05/2017	7.541.227	540.020	RÍO LOA, AGUAS ARRIBA POBLADO LASANA
AL9	08/09/2016	15/05/2017	7.530.440	535.909	RÍO LOA, AGUAS ARRIBA POBLADO DE CHIUCHIU
AL10	08/09/2016	15/05/2017	7.542.242	534.816	RÍO LOA, AGUAS DEBAJO DE JUNTA CON RÍO SALADO
AL11	08/09/2016	15/05/2017	7.516.500	527.611	RÍO LOA, SECTOR DENOMINADO "MARMOLERAS"
AL12	08/09/2016	15/05/2017	7.516.113	514.787	RÍO LOA, SECTOR YALQUINCHA, EN BOCATOMA CANAL YALQUINCHA SUR
AL13	07/09/2016	15/05/2017	7.517.957	510.170	RÍO LOA EN CALAMA, BOCATOMA CANAL TRONCO, AGUAS ABAJO PUENTE CAMINO A CHIUCHIU
AL14	07/09/2016	18/05/2017	7.517.524	509.956	RÍO LOA EN CALAMA, AGUAS ABAJO PUENTE NEGRO
AL15	07/09/2016	18/05/2017	7.516.341	510.200	RÍO LOA EN CALAMA, SECTOR TOPATER, EN BOCATOMA CANAL DEL MISMO NOMBRE
AL16	07/09/2016	18/05/2017	7.511.268	502.159	RÍO LOA, AGUAS DEBAJO DE CALAMA EN SECTOR DENOMINADO LA CASCADA
AL17	10/09/2016	16/05/2017	7.541.581	574.068	VERTIENTES TURI
AL18	10/09/2016	16/05/2017	7.536.125	570.217	VERTIENTE AYQUINA
AL19	10/09/2016	17/05/2017	7.535.711	571.507	VERTIENTE PROYECTO AYQUINA
AL20	16/09/2016	18/05/2017	7.514.982	505.911	AGUAS TRATADAS SECTOR CALAMA, EN PREDIO SRA. NOEMI CUEVAS
IS1	10/09/2016	17/05/2017	7.535.661	571.574	EN RÍO SALADO AGUAS ARRIBA AYQUINA
IS2	10/09/2016	16/05/2017	7.551.083	575.567	EN VERTIENTE QUE ABASTECE A CANAL PANIRI 1
IS3	10/09/2016	16/05/2017	7.550.750	573.309	EN VERTIENTE QUE ABASTECE A CANAL PANIRI 2
IS4	10/09/2016	*	7.536.224	570.081	EN VERTIENTE TANTOR, AYQUINA
IS5	10/09/2016	*	7.536.105	570.086	EN VERTIENTE COLLER, AYQUINA
IS6	10/09/2016	*	7.536.091	569.955	EN PILA SAN PABLO, AYQUINA
IS7	19/09/2016	*	7.529.846	535.993	CANAL RIBERA IZQUIERDA RÍO LOA
IS8	19/09/2016	*	7.530.617	535.565	CANAL RIBERA IZQUIERDA RÍO LOA, CANAL LA BANDA
IS9	19/09/2016	*	7.529.478	535.911	CANAL DEL PUEBLO CHIUCHIU
IS10	19/09/2016	*	7.534.777	537.140	EN CANAL GRANDE DE CHIUCHIU, CERCANO A BOCATOMA

**CUADRO 4.2-1
PUNTOS DE MUESTREO DE CALIDAD DE AGUAS RÍOS LOA Y SALADO**

Nombre Punto	Fecha Muestreo Primera Campaña	Fecha Muestreo Segunda Campaña	Ubicación o Punto GPS		Descripción
			Norte	Este	
IS11	11/09/2016	18/05/2017	7.517.190	509.875	CANAL TRONCO, EN LAS CERCANIAS DE BOCATOMA CANAL TAMBORES
IS12	11/09/2016	18/05/2017	7.515.701	508.139	CANAL COCO LA VILLA EN COMPLEJO DEPORTIVO COBRELOA (URBANO)
IS13	11/09/2016	18/05/2017**	7.515.134	506.205	CANAL COCO LA VILLA, RAMAL CERRO NEGRO (URBANO)
IS14	11/09/2016	18/05/2017	7.515.751	509.695	CANAL LAILAI, ANTES CRUCE CON CAMINO A SAN PEDRO DE ATACAMA
IS15	11/09/2016	18/05/2017	7.514.684	508.329	CANAL LAILAI ANTES CRUCE FERROCARRIL
IS16	11/09/2016	18/05/2017	7.513.895	506.140	CANAL CHUNCHURI BAJO, EN ENTRADA A MEDIALUNA CALAMA
IS17	11/09/2016	18/05/2017	7.513.321	506.031	CANAL CHUNCHURI BAJO
IS18	11/09/2016	18/05/2017	7.514.226	508.669	CANAL TOPATER, AL COSTADO COLEGIO CHUQUICAMATA
IS19	11/09/2016	18/05/2017	7.516.241	509.469	CANAL BERNA (SEMIURBANO)
IS20	11/09/2016	18/05/2017	7.516.279	508.821	CANAL TRONCO EN PARCELAS (SEMIURBANO)
NU-01	-	16/05/2017	7536111	581086	RÍO TOCONCE ANTES DE JUNTA CON RÍO SALADO
NU-02	-	16/05/2017	7535524	581190	RÍO SALADO ANTES DE JUNTA CON RÍO TOCONCE
NU-03	-	16/05/2017	7535974	578022	QUEBRADA SIN NOMBRE

AL: Análisis Laboratorio.

IS: Monitoreo *In situ*.

*: A estos puntos In Situ no se pudo acceder, debido a que el periodo de toma de muestras se vio interrumpido en varias ocasiones por el fenómeno meteorológico de tormentas de arena, por lo cual la toma de muestras se suspendió como medida de seguridad de los trabajadores.

** : Este punto no se monitoreó, ya que el canal se encontraba sin agua hasta el mes de agosto, por reparaciones.

Fuente: Elaboración propia.

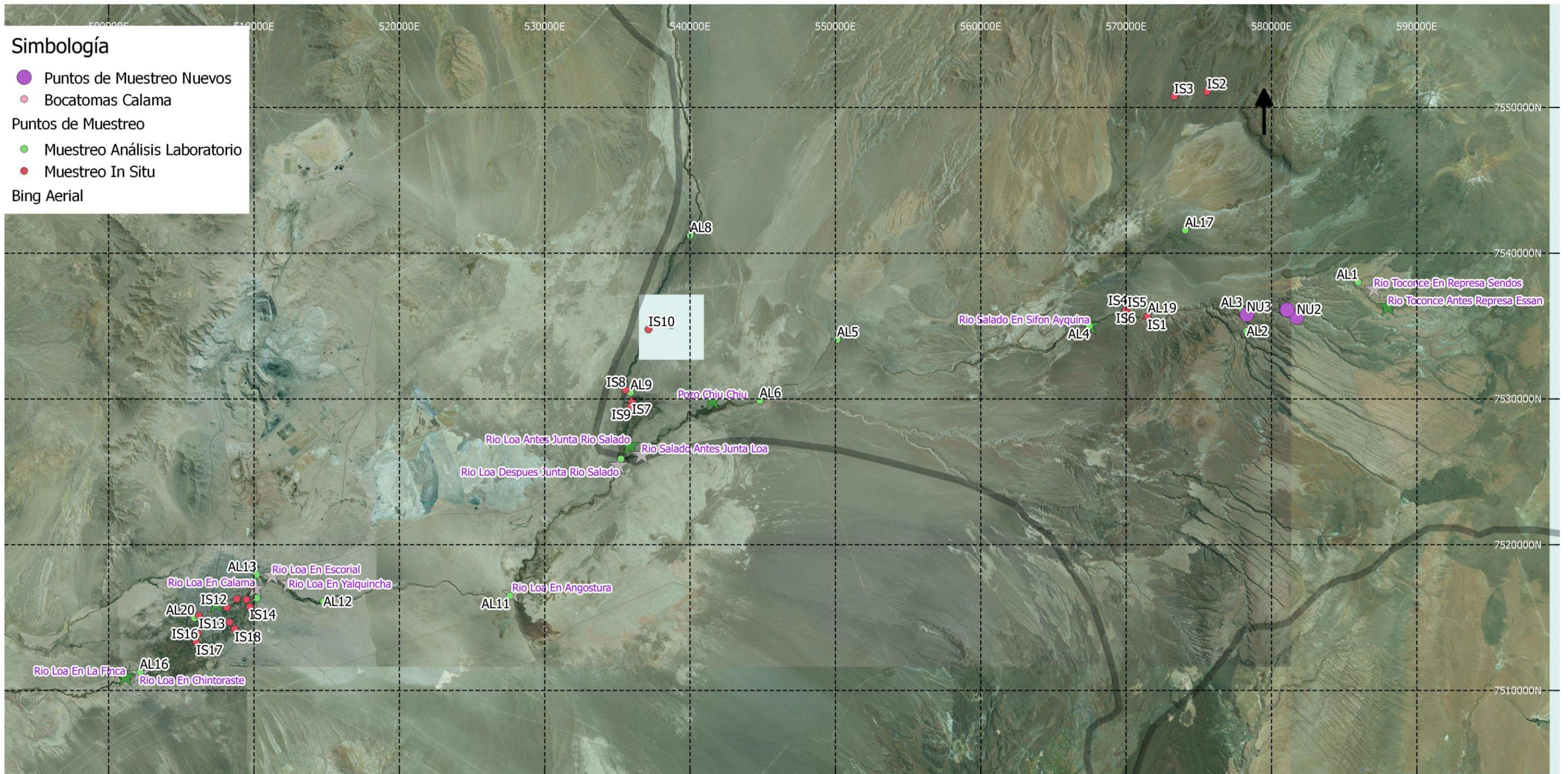


FIGURA 4.2-1
PUNTOS DE MONITOREO

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Análisis Territorial de la Calidad del Agua para Riego

El análisis de la calidad del agua se realiza efectuando una revisión de los parámetros en los que se ha detectado que sobrepasan la NCh 1.333, tanto en el análisis de los datos históricos DGA, como en los resultados de la primera y segunda campaña de monitoreo.

En primer lugar se presentan los resultados para Conductividad Específica (CE) en la Figura 4.3-1, donde se aprecian sectores donde los valores de CE son bajos, como es el sector de Paniri, sectores donde la CE medida tiene valores medios como en el río Toconce, sectores donde los valores de CE son altos, como el sector de Ayquina, de Turi y Lasana. El sector donde el valor de CE es muy alto es en el sector bajo de Calama, denominado sector La Cascada, lo que coincide con los valores de la estación río Loa en La Finca. Se destaca dentro de los resultados el valor medio obtenido en la muestra de aguas servidas tratadas, correspondiente al punto AL-20.

Los altos valores de CE que se presentan en el área de estudio limitan las posibilidades de cultivos, pudiendo desarrollarse solamente especies tolerantes a los altos niveles de salinidad. Según los antecedentes recopilados en terreno, los cultivos que se encuentran adaptados corresponden al maíz y a la alfalfa locales. Valores elevados de CE podrían provocar pérdida de rendimiento de cultivos; salinización del suelo producto del riego repetido, en que las sales pueden acumularse progresivamente, reduciendo el agua disponible para el cultivo (FAO, 1985²). A su vez, puede dañar cultivos sensibles y generar la obstrucción en los sistemas de riego por goteo. Adicionalmente, al indicar la presencia de sales, una alta CE puede significar una alteración de las características organolépticas del agua. Según el estudio FAO 29 (1985), las especies tolerantes corresponden a: cebada, algodón, jojoba, remolacha, grama, grama salada, espárragos y dátiles.

Posteriormente se presenta en la Figura 4.3-2 con los resultados para arsénico, donde el sector en que se observa que la concentración de arsénico es muy alta corresponde al río Salado aguas arriba de Ayquina, el valor medido está antes de la quebrada Curti. En el río Loa desde el sector denominado “marmoleras” se presentan valores altos de arsénico, hasta la última medición ubicada en el sector “La Cascada”. Dentro del área de Calama las aguas tratadas, medidas en el punto AL-20 son la excepción, superando la norma por un poco más de una vez.

El efecto principal del arsénico en las plantas se observa en la destrucción de la clorofila del follaje, como consecuencia de la inhibición de la producción de enzimas relacionadas con su generación dentro de la planta. Se ha demostrado, además, que el arsénico es genotóxico, reduciendo la división celular en meristemas radiculares, y, por ende, es capaz de reducir el crecimiento de raíces en plantas regadas con altos contenidos del metal³, afectando el desarrollo completo del vegetal. Ya que el arsénico también es tóxico para los seres humanos, el consumo de las partes consumibles de la

² FAO, 1985. Water quality for agriculture. FAO Irrigation And Drainage Paper 29 rev. 1.

³García Et al., 2006. Daños Tóxicos en Tejidos Vegetales, Producidos por Aguas Contaminadas con Arsénico en Zimapán, Hidalgo, México.

planta que contienen arsénico acumulado es nocivo (SAG, 2005⁴). Por lo anterior, se podrían provocar efectos negativos sobre la población a través del consumo de cultivos hortícolas y la contaminación de los suelos. Adicionalmente, el arsénico es un contaminante importante del agua de consumo, ya que es una de las pocas sustancias que se ha demostrado que producen cáncer en el ser humano por consumo de agua potable. Hay pruebas abrumadoras, de estudios epidemiológicos, de que el consumo de cantidades altas de arsénico en el agua potable está relacionado causalmente con el desarrollo de cáncer en varios órganos, en particular la piel, la vejiga y los pulmones. En varias partes del mundo, las enfermedades producidas por el arsénico constituyen un problema significativo de salud pública (OMS, 2006⁵).

Por otra parte, los resultados del boro se presentan en la Figura 4.3-3 donde se muestra que la concentración de boro es muy alta en el río Salado aguas arriba de Ayquina, el valor medido está antes de la quebrada Curti, los valores disminuyen en el sector donde se ubica Ayquina, pero vuelven a presentarse valores altos en el sector del sifón Ayquina. En el río Loa se presentan algunas fluctuaciones, pero en general los valores son altos, sin embargo, en la última medición ubicada en el sector “La Cascada” se presenta un valor muy alto. Se hace notar que el boro genera problemas en el crecimiento de las plantas, limitando su productividad.

⁴ SAG, 2005. Criterios de Calidad de Aguas o Efluentes Tratados para Uso en Riego.

⁵ OMS, 2006. Guías para la Calidad del Agua Potable.

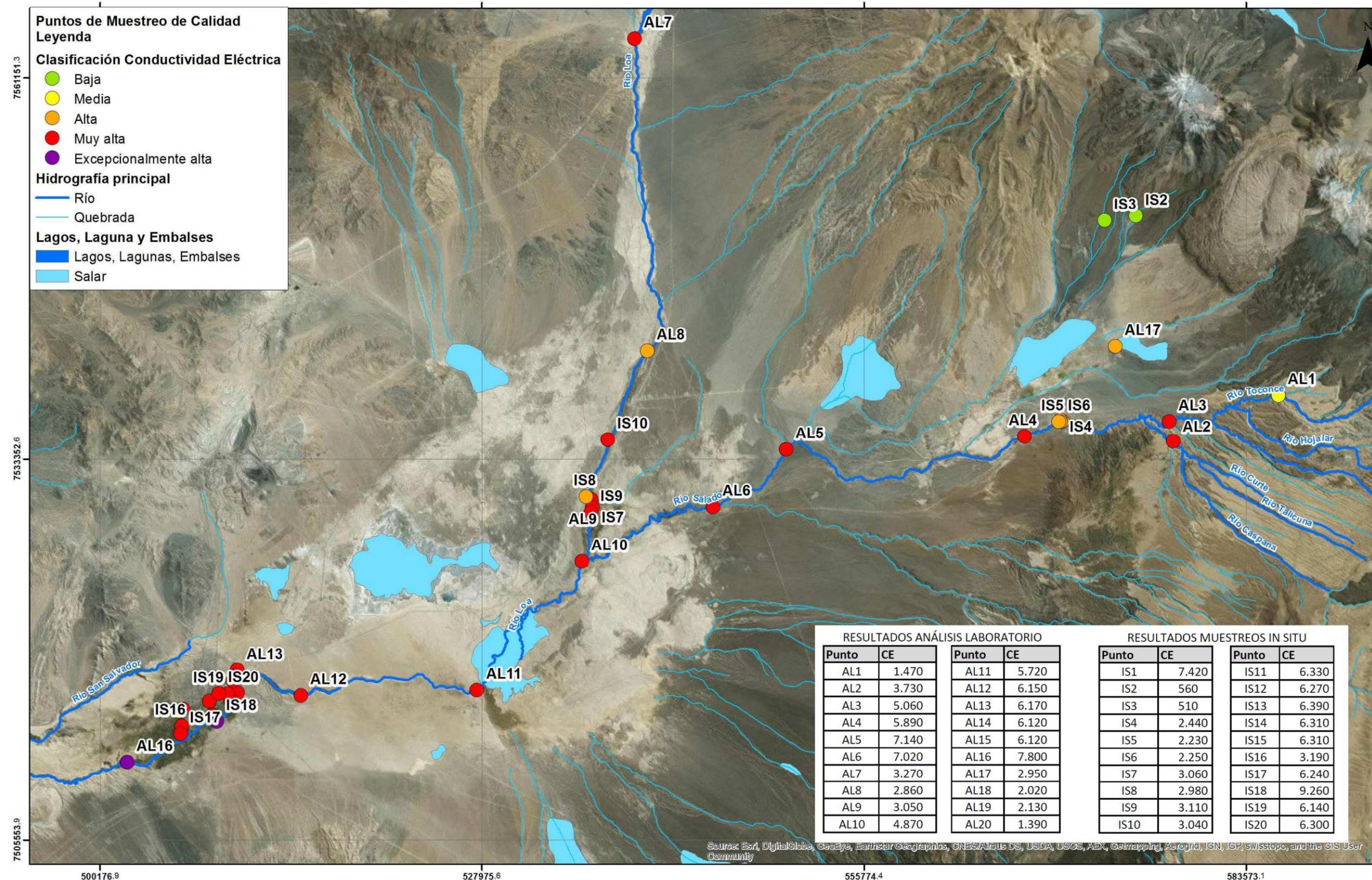


FIGURA 4.3-1
CLASIFICACIÓN RESULTADOS CE

Fuente: Elaboración propia.

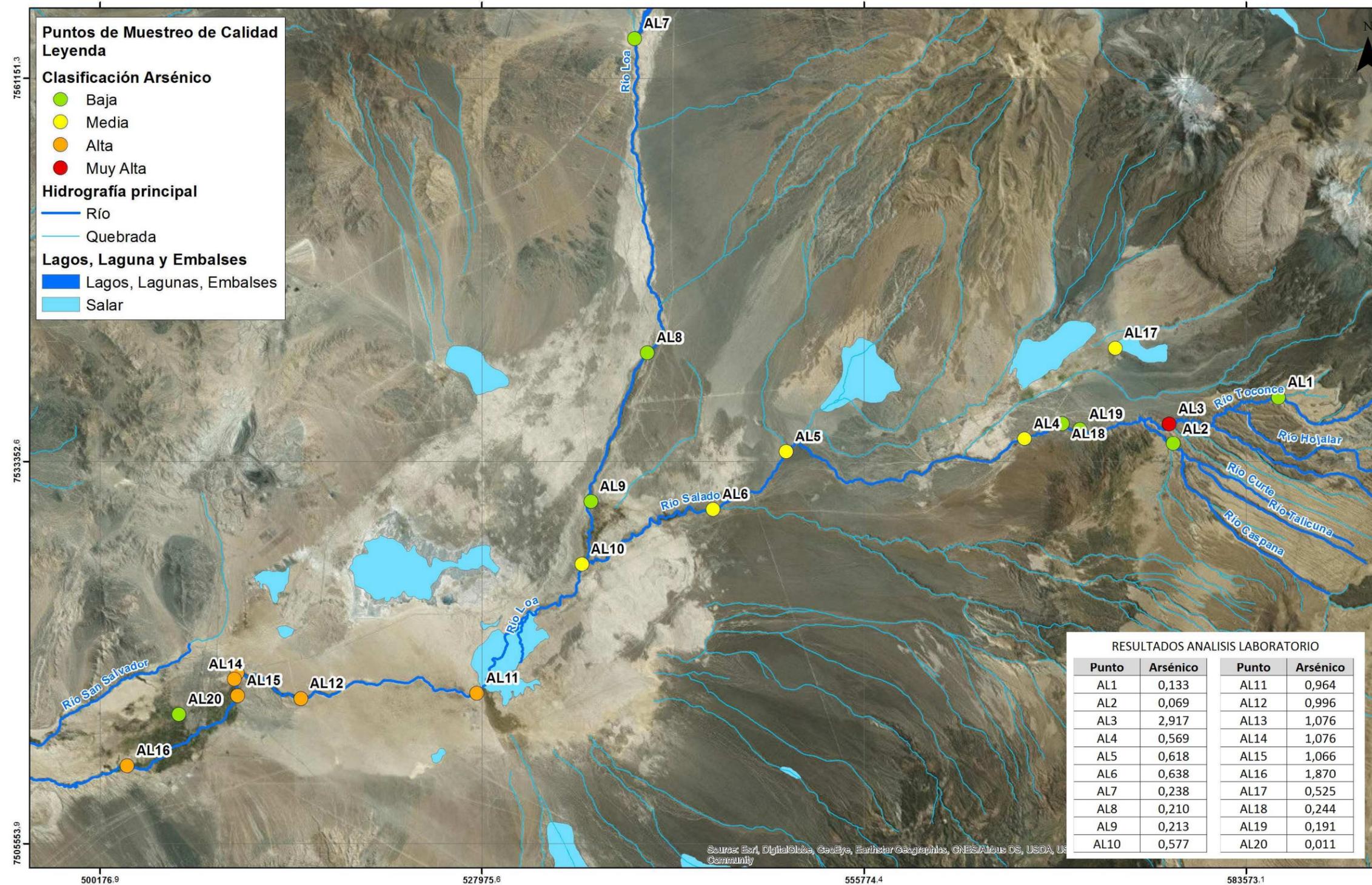


FIGURA 4.3-2
CLASIFICACIÓN RESULTADOS ARSÉNICO
 Fuente: Elaboración propia.

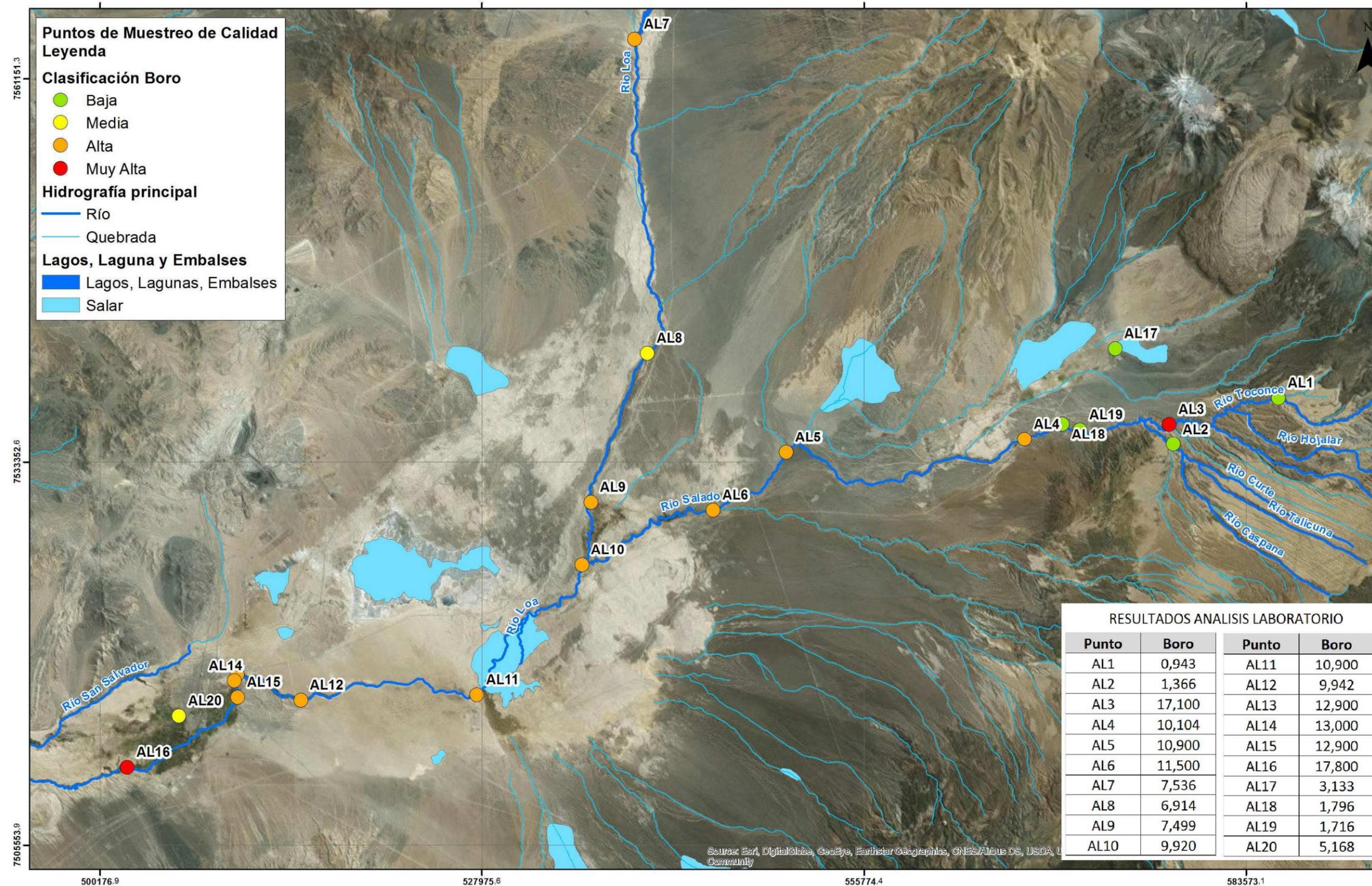


FIGURA 4.3-3
CLASIFICACIÓN RESULTADOS BORO

Fuente: Elaboración propia.

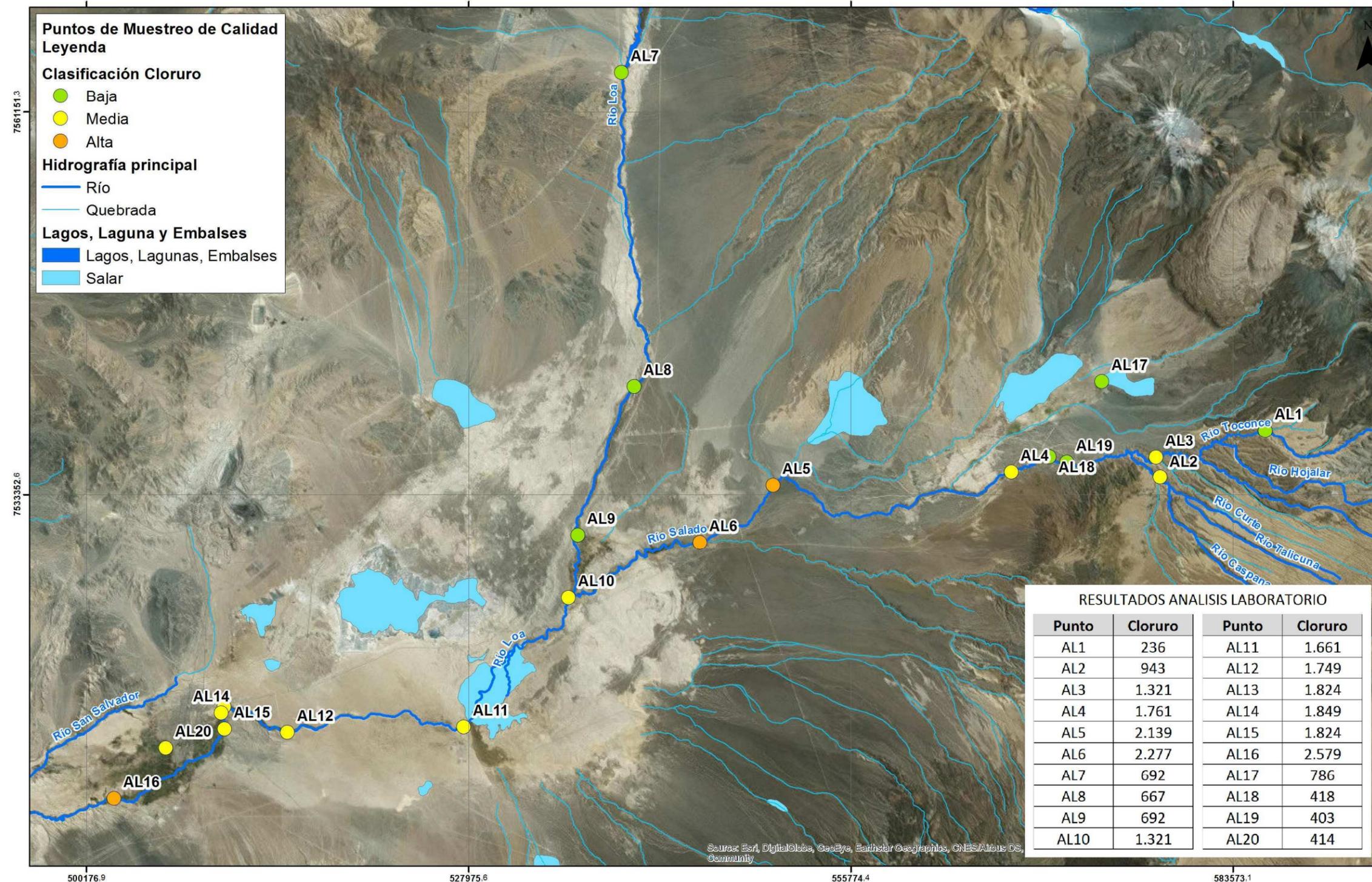


FIGURA 4.3-4
CLASIFICACIÓN RESULTADOS CLORURO

Fuente: Elaboración propia.

5. CARACTERIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO FÍSICO QUÍMICO DE SUELOS

5.1. Desarrollo del Diagnóstico en Terreno

Uno de los principales productos generados en el presente estudio, consistió en la realización de un diagnóstico de las principales características y problemáticas asociadas a los suelos del área de estudio actualmente regados, así como otros en zonas de potencial expansión agrícola, asociando además, determinación de características físico-hídricas, que permitieron ampliar la base de información para generar este diagnóstico.

Este se desarrolló en base a la distribución y confección de 103 calicatas en el área de estudio, asociadas a la realización de 150 muestreos para análisis estándar de laboratorio, además de la realización de 30 análisis de constantes físico-hídricas.

La propuesta metodológica, la ejecución en terreno del diagnóstico y el procesamiento de los resultados, fueron desarrollados por el especialista e investigador del CIDERH y académico de la Universidad Arturo Prat, Dr. Ing. Agrónomo Jorge Olave Vera.

La distribución de calicatas y muestras de suelo en el área de estudio se presenta en el Cuadro 5.1-1.

**CUADRO 5.1-1
DISTRIBUCIÓN DE CALICATAS ÁREA DE ESTUDIO
COMUNA DE CALAMA**

SECTOR	NÚMERO CALICATAS	NÚMERO MUESTRAS DE SUELO	NÚMERO MUESTRAS CONSTANTES HÍDRICAS
Calama	73	120	24
Chiu Chiu	10	10	2
Lasana	7	7	2
Ayquina	2	2	-
Paniri	1	1	-
Turi	10	10	2
TOTAL	103	150	30

Fuente: Elaboración propia.

En los Cuadros 5.1-2 y 5.1-3, se presenta el detalle de distribución de calicatas y muestreos en los sectores de riego definidos para el área de estudio.

CUADRO 5.1-2
DISTRIBUCIÓN DE CALICATAS Y MUESTREOS DE SUELO SECTORES EN CALAMA

Sector	Nº Calicatas	Nº Muestras Suelo	Nº Muestras Físico Hídricas
Abaroa	1	1	1
Canal Coco La Villa	5	7	1
Canal Radich	1	1	1
Canal Tambores	4	6	1
Canal Topater	3	5	1
Canal Chañar	1	1	1
Cerro Negro	8	12	2
Chunchuri Alto	7	13	2
Chunchuri Bajo	11	17	1
La Banda	7	9	2
La Cascada	3	4	2
Levante	5	7	1
Likankatay	4	6	2
Ojo Apache	2	3	1
Com. Quechua Sumac Llajta	1	1	1
Topater	2	4	2
Verdes Campiñas	5	7	1
Yalquincha	3	5	1
TOTAL	73	120	24

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 5.1-3
DISTRIBUCIÓN DE CALICATAS Y MUESTREOS DE SUELO PUEBLOS LOA SALADO

Sector	Nº Calicatas	Nº Muestras Suelo	Nº Muestras Constantes Hídricas
Chiu Chiu	10	10	2
Lasana	7	7	2
Ayquina	2	2	-
Paniri	1	1	-
Turi	10	10	2
TOTAL	30	30	6

Fuente: Elaboración propia.

En las Figuras 5.1-1, 5.1-2 y 5.1-3, se grafica espacialmente la distribución de las calicatas en los sectores agrícolas de la ciudad de Calama y en los pueblos de Loa Salado (Chiu Chiu, Lasana, Ayquina, Turi y Paniri).



FIGURA 5.1-1
DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE PUNTOS DE MUESTREO SECTORES DE CALAMA

Fuente: Elaboración propia con base en Google Earth.



FIGURA 5.1-2
DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE PUNTOS DE MUESTREO CHIU CHIU LASANA

Fuente: Elaboración propia con base en Google Earth.

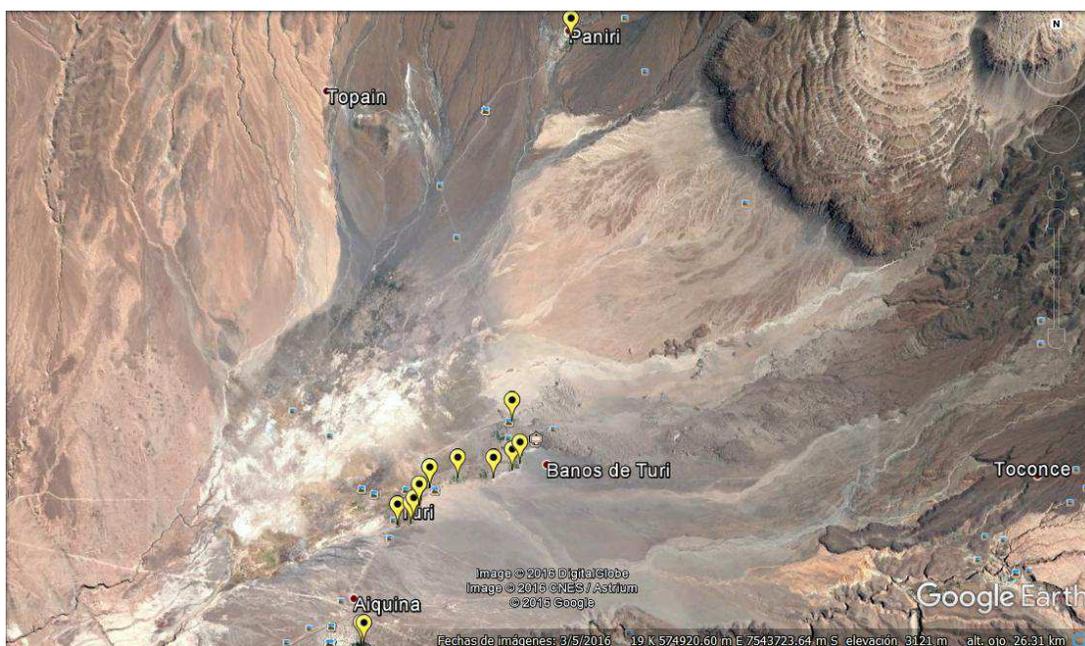


FIGURA 5.1-3
DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE PUNTOS DE MUESTREO AYQUINA TURI PANIRI

Fuente: Elaboración propia con base en Google Earth.

5.2. Resultados y Diagnóstico de Suelos

A continuación, en el Cuadro 5.2-1, se presenta un detalle de los resultados de mayor relevancia asociados a los suelos del área de estudio a nivel general, considerando los parámetros más significativos en términos de las restricciones que ocasionan al desarrollo agrícola.

Se aprecia en forma clara, para cada uno de los parámetros descritos, la dimensión de sus contenidos en los suelos de cada sector y sub sector de riego, graficándose con achurado oscuro, aquellos valores que sobrepasan los límites considerados como aceptables para desarrollar agricultura, corroborado por la columna “Nº de veces” que se sobrepasa la norma o los niveles aceptables internacionalmente en cada caso.

Los niveles de contaminación observados son extremadamente altos en algunos sectores para efectos de desarrollar agricultura al corto plazo (salvo ecotipos tolerantes tradicionales de alfalfa y maíz), en especial en Calama, donde según el subsector, la condición físico química existente, impide desarrollar agricultura, incluso en un horizonte de varios años de tratamientos rectificatorios. No obstante, en otros sectores como Chiu Chiu, Lasana, Ayquina, Turi y Paniri, si bien presentan niveles por sobre la norma en la mayor parte de los parámetros, éstos niveles son corregibles al corto plazo permitiendo, mediante tratamientos adecuados, desarrollar agricultura con nuevas especies de mayor rentabilidad que las tradicionales.

**CUADRO 5.2-1
INDICADORES DE MEDICIÓN EN PARÁMETROS CRÍTICOS DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS POR SUB SECTOR**

Sub sector de Riego	Nº Calicatas	Nº Muestras	pH	Materia Orgánica		Densidad Aparente	Salinidad			CIC	Sodio			Boro			Arsénico			Cloruro		
				%	Interpretación	DA	C.E. dS m ⁻¹	RAS	Interpretación		meq/100 g	Nº veces la norma	Interpretación	mg/kg	Nº veces la norma	Interpretación	mg/kg	Nº veces la norma	Interpretación	meq/L	Nº veces la norma	Interpretación
Calama																						
Abaroa	1	1	8,8	2,3	Normal		11,7	27	Salino Sódico	19,8	5,2	10,2	Muy Alto	30,5	20,3	Excesivo	53,3	2,7	Excesivo	102	3,4	Severo
Canal Coco La Villa	5	7	8,5	4,13	Muy Alto	1,36	5,41	13,29	Salino Sódico	24,3	5,29	10,4	Muy Alto	34,91	23,3	Excesivo	280,1	14,0	Excesivo	45,29	1,5	Severo
Canal Radich	1	1	9,2	1,3	Bajo	1,42	4,2	18	Salino Sódico	15,5	2,9	5,7	Muy Alto	15,1	10,1	Excesivo	47,1	2,4	Excesivo	34	1,1	Severo
Canal Tambores	4	6	8,98	1,92	Bajo	1,62	4,43	15	Salino Sódico	16,72	3,27	6,4	Muy Alto	14,8	9,9	Excesivo	53,28	2,7	Excesivo	37,33	1,2	Severo
Canal Topater	3	5	8,88	2,56	Normal	1,58	6,02	17,6	Salino Sódico	19,98	5,22	10,2	Muy Alto	20,28	13,5	Excesivo	54,56	2,7	Excesivo	54	1,8	Severo
Cerro Negro	8	12	8,4	3,69	Alto	0,79	5,16	11,88	Salino Sódico	22,28	3,64	7,1	Muy Alto	31,55	21,0	Excesivo	86,43	4,3	Excesivo	44,05	1,5	Severo
Chunchuri Alto	7	13	8,87	2,05	Normal	1,48	5,02	14,75	Salino Sódico	18,82	3,69	7,2	Muy Alto	32,29	21,5	Excesivo	297,89	14,9	Excesivo	42,85	1,4	Severo
Chunchuri Bajo	11	17	8,87	1,96	Bajo	1,63	10,05	16,45	Salino Sódico	17,3	3,8	7,5	Muy Alto	25,84	17,2	Excesivo	124,01	6,2	Excesivo	84,28	2,8	Severo
La Banda	7	9	9,1	1,83	Bajo	1,76	2,88	11,25	Sódico	14,24	1,87	3,7	Muy Alto	20,21	13,5	Excesivo	45,73	2,3	Excesivo	22,7	0,8	Alto
La Cascada	3	4	8,65	2,48	Normal	1,33	21,28	26,75	Salino Sódico	22,08	6,33	12,4	Muy Alto	38	25,3	Excesivo	77,85	3,9	Excesivo	206,5	6,9	Severo
Levante	5	7	9,01	2,27	Normal	1,61	4,66	13,86	Salino Sódico	17,09	3,34	6,5	Muy Alto	15,2	10,1	Excesivo	57,8	2,9	Excesivo	37,14	1,2	Severo
Likankatay	4	6	8,67	2,92	Normal	0,79	6,75	18,5	Salino Sódico	21,83	4,5	8,8	Muy Alto	52,68	35,1	Excesivo	63,9	3,2	Excesivo	65,33	2,2	Severo
Ojo Apache	2	3	8,43	1,9	Bajo	1,41	111,73	56,67	Salino Sódico	29,73	9,1	17,8	Muy Alto	46,97	31,3	Excesivo	103,73	5,2	Excesivo	672	22,4	Severo
Quechua	1	1	8	5,1	Muy Alto	0,8	21,4	16	Salino Sódico	31,5	9,1	17,8	Muy Alto	108	72,0	Excesivo	325	16,3	Excesivo	144	4,8	Severo
Verdes Campiñas	5	7	8,36	1,86	Bajo	1,79	6,24	7,7	Salino No Sódico	18,4	2,42	4,7	Muy Alto	38,87	25,9	Excesivo	59,93	3,0	Excesivo	36	1,2	Severo
Yalquincha	3	5	8,72	1,45	Bajo	0,9	15,04	26,2	Salino Sódico	19,98	5,18	10,2	Muy Alto	50,18	33,5	Excesivo	55,3	2,8	Excesivo	135,2	4,5	Severo
Otros Territorios																						
Ayquina	2	2	8,7	2,25	Normal	1,48	15,45	16,5	Salino Sódico	18,75	5,55	10,9	Muy Alto	16,25	10,8	Excesivo	6,2	-	Excesivo	145,5	4,9	Severo
Chiu Chiu	10	10	9,09	1,59	Bajo	1,46	2,79	7,88	Salino	15,75	1,7	3,3	Muy Alto	10,43	7,0	Excesivo	20,12	1,0	Excesivo	19,38	-	Alto
Lasana	7	7	8,85	1,33	Bajo	1,51	5,53	9,37	Salino	15,18	1,92	3,8	Muy Alto	11,34	7,6	Excesivo	15,76	-	Alto	41,63	1,4	Severo
Panire	1	1	8,5	2,2	Normal	1,48	2	2,1	No Salino	22,3	1,5	2,9	Muy Alto	2,7	1,8	Excesivo	2,78	-	Satisfactorio	7,1	-	Medio
Turi	10	10	9,11	1,34	Bajo	1,48	4,43	12,54	Salino Sódico	14,96	2,09	4,1	Muy Alto	13,24	8,8	Excesivo	23,66	1,2	Excesivo	64,55	2,2	Severo

Conductividad Eléctrica = No salinos: 0-2; ligeramente salinos: 2-4; medianamente salinos: 4-8; fuertemente salinos: 8-16; extremadamente salinos: mayor a 16 mS/cm

RAS = Mayores a 15, los suelos presentan problemas severos de sodificación.

Materia Orgánica (%) = Muy Bajo:<1; Bajo: 1,0 a 1,9; Normal: 2,0 a 3,0; Alto: 3,0 a 4,0; Muy Alto: >4,0

Sodio intercambiable = Muy Bajo: ≤0,15; Bajo: 0,16 a 0,20; Medio: 0,21 a 0,30; Adecuado:0,31 a 0,40; Alto: ≥0,51

Boro (Extracto Saturado) = Muy Bajo:<0,2 mg/kg; Bajo: 0,2 a 0,7 mg/kg; Normal: 0,7 a 1,5 mg/kg; Excesivo: >1,5 mg/kg

Arsénico (pH>6,5): 20 mg/kg

Cloruro: Satisfactorio: < 5 meq/L; Medio: 5 a 10 meq/L; Severo: >30 meq/L

Fuente: Elaboración propia

De lo anterior se deriva que en sectores analizados como los regados por los canales Cocco La Villa, Cerro Negro, Chunchuri Alto, La Cascada, Likankatay, Ojo Opache, Comunidad Quechua y Yalquincha, sin olvidar el carácter referencial del muestreo y del diagnóstico, deban transcurrir de 4 a 5 años sin posibilidad de explotar los suelos con otros cultivos en los casos menos graves, hasta 15 años en los casos de mayor gravedad (a menos que se reemplace por completo el suelo), producto de los excesivos niveles de boro y arsénico. Solamente es factible un cambio a corto plazo en Calama (en forma referencial) en los sectores regados por los canales La Banda y Canal Radich, donde implementando la batería de tratamientos recomendados, es factible incursionar en producción de hortalizas al corto plazo, obviamente considerando un cambio radical en la calidad del agua de riego.

Tanto el diagnóstico como las recomendaciones presentadas para el sector de Chiu Chiu Lasana, indican que la situación de sus suelos permite; al implementar los indicados tratamientos, innovar en alternativas de cultivos y de implementar tecnificación al proceso productivo en el corto plazo, considerando el mencionado cambio en la calidad actual del agua, permitiendo así acceder a estos productores a mejores condiciones de comercialización para su hortaliza.

En los subsectores de Ayquina y Turi la situación en cuanto a potencialidad de cultivo, estrictamente asociada a calidad de suelos, es relativamente similar, dado que se requieren tratamientos de suelos a una escala alcanzable al corto plazo para efectos de habilitarlos para innovar en especies hortícolas. No obstante, deben considerarse aspectos agroclimáticos para determinar adaptabilidad.

El sector de Paniri, al margen de las mencionadas limitantes agroclimáticas, es el único sector estudiado que presenta el general de sus parámetros bajo la norma para desarrollar agricultura, en particular porque el agua de riego que ocupan proviene de deshielos y afloramientos cuyo origen y cause no están influenciados por fuentes asociadas a los mencionados contaminantes, permitiendo de esta forma, desde el punto de vista de los suelos, cultivar amplia gama de cultivos incluyendo frutales. No obstante, los suelos son poco profundos y extremadamente pedregosos, debiendo ser mejorados poco a poco a pequeña escala familiar.

A la luz del análisis de estos resultados fue posible dimensionar la problemática de los suelos asociada a sus características físico químicas, en relación a las limitaciones que generan para el desarrollo de agricultura según cada subsector de riego, permitiendo al estudio, confeccionar un paquete de medidas referenciales de mitigación, asociadas a diversos tratamientos posibles de implementar según el caso, tal como se detalla a continuación:

- **Labores mecánicas:** determinados según requerimientos de drenaje e incorporación de enmiendas y materia orgánica.

- **Lavado de Suelos:** según niveles de CE y en asociación a aplicaciones de enmiendas en general
- **Enmienda Sulfato de Calcio:** Determinado en base a la CIC y al Sodio intercambiable (meq/100gr) requerimiento para bajar el PSI al 5%
- **Enmienda Azufre:** Determinado en base a condiciones de pH, CIC y Sodio intercambiable, enfocado a nivelar pH y sodicidad
- **Aplicación de Guano:** Según nivel de deficiencia de materia orgánica y según niveles de contaminación con boro y arsénico (efecto sustitución)
- **Incorporación de suelo foráneo:** En casos de contaminación severa con boro y arsénico, donde solo es factible suplantar el sustrato para poder cultivar
- **Cultivos posibles:** recomendaciones en base a los niveles iniciales de contaminación y a la evolución de estos en el tiempo
- **Manejo del Riego:** Según tipo de cultivo recomendado y al año de tratamiento.
- **Manejo Fitosanitario:** Recomendaciones generales según problemática fitosanitaria del sector de riego y de la zona en general

De esta forma fue posible generar recomendaciones de carácter referencial del tipo de medidas que deben implementarse en cada caso, para mejorar la condición de estos en el tiempo y lograr habilitarlos para una agricultura de mayor rentabilidad y diversidad de cultivos, en el contexto de un eventual proyecto de riego.

Para efectos de representar de adecuada forma, los diversos niveles de aplicación en el tiempo de cada una de estas medidas, se ha diseñado un “método gráfico de puntos”. En el Cuadro 5.2-2 se presenta la equivalencia del número de puntos con el nivel de intensidad de aplicación de cada medida. Luego en el Cuadro 5.2-3, se presenta en cantidad de puntos, el grado de intensidad asociado a la implementación de cada medida según la problemática de suelos existente en cada subsector de riego. Se observa que la mayor intensidad respecto del tratamiento particular en cada situación, está estrechamente asociado al nivel de contaminación de cada parámetro que caracteriza los suelos de cada subsector.

CUADRO 5.2-2
EQUIVALENCIA DE NIVEL DE IMPACTO SEGÚN MEDIDA DE TRATAMIENTO

Intensidad	Equivalencia de Impacto						
	Labores mecánicas	Lavado de Suelos	Enmienda Sulfato de Calcio	Enmienda Azufre	Aplicación de Guano	Incorporación de suelo foráneo	Manejo Fitosanitario Preventivo
•	Una pasada subsolador, arado y rastra de discos, una vez al año	Lavado intenso a inicio temporada 3.000 m ³ /ha agua solo un año	3 una vez al año	2 en 2 parcialidades de 1 por año	18 t aplicadas en parcialidades de 3,6 anuales por 5 años	Incorporación de suelo foráneo solo en camellones de plantación, capa de 15 cm de profundidad	Medidas preventivas para Mostaza Negra considerando suelos sin infestación
••	Ídem anterior, más una pasada de uno de los implementos	Ídem anterior y considerar fracción de lavado en cultivos regados por goteo	3 en 3 parcialidades de 1 por año	2,7 en 5 parcialidades de 0,54 por año	35 taplicadas en parcialidades de 7 anuales por 5 años	-	-
•••	Ídem anterior, más una pasada de uno de los implementos	Ídem anterior más segundo lavado en verano entre siembras 3.000 m ³ /ha, hasta 3 años	7 en 5 parcialidades de 1,4 por año	4 en 5 parcialidades de 0,8 por año	74 t aplicadas en parcialidades de 9,25 anuales por 8 años	-	Medidas preventivas para Mostaza Negra considerando suelos con infestación
••••	Ídem anterior, más una pasada de uno de los implementos	Ídem anterior pero con 4.000 m ³ /ha cada lavado, hasta 5 años	12,5 en 5 parcialidades de 2,5 por año	5 ton/ha en 5 parcialidades de 1 por año	125 t aplicadas en parcialidades de 12,5 anuales por 10 años	-	-
•••••	Ídem anterior, más una pasada de uno de los implementos	Ídem anterior pero con 6.000 m ³ /ha cada lavado, hasta 10 años	24 en 10 parcialidades de 2,4 por año	8 ton/ha en 10 parcialidades de 1 por año	140,3 t aplicadas en parcialidades de 9,35 anuales por 15 años	Reemplazo total del suelo de 20 a 30 cm de profundidad	-

Fuente: Elaboración propia

**CUADRO 5.2-3
INTENSIDAD Y PLAZOS DE APLICACIÓN DE MEDIDAS EN TERRENO**

Sub sector de Riego	Labores mecánicas	Lavado de Suelos	Enmienda Sulfato de Calcio	Enmienda Azufre	Aplicación de Guano	Incorporación de suelo foráneo	Manejo Fitosanitario Preventivo	Años Con Cultivos Tolerantes	Años de tratamiento
Abaroa	•	•••	••••	••	•	•	•	3	5
Canal Coco La Villa	•	••	•••	••	•	•	•••	5	5
Canal Radich	•	•	••	•	•••••	•	•	2	15
Canal Tambores	•••	•	•••	••	•••	•	•	3	5
Canal Topater	•	•••	••••	••	•	•	•	3	5
Cerro Negro	•	••	••	•	•	•	•••	4	5
Chunchuri Alto	•	•••	•••	••	•	•	•	5	5
Chunchuri Bajo	•	•••	•••	••	•	•	•	3	5
La Banda	•	•	•		••		•	1	5
La Cascada	•	•••	••••	••	•	•	•	3	5
Levante	•	•	••	•	•	•	•	3	5
Likantatay	•	••	•••	••	•	•	•	5	5
Ojo Apache	•	•••••	•••••	•••	•••	•••••	•	8	10
Quechua	•	•••••	•••••	•••	•	•••••	•	8	10
Verdes Campiñas	•	•	•		•••	•	•••	3	5
Yalquincha	•	•••	••••	••	••••	•	•	5	8
Sub sector de Riego	Labores mecánicas	Lavado de Suelos	Enmienda Sulfato de Calcio	Enmienda Azufre	Aplicación de Guano	Incorporación de suelo foráneo	Manejo Fitosanitario Preventivo	Años Con Cultivos Tolerantes	Años de tratamiento
Ayquina	•	••	••••	••			•	0	5
Chiu Chiu	•	•	•		•••		•	0	8
Lasana	•	••	•		•••••		•••	0	10
Panire	•	•					•	0	1
Turi	•	••	•	•	•••••		•	3	10

Fuente: Elaboración propia

6. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA

La caracterización hidrológica desarrollada tiene por objetivo principal, generar series de caudales medios mensuales en los puntos de interés del área de estudio, con el fin de desarrollar posteriormente un modelo hidrológico integrado. Los caudales generados servirán como datos de entrada a dicho modelo, en el cual se representará la totalidad del sistema y sus interacciones (ríos, bocatomas, canales, zonas de riego, etc.). Los puntos de interés a modelar, corresponden a aquellas cuencas de cabecera cuyos puntos de control están ubicados inmediatamente aguas arriba de una zona de riego, o bien, en las confluencias entre 2 ríos. Con la modelación hidrológica, se determinaron caudales para las siguientes cuencas de interés:

Quebradas sin nombre a Loa abajo de junta Salado

Río Salado antes de junta con Loa

Río Loa antes de junta con Salado

Río Loa aguas arriba de Lasana

Quebrada Yalqui antes junta con Salado

Quebrada Concocha antes junta con Salado

Quebrada Cerroqui antes junta con Salado

Salar Turi antes de junta con Salado

Quebrada sin nombre antes de junta con Salado

Río Salado antes con Quebrada sin nombre

Quebrada sin nombre antes de junta con Río Curti

Río Curte antes de junta con Río Caspana

Río Caspana antes de Caspana

Río Salado antes de junta con Toconce

Río Hojalar antes junta con Río Toconce

Río Toconce arriba de Represa Sendos

Río Loa antes de Embalse Conchi

Quebrada sin nombre aguas arriba de Caspana

Río Caspana-Curti antes de junta con Río Salado

Río Salado antes de Ayquina

7. SITUACIÓN ACTUAL AGROPECUARIA

7.1. Antecedentes Productivos y de Tamaño de Propiedad

En base a la información censal de 2007, para la comuna de Calama, el 47,93% de los predios con tierra tienen un tamaño menor a 5 ha, lo que contrasta con su importancia en términos de superficie, llegando al 0,66%. Por otra parte, los predios de tamaño superior a 2.000 ha corresponden al 0,59% del total de los predios y al 97,3% de la superficie agropecuaria.

La mayor proporción de predios con tierra tienen un tamaño menor a 5 ha, lo que contrasta con su importancia en términos de superficie tanto en los sectores de Calama y Caspana, llegando al 16,6% y 0,04%, respectivamente. Por otra parte, en ambos sectores una pequeña proporción de explotaciones abarca la mayor cantidad de la superficie total del área. Sólo en el sector de Chiu Chiu existe relación directa entre número de explotaciones y superficie.

En términos productivos, según INE (2007), en la comuna de Calama existen 682 explotaciones Agropecuarias, las que abarcan una superficie total de 99.113,4 ha. De éstas, 97,5 % tienen actividad. Respecto a las explotaciones forestales, existen 3 ha las cuales abarcan 59,1 ha.

En el sector de Caspana es donde existe la mayor superficie de tierra, abarcando 97,6% del total de la superficie del área de estudio. Por otro lado, en Chiu Chiu y Caspana la totalidad de las explotaciones tienen destino agropecuario, en Calama, en cambio, existe una importante proporción de la tierra que tiene un destino diferente.

De la información recabada se desprende que la superficie de las explotaciones agropecuarias del área de estudio equivale al 26,4% de la superficie total regional. Por otro lado, del total de superficie de explotaciones agropecuarias del área de estudio, 1,2% corresponde a “suelos de cultivo” y 98,7% a “otros suelos”, sin embargo, si se analiza la situación por sector, se tiene que en Calama tal proporción corresponde a 40% y 60%, en Chiu Chiu, a 84,6% y 15,4% y en Caspana, a 0,17% y 99,8%, respectivamente, lo que demuestra la preponderancia de los “otros suelos” en este sector y la característica agrícola de Chiu Chiu, lugar donde, a su vez, predominan los cultivos anuales y permanentes, a diferencia de Calama y Caspana, donde la mayor proporción de la tierra está en estado de barbecho y descanso, seguido por el cultivo de especies forrajeras.

Por otra parte, se aprecia el dominio de las plantas forrajeras como el principal cultivo en el sector Calama (56,9%), situación que también se presenta a nivel comunal. Le siguen en superficie cereales (25,0%) y hortalizas (15,2%). En Caspana, la situación es semejante, con una mayor proporción de forrajeras (60,8%), seguido por la producción de hortalizas (25,2%). En Chiu Chiu, en

cambio, el destino de la producción es distinto a los otros dos sectores, ya que predomina el cultivo de hortalizas (72,5%), seguido por las plantas forrajeras (19,3%) y por cereales (7,9%). El área de estudio se caracteriza por tener producción casi nula de frutales, leguminosa y tubérculos, cultivos industriales, viveros y viñas.

En lo que respecta al cultivo de hortalizas, en el sector de Calama el 99,5% corresponde a choclo, seguido muy de lejos por acelga, haba y huertas caseras, con nula presencia de invernaderos en la zona. En Chiu Chiu, en cambio, predomina el cultivo de zanahorias, correspondiente al 91,7%, seguido muy de lejos también por especies como betarraga, lechuga, huertas caseras y acelga. En Caspana, también predomina el cultivo de choclo con 44,6%, seguidos por otros cultivos, en una proporción más pareja que en los otros sectores, como haba (23,4%), huertas caseras (15,9%) y ajo (11,9%). Finalmente, la producción de hortalizas bajo invernadero sólo se desarrolla en el sector de Chiu Chiu y en una pequeña superficie total, que no supera los 1.500 m².

En cuanto a actividad ganadera, esta está principalmente orientada al autoconsumo. El detalle de especies ganaderas a nivel comunal indica que la masa ganadera está representada mayoritariamente por conejos (33,24%), seguida de ovinos (30,53%) y luego de caprinos (13,92%) y camélidos (11,95%).

7.2. Sistemas de Riego Intrapredial

De un total de 775,8 ha de riego a nivel comunal, 99,7% son regadas por métodos gravitacionales, siendo el riego por tendido el más relevante, abarcando 90,2% de esta superficie. Sólo 0,3% de la superficie regada tiene algún grado de tecnificación, utilizando sistemas de riego por aspersión, goteo o cinta.

Prácticamente la totalidad de los predios cuenta con riego por tendido en los tres sectores, sólo 2,7% de la superficie regada en el sector de Calama tiene algún grado de tecnificación, utilizando sistemas de riego por aspersión, goteo o cinta.

7.3. Clima y Agroclima

De acuerdo al Mapa Agroclimático de Chile del INIA (1989), el área de estudio está representada agroclimáticamente por dos distritos, por una parte el distrito "Refresco" (3.54), el cual se extiende entre el límite con Perú y la latitud 30°S (al norte de la ciudad de Vicuña); y al oriente, el distrito "Potrerillos" (3.55), extendiéndose aproximadamente entre las mismas latitudes.

El distrito "Refresco" se caracteriza por un régimen térmico con una temperatura media anual de 17,7 °C. La temperatura máxima media del mes más cálido (enero) es de 28,4 °C y una mínima del mes más frío (junio) de 5,5 °C.

La suma de temperaturas anuales, base 5 °C es de 4.629 grados-día; mientras con base 10 °C corresponden a 2.800 grados-día. Dado que las temperaturas mínimas medias fluctúan entre 5,5 y 12°C, existen limitaciones para el crecimiento de las plantas de verano entre abril y septiembre.

La precipitación anual alcanza los 12 mm distribuidos en 7 meses del año, siendo mayo, el mes más lluvioso con 4,6 mm de agua acumulada.

El distrito “Potrerillo”, en tanto, mantiene un régimen térmico caracterizado por una temperatura media anual de 11,9 °C, una máxima media de los meses más cálidos (enero y febrero) de 18,4° y una mínima media del mes más frío (junio) de 4,9 °C.

La suma de temperaturas anuales base 5° es de 2.503 grados-días y, base 10 °C de 744 grados-días. En cuanto a la duración de la estación sin heladas disponible (temperaturas mínimas absolutas medias superiores a 2,0 °C), es de 2,5 a 4,5 meses.

La precipitación total anual es de 44,1 mm, con una media anual que alcanza los 3,67 mm, distribuidos en los meses de enero a noviembre. La mayor precipitación media se centra entre mayo y agosto (mayor a 4mm), siendo junio el mes más lluvioso, con una precipitación media que alcanza los 12,2 mm.

A partir de esta información se puede inducir que, desde el punto de vista agroclimático, el área de estudio presenta condiciones moderada o de plano desfavorables para el establecimiento de diversas especies vegetales de interés comercial, lo que se hace más notorio en el caso de frutales.

Se puede observar que las características agroclimáticas más limitantes son una acumulación de días grados anuales que no permite suplir la demanda de una cantidad importante de cultivos, acompañado de falta de horas frío necesarias para la floración, lo que en algunos casos es acompañado por un insuficiente periodo libre de heladas.

En el caso de los frutales, de las especies analizadas, solo ciruelos, damascos, durazneros, perales, higueras, vides y membrilleros tiene algún grado de adaptación a las condiciones agroclimáticas, principalmente porque la temperatura mínima de los sectores es muy inferior a la de crecimiento de los árboles y a que al exceso de horas frío pueden adelantar la floración, generando una mayor exposición de tejidos sensibles a heladas de invierno – primavera. Además, se puede retardar el desarrollo fenológico luego de la floración.

La adaptación de las hortalizas, en tanto, varía según la especie, existiendo algunas que se adaptan a las zonas climáticas más centrales, tales como, arveja, cebolla, choclo, lechuga, repollo y zanahoria. El resto de las hortalizas tienen una adaptación moderada o no se adaptan, básicamente por su sensibilidad a las heladas.

Los cereales, en general poseen una adaptabilidad moderada en la zona de estudio. En cuanto a las especies forrajeras, representadas por la alfalfa, presenta de buena a adaptación moderada en la zona.

Esta primera aproximación de adaptabilidad de cultivos concuerda con lo registrado en las visitas de terreno, en donde se identificó que la actividad principalmente presente es la agricultura orientada al cultivo de alfalfa para ganado de distinto tipo y de hortalizas, principalmente choclo y zanahoria, seguida por pequeñas producciones tipo huertas caseras con otro tipo de hortalizas.

7.4. Uso del Suelo

Tal como en los cuadros anteriores, el uso del suelo se ha obtenido a partir de los resultados del Censo Agropecuario del año 2007, ajustando los rubros existentes al valor de la superficie total regada. En el Cuadro 7.4-1 se presenta la superficie regada para cada sector del área de estudio.

**CUADRO 7.4-1
USO DEL SUELO SITUACIÓN ACTUAL**

Cultivo	Calama		Chiu Chiu		Caspasa		Total	
	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
Choclo	70,3	15,5	0,0	0,0	10,9	10,7	81,2	10,2
Zanahoria	0,0	0,0	134,5	66,2	0,2	0,2	134,8	20,4
Betarraga	0,0	0,0	3,7	1,8	0,0	0,0	3,7	0,6
Haba	0,1	0,0	0,0	0,0	5,7	5,6	5,8	0,6
Maíz (grano)	115,3	25,4	15,6	7,7	10,8	10,6	141,8	18,4
Alfalfa	265,9	58,5	40,0	19,7	61,8	60,8	367,7	46,8
Otros Cultivos	2,6	0,6	9,4	4,6	12,2	12,0	24,1	3,0
Total	454,3	100,0	203,2	100,0	101,6	100,0	759,1	100,0

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Censo Agropecuario 2007.

7.5. Demandas de Agua Actuales para Uso Agrícola

Se presenta en el Cuadro 7.5-1 el resultado final de los cálculos de demanda hídrica y tasas de riego finales para el área de estudio, considerando para esto, las demandas brutas y la fracción de lixiviación requerida para el lavado de sales.

Es importante destacar que el valor obtenido no considera pérdidas en el sistema de conducción extrapredial ni la reutilización de las aguas. Estos valores sí se contemplan en el modelo de operación del sistema de riego sin y con proyecto. El objetivo general de dicho modelo es representar los balances de agua a nivel mensual en cada uno de los sectores agrícolas del sistema de

riego y evaluar el impacto del proyecto de mejoramiento planteado, en indicadores globales como la seguridad de riego. También incluye el análisis entre oferta y demanda de agua para riego.

**CUADRO 7.5-1
RESUMEN DEMANDA BRUTA FINAL ACTUAL Y TASA DE RIEGO PONDERADA FINAL**

Sector	Sup (ha)	Demandas Brutas Lixiviación (m³/mes)	Tasa de Riego Ponderada Dda Lixiviación (m³/ha/mes)
Calama	454,3	21.470.896	47.261,5
Chiu Chiu	203,2	5.973.104	29.392,3
Caspana	101,6	3.128.202	30.780,3
Total	759,1	30.572.202	-

Fuente: Elaboración Propia a partir de FAO (1985).

7.6. Caracterización Productiva

Al describir en forma general la Situación Actual Agropecuaria del sector de Calama, la impresión recogida en terreno por el consultor destaca, en primera instancia, la precaria situación en la que se sostiene una actividad agrícola generalizadamente orientada al autoconsumo, cuyo desarrollo se desenvuelve en un medio altamente inhóspito y limitado por múltiples restricciones de diferente índole, dentro de los cuales, la calidad del agua y su disponibilidad son las principales causas.

En general la actividad agrícola se desarrolla en un entorno desértico, donde los mejores suelos son salinos y de clase IV y donde el suministro hídrico permite regar en promedio, con una frecuencia entre 15 a 25 días en pleno verano. La mencionada condición salina de las aguas hace imposible cultivar la mayor parte de los cultivos conocidos y el costo alternativo del suelo es cada vez mayor (presión inmobiliaria). Además, los intereses mineros sobre las aguas son constantes, produciendo históricamente masivas ventas de derechos de agua agrícolas a la minería. Esto hace que muchos propietarios continúen regando sin derechos en situación totalmente irregular.

La estructura de cultivos en este sector la componen básicamente la alfalfa, mayoritariamente ecotipo Alta Sierra, proveniente de Perú (Fotografía 7.6-1) en aproximadamente un 70% de la superficie regada y el maíz ecotipo Calameño o Morocho Blanco, el 30% restante, ambos cultivos adaptados por generaciones a las mencionadas condiciones de salinidad del agua. El objetivo de estos cultivos es básicamente el autoconsumo, con un porcentaje bajo de venta. El choclo se vende puesto en predio o se entrega en ferias y la alfalfa se vende en predio o entrega local o Pueblos aledaños como Chiu Chiu, San Pedro, Ayquina, etc.

El método de riego usado es por tendido, inundando eras de cultivo rodeadas por camellones de tierra para encerrar el agua. Es la forma de la que se vale el agricultor para lavar las

sales del suelo, acumuladas por el riego. Estas se van acumulando en una capa salina depositada a los 30 cm de profundidad generalmente.

El nivel tecnológico es generalizadamente bajo, dada la falta de alternativas de cultivo y la baja rentabilidad del rubro. Esto hace que no existan suministros comerciales de insumos agrícolas en Calama, debiendo el agricultor encargárselos a Arica o a la IV Región. Por esta razón, gran parte de los agricultores mantienen la actividad a pesar de las serias restricciones, únicamente en un afán de preservar la tradición ancestral de trabajar la tierra, pero que en la práctica y en términos económicos, representa solamente un hobby, según lo expresaron textualmente varios entrevistados. De esta forma, son muy escasas las familias que subsisten de la agricultura. La mayor parte de la gente desarrolla su actividad laboral en otros rubros, principalmente en servicios en Calama.



FOTOGRAFÍA 7.6-1
CULTIVO DE ALFALFA

Fuente: Equipo Consultor.

Asociado a lo anterior, existe un gran porcentaje de agricultores adultos mayores que mantienen la agricultura como un complemento a su pensión, además de un escaso recambio generacional, dada la baja rentabilidad del rubro. La gente joven generalmente migra, estudia o busca otras actividades más rentables y estables.

Existe una escasa regularización en la tenencia de la tierra y de derechos de agua, lo que lleva a situaciones de irregularidad en la repartición de aguas, ya que mucha gente vendió sus derechos, pero continúan regando de igual forma. Esta condición generalizada, hace que los representantes de los regantes limiten el acceso a información de este tipo, impidiendo el desarrollo de estudios y proyectos en beneficio de la comunidad.

Otra importante limitante es justamente la administración ejercida por la asociación que representa a los regantes y sus dirigentes (ASAC), opinando que están lejos en su gestión de acercar los beneficios estatales a la comunidad, constituyendo un mal nexo para acceder a proyectos.

Existe gran disconformidad por la histórica gestión del agua para regadío realizada por parte del Estado, velando a juicio de los entrevistados, por los intereses de la industria minera, materializado en la entrega de las aguas del río Loa a la minería (de mejor calidad) y de las aguas del río Salado a la agricultura de Calama (pésima calidad).

La comunidad plantea la necesidad de una justa compensación de parte del estado, interviniendo de tal forma, que les permita volver a regar con agua de buena calidad y abundante suministro; aludiendo a “como era antes del desarrollo minero”, donde la comuna de Calama se destacaba, hace décadas, por ser un verdadero oasis productivo en la región, gozando de gran diversidad de cultivos y basta superficie agrícola, lo que abala el gran potencial de la zona para el desarrollo agropecuario ante una eventual Situación Con Proyecto, que logre mejorar la calidad y el suministro de agua de riego para la agricultura.

Los dirigentes entrevistados de Calama manifiestan que la infraestructura de canales se encuentra de buen a regular estado según el caso, existiendo a menudo tramos de canal con desperfectos, en especial las bocatomas, ya que se encuentran expuestas a las crecidas y cambios de caudal y profundidad en el cauce del río. Algunos sí manifiestan la necesidad imperiosa de mejorar los canales intraprediales. INDAP ha estado trabajando en este tema en la zona.

No obstante lo anterior, para la mayoría en este sector, la prioridad de inversión va por la vía de mejorar el aspecto calidad de aguas y el suministro hídrico, para aumentar así la frecuencia de riego. Esto a través de acumulación de agua (tranques comunitarios o embalse de riego) asociada a tratamiento de la misma en forma comunitaria, manifestando que el Estado debe construir y operar estas plantas, por el alto costo de los insumos del proceso, la complejidad del manejo y el problema de los residuos que se generan. Todos opinan que el agua lluvia de las crecidas (invierno boliviano) son de mucho mejor calidad que la normal del río Salado y que se están perdiendo, debiéndose acumular, para aumentar la seguridad de riego y mejorar la calidad, al diluirse las sales.

El Sector de Chiu Chiu, que comprende también la localidad de Lasana, presenta una realidad agrícola diferente en varios aspectos y similar en otros. Estas localidades se han transformado en un oasis productivo preferentemente orientado a la producción hortalicera, ya que en el aspecto de calidad de aguas, estas provienen del Río Loa, con un considerable menor contenido de sales que el río Salado, lo que permite incursionar en producción de varias especies de hortalizas para venta local y en Calama. No obstante, la calidad del agua igual limita la producción de frutales y otras especies sensibles a las sales.

La principal especie cultivada, dada su alta rentabilidad, es la zanahoria, la que corresponde a un ecotipo especial, el cual se ha adaptado a las condiciones de agua, suelo y clima únicas de esta localidad del Alto Loa. Pero esta preferencia obligatoriamente ha debido cambiar, ya que la práctica del monocultivo de zanahoria entre los agricultores ha provocado una disminución importante de sus rendimientos atribuida principalmente al hongo *Alternaria* spp. que ha ido infestando consecutivamente los terrenos de cultivo. Esta enfermedad fungosa se dispersa principalmente por semilla contaminada, restos de cosecha remanentes en el predio, diseminación de esporas por el viento y agua. Los síntomas de la enfermedad corresponden a lesiones de color café oscuro a negro en las hojas y peciolas, estas caen posteriormente y son fuente inóculo posterior para la diseminación de la enfermedad.

Además se produce al aire libre, betarraga, acelga, maíz choclo, orientados a venta en predio a intermediarios o entrega en ferias de Calama. También se produce alfalfa para autoconsumo y venta en localidades de Ayquina y Caspana.

Si bien la situación agrícola es en varios aspectos mejor que la de Calama, no están exentos de la problemática ambiental producida por la cercanía a los relaves mineros adyacentes. Muchas especies de hortalizas de hoja no dan buenos resultados, pues se quema su follaje producto del viento cargado con partículas de desecho minero provenientes de estos muy cercanos relaves.

Algunos productores, invirtiendo e incursionando en tecnología de invernaderos y tecnificación de riego, han logrado con esto proteger los cultivos con éxito, obteniendo así lechuga, rábanos, cilantro, espinacas, repollos, etc., de buena calidad para el mercado de Calama, que de otra forma sería imposible. La representatividad en superficie cultivada en invernaderos es baja respecto del total del sector, no obstante es un excelente ejemplo a replicar.

Para los agricultores de Chiu Chiu y Lasana, en lo referente a prioridades de inversión en riego, el enfoque de posibles esfuerzos debe apuntar a mantener, reparar y mejorar la infraestructura de canales, tanto matrices como intraprediales. Esto dado que para ellos, la calidad y cantidad de suministro no es tan relevante. En general los canales siempre llevan agua y no tienen turnos de riego entre canales como en Calama. Existen varios tramos de canales destruidos o desnivelados produciendo pérdidas de agua, al igual que bocatomas deterioradas y fuera de nivel.

Las localidades de Ayquina, Turi y Paniri, riegan con afloramientos de agua subterránea. Esto, porque la zona agrícola se encuentra sobre cota del río Salado y porque la calidad de agua de estos afloramientos es muy superior a la del río.

La agricultura existente en Ayquina (Fotografía 7.6-2), se basa en la producción para autoconsumo de hortalizas a pequeña escala, como habas, papa, lechuga y repollo, ya que la calidad del agua de afloramientos lo permite. También en la producción de maíz choclo y alfalfa, tanto para autoconsumo, como para venta de los excedentes a nivel local. Esta agricultura, muy asociada a la tradición ancestral atacameña, se realiza en pequeñas terrazas de cultivo de suelo mejorado con guano, dispuestas en contorno bordeando la quebrada del río Salado. Esto dado que los afloramientos de agua de riego aparecen bajo la roca, en la parte superior de la quebrada.



FOTOGRAFÍA 7.6-2
CULTIVO EN TERRAZAS LOCALIDAD DE AYQUINA

Fuente: Equipo Consultor.

La localidad de Turi, a diferencia de Ayquina, desarrolla su agricultura en la planicie aledaña a la pradera natural arbustiva, asociando producción ganadera (ovinos y llamas) para autoconsumo y venta local informal. La fuente de recurso hídrico la constituyen afloramientos subterráneos con carácter termal, asociando el agua, características azufradas, efervescentes y de temperatura tibia. Por este motivo, el desarrollo de agricultura está limitado a especies que toleran estas características del agua, como la alfalfa, la papa y el haba.

En estas planicies son recurrentes fuertes vientos con arenisca, que hacen imposible el cultivo de frutales y cultivos altos como el maíz, no obstante, durante las visitas realizadas se constata siembras de prueba con maíz calameño en estado de 3 a 4 hojas, con bajo porcentaje de emergencia y notorio efecto de heladas primaverales en las hojas.

En Turi el suelo es muy salino. Se han hecho programas con INDAP para mejorar los suelos, pero no han dado resultado.

Según expresan los entrevistados, la vega de Turi se está secando, por 2 causas; en los años más secos las extracciones de agua no se ajustan a la menor disponibilidad de agua y la vega queda sin agua. El agua es utilizada principalmente por Ferrocarriles, Aguas Antofagasta y CODELCO. Las soluciones dicen, es adecuar las extracciones a la disponibilidad física del recurso, si hay menos agua, las extracciones deben disminuir, permitiendo que las vegas reciban parte del agua. La otra causa es la plaga de chululos, que genera que el agua escurra más rápido.

En la localidad de Paniri, ubicada más arriba, en los faldeos del cerro Paniri, solo vive en forma estable 1 persona. El resto de agricultores (15 a 20) solo tienen el terreno cultivado y a veces alguna choza de piedra y paja, y van a cuidarlo y trabajar esporádicamente. Otros propietarios se van a medias con personas más estables en la zona que les ven el terreno.

Paniri se encuentra inserta en un sector de pie de monte muy pedregoso y en ladera, donde desde tiempos antiguos los ancestros atacameños desarrollaron agricultura en torno al afloramiento de vertientes al pie del cerro Paniri, desde donde conducen el agua hasta sus pequeñas terrazas hechas con pircas de piedra.

La calidad del agua es muy buena tanto para riego como para consumo humano, permitiendo aprovechar así la temporada estival sin heladas con una amplia gama de cultivos orientados al autoconsumo y a pequeña escala, tales como cebollas, tomate, lechuga, maíz choclo, flores, habas, repollo, alfalfa y frutales como, manzanos, perales y damascos.

Para estos agricultores, la necesidad en torno a eventuales inversiones en riego, va por la vía de mejorar la captación de agua de la vertiente, la que producto de las lluvias bajó su cota obligándoles a bombear para poder abastecer los acumuladores en los que ya se había invertido y la red de canales, los cuales son de piedra y requieren mantención.

Se presenta en el Cuadro 7.6-1, un resumen de los parámetros productivos de los principales cultivos que componen esta estructura de cultivo en Situación Actual Agropecuaria.

**CUADRO 7.6-1
PARÁMETROS PRODUCTIVOS CULTIVOS SITUACIÓN ACTUAL**

Cultivo	Variedad	Nivel	Año	Unidad	Rendimiento
Zanahoria	Corriente	Bajo	1	Saco 40 kg/ha	500
Acelga	Corriente	Bajo	1	Atado/ha	15.000
Maíz Choclo	Calameño o Morocho Blanco	Bajo	1	Un./ha	11.000
Betarraga	Corriente	Bajo	1	Atado/ha	17.000
Hortaliza Inv. Lechuga	Gran Rapids	Medio	1	Un./ha	60.000
Haba	Var. Local	Bajo	1	Saco 40 kg/ha	170
Alfalfa	Alta Sierra	Bajo	1	Fardos/ha	315
Alfalfa	Alta Sierra	Bajo	2	Fardos/ha	450
Ganadería Crianza	Ovinos	Bajo	1	Un./ha	50

Fuente: Elaboración propia a partir de fichas técnico-económicas de cultivo.

En la Figura 7.6-1 se presenta el resumen de la situación agropecuaria actual, en la cual se observan tres zonas homogéneas diferentes, las que tienen como principal factor de distinción el tipo de agua de riego, la que marca las diferencias más importantes en cuanto al tipo de cultivo que se presenta en cada zona. De esta forma, de cordillera a mar, el sector compuesto por Paniri, Turi y Ayquina (denominado como “Caspana”, de acuerdo a los distritos censales) es regado por vertientes de agua de mejor calidad que las zonas de más abajo. Luego, el sector compuesto por Chiu Chiu y Lasana (denominado como “Chiu Chiu”, según los distritos censales) es regado por agua del río Loa, el cual si bien tiene cierto grado de salinidad, ésta es inferior a la del sector de Calama, el cual es regado por agua de Loa después de haber recibido las aguas del río Salado, limitando la producción agrícola.

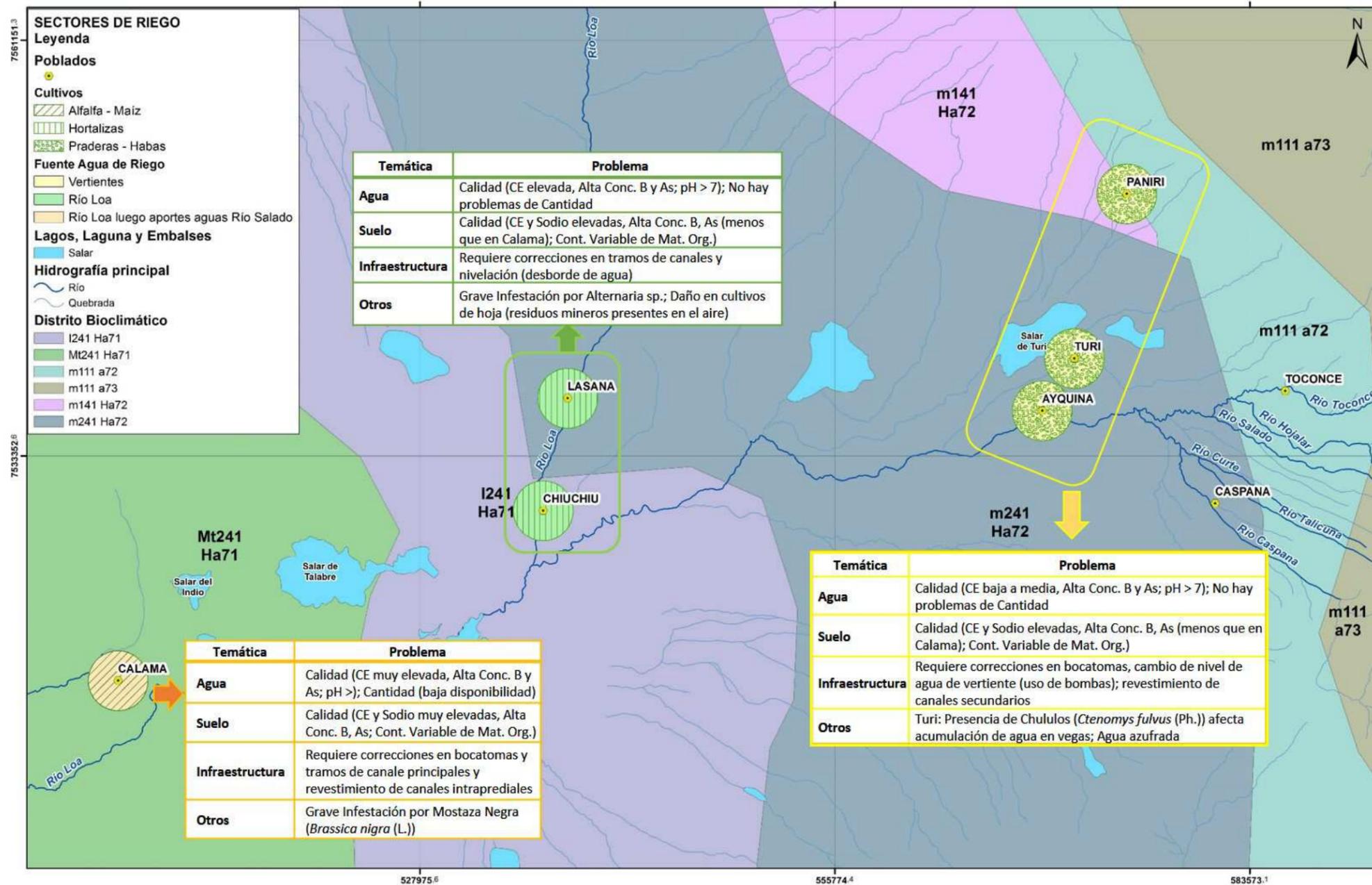


FIGURA 7.6-1
RESUMEN CARACTERIZACIÓN AGROPECUARIA ACTUAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

Fuente: Elaboración propia.

8. CARACTERIZACIÓN DE INFRAESTRUCTURA ACTUAL DE RIEGO

En este capítulo se presenta el diagnóstico del estado de la infraestructura de agua para riego, asociada a 64 canales que se distribuyen en seis sectores de riego. La información entregada se ha generado a partir de la recopilación de antecedentes en campaña de terreno. La metodología constó de una inspección *in situ* en cada canal desde su bocatoma o entrega a canal derivado hasta la zona de riego, describiendo el canal de acuerdo a su estado de conservación y materiales de cada estructura, así como también las características de cada obra y singularidad, información que se acompañó con la ubicación espacial de cada sitio visitado (mediante GPS) y un registro fotográfico para cada caso.

La categoría de conservación consideradas para la descripción de los canales catastrados se fundamentó en las siguientes categorías: Buena: canales con una sección definida, sin grietas ni filtraciones, poca o nula vegetación en su interior, materiales de construcción en buen estado; Regular: Canal sin filtraciones, puede presentar algún tipo de deformación la sección, grietas superficiales, poca o abundante vegetación en su interior, sedimentación que permita el flujo de agua, materiales de construcción en regular estado; Malo: Canales que pueden presentar filtraciones evidentes, sin una sección definida, materiales de construcción en mal estado, abundante vegetación en el interior que dificulte el flujo hídrico, presencia de derrumbes.

Los datos registrados fueron traspasados a una base de datos digital, a partir de la cual se pudo sistematizar la información en gabinete. A partir del análisis de la base de datos, el apoyo de imágenes satelitales y el registro fotográfico que se obtuvo, se corroboraron y corrigieron registros erróneos, de modo de analizar posteriormente antecedentes que guarden coherencia con la zona de estudio.

El catastro de canales se realizó en tres campañas, comenzando la primera el 8 de agosto 2016, finalizando el 23 de agosto de 2016; la segunda campaña se dio inicio el 7 de septiembre de 2016 y finalizó el día 16 de septiembre 2016; por último, la tercera campaña se dio inicio el 18 de julio de 2017 y terminó el día 26 de julio de 2017.

A partir del trabajo de catastro realizado, se preparó por una parte un SIG y un cuadro resumen (Cuadro 8-1) en que se describe el estado de la red de canales, además de una breve caracterización de la infraestructura.

CUADRO 8-1
BREVE CARACTERIZACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DE RIEGO EXISTENTE

Zona de Riego	Canal	Tipo Canal	Origen	Descripción del Estado del Canal	Tramo en Mal Estado (*)		Número de Obras en Mal Estado (**)	
					(m)	(%)	N°	(%)
Calama	Dupont	Matriz	Río Loa	Canal y obras en mal estado, sin revestir y sin mantención. Compartido entre Minera Lomas Bayas y agricultores.	810,6	66,7	8	57,1
Calama	La Prensa	Matriz	Río Loa	Canal en buen estado, entubado en la mayor parte de su trayecto. Tramo entubado termina en estanque acumulador perteneciente a Minera Lomas Bayas.	0,0	0,0	0	0,0
Calama	Núñez	Matriz	Río Loa	En buen estado, entubado en la mayoría de su extensión. Luego continúa en tubería enterrada hasta llegar a estanque acumulador perteneciente a Minera Lomas Bayas.	0,0	0,0	0	0,0
Calama	Topater	Matriz	Río Loa	Canal en buen estado en su mayor parte, en su parte final no presenta revestimiento. Canal pasa por sectores urbanizados, donde se roba agua y se desechan elementos contaminantes. En donde se construyó complejo deportivo de CODELCO no se permite el paso. Presenta algunos problemas debido a su antigüedad.	50,0	1,1	0	0,0
Calama	Cascada	Matriz	Río Loa	Canal sin revestir en su totalidad, no hay construcciones cercanas, canal rural. Entregas prediales y otras obras en mal estado.	803,6	100,0	7	100,0
Calama	El Tronco	Matriz	Río Loa	Canal y obras en buen estado, aunque presenta algunos problemas debido a la antigüedad de la construcción.	161,5	6,0	0	0,0
Calama	Tambores	Derivado	C. Tronco	Canal en general en buen estado, sin problemas. En tramos se encuentra cubierto con losetas de hormigón, las cuales han sido removidas o destruidas.	0,0	0,0	0	0,0
Calama	Bilbao	Derivado	C. Tronco	Canal sin mayores problemas, interferencia de condominios construidos sobre su cauce, en su último tramo sin revestir. Entregas prediales necesitan reparación.	66,6	4,3	2	8,3
Calama	Berna	Derivado	C. Tronco	Canal en buen estado, sin problemas.	224,9	18,0	2	11,1
Calama	Chañar	Subderivado	C. Berna	Canal en buen estado, sin problemas.	0,0	0,0	0	0,0
Calama	Coco La Villa	Derivado	C. Tronco	Canal extenso, en su mayor parte urbano, presenta sectores cubiertos con losetas de hormigón que han sido removidas o destruidas. En su parte urbana, ha sido intervenido, construyendo condominios y hoteles sobre su trazado. No se ha respetado el derecho de paso, ni dejado los espacios o cámaras para su limpieza. Obras en buen estado	68,9	2,7	0	0,0
Calama	Quinta El Bosque	Subderivado	C. Coco La Villa	Canal en sus tramos abierto presenta problemas, sin revestir, en mal estado, secciones entubadas sin mayores problemas	374,6	72,1	0	0,0

CUADRO 8-1
BREVE CARACTERIZACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DE RIEGO EXISTENTE

Zona de Riego	Canal	Tipo Canal	Origen	Descripción del Estado del Canal	Tramo en Mal Estado (*)		Número de Obras en Mal Estado (**)	
					(m)	(%)	N°	(%)
Calama	Radic	Subderivado	C. Coco La Villa	Canal semiurbano, sin revestir en su mayor parte. Entregas prediales rústicas, en mal estado. En algunos sectores, se encuentra intervenido debido a la construcción de condominios sobre su cauce.	600,3	48,0	6	46,2
Calama	Derivado Radic	Sub - Subderivado	C. Radic	Sin revestir en su mayor parte. Entregas prediales en mal estado. En algunos sectores, se encuentra intervenido debido a la construcción de condominios sobre su cauce.	462,3	63,7	7	43,8
Calama	Cobija	Subderivado	C. Coco la Villa	Canal y obras en general en buen estado. Debido a la antigüedad de la construcción existen algunos problemas puntuales en el trazado. En el sector La Paloma, existe restaurant que arroja residuos líquidos al canal.	0,0	0,0	0	0,0
Calama	Cerro Negro	Sub - Subderivado	C. Cobija	En general en buen estado, con sector de losetas, que, debido a su antigüedad, se encuentra muy deteriorado. Entregas prediales necesitan mantención.	296,1	16,6	8	25,8
Calama	Cerro Negro Nor Oriente	Sub - Subderivado	C. Cerro Negro	Está entubado en sus extremos, tramos en los cuales está en buen estado; pero en su tramo intermedio se encuentra sin revestimiento (mal estado)	49,7	15,1	0	0,0
Calama	Cerro Negro Sur Poniente	Sub - Subderivado	C. Cerro Negro	En mal estado, recubierto en gran parte con goma proveniente de desechos de cintas transportadoras.	403,8	72,2	8	57,1
Calama	Aconcagua	Derivado	C. Coco la Villa	Canal en buen estado y entubado en su totalidad. Comparte bocatoma con Coco La Villa Cobija	0,0	0,0	0	0,0
Calama	Aconcagua Norte	Sub - Subderivado	C. Aconcagua	En general está en mal estado por falta de mantención, sin revestir en algunos sectores. Entregas prediales también en mal estado	263,2	48,2	9	56,3
Calama	Aconcagua Sur	Sub - Subderivado	C. Aconcagua	En general está en mal estado por falta de mantención, sin revestir en su totalidad. Entregas prediales en mal estado, pero demás obras presentan buenas condiciones.	1.131,5	87,0	7	53,8
Calama	Chunchuri Bajo	Matriz	Rio Loa	Canal compartido entre Minera Lomas Bayas, FCAB y algunos agricultores, en general en buen estado, intervenido en su primera sección por la construcción de edificios y condominios.	49,1	1,0	0	0,0
Calama	Lomas Bayas - FFCC	Derivado	C. Chunchuri Bajo	Canal y obras en buen estado	0,0	0,0	0	0,0
Calama	Choque	Derivado	C. Chunchuri Bajo	Canal en mal estado, con tramos revestidos con losetas en mal estado debido a su antigüedad. Entregas prediales en mal estado	801,4	99,2	4	80,0
Calama	Tejerina	Derivado	C. Chunchuri Bajo	Canal en mal estado, sin revestir, con aproximadamente 4 usuarios.	162,7	61,4	3	75,0

CUADRO 8-1
BREVE CARACTERIZACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DE RIEGO EXISTENTE

Zona de Riego	Canal	Tipo Canal	Origen	Descripción del Estado del Canal	Tramo en Mal Estado (*)		Número de Obras en Mal Estado (**)	
					(m)	(%)	N°	(%)
Calama	Lay-Lay	Matriz	Rio Loa	Canal y obras en general en buen estado. Debido a la antigüedad de su construcción, presenta problemas puntuales en algunos sectores.	127,8	3,3	3	11,1
Calama	Chunchuri Alto	Derivado	C. LAY-LAY	Canal y obras en buen estado, pero presenta tramos de loseta deterioradas debido a su antigüedad. En su primera sección se encuentra entubado, debido a que es un tramo netamente urbano. Al cambiar a sección abierta, se presentan algunos problemas por construcciones de edificios al costado del cauce.	38,9	0,8	1	1,3
Calama	Likantatay	Subderivado	C. Chunchuri Alto	Canal y obras en general en buen estado, pero requiere reparación en algunos puntos.	224,5	6,1	5	9,6
Calama	Likantatay Derivado 1	Sub - Subderivado	C. Likantatay	Canal totalmente revestido y en buen estado. Muy sucio por basura	0,0	0,0	0	0,0
Calama	Likantatay Derivado 2	Sub - Subderivado	C. Likantatay	Canal y obras en buen estado. Requiere reparación en algunos tramos, debido a construcciones cercanas.	231,6	17,7	5	13,2
Calama	Sumac Lljta	Sub - Subderivado	C. Likantatay	El canal no presenta mayores problemas, es relativamente nuevo. En la bocatoma y primera sección presenta problemas asociados a construcciones vecinas.	12,3	2,7	0	0,0
Calama	Lay Lay La Banda Sector 1	Derivado	C. Chunchuri Alto	Canal derivado del Canal Lay-Lay. En buen estado en general. Presenta en su primera parte un sector con losetas en mal estado debido a antigüedad. En su segundo segmento no presenta revestimiento y en mal estado. Este canal corre paralelo a Lay-Lay (Chunchuri Alto).	0,0	0,0	1	4,0
Calama	Lay Lay La Banda Sector 2	Derivado	C. Chunchuri Alto	Canal derivado del Canal Lay-Lay. Atiende a segundo sector denominado La Banda (Calama). En general en buen estado, aunque presenta desgaste por antigüedad. Al finalizar su recorrido vuelve a entregar sus aguas a Canal Lay-Lay (Chunchuri Alto).	3,4	0,2	1	2,9
Calama	Lay Lay La Banda 1	Subderivado	C. Lay Lay La Banda Sector 2	Canal derivado de Canal La Banda Sector 2. De tierra en su mayor parte, presenta sobredimensionamiento en su sección. Las obras de entrega se encuentran entre regulares a malas debido a su antigüedad.	0,0	0,0	0	0,0
Calama	Lay Lay La Banda 2	Sub - Subderivado	C. Lay Lay La Banda 1	Canal derivado de Canal La Banda Sector 2. De tierra en su mayor parte, presenta sobredimensionamiento en su sección. Las obras de entrega se encuentran entre regulares a malas debido a su antigüedad. En algunos sectores presenta intervención por la proximidad de construcciones.	7,8	2,4	3	23,1
Calama	Lay Lay La Banda 3	Subderivado	C. Lay Lay La Banda Sector 2	Canal derivado de Canal La Banda Sector 2. De tierra en su mayor parte, presenta sobredimensionamiento en su sección. Las obras de entrega se encuentran entre regulares a malas debido a su antigüedad.	170,7	55,5	4	36,4

CUADRO 8-1
BREVE CARACTERIZACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DE RIEGO EXISTENTE

Zona de Riego	Canal	Tipo Canal	Origen	Descripción del Estado del Canal	Tramo en Mal Estado (*)		Número de Obras en Mal Estado (**)	
					(m)	(%)	N°	(%)
Yalquincha	Yalquincha Norte	Matriz	Río Loa	Canal totalmente abandonado, sin revestimiento. Entregas prediales en mal estado.	4.285,3	100,0	10	66,7
Yalquincha	Yalquincha Sur	Matriz	Río Loa	Canal en buen estado, se deben mejorar algunas entregas prediales y algunos tramos del canal	1.529,5	34,2	12	18,8
Ayquina	Ayquina Derecho	Matriz	Vertiente	Canal antiguo, de mampostería en buen estado. Las entregas prediales sin compuertas y en mal estado.	556,0	83,8	24	85,7
Ayquina	Ayquina Izquierdo	Matriz	Vertiente	Canal antiguo, de mampostería en buen estado. Las entregas prediales sin compuertas y en mal estado.	341,2	95,0	16	88,9
Lasana	Los Perales	Matriz	Río Loa	Canal en su mayor parte de mampostería en buen estado. Entregas prediales en buen estado. Desgaste por antigüedad.	263,7	10,2	7	21,9
Lasana	Los Ramírez	Matriz	Río Loa	Canal con gran variedad de revestimiento (hormigón, loseta, goma de cinta transportadora). Los tramos en goma de cinta son lo que se presentan en peores condiciones. Entregas prediales en mal estado	860,5	36,9	15	46,9
Lasana	Pona	Matriz	Río Loa	Canal y obras en buen estado. Presenta algunos problemas puntuales en parte del trazado. Cruza casi toda la localidad de Lasana.	426,8	9,9	1	1,5
Lasana	Ramal Pona	Derivado	Río Loa	Canal y obras en buen estado, no presenta mayores problemas. Desgaste por antigüedad.	29,4	2,0	2	5,1
Lasana	San Antonio	Matriz	Río Loa	Canal y obras en mal estado. Actualmente se encuentra en construcción tramo de hormigón, con fondos CONADI	1.245,2	66,6	12	66,7
Lasana	Quilchiri	Matriz	Río Loa	Canal revestido en su totalidad, presenta desgaste por antigüedad, en general un buen estado. Presenta problemas por abundante vegetación en algunos sectores.	0,0	0,0	0	0,0
Lasana	Buen Retiro	Matriz	Río Loa	Canal con gran variedad de revestimiento (hormigón, loseta, goma de cinta transportadora). Los tramos en goma de cinta son lo que se presentan en peores condiciones. Entregas prediales en mal estado en general.	188,8	4,1	1	2,0
Lassana - Chiu Chiu	La Banda Chiu Chiu	Matriz	Río Loa	Canal revestido casi en su totalidad, presenta problemas en algunos sectores debido a intervención por construcciones y por antigüedad. Obras de entrega en general en buen estado.	967,5	13,6	5	5,6
Lassana - Chiu Chiu	Del Pueblo	Matriz	Río Loa	Canal revestido en su totalidad, presenta problemas en su primera sección debido a desnivel con cauce de río (se inunda con crecidas). Presenta problemas en algunos sectores debido a su antigüedad.	0,0	0,0	0	0,0

CUADRO 8-1
BREVE CARACTERIZACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DE RIEGO EXISTENTE

Zona de Riego	Canal	Tipo Canal	Origen	Descripción del Estado del Canal	Tramo en Mal Estado (*)		Número de Obras en Mal Estado (**)	
					(m)	(%)	N°	(%)
Lassana - Chiu Chiu	Pongo	Derivado	C. DEL PUEBLO	Canal derivado de Canal del Pueblo. Revestido casi en su totalidad, presenta problemas debido a antigüedad y desnivel en ciertos sectores. En su parte final no presenta revestimiento.	0,0	0,0	1	6,7
Lassana - Chiu Chiu	Santa Fagustina	Subderivado	C. Pongo	Canal Viejo, en todo su trayecto se presenta en buen estado. Algunos sectores existe abundante vegetación colindante.	0,0	0,0	0	0,0
Lassana - Chiu Chiu	Panteón	Derivado	C. Del Pueblo	Revestido casi en su totalidad, presenta problemas debido a antigüedad y desnivel en ciertos sectores. En su parte final no presenta revestimiento.	0,0	0,0	0	0,0
Lassana - Chiu Chiu	San Ramón	Subderivado	C. Panteón	Canal Viejo, en todo su trayecto se presenta en buen estado. En algunos sectores existe abundante vegetación colindante.	0,0	0,0	0	0,0
Lassana - Chiu Chiu	Grande	Matriz	Río Loa	Canal Antiguo, Gran parte de su trayecto en buen estado. Presenta sectores puntuales con derrumbe aledaños a camino.	0,0	0,0	1	5,6
Lassana - Chiu Chiu	Canal 4	Derivado	C. Grande	Canal en Buen estado con evidencia de desgaste por antigüedad.	0,0	0,0	0	0,0
Lassana - Chiu Chiu	Canal 6	Derivado	C. Grande	Canal en Buen estado con evidencia de desgaste por antigüedad.	0,0	0,0	1	3,1
Lassana - Chiu Chiu	Piar	Derivado	C. Grande	Canal de mayoritariamente en buen estado con algunos sectores con fracturas.	9,8	1,3	0	0,0
Paniri	Paniri 1	Matriz	Vertiente	Canal antiguo, de mampostería en piedra de altura irregular, en general en buen estado.	251,9	53,7	22	78,6
Paniri	Paniri 2	Matriz	Vertiente	Canal antiguo, de mampostería en piedra de altura irregular, en general en buen estado.	498,6	48,6	26	89,7
Turi	Turi	Matriz	Vertiente	Canal con tramo revestido en buen estado. Tramo inicial de tierra en mal estado. Entregas prediales en buen estado.	108,7	2,3	5	12,2
Turi	Turi Ramal 1	Derivado	C. TURI	Canal de mampostería en piedra, de sección irregular, en general en buen estado. Obras en buen estado	0,0	0,0	0	0,0
Turi	Turi Subramal 1	Subderivado	C. Turi Ramal 1	Canal de mampostería en piedra, de sección irregular, en general en buen estado. Obras en buen estado	0,0	0,0	0	0,0
Turi	Ramal Pomal	Derivado	C. Turi	Canal de mampostería en piedra, de sección irregular, en general en estado regular. Obras en buen estado.	0,0	0,0	1	33,3
Turi	Del Medio	Derivado	C. Turi	Canal de mampostería en piedra, de sección irregular, en general en buen estado. Entregas prediales necesitan reparación	27,2	8,2	0	0,0

(*) Distancia de canal (porcentaje respecto al total del canal) que requiere revestimiento y/o reparación. Considera sólo tramos en mal estado.

(**) Bocatomas, entregas canal, entregas prediales, cámaras, atravesos y otras obras que se encuentran en mal estado (el porcentaje es respecto al total de obras en el canal).

Fuente: Elaboración propia, a partir de resultados de Catastro.

9. DIAGNÓSTICO PRELIMINAR AGROPECUARIO

A través de este se identifica, en primera instancia, cuales son, según la visión de la comunidad de agricultores, las principales limitantes asociadas a las mayores problemáticas que afectan actualmente a la agricultura.

En el Cuadro 9-1, se presenta un resumen de las principales limitaciones al desarrollo agrícola determinadas según percepción de terreno en cada uno de las zonas homogéneas de riego identificadas en el área.

**CUADRO 9-1
PRINCIPALES LIMITANTES AL DESARROLLO AGRÍCOLA ÁREA DE ESTUDIO**

Tipo de Limitaciones	Zonas Territoriales Homogéneas		
	Calama	Chiu Chiu - Lasana	Ayquina - Turi - Paniri
Agrológicas y de calidad y suministro de agua de riego	Suelo: Niveles muy altos de salinidad y sodicidad, y de altos a extremos en boro y arsénico Agua: Niveles muy altos en salinidad, sodio, boro, arsénico y cloruros	Suelo: Niveles medios a altos de salinidad y sodicidad, y altos en boro y arsénico Agua: Niveles medios a altos en salinidad, sodio, boro, arsénico y cloruros	Suelo: Niveles bajos a medios de salinidad y sodicidad, y de bajos a medios en boro y arsénico Agua: Niveles bajos a medios en salinidad, sodio, boro, arsénico y cloruros
Nivel tecnológico y contexto agrícola	Nivel tecnológico muy bajo - Solo maíz y alfalfa - Alta presión inmobiliaria - Muy bajo recambio generacional de agricultores	Nivel tecnológico bajo a medio - Hortaliceros - Bajo recambio generacional de agricultores	Nivel tecnológico bajo - Hortaliceros y ganadería extensiva - Bajo recambio generacional de agricultores
Fitosanitarias y/o ambientales	Invasión sin control de varios sectores con Mostaza Negra	Incipiente contaminación de potreros con Mostaza Negra e infestación de terrenos con Alternaria sp. por monocultivo de zanahoria	Plaga de Chululos en vegas de Turi
Infraestructura de riego	Relativamente reciente y en buen estado, pero parcialmente incompleta. Falta revestimiento de canales secundarios. Sin obras de acumulación	Relativamente reciente y en buen estado, pero parcialmente incompleta. Falta revestimiento de canales secundarios. Existen algunas obras de acumulación comunitarias	Importante parcialidad de canales matrices y secundarios sin revestir. Existan algunas obras de acumulación comunitarias.

Fuente: Elaboración propia.

Derivadas del análisis de las anteriores limitantes y problemáticas en la agricultura actual, se desarrolló una escala preliminar de prioridades de inversión en medidas de solución

por cada una de las zonas homogéneas de riego. El Cuadro 9-2 presenta el resumen de tales medidas, ordenadas por prioridad y por sector de riego.

**CUADRO 9-2
PRIORIDADES PARA INVERSIÓN POR SECTOR DE RIEGO**

Sector de Riego	Orden de Prioridades en Inversión de Medidas de Solución		
	Primer Nivel	Segundo Nivel	Tercer Nivel
Calama	Mejoramiento urgente y efectivo de la calidad del agua de riego y de los suelos, a través de tratamientos de abatimiento y de enmiendas químicas.	Mejorar suministro hídrico para riego	Mejoramiento de infraestructura de bocatomas y de canales primarios y secundarios
Chiu Chiu - Lasana	Mejoramiento de infraestructura de bocatomas y de canales primarios y secundarios	Mejoramiento de la calidad del agua de riego y de los suelos, a través de tratamientos de abatimiento y de enmiendas químicas.	Fomentar cultivo en invernaderos como forma de palear efecto fitotóxico de partículas provenientes de la minería.
Ayquina - Turi - Paniri	Mejoramiento de infraestructura de bocatomas y de canales primarios y secundarios	Mejoramiento de la calidad del agua de riego y de los suelos, a través de tratamientos de abatimiento y de enmiendas químicas.	Implementar un programa de tecnificación y acumulación comunitaria.

Fuente: Elaboración propia.

10. MODELO DE SIMULACIÓN

Con el fin de modelar el sistema, se preparó un modelo sobre la Plataforma WEAP. Este modelo recibe como input principal, los caudales de cabecera y/o laterales que han sido previamente modelados para las 20 subcuencas que conforman el sistema en estudio. Se hace notar que el modelo desarrollado permite incorporar tanto la cantidad del recurso hídrico disponible, así como su calidad, modelando las variaciones espaciales de arsénico, boro, cloruros y la conductividad eléctrica.

11. ESCENARIOS MODELADOS

Para el trabajo posterior, se definieron 9 escenarios futuros de trabajo, los que se resumen en el Cuadro 11-1, donde se muestran las características principales de los escenarios considerados, indicando si impacta sobre la cantidad y/o calidad de las aguas.

**CUADRO 11-1
RESUMEN ESCENARIOS MODELADOS**

Escenario	Características Principales Escenario	Impacto	
		Cantidad	Calidad
E0	Escenario base	-	-
E1	Mejora la eficiencia de conducción de los canales	Si	No
E2	Se incluye Embalse Turi. Se considera que se puede embalsar el 100% del caudal que trae el Río Salado	Si	No
E3	Usando como base el Escenario 2, determina superficies 85% regables para diferentes escenarios de embalse	Si	No
E4	Se incluye Embalse Turi. Se considera que se pueden embalsar distintas combinaciones de los derechos permanentes y eventuales	Si	No
E5	Se cambia la operación del Embalse Conchi, para satisfacer únicamente la demanda de riego.	Si	No
E6	Se desvían 3 cauces aportantes al Río Salado, los cuales poseen una alta carga salina, con el fin de mejorar la calidad de aguas de dicho río.	Si	Si
E7	Tubería Río Loa-Salado	Si	Si
E8	Manejo Conjunto Embalses Turi y Conchi	Si	Si
E9	Escenarios Multiobjetivo: Riego, calidad de aguas, control de crecidas e hidrogenación	Si	No

Fuente: Elaboración propia.

12. BENEFICIOS ASOCIADOS A LOS ESCENARIOS

Con el fin de desarrollar una posterior evaluación económica de los escenarios mostrados en el Cuadro 10-1 se determinaron beneficios asociados a los diferentes tipos de mejoramientos posibles de obtener: incremento en la cantidad de aguas, mejoramiento de la calidad de aguas, control de crecidas y generación hidroeléctrica.

En primer lugar, se resumen en el Cuadro 12-1 las variaciones introducidas en los escenarios agroeconómicos, para los diferentes sectores. Se hace notar que estas variaciones corresponden a modificaciones en los rendimientos esperados, lo que se traduce en mejoras económicas.

Por otra parte, se determinó un beneficio asociado al uso del embalse del escenario 2 para control de crecidas, a la vez que se usa para la generación hidroeléctrica.

CUADRO 12-1
RESUMEN DE MODIFICACIONES INTRODUCIDAS PARA DETERMINAR LOS
BENEFICIOS AGROECONÓMICOS

Calama		
Escenario	Cultivos	Variación
1	Todos los cultivos	0%
2, 3, 4 y 9	Maíz Choclo, Alfalfa	20%
5	Maíz Choclo, Alfalfa	20%
6	Maíz Choclo, Alfalfa	30%
7 y E8S1+Qeco	Maíz Choclo, Alfalfa	30%
	Zanahoria, acelga, betarraga, lechuga	Introd. con ídem rendimientos a Chiu Chiu Lasana
7 y E8S2+Qeco	Maíz Choclo, Alfalfa	30%
	Zanahoria, acelga, betarraga, lechuga	Introducción con rendimientos 80% los de Chiu Chiu Lasana
Chiu Chiu-Lasana		
1	Todos los cultivos	0%
2, 3, 4 y 9	Todos los cultivos	0%
5	Zanahoria, acelga, betarraga, lechuga, maíz choclo y alfalfa	20%
6	Todos los cultivos	0%
7	Todos los cultivos	0%
E8S1+Qeco y E8S2+Qeco	Todos los cultivos	0%
Ayquina, Turi y Paniri		
1	Todos los cultivos	0%
2, 3, 4 y 9	Todos los cultivos	0%
5	Todos los cultivos	0%
6	Todos los cultivos	0%
7	Todos los cultivos	0%
E8S1+Qeco y E8S2+Qeco	Todos los cultivos	0%

Fuente: Elaboración propia.

13. DIAGNÓSTICO TERRITORIAL Y DEFINICIÓN DE IMAGEN OBJETIVO

Para cada territorio se estructuró un diagnóstico definitivo desde diferentes aspectos: calidad de aguas, calidad de suelos agrícolas, disponibilidad hídrica, producción agrícola e infraestructura de riego. Posteriormente se definió a nivel territorial, la situación futura esperada, para luego proponer líneas de acción a nivel territorial. Por último, se proponen imágenes objetivo por territorio, las que se presentan en lo que sigue:

Lasana-Chiu Chiu:

“La agricultura de Lasana cuenta con una infraestructura de riego capaz de enfrentar los eventos de crecidas y otorgar seguridad de riego a los agricultores. El desarrollo de la actividad

se ve también favorecido por la implementación de formas de manejo nuevas o mejoradas que, sustentadas por un apoyo técnico constante, suponen un aumento en la calidad y en el rendimiento agrícola, el que también se ve estimulado gracias a leves mejoras en la calidad de las aguas”.

“La agricultura de Chiu Chiu ve potenciada su orientación comercial gracias a inversiones en infraestructura de riego y a mejoras en la calidad de las aguas (plantas de tratamiento locales) y el suelo, permitiendo con ello un mejor rendimiento y calidad de los cultivos, tanto tradicionales como aquellos que puedan ser incorporados a la estructura de cultivo. Los agricultores y comunidades cuentan con la capacitación necesaria para sustentar la innovación agrícola, la que se presenta tanto a través de plantas de tratamiento, como también en modificaciones en las prácticas agrícolas. Se aprovechan eficientemente las diversas ventajas comparativas con las que cuenta el territorio (saber hacer, localización, disponibilidad energética) para consolidar una agricultura que estimula el desarrollo local”.

Ayquina – Turi – Paniri:

“La agricultura en el territorio cuenta con una infraestructura de riego que es buena a nivel predial, aunque no es capaz de enfrentar los eventos de crecidas y otorgar seguridad de riego a los agricultores. Por otra parte, dado que la calidad del agua es en general buena, no siendo en general limitante, el desarrollo de la actividad se ve también favorecido por la implementación de formas de manejo nuevas o mejoradas que, sustentadas por un apoyo técnico constante, suponen un aumento en la calidad y en el rendimiento agrícola”.

Calama:

“El oasis de Calama sostiene y potencia su vocación agrícola logrando una convivencia armónica entre las prácticas tradicionales, favorecidas por mejoras en el manejo de los suelos, en la disponibilidad hídrica (producto de mejoras en conducción y acumulación) y en la calidad de las aguas, con nuevas experiencias de agricultura intensiva capaces de otorgar más valor a la actividad. Estas últimas iniciativas se ven posibilitadas por inversiones públicas y privadas en plantas de tratamiento, en acumulación, conducción y transferencia tecnológica a los agricultores, así como por una gobernanza local que es capaz de generar la articulación necesaria para sostener estas innovaciones”.

14. LÍNEAS DE ACCIÓN EN LA GESTIÓN DEL RIEGO

Anteriormente se describió en detalle las características agrológicas, agroclimáticas y productivas del sistema agrícola del área de estudio, asociando en esta descripción, las principales problemáticas asociadas a la calidad físico química de los suelos y la calidad y suministro de agua de riego y sus limitantes sobre el desarrollo agrícola.

En el Cuadro 14-1 es posible visualizar gráficamente el listado de las líneas de acción propuestas anteriormente, asociadas al nivel de impacto que se podría esperar en cada una de los sectores que componen la sub división territorial planteada, impacto relacionado con la problemática específica de cada sector respecto de los diversos factores que constituyen limitantes al desarrollo agrícola, principalmente desde el punto de vista de la calidad de los suelos y del agua de riego. En el cuadro se indica también cuales de estas líneas de acción han sido analizadas usando el modelo de simulación desarrollado.

Se hace notar en primer lugar que los indicadores presentados son de tipo cualitativo, aunque en algunos casos el indicador podría ser basado en antecedentes de tipo cuantitativo. Lo anterior se evitó de modo de tener un indicador único para todas las tecnologías analizadas. En lo que sigue se describe brevemente el significado esperado para cada nivel del indicador:

Alto	Se estima que la tecnología puede tener un impacto muy significativo en la mejora en la producción
Medio Alto	Se estima que la tecnología puede tener un impacto significativo en la mejora en la producción
Medio	Se estima que la tecnología puede tener un impacto medio en la mejora en la producción
Medio Bajo	Se estima que la tecnología puede tener un impacto bajo en la mejora en la producción
Bajo	Se estima que la tecnología puede tener un impacto muy bajo en la mejora en la producción

Al analizar las calificaciones mostradas en el Cuadro 14-1 se observa que no se espera un impacto mayor al medio. Lo anterior se debe a que los tratamientos propuestos no son capaces de sanear completamente el agua o de sanear totalmente el suelo por si solos, por lo que el impacto en la producción es a lo más medio, como es en el caso de las tecnologías que permiten tratar el agua directamente.

Al analizar en detalle los antecedentes presentados se tiene claramente que existen problemas con la calidad del agua, los que no es posible solucionar en una forma económicamente rentable. También existen problemas con la calidad del suelo, los que solo se pueden resolver luego de mucho tiempo de trabajo de alto costo, siempre que se haya resuelto el problema de la calidad del agua. Lo anterior trae como consecuencia que se debe cambiar el enfoque de trabajo, o paradigma, el que va desde solucionar el problema a nivel macro a un nivel micro, por agricultor, enfocándose en tecnologías aplicadas localmente, las que permitan pasar a métodos mas restables, tales como el cultivo en invernaderos, o directamente el uso de hidroponía. Lo anterior queda representado en la Figura 14-1.

CUADRO 14-1
NIVEL DE IMPACTO DE LÍNEAS DE ACCIÓN EN LA PRODUCCIÓN
POR SUB DIVISIÓN TERRITORIAL ÁREA DE ESTUDIO

Línea de Acción	Sub división Territorial						Modelación
	Calama	Chiu Chiu	Lasana	Ayquina	Turi	Paniri	
Manejo Agronómico Asociado a Suelos							
a) Tratamiento Lavado de Suelos	●●	●●	●●	●	●●	●	No
b) Subsulado y mejoramiento de drenaje	●●	●	●	●	●	●	No
c) Tratamiento de Enmiendas Cállicas y de Azufre	●●	●●	●●	●●	●●	●	No
d) Tratamiento de Incorporación de Materia Orgánica Estabilizada	●●	●●	●●	●●	●●	●●	No
e) Manejo del Riego	●●	●●	●●	●●	●●	●●	No
f) Prevención y Control de Fito-patógenos y Malezas	●●	●●	●●	●●	●	●	No
g) Rectificación y Control de Fertilidad de Suelos	●●	●●	●●	●●	●	●	No
h) Fitoremediación de Suelos	●●	●●	●●	●	●	●	No
Tecnificación del Riego	●	●	●	●	●	●	No
Mejoramiento Infraestructura de Bocatomas y Canales	●	●	●	●	●	●	Si
Construcción Embalse Turi	●●	●	●	●	●	●	Si
Trasvases y Desvíos	●●	●●	●●	●	●	●	Si
Operación Conjunta Embalses Conchi y Turi	●●	●●	●●	●	●	●	Si
Reúso de Aguas Grises y/o Servidas Tratadas	●●	●	●	●	●	●	No
Fito-Remediación de Aguas	?	?	?	?	?	?	No
Otras Tecnologías de Tratamiento de Aguas							
a) SolArsenic	●●●	●●●	●●●	●●	●●	●	No
b) Planta de Abatimiento de Boro y Arsénico	●●●	●●●	●●●	●●	●●	●	No

Impacto

- : Alto
- : Medio Alto
- : Medio
- : Medio Bajo
- : Bajo

Fuente: Elaboración propia.

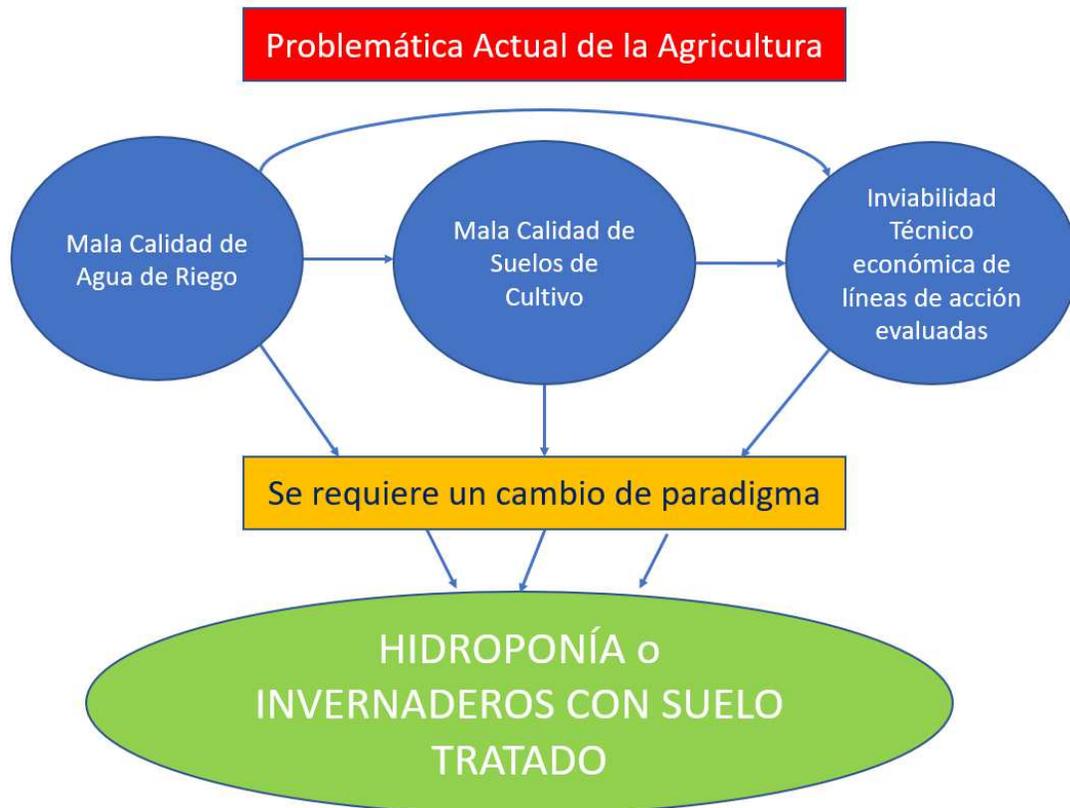


FIGURA 14-1
CAMBIO DE PARADIGMA EN LA SOLUCIÓN DEL RENTABILIDAD ECONÓMICA DE LA
AGRICULTURA LOCAL

Fuente: Elaboración propia.

15. EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA-SOCIAL DE LOS ESCENARIOS

Usando los beneficios mostrados en el capítulo anterior, además de una determinación preliminar de costos, se realizó la evaluación económica de los escenarios, cuyos resultados sociales se muestran en el Cuadro 15-1. Se observa claramente que todos los escenarios son no rentables.

CUADRO 15-1
RESULTADOS EVALUACIÓN ECONÓMICA A PRECIOS SOCIALES

Escenario		VAN (Millones \$)	Tir (%)	n/k	IVAN
1	Esc 1-1	-3.164,2	No Hay	-1,30	0,16
	Esc 1-2	-6.536,8	No Hay	-1,35	0,11
	Esc 1-3	-13.985,7	No Hay	-1,37	0,07
2	Esc 2	-22.297,2	No Hay	-1,37	0,08
3	Esc 3-1	-26.787,7	No Hay	-1,37	0,08
	Esc 3-2	-31.319,8	No Hay	-1,38	0,08
	Esc 3-3	-35.761,0	No Hay	-1,38	0,07
	Esc 3-4	-40.029,8	No Hay	-1,39	0,07
	Esc 3-5	-44.112,0	No Hay	-1,40	0,07
4	Esc 4-1	-22.329,0	No Hay	-1,37	0,08
	Esc 4-2	-25.381,5	No Hay	-1,56	0,04
	Esc 4-3	-24.489,8	No Hay	-1,50	0,05
	Esc 4-4	-22.317,2	No Hay	-1,37	0,08
5	Esc 5	No se evalúa económicamente			
6	Esc 6-1	-7.335,0	No Hay	-1,16	0,22
	Esc 6-2	-13.238,9	No Hay	-1,61	0,04
	Esc 6-3	-15.198,7	No Hay	-1,50	0,05
	Esc 6-4	-34.887,2	No Hay	-1,41	0,05
7	Esc 7-1	-47.317,4	No Hay	-2,49	0,02
	Esc 7-2	-43.544,9	No Hay	-2,29	0,03
8	Esc 8-1	No se evalúa económicamente			
	Esc 8-2	No se evalúa económicamente			
9	Esc 9-1	-26.861,4	No Hay	-1,38	0,07
	Esc 9-2	-28.537,3	No Hay	-1,46	0,07
	Esc 9-3	-37.017,4	No Hay	-1,90	0,04

(*) En este caso la TIR resulta negativa, por lo cual no tiene sentido real.
Fuente: Elaboración propia.

16. ESCENARIO PRODUCTIVO ALTERNATIVO SIN USO DEL SUELO

El presente capítulo surge de la necesidad de plantear sistemas productivos alternativos al tradicional, cuyo sustrato característico de cultivo es el suelo, dada la principal problemática que afecta a la agricultura de la zona y a la generalidad de sus suelos, que es la contaminación, proveniente principalmente del transporte a través del agua de riego y de un origen genético a la vez. Como se ha descrito en detalle esta contaminación obedece a la presencia de diversos elementos químicos, que afectan, en niveles sobre la norma para agricultura, el desarrollo de los cultivos y la salud humana. Entre los mencionados contaminantes destacan principalmente, el alto grado de salinidad (CE) y los elevados niveles de sodio, boro, arsénico y cloruros.

Tal como queda consignado existe mucha superficie inutilizada temporalmente para cultivar cualquier especie que no sean las tradicionales variedades tolerantes de maíz y alfalfa, en especial para frutales. Esta situación se da principalmente en Calama, donde los niveles de contaminación existentes llegan a sobrepasar hasta en 72 veces la norma para boro, más de 16 veces la norma para arsénico, en más de 17 veces para Sodio y de 22 para Cloruros.

De esta forma, se propone un escenario productivo alternativo, donde se plantee una Situación Con Proyecto que considere, en su propuesta de desarrollo, una fracción importante y creciente del uso del agua de riego en sistemas de producción de cultivos “sin uso de suelo”. Es ahí donde surge el concepto de la Hidroponía.

La tecnología de cultivos hidropónicos existe hace décadas en el mundo y es una alternativa de producción altamente intensiva que se ajusta perfectamente a condiciones donde los espacios son pequeños o los suelos no son adecuados para cultivo.

La hidroponía se define como un sistema de producción de cultivos, principalmente hortaliza de hoja, donde las raíces de las plantas se irrigan con una mezcla de elementos nutritivos esenciales disueltos en agua y en el que, en vez de suelo, se utiliza como sustrato un material generalmente inerte y estéril, el cual proporciona las condiciones físicas, químicas y sanitarias más adecuadas para el desarrollo vegetal.

Ventajas de la hidroponía:

- Esta técnica permite cosechas en períodos más cortos que la siembra tradicional (precocidad).
- Permite un control más preciso sobre la nutrición de la planta
- Las plantas cosechadas se remueven fácilmente.
- Favorece un ahorro considerable en el uso del agua.
- Permite al productor obtener mayor producción, de buena calidad y libres de elementos tóxicos.
- Disminuyen las enfermedades de la raíz de los cultivos, lo que reduce drásticamente la aplicación de plaguicidas.
- Operación económica y eficiente (casi automáticamente) menores costos de mano de obra.

Desventajas de la hidroponía:

- Los costos iniciales son altos (infraestructura de invernaderos, estructura de sostén de cultivo, sistema hidráulico, etc.).
- Requiere de fuerte capacitación de operarios y monitoreo constante en su operación.
- Requiere de agua de buena calidad inicial, ya que la solución nutritiva de por sí es salobre y la CE debe estar entre 1,5 y 3 dS/m. Cualquier contenido fuera de la norma en el agua puede producir desbalance nutricional afectando todas las plantas.
- Este sistema requiere de un cuidado permanente del estado de la solución nutritiva para rendir resultados (balance nutritivo de la solución, condiciones de CE, pH y temperatura), pudiendo colapsar completamente el sistema ante posibles fallas.
- El sistema tiene limitantes en cuanto a las especies cultivables, donde las hortalizas presentan ventajas estructurales para usar este método.

Existen varias técnicas de cultivo hidropónico, entre las que destacan:

- **Técnica de Cultivo Estacionario:** donde el más característico es el sistema de raíz flotante, donde las raíces de los cultivos flotan permanentemente en contenedores con agua y solución nutritiva.
- **Sistemas Recirculantes:** el agua es conducida intermitentemente hasta las raíces de las plantas por una red de cañerías y canaletas de plantación, desde una fuente o contenedor de agua y solución nutritiva, volviendo nuevamente a la fuente después de cada riego.
- **Sistemas Aéreos:** Las plantas están sostenidas artificialmente con sus raíces suspendidas en el aire, siendo asperjadas intermitentemente con agua y solución nutritiva.
- **Sistemas con Sustratos:** Las plantas desarrollan su sistema radicular en sustratos orgánicos o inorgánicos dispuestos en platabandas en suelo o mesones, donde se suministra agua y nutrientes por goteo o cintas.
- **Raíz Flotante:** Consiste básicamente en desarrollar cultivos sobre largas superficies de plumavit que se mantienen a flote sobre contenedores con solución nutritiva, la que debe ser oxigenada de manera frecuente. Estos contenedores son forrados internamente con nylon grueso para impermeabilizar el sistema. El sistema de raíz flotante no es recirculante, por lo que el agua se queda estancada y con el tiempo va perdiendo oxígeno proporcionando que se generen bacterias y hongos que afectan las raíces de las plantas, también afecta en la nutrición vegetal ya que al disminuir la cantidad de oxígeno las plantas no asimilan todos los elementos, haciendo que se

genere una deficiencia. Se requiere entonces un sistema de oxigenación que permita tener una buena cantidad de este elemento en el agua para favorecer el intercambio gaseoso y mantener la solución nutritiva en óptimas condiciones.

Se hace notar que se propone este último sistema para el cultivo en el territorio.

Se hace notar que esta técnica es altamente intensiva en uso de mano de obra, además de requerir de capacitación constante durante los primeros años de producción.

Para el desarrollo del cultivo hidropónico, se tienen los siguientes elementos:

- Planta de tratamiento para el agua de mala calidad disponible a nivel predial, la cual se trata con energía obtenida de paneles fotovoltaicos
- Estanque para almacenar el agua tratada antes de su uso
- Sistemas de distribución para entregar el agua
- Invernaderos donde se cultivan los productos

Es importante indicar también, que en invernaderos es posible tener múltiples cultivos anuales, por ejemplo, al menos 6 cosechas de lechuga. Otro elemento interesante es que el consumo de agua requerido es inferior a la agricultura tradicional, por lo que una planta de tratamiento puede entregar agua a múltiples agricultores.

En particular, para esta evaluación preliminar se consideró que cada planta de tratamiento puede abastecer a 8 agricultores, los que siembran lechugas. Para este proyecto se tienen los indicadores económicos mostrados en el Cuadro 16-1, donde se muestra que este tipo de solución es altamente rentable.

CUADRO 16-1
RESULTADOS EVALUACIÓN ECONÓMICA

	VAN (Millones \$)	TIR (%)	IVAN	n/k
Precios Mercado	17.300,2	29,74%	2,75	3,59
Precios Sociales	50.004,4	33,75%	3,10	9,11

Fuente: Elaboración propia.

17. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Producto del trabajo desarrollado en el presente estudio y del análisis de sus resultados, es posible presentar las siguientes conclusiones generales:

- La baja productividad actual de la agricultura en la zona y la estrecha gama de cultivos posibles de desarrollar, guarda directa relación con la mala calidad química del agua de riego y con la mala calidad físico química de los suelos de cultivo.
- El nivel de contaminación química de los suelos, guarda directa relación con la práctica del riego agrícola y el nivel de contaminación del agua, entre otros factores, por lo que, si no se aborda el problema de calidad de agua, es imposible resolver el de calidad de suelos.
- El problema de calidad de suelos es transversal a toda el área de estudio. No obstante, se acentúa drásticamente en Calama, donde algunos sectores alcanzan niveles de contaminación con boro y arsénico que los inutilizan por muchos años, asociando costos de tratamiento muy elevados.
- Si bien el problema de calidad de aguas es transversal, éste se va acentuando en la medida que se avanza hacia aguas abajo del valle, teniendo una mayor influencia el aporte efectuado por el río Salado, afluente del río Loa.
- La metodología tradicional implementada en la búsqueda de soluciones efectivas a esta situación no es capaz de resolver de forma rentable la problemática combinada de calidad de aguas, calidad de suelos y de seguridad de riego en la zona.
- La vía de solución de mayor impacto en el desarrollo agrícola en la zona es la vía del mejoramiento de calidad de aguas para riego, dada su comparativamente mayor incidencia en la productividad agrícola (directa e indirectamente).
- El área de estudio posee un gran potencial productivo en términos de adaptabilidad climática de múltiples especies agrícolas y de condiciones de mercado altamente ventajosas; esto es, altos precios de venta de productos dada la gran demanda de productos en ciudades (Calama y Antofagasta) que deben traer suministros alimentarios de Arica o de la zona central.
- El territorio posee una tradición agrícola de larga data, por lo que cualquier transformación propuesta deberá insertarse en unas dinámicas sociales y agrícolas ya asentadas.
- El territorio presenta una importante presencia de población indígena, lo que, sumado al marco normativo vigente (Convenio 169) hace necesario que los proyectos a impulsar consideren un dialogo constante con las comunidades.

Dada la problemática existente en la zona, la inviabilidad técnico económica de las soluciones obtenidas a través de la metodología tradicional, las mencionadas ventajas comparativas

existentes para el desarrollo de la agricultura y la realidad sociocultural que define al territorio es que la presente consultoría ha generado las siguientes recomendaciones, como herramientas para la toma de decisiones en futuras instancias de inversión en materia de riego:

- Se recomienda enfocar los esfuerzos y recursos en mejorar la calidad del agua de riego, desde una aproximación micro, es decir a nivel del agricultor. Esto como base necesaria para implementar un cambio de paradigma en la forma de cultivar y desarrollar agricultura prescindiendo del suelo como sustrato de cultivo.
- Se recomienda el desarrollo progresivo de proyectos que asocien tratamiento de aguas mediante abatimiento de contaminantes con osmosis inversa u otra tecnología ad hoc, utilizando energía fotovoltaica, asociando tecnología hidropónica de cultivos bajo invernaderos, sistema que ha demostrado alta rentabilidad. En este sentido, un desafío futuro estará dado por ir introduciendo estas nuevas tecnologías sin menoscabar la producción tradicional y las prácticas agrícolas existentes.
- Se recomienda evaluar cualquier proyecto de desarrollo mediante el Método del Mínimo Costo e incorporar al Oasis de Calama en el Plan de Zonas Extremas o declararlo como sector de interés geopolítico.
- Se hace necesario estudiar con mayor detalle la combinación de soluciones macro con el enfoque micro a nivel del agricultor, como por ejemplo mejorar la disponibilidad de agua por el uso del Embalse Turi, con tratamiento local tal como se expuso anteriormente
- Para posteriores proyectos asociados al desarrollo agrícola, se recomienda hacer un acabado estudio del estado de los derechos de agua en la zona y de la propiedad de la tierra, de manera de generar instancias de regularización y así hacer viable la asignación de beneficios agrícolas, condicionada al respecto por la reglamentación vigente.
- Se recomienda también mejorar la modelación desarrollada y el estudio hidrológico. Para esto se recomienda comenzar con la instalación de estaciones de monitoreo que midan en forma continua, de modo de conocer en detalle como se comporta el territorio en crecidas. Posteriormente se debe mejorar la modelación realizada.

Estas soluciones plantean algunos desafíos en lo que se refiere a la relación del Estado con los agricultores de la zona y para los propios agricultores. Desde el punto de vista del Estado, se requiere que éste sea capaz de avanzar hacia la construcción de una relación de mayor cercanía con las comunidades, enfrentando así una realidad que habla, como se expresó en el capítulo 3 del informe, de una extendida desconfianza. La implicación temprana de las comunidades en los futuros proyectos o la devolución de los resultados de los mismos pueden constituir pisos mínimos sobre los que ir construyendo confianzas. Por otro lado, y considerando el espíritu del Convenio 169, se debieran favorecer espacios continuos de participación de las comunidades indígenas en relación a sus proyectos de desarrollo futuro. Respecto a las líneas de acción planteadas por el estudio, las

comunidades debieran ser consideradas a la hora de evaluar la Susceptibilidad de Afectación Directa (SAD) que observan en los proyectos, pese a que éstos no deban ingresar al SEIA por medio de un EIA.

Desde un punto de vista sociocultural, se considera necesario buscar fórmulas que permitan conciliar la agricultura tradicional con la hidropónica. Y es que el cambio de paradigma propuesto supone una modificación sustantiva de prácticas agrícolas tradicionales que son parte estructurante de las identidades indígenas y agrícolas, por lo que es altamente probable que exista una cierta resistencia al cambio. Esta conciliación también puede parecer interesante en términos económicos entre algunas comunidades del Alto El Loa, pues sus cultivos en terrazas son un elemento que otorga valor turístico al territorio.

La introducción de las nuevas tecnologías propuestas debe ir acompañada de programas de apoyo permanente que permitan a los agricultores interesados en la innovación sobrellevar un necesario período de adaptación. La actual planta de tratamiento existente en Calama ha debido enfrentar una serie de inconvenientes en lo que respecta al acceso a los insumos necesarios para su mantención y operación, por lo que deben generarse las condiciones, materiales y no materiales, que sean capaces de sostener el nuevo paradigma agrícola propuesto.

Todo lo anterior permite evidenciar la magnitud del desafío que supone intentar romper con el estancamiento existente en el sistema agrícola, lo que hace necesario un esfuerzo multisectorial que involucre a distintos servicios públicos especializados (CONADI, INDAP, DGA, GORE, DOH, Municipalidad, entre otros) y que permita efectuar un abordaje sistémico y con un enfoque territorial.

En lo que respecta al oasis de Calama, de lograrse ciertos avances en el impulso de la economía agrícola y considerando que el tamaño de los predios en general es pequeño, podría hacerse necesario potenciar entre los regantes modelos asociativos de explotación y/o comercialización que faciliten la puesta en el mercado de sus productos, permitiendo mejores márgenes de comercialización. En este sentido, las cooperativas representan un buen modelo, pero ello puede ser potenciado también a través de las organizaciones ya existentes, como la propia Asociación de Agricultores de Calama.