



**GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
DIRECCIÓN REGIONAL DE AGUAS
REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA**

**ANÁLISIS INTEGRAL DE SOLUCIONES A LA
ESCASEZ HÍDRICA, (Segunda Parte),
REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA**

INFORME FINAL

RESUMEN EJECUTIVO

**REALIZADO POR
ICASS SpA**

S.I.T. N° 424

ARICA, DICIEMBRE, 2017

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas
Ingeniero Comercial Sr. Alberto Undurraga Vicuña

Director General de Aguas
Abogado Sr. Carlos Estévez Valencia

Director Regional de Aguas
Ingeniero Civil Mecánico Sr. Juan Pablo Rejas Bustos

Inspectora Fiscal
Ingeniera Civil Químico Sra. Mirtha Arancibia Cruz

INGENIERÍA Y CONSULTORÍA EN AGUAS SPA

Bernardo Capino Díaz
Jefe de Proyecto
Ingeniero Civil

Profesionales

Ingeniera Civil Carolina Hernández Cerda
Ingeniero Civil Industrial Carlos Díaz
Ingeniera Civil Paulina Rodríguez Chiti
Hidrogeóloga Sonia Valdivielso Mijangos
Geóloga Begoña Urtubia Villagrán
Ingeniera Agrícola Paola Sánchez Farfán
Antropóloga Social Kapris Tabilo
Trabajadora Social Yesenia Liberona
Trabajador Social Carlos Gallardo
Ingeniero Agrícola Aldo Díaz Foitzick

Tabla de Contenido General

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	OBJETIVOS	2
3.	LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	3
4.	RECOPIACIÓN Y REVISIÓN DE ANTECEDENTES	4
5.	PRESENTACIÓN A LAS COMUNIDADES.....	4
6.	ACTUALIZACIÓN DE LA PLATAFORMA DE TRANSACCIONES DE DERECHOS	6
7.	SISTEMATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE DERECHOS	6
8.	ANÁLISIS DEL ESTADO DE LAS OBRAS DE RIEGO E INFRAESTRUCTURA....	7
8.1	CATRASTRO DE CANALES EN CUENCAS	8
8.2	MEJORAS DE INFRAESTRUCTURA	9
9.	ANÁLISIS DE POLÍTICAS Y PROGRAMAS	9
10.	OBSERVATORIO DE SEQUÍA.....	11
10.1	MODELO CONCEPTUAL	11
10.2	PLATAFORMA DIGITAL.....	15
11.	BALANCES HÍDRICOS OPTIMIZADOS.....	16
12.	NUEVAS FUENTES	17
12.1	ALTERNATIVAS ESTUDIADAS	17
12.2	EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS ESTUDIADAS.....	23
12.3	ALTERNATIVAS SELECCIONADAS.....	23
12.4	ASPECTOS LEGALES Y AMBIENTALES	26
12.5	BALANCES HÍDRICOS CON PROYECTOS	29
13.	INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD DEL USO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS.....	31
14.	PLAN ESTRATÉGICO PARA EL RECURSO HÍDRICO EN LA REGIÓN	32
15.	CONCLUSIONES	33

Índice de Figuras

FIGURA 10.1 PRINCIPALES ETAPAS DESARROLLADAS EN EL OBSERVATORIO DE SEQUÍA	11
---	----

Índice de Tablas

TABLA 5.1 ACTIVIDADES DE PARTICIPACIÓN CON LA COMUNIDAD	5
TABLA 8.1 CANALES CATASTRADOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	8
TABLA 9.1 PRINCIPALES FONDOS POR ORGANISMO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	10
TABLA 10.1 NIVELES ÍNDICE COMBINADO DE SEQUÍA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	13
TABLA 10.2 DEFINICIÓN DE LOS ÍNDICES TEMÁTICOS SEGÚN LOS TIPOS DE SEQUÍA	13
TABLA 12.1 ALTERNATIVAS NUEVAS FUENTES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	19
TABLA 12.2 NORMATIVA NACIONAL E INTERNACIONAL APLICABLE A LAS ALTERNATIVAS DE LAS NUEVAS FUENTES DE LA REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	26
TABLA 12.3 COMPONENTES ADICIONALES DE LOS BALANCES HÍDRICOS CON ALTERNATIVAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	29
TABLA 13.1 RESUMEN DE INDICADORES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	32

1. Introducción

El presente documento es el resumen ejecutivo del estudio “Análisis Integral de Soluciones a la Escasez Hídrica, Segunda Parte, Región de Arica y Parinacota”, que tuvo como objetivo general levantar y actualizar la información disponible sobre la situación de recursos hídricos de la XV Región de Arica y Parinacota, de manera de generar balances hídricos de las distintas cuencas, considerando los múltiples factores que intervienen a este efecto; así como realizar una evaluación de políticas y programas públicos aplicados en la región con respecto al uso del agua, y estudiar alternativas de nuevas fuentes que permitan suplir el déficit y garantizar un uso sustentable del agua.

El estudio se desarrolló en cuatro etapas, las cuales se describen a continuación:

En la etapa I se presentó información recopilada de estudios anteriores y relevantes desarrollados en la región con respecto al recurso hídrico, información sobre los talleres de difusión realizados en seis localidades de la región, actualización de la plataforma de derechos de aprovechamiento de agua desarrollada en la primera parte y actualización de derechos de agua constituidos y en trámite, de acuerdo a los expedientes disponibles en la Dirección General de Aguas.

En la etapa II se incorporó el levantamiento y revisión de los planes y programas públicos relacionados con el recurso hídrico aplicados en la última década. También se complementó catastro de la infraestructura hidráulica existente y proyectada. En base a esta última se optimizaron los balances hídricos de cada una de las cuencas de la región. En esta etapa se preparó y presentó un Observatorio de Sequía, consistente en una plataforma web que mediante información histórica y actual de caudales, precipitaciones y análisis de imágenes satelitales, permite obtener información del estado de las cuencas de la región frente a eventos de escasez hídrica.

En la etapa III del estudio se desarrolló un análisis de más de veinte alternativas de nuevas fuentes de recurso hídrico, las que fueron evaluadas de acuerdo a metodología que considera el volumen anual ganado por cada una y la inversión involucrada, entre otras variables. Se desarrollaron encuestas públicas en todas las cuencas de la región y talleres de participación ciudadana cuyos resultados también fueron incluidos en la

evaluación de las alternativas. De éstas, se seleccionaron cuatro alternativas, las cuales se analizaron a nivel de ingeniería conceptual y se determinó a nivel de perfil las implicancias ambientales y legales.

Las alternativas seleccionadas corresponden a la exploración de un nuevo acuífero en el sector de Visviri, un estudio hidrológico de la cuenca de los ríos Uchusuma y Caquena para aprovechamiento futuro, un estudio hidrológico y capacidad de almacenamiento de las cuencas que aportan al río San José, y un estudio de disponibilidad y disposición de las aguas servidas de Arica como medida de gestión a la escasez.

En esta etapa también se desarrollaron indicadores de sustentabilidad del uso de recursos hídricos y se establecieron lineamientos del plan estratégico para el recurso hídrico en la región de Arica y Parinacota hacia el año 2030.

Finalmente en la etapa IV se integra al estudio, la propuesta del plan estratégico para el recurso hídrico en la región y se presentan las conclusiones y recomendaciones de acciones posteriores a desarrollar en la región.

2. Objetivos

El objetivo general del estudio es establecer un levantamiento y análisis de la información de estudios en la región desarrollados hasta la fecha de esta publicación y que sean relevantes para este estudio, optimizar el balance hídrico para cada cuenca, realizar una revisión de los planes y programas aplicados en la región con respecto al uso del recurso para obtener iniciativas de gestión, inversión y normativa necesaria para disminuir el déficit registrado del recurso, generando además alternativas de fuentes que permitan suplir el déficit y garantizar una explotación sustentable del recurso.

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Complementar y mejorar la recopilación de antecedentes y estudios anteriores de las cuencas de la región, desarrollado en la primera parte de este estudio integral.

- Recopilar, sistematizar y analizar la infraestructura de riego existente en la región.
- Evaluar resultados de políticas y programas realizados en las diferentes cuencas con respecto al uso del recurso hídrico.
- Analizar y proponer medidas de gestión del agua a nivel de fuente de origen.
- Generar plataforma con observatorio de sequía de la región, que contenga indicadores de sequía regional y de interfase amigable con el usuario.
- Sistematizar toda la información recopilada en base de datos y a su vez en herramienta SIG, incluyendo información catastral de usuarios y de obras.
- Optimizar el balance hídrico de cada una de las cuencas de la región.
- Generar propuestas para la explotación, generación o liberación de fuentes de agua, estas propuestas deben incluir un análisis técnico, económico, legal y ambiental.
- Revisar el Plan Estratégico de Recurso Hídrico en la región y actualizarlo según el trabajo desarrollado, considerando un horizonte de proyección hasta el año 2030.

3. Localización de la Zona de Estudio

El área que abarca este estudio comprende las cuencas de la XV Región de Arica y Parinacota, siendo éstas: quebrada de La Concordia, río Lluta, río San José, quebrada Chaca-Vítor, río Camarones y Cuencas Altiplánicas (ríos Uchusuma y Caquena, lago Chungara, río Lauca y salar de Surire).

La Región de Arica y Parinacota es la más septentrional de las quince regiones en las que se encuentra dividido Chile. Limita al norte con Perú, al este con Bolivia, al sur con la Región de Tarapacá y al oeste con el océano Pacífico. Desde un punto de vista administrativo, la región está dividida en dos provincias, la provincia de Arica y la provincia de Parinacota, y la capital regional es la ciudad de Arica.

La XV Región fue creada el 8 de octubre de 2007, segregando su territorio de la antigua Región de Tarapacá, al entrar en vigor la ley N°20 175, y cuenta con una superficie de 16.800 km² y una población de 235.081 habitantes según la proyección del INE (2014). Se caracteriza por ser una zona de extrema aridez, atravesada por una serie de quebradas con pequeños a nullos cauces temporales y que el régimen

hidrológico está marcado por el “invierno altiplánico”, registrándose los mayores caudales entre los meses de diciembre a marzo.

4. Recopilación y Revisión de Antecedentes

La recopilación de antecedentes referentes a los recursos hídricos (cantidad y calidad), las variables hidro-meteorológicas y las caracterizaciones geológica e hidrogeológica, ha incluido informes publicados en el catálogo bibliográfico de la Dirección General de Aguas, antecedentes de evaluaciones de impacto ambiental, informes y estudios de las empresas sanitarias, de instituciones públicas, universidades, de revistas científicas, y de antecedentes solicitados a las empresas mineras del área. En total se revisaron 142 documentos.

Para cada uno de los antecedentes se confeccionó una ficha (presentadas en el **Anexo I**) donde se destaca la relevancia y se realiza un análisis crítico de la información presentada. Además, en el Capítulo 4 del informe final se presenta un resumen de los antecedentes en cada cuenca de la región.

Las cuencas con mayor número de antecedentes son las cuencas de los ríos Lluta y San José, mientras que la cuenca con menor información es la cuenca de la quebrada Chaca-Vítor.

5. Presentación a las Comunidades

Considerando que el proyecto tiene una pertinencia sociocultural en la región fue necesario conocer las perspectivas y visiones de la comunidad. Durante la ejecución del proyecto se realizaron una serie de actividades que contaron con la participación de diferentes actores, éstas fueron lideradas por la Dirección General de Aguas y ejecutadas por la consultora ICASS.

En la **Tabla 5.1** se sintetiza la información de las actividades de participación con la comunidad.

Tabla 5.1 Actividades de participación con la comunidad

Tipo de actividad	Cantidad	Fecha	Participantes	Sitio
Reunión informativa (Talleres) [Anexo II.1]	6	04-08/Oct/16	Comunidades y asociaciones indígenas, representantes ADI, juntas de vecinos, actores políticos y comunitarios.	Localidades de Codpa, Camarones, Arica, Putre, Parinacota y Poconchile.
Taller de capacitación en conceptos hidrológicos	1	Nov/16	Funcionarios de la DGA Arica.	Arica
Talleres/Encuestas de optimización [Anexos II.2 y II.3]	6	13-17/Dic/16	Comunidades y asociaciones indígenas, consejeros ADI en el territorio y juntas de vecinos de cada localidad.	Putre, Visviri, Camarones, Guañacagua, Arica.
Taller de capacitación en conceptos hidrogeológicos	1	Abr/17	Funcionarios de la DGA Arica.	Arica
Presentación del Observatorio de Sequía	1	09/Jun/17	Participantes de la mesa del agua (representantes del INDAP, CNR, INIA, SAG, CONADI, DGA, Ministerio de Agricultura y DOH).	Arica
Taller de capacitación en el Observatorio de Sequía	1	04-05/Jul/17	Funcionarios de la DGA Arica.	Arica
Entrevistas semiestructuradas personales sobre las alternativas de Nuevas fuentes [Anexo II.4]	14	04/Sep-12/Oct/17	Actores institucionales (Representantes del Ministerio de Agricultura, INDAP, CORFO, CONAF, DGA, DOH, SISS, SEA, CNR, CONADI, SERNAGEOMIN, INIA, Gobernación de Arica, U. Arturo Prat)	Arica
Talleres/Reuniones de resultados del estudio a la comunidad PAC [Anexo II.5]	5	16-18/Oct/17	Dirigentes ADI, juntas de vigilancia y funcionarios del sector público.	Arica, Putre, Visviri, Guañacagua, Camarones.

Tabla 5.1 Actividades de participación con la comunidad

Tipo de actividad	Cantidad	Fecha	Participantes	Sitio
Reunión presentación de resultados del estudio integral (Primera y Segunda parte)	2	Nov/17	Funcionarios del MOP y otros actores del sector público.	Arica
Entrevistas semiestructuradas personales sobre las alternativas de Nuevas fuentes		Ene/2018	Actores institucionales, comunitarios y privados.	Arica, Azapa, Santiago.
Talleres/Reunión de presentación de resultados del estudio a la comunidad PAC [Anexo II.5]	1	31/Ene/2018	Dirigentes ADI, juntas de vigilancia y funcionarios del sector público.	Arica

6. Actualización de la Plataforma de Transacciones de Derechos

La plataforma de transacciones confeccionada en la primera parte del estudio (ICASS, 2016) fue actualizada hasta diciembre de 2016, con 216 registros de transacciones correspondientes a este año que cuentan con sus respectivos certificados de inscripción.

En el **Anexo III** se encuentran las fichas con los registros de transferencias levantadas desde el Conservador de Bienes Raíces, la planilla de transferencias de DAA entre personas, la planilla de inscripción de Comunidades de Aguas en el CBR. Finalmente se incluye un Manual de Usuario de la Plataforma.

7. Sistematización de la Información de Derechos

La sistemación del catastro de los derechos de aprovechamiento de aguas (DAA) de la región y el análisis del Catastro Público de Aguas (CPA) son actividades iniciadas en la

primera parte del estudio (ICASS, 2016), las cuales se actualizaron en este estudio con información disponible hasta diciembre de 2016.

En la base de datos de CPA aparecen 31 registros de solicitudes tramitadas por la Dirección General de Aguas durante el año 2016, todos ellos corresponden a solicitudes de regularización de derechos de aprovechamiento de aguas (NR).

En el **Anexo IV** se incluye una planilla con una base de derechos y la base de datos SIG actualizada.

8. Análisis del Estado de las Obras de Riego e Infraestructura

Para el análisis de la infraestructura existente y catastro de las obras de riego se tomó como base la información presentada en el estudio "Diagnóstico para desarrollar Plan de Riego en Región de Arica y Parinacota" Arrau Ingeniería (2016), código BIP 30305229. Adicionalmente, considerando la información de las Comunidades de Agua inscritas en el Conservador de Bienes Raíces de Arica que han tenido transacciones recientes, se catastraron otros canales existentes en las cuencas de Chaca-Vítor, San José y Camarones.

Los catastros de ambos estudios se realizaron recorriendo el trazado de cada canal, completando fichas de catastro por cada singularidad, estableciendo puntos coordenados, descripción del estado y material, existencia de elementos mecánicos u obras especiales y completando registro fotográfico y de monografías. La cantidad total de canales catastrados (los del estudio de Arrau Ingeniería (2016) y los catastrados en este estudio) se presentan en la Tabla 8.1.

Tabla 8.1 Canales catastrados. Fuente: elaboración propia

Cuenca	Subcuenca	Cantidad de canales
Río Lluta	Río Lluta Alto	30
	Río Lluta Bajo	69
Río San José	Río San José	43
	Azapa Alto	109
Costeras entre R. San José y Q. Camarones	Quebrada Vítor	111
Q. Río Camarones	Río Camarones antes junta Q. Chiza	39
Altiplánicas	Entre límite Perú-Bolivia y Río Lauca	3
Total		404

En el **Anexo VI** se incluyen las fichas de todos los canales catastrados y la planilla resumen con las características principales.

8.1 Catraastro de canales en cuencas

El catastro realizado a 404 canales en las distintas cuencas de la región de Arica y Parinacota permite dar cuenta de que la infraestructura de riego se encuentra en mejor estado en la cuenca de Camarones (76% de canales en buen estado), seguido por la subcuenca de Lluta Alto (70% de canales en buen estado) y Azapa Alto (64% de canales en buen estado).

Con respecto a la superficie de escurrimiento de los canales, la cuenca de San José es la que tiene mayor cantidad de canales revestidos en hormigón (78%) seguido por Lluta Alto (61% de canales revestidos con hormigón) y cuencas de Lluta Bajo y Camarones, ambas con un 50% de canales revestidos.

El mayor porcentaje de canales revestidos con mampostería están en Lluta Bajo (46%), seguida por cuenca de Chaca-Vítor con un 18% de canales revestidos con mampostería y luego las cuencas de San José y Azapa Alto con un 12% de canales revestidos con mampostería.

Los canales sin revestimiento se presentan en las cuencas altiplánicas, donde el uso de los canales no está dado para la agricultura sino que para el desarrollo ganadero. En

las cuencas de Camarones y Azapa Alto, hay un 38% y 28% respectivamente de canales sin revestir con respecto al total catastrado en cada cuenca.

8.2 Mejoras de Infraestructura

Las deficiencias más comunes encontradas en los canales catastrados corresponden a falta de mantenimiento general encontrándose canales y obras anexas embancados, con piedras y vegetación creciendo dentro de los canales. Se requiere ubicar desarenadores aguas arriba de las bocatomas en los cauces principales y donde ya existen se requiere mantención.

En las entregas prediales se catastraron varias compuertas oxidadas, en mal estado o derechamente en condiciones inadecuadas para operar. También se detectaron bocatomas en mal estado, bocatomas rudimentarias o artesanales.

Pese a que existe gran cantidad de canales revestidos, muchos de ellos son revestimientos antiguos en mampostería u hormigón que no han tenido un correcto mantenimiento a través del tiempo, haciendo un uso ineficiente del recurso hídrico. Por otro lado en varias cuencas hay porcentajes no menores de canales en tierra. El mejoramiento de los revestimientos de canales permitiría disminuir pérdidas en conducción y usar de mejor manera el recurso hídrico.

En el estudio de Arrau Ingeniería (2016) se realiza una estimación de costo para las mejoras de infraestructura de riego. Estas consisten en mejoras de revestimiento y de bocatomas, obras de protección, compuertas, aforadores..

9. Análisis de Políticas y Programas

Las políticas, programas y proyectos aplicados en la región de Arica y Parinacota vinculados directamente al uso de recursos hídricos para riego y actividades silvoagropecuarias se materializan a través de diferentes organismos gubernamentales. Para conocer dicha información se contó con los resultados del estudio de Arrau Ingeniería (2016), así como información pública de los distintos organismos obtenida directamente desde sus páginas o solicitadas a través de ley de transparencia. En la **Tabla 9.1** se indican los principales fondos distribuidos por los organismos.

Tabla 9.1 Principales fondos por organismo. Fuente: elaboración propia.

ORGANISMO	TIPOS DE FONDO
MOP-DOH	Mejoramiento de canales existentes
	Construcción defensas fluviales
	Construcción de pequeñas presas y estanques
	Construcción de embalses
MINAGRI-CNR, a través de Ley 18.450	Riego Zonas Extremas
	Riego y Tecnificación desarrollo de áreas indígenas
	Calidad del Agua de Riego
MINAGRI-INDAP	Riego
	Sistema de Incentivos para la Recuperación de Suelos Degradados -SIRSD-
	Programa de Desarrollo Local
MINAGRI-SAG	Reparación suelos degradados
MINAGRI-CONAF	Construcción de áreas verdes con sistema de riego Tecnificado
MDS-CONADI	Agua Inversión 2006-2010
	Obras de Riego y Drenaje 2006-2012
	Riego y Drenaje Indígenas 2006-2011

En el análisis de las políticas y programas se seleccionó un periodo de 12 años, y para hacer comparables las cantidades se han convertido a UF los montos de inversión de los proyectos de los distintos años.

Las cuencas que tienen menos inversión relacionada con el riego corresponden a las altiplánicas, Quebrada de La Concordia y las costeras aledañas a Quebrada Chaca-Vítor. Las cuencas que han recibido más inversión y que además presentan mayor desarrollo agrícola son las cuencas del río San José, Lluta bajo y Camarones.

En el Capítulo 9.1 del informe final se presenta la distribución de la inversión en la región y las gráficas con los montos de subsidios, bonificación y beneficiados.

10. Observatorio de Sequía

Desarrollar una plataforma de sequía permite reunir todo tipo de información que permita establecer una posible condición de sequía y el grado de ésta, y dar a conocer esta información al usuario, de manera sencilla e integrada, a través de distintos índices adaptados a la realidad de cada zona.

La Tabla 10.1 sintetiza las principales etapas realizadas para la elaboración del observatorio de sequía.

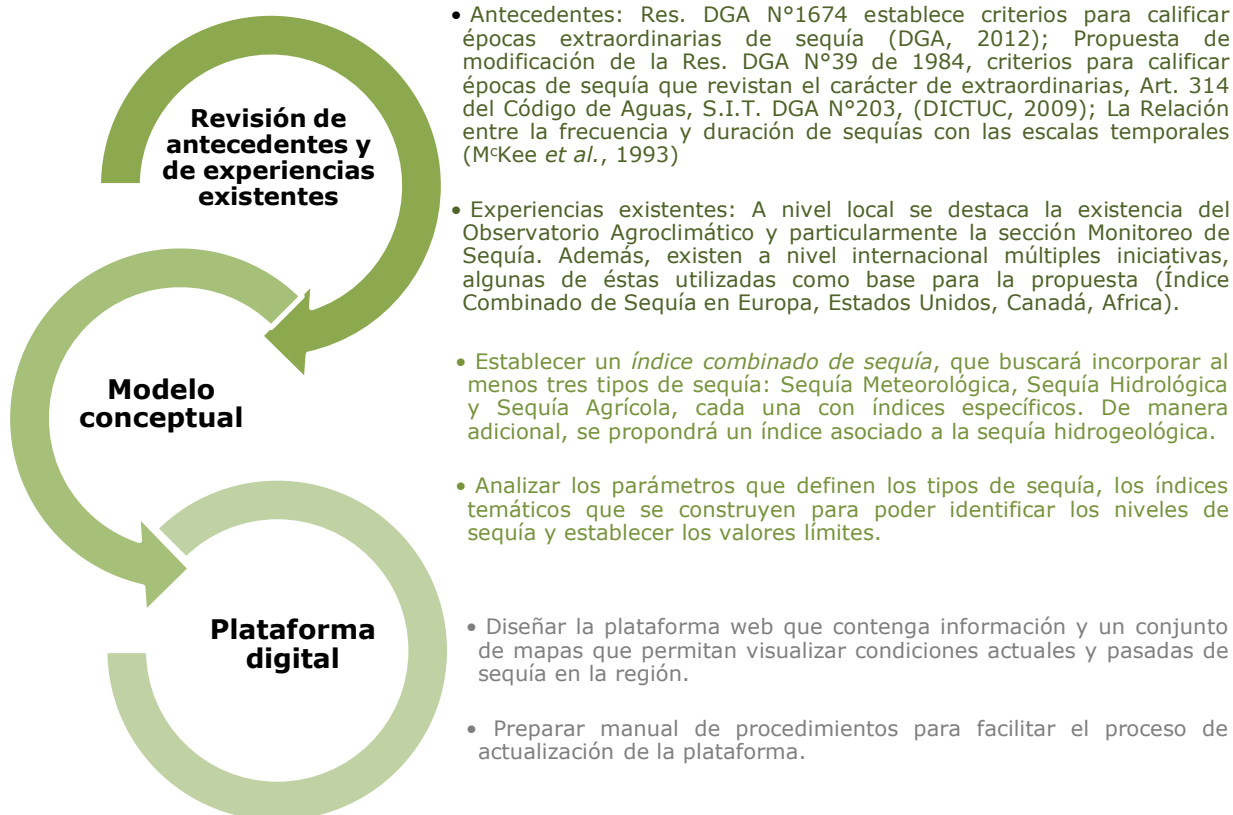


Figura 10.1 Principales etapas desarrolladas en el Observatorio de Sequía

10.1 Modelo conceptual

Existen diversos parámetros que permiten establecer una condición de sequía, los cuales son aplicables en función de las condiciones propias de cada región. Para cada tipo de sequía se propondrán índices adaptados a la situación local, comparando los

valores actuales con promedios antecedentes de los últimos 30 años, según la disponibilidad de información espacial y temporal. Se recomendará actualizar estos promedios o parámetros de comparación al menos cada 10 años, de manera de asegurar una actualización constante y una correcta representación de la realidad de la región.

A continuación se describen las consideraciones establecidas para el Índice Combinado de Sequía y los Índices Temáticos.

Índice Combinado de Sequía

Las principales variables a considerar, de acuerdo a la bibliografía revisada, corresponden por tanto a la precipitación, los caudales, la temperatura, la humedad del suelo y una variable asociada al estado de la vegetación obtenida a partir de imágenes satelitales.

En este estudio se propone utilizar como Índice Combinado de Sequía de acuerdo a la condición meteorológica, hidrológica y agrícola de cada cuenca. Se establece una relación causa-efecto que permite asociar un problema agrícola a una sequía, lo cual es un tema de gran importancia en la región de Arica y Parinacota. De manera adicional se considerará la condición de sequía en el tiempo, es decir, si existen periodos previos consecutivos de sequía, como agente agravante.

Los índices básicos a utilizar corresponden a los siguientes:

1. Índice de Precipitaciones Estandarizado para precipitaciones mensuales acumuladas desde diciembre del año anterior hasta el mes actual del año en curso (IPE_t)
2. Persistencia de Sequía Meteorológica (IPE_{2a}), dada por dos años de sequía meteorológica continua
3. Índice de Caudales Estandarizado mensual acumulado (ICE_t)
4. Persistencia de Sequía Hidrológica (ICE_{2a})
5. Anomalías de NDVI (A-NDVI)

Los valores y la clasificación a utilizar se detallan en la Tabla 10.1. Se considerará la sequía meteorológica de gravedad baja, la hidrológica de gravedad media y la

agronómica de gravedad alta. En aquellas zonas en que no existan antecedentes de caudales, se considerará únicamente la sequía meteorológica y la agrícola.

Tabla 10.1 Niveles Índice Combinado de Sequía. Fuente: elaboración propia.

Nivel de Sequía	Definición	Valores Límites
S1	Sequía Meteorológica	$IPE_t < -0,84$
S2	Sequía Meteorológica Agravada	$IPE_t < -0,84 + (IPE_t < -1,28 \text{ o } IPE_{2a} < -0,84)$
S3	Sequía Hidrológica	$IPE_t < -0,84 + ICE_t < -0,84$
S4	Sequía Hidrológica Agravada	$IPE_t < -0,84 + (ICE_t < -1,28 \text{ o } ICE_{2a} < -0,84)$
S5	Sequía Agrícola	$IPE_t < -0,84 + ICE_t < -0,84 + A\text{-}NDVI < -1,0$

En base a las subsubcuencas de la división administrativa de la DGA, a las características climáticas e hidrológicas, a la ubicación de las estaciones pluviométricas y fluviométricas, y al desarrollo de las actividades productivas en la región, se propone una zonificación para presentar el valor de los distintos índices (detalle en el Capítulo 10.3 del informe final).

Índices temáticos

En la Tabla 10.2 se presentan los distintos tipos de sequías consideradas para el índice combinado de sequía, los parámetros que las definen y los índices que se construyen para poder identificar los distintos niveles de gravedad.

Tabla 10.2 Definición de los índices temáticos según los tipos de sequía

Tipos de sequía	Insumos/Parámetros	Índices temáticos
Sequía Meteorológica	Asociada a un déficit de precipitaciones. Este déficit está dado por la comparación de los datos actuales versus los promedios estacionales y anuales de los últimos 30 años. Se utilizan los datos de las estaciones DGA o RAN (Red Agroclimática Nacional), según disponibilidad espacial y temporal.	Índice de precipitaciones estandarizado (IPE) Sequía meteorológica = IPE mensual menor a -0,84, Sequía meteorológica agravada = IPE mensual menor a -1,28 o bien un IPE acumulado de 2 años menor a -0,84.

En la Tabla 10.2 se presentan los distintos tipos de sequías consideradas para el índice combinado de sequía, los parámetros que las definen y los índices que se construyen para poder identificar los distintos niveles de gravedad.

Tabla 10.2 Definición de los índices temáticos según los tipos de sequía

Tipos de sequía	Insumos/Parámetros	Índices temáticos
Sequía Meteorológica Agravada	Busca considerar aquellos periodos en que los valores de precipitación sean inferiores a un umbral más restrictivo, o bien a un periodo de sequía que se prolongue más allá del periodo analizado.	
Sequía Hidrológica	Asociada a un déficit de caudales. Este déficit está dado por los registros de caudales medios mensuales de los últimos 30 años o, de al menos 15 años.	Índice de Caudales Estandarizado (ICE)
Sequía Hidrológica Agravada	Busca considerar aquellos periodos en que los valores de caudales medios sean inferiores a un umbral más restrictivo, o bien a un periodo de sequía hidrológica que se prolongue más allá del periodo analizado.	Sequía hidrológica = ICE mensual menor a -0,84, Sequía hidrológica agravada = ICE mensual menor a -1,28 o bien un ICE acumulado de 2 años menor a -0,84.
Sequía Agrícola	Se ha optado por utilizar, tal como se hace en otros sistemas de monitoreo, un índice de cobertura vegetal (NDVI y EVI) disponible a partir de imágenes satelitales, correspondientes al producto MOD13Q1 (Resolución espacial de 250 m). A partir de los valores obtenidos del índice se ha estimado la anomalía de cada periodo, considerando los valores de igual periodo en otro año. De manera análoga se estima la anomalía de temperatura, a	Anomalías de NDVI (a-NDVI) Anomalías de EVI (a-EVI) Anomalía de Temperatura

En la Tabla 10.2 se presentan los distintos tipos de sequías consideradas para el índice combinado de sequía, los parámetros que las definen y los índices que se construyen para poder identificar los distintos niveles de gravedad.

Tabla 10.2 Definición de los índices temáticos según los tipos de sequía

Tipos de sequía	Insumos/Parámetros	Índices temáticos
	partir de imágenes satelitales del producto MOD11A2.	
Sequía Hidrogeológica	<p>Se asocia a un descenso de los niveles de las aguas subterráneas, provocada por una sobreexplotación del acuífero con respecto a los niveles de recarga.</p> <p>Actualmente no se dispone de información lo suficientemente completa y actualizada en los registros de niveles de pozos de la DGA, por lo que no es posible generar un índice global por subcuenca que represente éste tipo de sequía y sea considerado en el ICS.</p>	Índice de Niveles Estandarizado (INE)

10.2 Plataforma digital

La plataforma de sequía es un visualizador geográfico web que contiene información y un conjunto de mapas, que permite visualizar condiciones actuales y pasadas de sequía.

La carga de contenidos, así como la actualización de éstos, se realiza a través de un sistema de administración de contenidos web, de acceso controlado, el que permite de manera sencilla e intuitiva, la actualización de los contenidos desplegados en el visualizador.

La plataforma web se encuentra disponible en el sitio <http://www.observatoriodga.cl/> .

La organización del sitio incluye 6 pestañas, cada una de las cuales incluye diferentes tipos de información, según se indica a continuación:

Pestaña 1: INICIO

- a) Mapas de los distintos índices con el valor del último mes disponible, incluyendo simbología
- b) Capas con las estaciones meteorológicas, fluviométricas, limnimétricas y pozos

Pestaña 2: CUENCAS

- a) Breve descripción de la cuenca
- b) Acceso a pestañas de subcuencas, para cada una de las cuales se incluye una descripción y gráficos de la situación actual e información antecedente

Pestaña 3: GLOSARIO

- c) Definición de distintos tipos de sequía
- d) Definición de índices
- e) Definición de conceptos de zona de prohibición y área de restricción de aguas subterráneas

Pestaña 4: ANTECEDENTES

- a) Documentación específica plataforma web
- b) Documentación Proyecto, a nivel regional y por cuenca

Pestaña 5: ENCUESTA CIUDADANA

Pestaña 6: CONTACTO

Para facilitar el proceso de actualización de la plataforma se ha preparado un Manual de Procedimientos, el cual se presenta en el **ANEXO IX**.

11. Balances Hídricos Optimizados

Los balances hídricos optimizados se han desarrollado incorporando el caudal recuperado producto de los proyectos y/o programas de inversión en obras de riego e

infraestructura aprobados en el periodo 2010-2016 y financiados en su mayoría por la Comisión Nacional de Riego (CNR), la Corporación Nacional de Desarrollo Indígena (CONADI), el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP) y la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH). Se ha tomado como línea base los balances hídricos presentados por ICASS (2016).

El caudal recuperado se atribuyó especialmente a los proyectos y/o programas relacionados con el revestimiento o reparación de canales, la implementación de sistemas de riego eficientes (microriego) y la construcción o habilitación de estanque acumulador. En el Capítulo 9.3 del Informe se presenta la metodología utilizada. En el caso de los proyectos en ejecución se analizó el aumento y reducción de pérdidas de agua que implica la construcción del embalse Chironta y el entubamiento del canal Azapa. Los balances de cada cuenca de la región se presenta en el Capítulo 11.1 del Informe .

Las cuencas que tienen mayores contribuciones producto de las mejoras, con caudales superiores a los 100 l/s son las del Río Lluta Bajo, del Río Lluta Alto y del Río Camarones. Por el contrario, las menores contribuciones (caudal inferior a los 10 l/s) son en las cuencas del Río San José Alto y de los Ríos Uchusuma y Caquena.

El caudal recuperado con el entubamiento de 41 km del canal Azapa se estima en 161 l/s. Se considera que la construcción del embalse Chironta implica un aumento en la evaporación en el valle del Lluta del orden de 44 l/s.

Adicionalmente, se propuso en este estudio Indicadores de Impacto de tipo hidrológico a partir de una acción o actividad relacionada con la optimización del balance hídrico y la escala de respuesta es de carácter cualitativa (Detalle en el Capítulo 11.2 del Informe).

12. Nuevas Fuentes

12.1 Alternativas estudiadas

En el desarrollo de este estudio se analizaron veinte alternativas para obtener nuevas fuentes de agua en las distintas cuencas de la región de Arica y Parinacota. Muchas de ellas provienen de la revisión de antecedentes o variaciones de alternativas estudiadas

anteriormente con distintos niveles de detalle. En la **Tabla 12.1** se indican las principales características.

En términos generales, se plantean tres soluciones tipo embalse, nueve variantes de solución que consideran tratamiento de aguas, tres soluciones de desvío de cauces existentes y tres soluciones que proponen trasvase de caudales entre cuencas.

Tabla 12.1 Alternativas nuevas fuentes. Fuente: elaboración propia.

N°	Alternativa	Tipo de obra	Cuenca	Subcuenca	Subsubcuenca	Inversión	Q o V _{ol}	Vol. anual estimado	Superficie Beneficiada	Ventajas	Desventajas
						[UF]	[m ³ /s] o [m ³]	[m ³]	[Ha]		
1	Embalse Livilcar	Embalse	Río San José	Río San José	Río San José	1.757.864	10.000.000	36.080.640	1.000	Regulación de crecidas Aumento de recarga en acuífero Posibilidad de generación eléctrica	Sin tramitación ambiental
2	Desvío río Azufre	Desvío	Río Lluta	Río Lluta Alto	Río Lluta bajo río Azufre	262.232		0		Rehabilitación de obras existentes. Falta cálculo de volumen lagunas de evaporación.	Análisis de derechos de aprovechamiento de aguas (DAA). Se requieren acotar mejor la zona contaminada para asegurar eficiencia de la solución.
3	Recarga artificial de acuíferos. En Azapa, con agua de crecidas en laguna de infiltración	Recarga	Río San José	Río San José	Río San José	295.043	0,072	746.496	66	Acuífero en las zonas indicadas presentan condiciones para ser recargados artificialmente. Obras beneficiarían control de crecidas	Análisis de derechos de aprovechamiento de aguas (DAA), diferenciación de DAA superficiales y subterráneos; diferenciación de DAA entre el que entrega el agua superficial para recargar y el que recibe el agua subterránea. Falta de normativa específica en reuso de aguas servidas tratadas. Alternativa 1, agua a infiltrar tendría mayor concentración de As que la aceptada para infiltrar. Se requiere obras de control de sedimentos en forma previa a la infiltración.
4	Recarga artificial de acuíferos. en Azapa, con aguas servidas tratadas de Arica, infiltradas con laguna de infiltración	Recarga	Río San José	Río San José	Río San José	818.370	0,072	1.866.240	165	Acuífero en las zonas indicadas presentan condiciones para ser recargados artificialmente.	Análisis de derechos de aprovechamiento de aguas (DAA), diferenciación de DAA superficiales y subterráneos; diferenciación de DAA entre el que entrega el agua superficial para recargar y el que recibe el agua subterránea. Falta de normativa específica en reuso de aguas servidas tratadas. Alternativa 2, aguas servidas tratadas de Arica tienen solo tratamiento primario y no tienen calidad suficiente para ser infiltradas. Se requiere planta de tratamiento de aguas servidas (PTAS). Se requiere impulsión desde descarga en Arica. Se requieren obras de manejo de crecidas del río para asegurar durabilidad de las obras de recarga
5	Recarga artificial de acuíferos. en Azapa, con aguas servidas tratadas de Arica, infiltradas con batería de pozos	Recarga	Río San José	Río San José	Río San José	669.997	0,072	1.866.240	65	Acuífero en las zonas indicadas presentan condiciones para ser recargados artificialmente.	Análisis de derechos de aprovechamiento de aguas (DAA), diferenciación de DAA superficiales y subterráneos; diferenciación de DAA entre el que entrega el agua superficial para recargar y el que recibe el agua subterránea. Falta de normativa específica en reuso de aguas servidas tratadas. Alternativa 2, aguas servidas tratadas de Arica tienen solo tratamiento primario y no tienen calidad suficiente para ser infiltradas. Se requiere planta de tratamiento de aguas servidas (PTAS). Se requiere impulsión desde descarga en Arica. Se requieren obras de manejo de crecidas del río para asegurar durabilidad de las obras de recarga
6	Recarga artificial de acuíferos. En Lluta, con laguna de infiltración con agua de crecidas	Recarga	Río Lluta	Río Lluta bajo	Río Lluta entre Q. Socoroma y Q. Poconchile	282.230	0,06	622.080	55		Análisis de derechos de aprovechamiento de aguas (DAA). En caso de laguna de infiltración con agua de crecidas, aguas del Lluta traen concentraciones sobre la norma de As y B principalmente. Habría que pretratar antes de infiltrar.

Tabla 12.1 Alternativas nuevas fuentes. Fuente: elaboración propia.

N°	Alternativa	Tipo de obra	Cuenca	Subcuenca	Subsubcuenca	Inversión	Q o V _{ol}	Vol. anual estimado	Superficie Beneficiada	Ventajas	Desventajas
						[UF]	[m³/s] o [m³]	[m³]	[Ha]		
7	Recarga artificial de acuíferos. En Lluta, con laguna de infiltración con agua servida tratada de Arica	Recarga	Río Lluta	Río Lluta bajo	Río Lluta entre Q. Socoroma y Q. Poconchile	1.095.894	0,06	1.555.200	138		Análisis de derechos de aprovechamiento de aguas (DAA). En caso de infiltración de aguas servidas tratadas de Arica hay que considerar tratamiento secundario y terciario y obras de protección de crecidas. en esta alt se podría bajar por la cuenca el punto de recarga.
8	Recarga artificial de acuíferos. En Lluta con batería de Pozos con agua servida tratada de Arica.	Recarga	Río Lluta	Río Lluta bajo	Río Lluta entre Q. Socoroma y Q. Poconchile	815.223	0,06	1.555.200			Análisis de derechos de aprovechamiento de aguas (DAA). En caso de infiltración de aguas servidas tratadas de Arica hay que considerar PTAS y obras de protección de crecidas para batería de pozos. En esta alt se podría bajar por la cuenca el punto de recarga.
9	Instalación de barreras de goma	Recarga	Río San José	Río San José	Río San José	2.248.217		1.300.000		Recarga de acuífero	Se requieren obras de sedimentación en el río aguas arriba de las barreras
10	Tratamiento de las aguas para descontaminar RRHH. RAzufre	Tratamiento	Río Lluta	Río Lluta Alto	Río Lluta entre río Azufre y bajo quebrada Huaylas	518.362	0,22	2.280.960	115	Descontaminación Río Lluta.	Disposición agua de rechazo y lodos arsenicados. Calificación ambiental Suministro eléctrico Esta solución abate elementos químicos a todo el caudal del cauce, caudal que no necesariamente será usado por los regantes en su totalidad.
11	Tratamiento de las aguas para descontaminar RRHH. RColpitas	Tratamiento	Río Lluta	Río Lluta Alto	Río Lluta entre río Azufre y bajo quebrada Huaylas	249.302	0,1	1.036.800		Descontaminación Río Lluta.	Disposición agua de rechazo y lodos boratados Calificación ambiental Suministro eléctrico Esta solución abate elementos químicos a todo el caudal del cauce, caudal que no necesariamente será usado por los regantes en su totalidad.
12	Tratamiento de las aguas para descontaminar RRHH. RLLuta	Tratamiento	Río Lluta	Río Lluta bajo	Río Lluta entre Q. Socoroma y Q. Poconchile	4.287.364	2	20.736.000		Descontaminación Río Lluta.	Solución demasiado cara. Disposición agua de rechazo con As y B concentrados
13	Descontaminar aguas embalse Caritaya .	Tratamiento	Q. Río Camarones	Río Camarones antes Junta Q. Chiza	Río Caritaya	175.424	0,1	2.592.000		Descontaminación Río Camarones	Disposición de aguas de rechazo de Planta de Tratamiento. Alimentación eléctrica
14	Descontaminación río Colpitas . Planta de tratamiento en RLLuta 50 km aguas arriba desembocadura, inicio sector productivo del valle.	Tratamiento	Río Lluta	Río Lluta alto	Río Lluta entre río Azufre y bajo quebrada Huaylas	89.538	0,054	1.399.680	100	Descontaminación Río Lluta.	Operación desde el punto de vista de personal que maneje planta de tratamiento y operación. Disposición de caudales de rechazo y lodos

Tabla 12.1 Alternativas nuevas fuentes. Fuente: elaboración propia.

N°	Alternativa	Tipo de obra	Cuenca	Subcuenca	Subsubcuenca	Inversión	Q o V _{ol}	Vol. anual estimado	Superficie Beneficiada	Ventajas	Desventajas
						[UF]	[m ³ /s] o [m ³]	[m ³]	[Ha]		
15	Descontaminación río Colpitas . Planta de tratamiento en río Colpitas aguas abajo de borateras.	Tratamiento	Río Lluta	Río Lluta alto	Río Lluta entre río Azufre y bajo quebrada Huaylas	278.765	0,054	1.399.680	100	Descontaminación Río Lluta.	Operación desde el punto de vista de personal que maneje planta de tratamiento y operación. Disposición de caudales de rechazo y lodos
16	Descontaminación río Colpitas . Planta de tratamiento por predio, en cada predio que requiera	Tratamiento	Río Lluta	Río Lluta alto	Río Lluta entre río Azufre y bajo quebrada Huaylas	254.040	0,2	2.073.600	200	Descontaminación Río Lluta.	Operación desde el punto de vista de personal que maneje planta de tratamiento y operación. Disposición de caudales de rechazo y lodos
17	Descontaminación río Colpitas . Desvío de río Colpitas aguas arriba de las borateras.	Desvío	Río Lluta	Río Lluta alto	Río Lluta entre río Azufre y bajo quebrada Huaylas	271.224	0,054	1.399.680	100	No requiere planta de tratamiento. Descontaminación Río Lluta	Se requiere acuerdo con población indígena y un uso de su territorio para construir la captación y conducción.
18	Trasvase de agua cuenca de río Uchusuma y Caquena a la cuenca del río Lluta	Trasvase Cuenca	Altiplánicas	entre límite Perú-Bolivia y Río Lauca	Ríos Uchusuma, Colpitas, Putani y Cosapilla	3.269.605	0,5	5.184.000	413	Aumento caudal Río Lluta	Análisis de derechos de aprovechamiento de aguas (DAA). Relaciones diplomáticas. Aprobación ambiental
19	Aumento el caudal de trasvase de agua del río Lauca a río San José		Altiplánicas	Río Lauca	Río Lauca ante Río Guallatire		0	0			Análisis de derechos de aprovechamiento de aguas (DAA).
20	Explotación de pozos en la cuenca de quebrada Concordia	Pozos	Quebrada de la Concordia	Quebrada de la Concordia	Quebrada Escritos y de La Concordia	66.733	0	0	300	Aumento de caudal de riego para los usuarios de Pampa concordia	Mejorar caracterización acuífero. Primera parte de este estudio indica que no habría capacidad del acuífero para aumentar explotación con pozos.
21	Plantas desaladora Lluta	Desaladora	Río Lluta	Río Lluta bajo	Río Lluta entre Q. Socoroma y Q. Poconchile	640.368	0,2	5.184.000	413	Aumento de caudal de riego en Lluta bajo. Aumento de caudal de riego en Concordia	Aprobación ambiental. Disposición de salmueras
22	Plantas desaladora Azapa	Desaladora	Río San José	Río San José	Río San José	593.927	0,2	5.184.000	413	Aumento de caudal de riego en Azapa bajo	Aprobación ambiental. Disposición de salmueras

Tabla 12.1 Alternativas nuevas fuentes. Fuente: elaboración propia.

N°	Alternativa	Tipo de obra	Cuenca	Subcuenca	Subsubcuenca	Inversión	Q o V _{ol}	Vol. anual estimado	Superficie Beneficiada	Ventajas	Desventajas
						[UF]	[m³/s] o [m³]	[m³]	[Ha]		
23	Mejoramiento en las infraestructuras existentes	Mejoramiento	Arrau			484.862		8.087.040	716	Mejoramiento infraestructura	
24	Explotación de nuevos acuíferos - Visviri	Pozos	Altiplánicas	entre límite Perú-Bolivia y Río Lauca	Ríos Uchusuma, Colpitas, Putani y Cosapilla	613.137	0,9	15.552.000	1.239	Probable mejoramiento de caudal y calidad de aguas en cuenca Lluta	En talleres realizados la población local se ha mostrado contraria a la explotación de pozos porque lo asocian directamente con la sequedad de bofedales y su impacto en la crianza de animales. Relaciones internacionales.
25	Embalses Azapa alto	Embalse	Río San José	Azapa Alto	Río Seco, Q. Chusmiza, Río Tignamar	1.242.881	10.200.000	7.257.600	240	Control de crecidas y sedimentos Mejoramiento de riego en cuenca	Ambientalmente solución es más compleja que el embalse Livilcar, que es su alternativa.
26	Embalse Umirpa	Embalse	Costeras R. san José - Q. Camarones	Q. Vitor	Q. Vitor	535.304	18.100.000	2.203.200	550	Beneficio directo para regantes de la cuenca Actuaría como regulador de crecidas	Sin aprobación ambiental
27	Uso de aguas servidas tratadas	Tratamiento	R San José/ R Lluta			664.466	0,1	2.592.000	743	Aumento caudal de riego en Lluta y Azapa	Regulación para el uso de aguas servidas tratadas
28	Tratamiento predial para abatir B y As	Tratamiento	Río Lluta	Río Lluta Bajo		1.333.708	1	161.280	2.100,00	Mejoramiento de agua de riego	Como tratamiento de aguas es poco eficiente
29	By Pass RColpitas	Desvío	Río Lluta	Río Lluta Alto	Río Lluta entre río Azufre y bajo quebrada Huaylas	84.431		2.488.320		Mejoramiento agua de riego para agricultores del Lluta	Disposición de aguas con contenido de Boro
30	Trasvase desde Río Lauca hacia Tignamar, bocatoma aguas abajo de Río Guallatire.	Trasvase Cuenca	Altiplánicas	Río Lauca	Río Lauca entre antes Río Guallatire y la frontera	322.656	1	25.920.000	1.835	Aumento de caudal desde cuenca Azapa Alto, con desvío del Loa. Q= 1m³/s	Verificar afectación a Reserva Nacional Las Vicuñas. Análisis ambiental Relaciones Internacionales

12.2 Evaluación de alternativas estudiadas

Las alternativas descritas en la **Tabla 12.1** fueron presentadas a la autoridad y luego sometidas a un proceso de evaluación donde se priorizaron de acuerdo a un sistema de puntos de acuerdo a distintos criterios.

El método de evaluación consiste en otorgar puntuación y ponderaciones a características específicas de cada proyecto de acuerdo a la definición de la DGA, la que considera lo siguiente:

- **Volumen anual acumulado.** Evaluado en escala de 1 a 5, siendo 1 el rango entre 0 y 1.000 Mm³ y el rango 5 volúmenes mayores a 10.000 Mm³.
- **Costo.** Evaluado en escala de 1 a 5, siendo 1 el rango entre 0 y 1.500 MM\$ y el rango 5 inversiones mayores a 20.000 MM\$.
- **Valoración territorial.** Evaluado en escala de 1 a 5, correspondiendo el 5 a una valoración de 100% de la alternativa de acuerdo a las encuestas realizadas y descritas en el Capítulo 12.4 del informe final.
- **Valoración Regional.** Evaluado en escala de 1 a 5, correspondiendo el 5 a una valoración de 100% de la alternativa de acuerdo a las encuestas realizadas y descritas en el Capítulo 12.4 del informe final.
- **Beneficiarios.** Evaluado en escala de 1 a 5 de acuerdo a la cantidad de población beneficiada. Siendo 1 el rango de 0 a 250 personas beneficiadas y 5 el rango de más de 10.000 personas beneficiadas.

Adicionalmente se considera en la ponderación la pertenencia de los proyectos a la cartera de la Dirección de Planeamiento de Obras Públicas. La ponderación final se desglosa en un 18% para el volumen anual, 14% para el costo, 7% para las valoraciones territoriales y regionales, 10% por cartera DIRPLAN, 10% por preferencia Director DIRPLAN y 10% a evaluación de la alternativa otorgada por el estudio.

12.3 Alternativas seleccionadas

A partir de la evaluación realizada con la metodología antes descrita y de criterios propios de la contraparte, se eligieron cuatro alternativas para desarrollar y evaluar en

forma más detallada (ingeniería conceptual), a las cuales se les se asigna un nombre de proyecto y se describen a continuación.

ANÁLISIS PROSPECCIÓN Y EXPLORACIÓN ACUÍFERO VISVIRI, REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA

De acuerdo a las condiciones hidráulicas del acuífero conocidas o inferidas por antecedentes, y recurriendo a la etapa de ingeniería conceptual que concierne en el presente estudio, se propuso la construcción de una batería de pozos en el acuífero Visviri. En total se proponen 6 pozos profundos de 220 m de profundidad con un caudal de extracción de 150 l/s, para obtener finalmente un caudal de 900 l/s. El agua subterránea será conducida hacia la cuenca del río Lluta a la altura de la quebrada Caracaraní (N 8.042.094, E 429.657).

Debido a las distancias y elevaciones entre los posibles sitios de extracción (aprox. 4.200 msnm) y el sitio más alto de impulsión (4.420 msnm), en línea recta de 15 a 21 km, se planteó para la impulsión un diseño de conducción cerrada con obras anexas intermedias (plantas elevadoras y estanques de paso) para conducir la totalidad del caudal, y para la descarga un diseño de conducción abierta aprovechando la caída gravitacional hasta la quebrada Caracaraní en la cuenca del río Lluta.

El detalle de la memoria de cálculo, especificaciones técnicas, cubicaciones, valorización y términos de referencia se presenta en el **Anexo XIII.1**.

ESTUDIO HIDROLÓGICO DE DETALLE DE LA CUENCA DEL RÍO UCHUSUMA Y CAQUENA PARA APROVECHAMIENTO FUTURO

Se considera realizar el transvase de agua desde la cuenca de los ríos Uchusuma y Caquena hacia la cuenca del río Lluta. Para ello, se propone una obra de toma en el río Caquena (470.133 E; 8.011.972 N), cercana a la ubicación de la estación "Río Caquena en Vertedero", aproximadamente 3 km aguas abajo de ella. Luego, mediante un sistema de impulsión se conduce el caudal hacia un punto alto desde el cual se descarga gravitacionalmente hacia el punto de descarga en la Quebrada de Allane (455.671 E; 8.011.337 N).

En lo que respecta al caudal a trasvasar, se ha considerado de modo seguro, el transporte de 0,5 m³/s durante 4 meses del año. Este valor de caudal corresponde al

70% del caudal con 85% de probabilidad de excedencia de la estación "Río Vertedero en Caquena" (ICASS, 2016).

Debido a las distancias (aprox. 10 km) y elevaciones entre el sitio de extracción (aprox. 4290 m.s.n.m.) y el sitio más alto del trazado (aprox. 4670 m.s.n.m.), se planteó para la impulsión un diseño que considera dos plantas elevadoras con sus estanques de bombeo respectivos.

El detalle de la memoria de cálculo, especificaciones técnicas, cubicaciones, valorización y términos de referencia se presenta en el **Anexo XIII.2**.

ESTUDIO HIDROLÓGICO Y CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE LAS QUEBRADAS QUE APORTAN A LA CUENCA DEL RÍO SAN JOSÉ, SECTOR ALTO

El estudio consiste en un sistema de 4 embalses de regulación intra-anual para riego, los cuales se sitúan en la subcuenca Azapa Alto, en el sector alto de la cuenca del Río San José. Los embalses se emplazarían en las ubicaciones propuestas en el Estudio de Factibilidad de embalses para los Valles de Lluta y Azapa realizado por Ingendesa (2004).

Las aguas captadas desde cada embalse ingresan a su propio sistema de impulsión, los cuales transportan caudales entre un rango de 150 l/s a 600 l/s, dependiendo de la línea de impulsión considerada. En general, los trayectos de las impulsiones tienen longitudes del orden de 10 km y diferencias de cotas (entrada y salida de cada impulsión) entre 150 m y 600 m. Por lo tanto, se planteó para la impulsión un diseño de conducción cerrada con obras anexas intermedias (plantas elevadoras y estanques de paso) para conducir la totalidad del caudal.

El detalle de la memoria de cálculo, especificaciones técnicas, cubicaciones, valorización y términos de referencia se presenta en el **Anexo XIII.3**.

ESTUDIO DE DISPONIBILIDAD Y DISPOSICIÓN DE LAS AGUAS SERVIDAS DE ARICA COMO MEDIDA DE GESTIÓN A LA ESCASEZ HÍDRICA

Se plantea la instalación de una planta de tratamiento de aguas servidas para tratar los efluentes sanitarios de la ciudad de Arica, las aguas tratadas con calidad apta para riego pueden suministrarse para abastecer nuevas zonas agrícolas en el sector de Quebrada La Concordia, que ya presenta una incipiente actividad agrícola.

Las obras a implementar incluirían dos plantas elevadoras, con su sistema de bombeo y tuberías de impulsión, la planta de tratamiento de aguas servidas y un sistema de impulsión de agua de riego que incluye bombeo, tuberías y estanque. La primera planta elevadora estaría ubicada en el sector de Chinchorro donde actualmente las aguas servidas urbanas son sometidas a un tratamiento primario con rejas y descargadas al mar mediante un emisario.

El detalle de la memoria de cálculo, especificaciones técnicas, cubicaciones, valorización y términos de referencia se presenta en el **Anexo XIII.4**.

12.4 Aspectos legales y ambientales

La **Tabla 12.2** presenta la normativa jurídica nacional e internacional relacionada con áreas de protección medioambiental, pueblos indígenas, recursos hídricos y otras consideraciones relevantes, posibles de influir en las cuatro alternativas seleccionadas.

Tabla 12.2 Normativa nacional e internacional aplicable a las alternativas de las nuevas fuentes de la región de Arica y Parinacota. Fuente: elaboración propia.

	Normativa	Publicación
Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE)	Ley 18.362	27-12-1984
Código de Aguas	Decreto con Fuerza de Ley N°1.122	29-10-1981, última versión 26-01-2010
Ley General de Servicios Sanitarios	D.F.L. 382 del Ministerio de Obras Públicas	21-06-1989
Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS)	Ley 18.902	27-01-1990
Jurisprudencia de la SISS	Oficio Ordinario N°2725 de la SISS	04-07-2011

Tabla 12.2 Normativa nacional e internacional aplicable a las alternativas de las nuevas fuentes de la región de Arica y Parinacota. Fuente: elaboración propia.

	Normativa	Publicación
	Oficio Ordinario N° 831 de la SISS , sobre uso de aguas servidas tratadas	08-03-2016
Ley Bases Generales del Medio Ambiente	Ley N° 19.300	09-03-1994
	Ley N° 20.417 , crea el Ministerio, el Servicio de evaluación ambiental y la Superintendencia del medio ambiente	26-01-2010
Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental	Decreto Supremo No. 40	12-08-2013
Estrategia Nacional de Biodiversidad	Aprobada por el Consejo de Ministros de CONAMA en Diciembre de 2003	2003
Monumentos Nacionales	Ley N° 17.288	02-02-1970
Zona de Interés Turístico	Ley N° 20.423 Del Sistema Institucional para el Desarrollo del Turismo	12-02-2010
Ley Indígena	Ley N° 19.253	05-10-1993
Tratados y normas internacionales acerca de la Gobernanza de Aguas compartidas	Normas de Helsinki , la Asociación de Derecho Internacional ¹ , en 1958 adopta por primera vez el concepto de cuenca y de reparto equitativo y razonable de las aguas por parte de los Estados ribereños, y en 1966 da a conocer las Reglas I sobre el Uso de las Aguas de los Ríos Internacionales	1958, 1966

¹ Es una organización no gubernamental fundada en 1873 con sede en la ciudad de Londres. Su objetivo es por medio de diferentes comités de expertos, estudiar el derecho internacional en todas sus ramas, a fin de proponer recomendaciones para la elaboración de tratados internacionales y legislación nacional que recepten el estado actual de evolución de las normas internacionales. Dispone de un Comité sobre Derecho de Aguas.

Tabla 12.2 Normativa nacional e internacional aplicable a las alternativas de las nuevas fuentes de la región de Arica y Parinacota. Fuente: elaboración propia.

	Normativa	Publicación
	Convención de 1997 , sobre el Derecho de los Usos de los Cursos de Agua Internacionales para Fines distintos de la Navegación	21-05-1997
	Acta de Santiago , protocolo sobre recursos hídricos compartidos entre Argentina y Chile	1971
Organización de Naciones Unidas	Resolución 63/124 , el derecho de los acuíferos transfronterizos	11-12-2008
Convenio 169 Organización Internacional del Trabajo	Decreto 236 del Ministerio de Relaciones Exteriores de Chile	14-10-2008
Convención de Washington 1940	Convención de Washington , para la Protección de la Flora, Fauna y las Bellezas Escénicas Naturales de América	12-10-1940, Vigente en Chile desde el 04-10-1967
Convenio sobre la Diversidad Biológica	Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) , promulgado mediante D.S. N° 1963 de 1984 del Ministerio de Relaciones Exteriores	Vigente en Chile desde el 06-05-1995
Convención para Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural	Decreto 259 del Ministerio de Relaciones Exteriores	27-03-1980, suscrita el 21-11-1972
Instrumentos de política y planificación internacional que se relacionan con las áreas protegidas	Agenda XXI, Red Mundial de Reservas de la Biósfera	1972

La mayor presencia de áreas dispuestas en alguna categoría de protección, restricción y/o tratamiento especial de la región se emplazan en la zona de pre cordillera, cordillera y altiplano, e involucran categorías de protección de biodiversidad y acuíferos protegidos de amplia distribución, por ello las alternativas de solución con mayor situaciones de intersección o proximidad son aquellas que se emplazan en dichas zonas.

Las cuencas compartidas internacionalmente se emplazan en el extremo norte, en particular en la comuna de General Lagos donde se ubica la alternativa de Batería de pozos en Visviri, por ello este análisis se desarrollará específicamente para esta alternativa.

También en la parte alta de la región, la presencia histórica de población indígena Aymara justifica la presencia del Área de Desarrollo Indígena Altoandino Arica-Parinacota, cuya extensión compromete las comunas de General Lagos, Putre y la parte alta de Camarones, incidiendo directamente en los tres proyectos ubicados en esta zonas: Batería de pozos en Visviri, Tránsito en Caquena y Embalses en la zona precordillerana de Azapa Alto.

Por último, en la zona costera de la región y asociado al proyecto de Planta de tratamiento de aguas servidas en Arica, si bien existen áreas en categoría de protección, estas solo se encuentran en relación de proximidad con el proyecto, mientras las Zona de Interés Turístico (ZOIT) cuyo perímetro incumbe parte de las instalaciones proyectadas se encuentra en un proceso de reformulación y ajuste.

12.5 Balances hídricos con proyectos

Se incluye en el balance hídrico de las cuencas los efectos que tendría la implementación de cada alternativa seleccionada. Como línea base se contó con los balances hídricos presentados por ICASS (2016).

Componentes del balance de línea base, *Entradas*: precipitación, retorno de riego, transvase desde el canal Lauca (cuenca río San José), flujo subterráneo lateral desde cuencas adyacentes (cuenca quebrada La Concordia); *Salidas*: evapotranspiración, evaporación desde cuerpos de agua, extracciones, flujos superficial y subterráneo salientes. En la **Tabla 12.3** se presentan las componentes adicionales en cada caso.

Tabla 12.3 Componentes adicionales de los balances hídricos CON alternativas. Fuente: elaboración propia.

Cuenca	Balance CON alternativa 1*	Balance CON alternativa 2 ⁺	Balance CON alternativa 3 ^{**}	Balance CON alternativa 4 ⁺⁺
ríos Uchusuma y Caquena	<i>Entradas</i> : igual a línea base. <i>Salidas</i> : además de la línea base, habrá una	<i>Entradas</i> : igual a línea base. <i>Salidas</i> : además de la línea base, habrá un desvío	-	-

Tabla 12.3 Componentes adicionales de los balances hídricos CON alternativas. Fuente: elaboración propia.

Cuenca	Balance CON alternativa 1*	Balance CON alternativa 2⁺	Balance CON alternativa 3**	Balance CON alternativa 4⁺⁺
	extracción de caudal subterráneo del acuífero Visviri.	de caudal del río Caquena.		
río Lluta	<i>Entradas:</i> además de la línea base, habrá un transvase desde la cuenca de los ríos Uchusuma y Caquena. <i>Salidas:</i> igual a línea base.	<i>Entradas:</i> además de la línea base, habrá un transvase desde la cuenca de los ríos Uchusuma y Caquena. <i>Salidas:</i> igual a línea base.	-	-
río San José	-	-	<i>Entradas:</i> además de la línea base, habrá una impulsión desde los embalses Azapa Alto. <i>Salidas:</i> además de la línea base, habrá evaporación desde la superficie de los embalses.	-
Quebrada La Concordia	-	-	-	<i>Entradas:</i> además de la línea base, habrá un transvase de aguas tratadas desde la ciudad de Arica. <i>Salidas:</i> igual a línea base.

* Análisis prospección y exploración acuífero Visviri, Región de Arica y Parinacota.

+ Estudio hidrológico de detalle de la cuenca del río Uchusuma y Caquena para aprovechamiento futuro.

** Estudio hidrológico y capacidad de almacenamiento de las quebradas que aportan a la cuenca del río San José, sector alto.

⁺⁺ Estudio de disponibilidad y disposición de las aguas servidas de Arica como medida de gestión a la escasez hídrica.

Los resultados de los balances hídricos a nivel mensual y anual por subcuenca SIN y CON cada alternativa se presentan en el Subcapítulo 12.12 del informe final.

En términos técnico-económicos se evalúa las alternativas seleccionadas determinando el costo de producción de 1 l/s. Para ello, se utilizó la información de la vida útil de las obras, costos de inversión inicial, costo de operación y mantenimiento, y depreciación anual asociada. Esta información está contenida en el **Anexo XIII**, específicamente en los Términos de Referencia.

Para la alternativa 1* se tiene un costo de producción de 270 UF por cada 1 l/s, en la alternativa 2⁺ se tiene un costo de producción de 68 UF por cada 1 l/s, en la alternativa 3** se tiene un costo de producción de 3.889 UF por cada 1 l/s y para la alternativa 4⁺⁺ se tiene un costo de producción de 273 UF por cada 1 l/s.

De esta manera, el costo de producción más bajo por cada 1 l/s que se gana es implementando la alternativa 2 (Estudio hidrológico de detalle de la cuenca del río Uchusuma y Caquena para aprovechamiento futuro) y el más alto ocurriría con la alternativa 3 (Estudio hidrológico y capacidad de almacenamiento de las quebradas que aportan a la cuenca del río San José, sector alto).

13. Indicadores de Sustentabilidad del Uso de los Recursos Hídricos

De acuerdo a la información revisada, la región de Arica y Parinacota presenta algunas limitantes y problemas asociados que impactan en la sustentabilidad de los recursos hídricos, entre estos se pueden mencionar: la baja disponibilidad estructural de recursos hídricos, sobreexplotación de acuíferos, conflictos entre usuarios, la mala calidad de las aguas, especialmente en zona alta del río Lluta y Camarones, organizaciones precarias, mal control de caudales, deterioro de infraestructura hídrica, expansión de cultivos hacia zonas de alto valor en biodiversidad, pasivos ambientales, cambio climático, entre otros (DGA 2010; Hernández *et al.*, 2014).

El modelo de Presión-Estado-Respuesta (PER) propone una metodología causal de los principales problemas relacionados con el tema analizado que puede ser social,

económico o ambiental. Fue desarrollado en 1970 en Canadá y posteriormente adoptado y modificado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) en 1991 para la medición y reporte del estado del Medio Ambiente en sus países miembros. El modelo consiste en el establecimiento de la interrelación entre las actividades humanas (presión) y su impacto en el estado del medioambiente (estado), con ello se generan las acciones a realizar para atender la problemática en cuestión (respuesta).

En la Tabla 13.1 se presentan los indicadores propuestos de acuerdo a la metodología de la PER. La descripción detallada de los indicadores está en el Subcapítulo 13.3 del informe final.

Tabla 13.1 Resumen de Indicadores. Fuente: elaboración propia.

PRESION	ESTADO	RESPUESTA
Evolución consumo de agua por sector	Grado de presión	Vigencia y fortalecimiento de organizaciones de usuarios
Descarga de efluentes	Nivel estático de acuíferos	Aumento de capacidad de almacenamiento
Pasivos ambientales	Anomalía de precipitaciones	Inversiones en agua potable rural
	Anomalía de caudales	Inversiones en saneamiento rural
	Cobertura agua potable rural	Recarga de acuíferos
	Caudales de captaciones de agua potable rural	Protección con crecidas
	Saneamiento a nivel rural	Inversiones en infraestructura de riego
	Evolución capacidad de almacenamiento	Control de extracciones
	Infraestructura de riego	
	Calidad del agua	

14. Plan Estratégico para el Recurso Hídrico en la Región

El Plan Estratégico para el Recurso Hídrico de la Región propuesto en este estudio se basa en las políticas nacionales, regionales y de las opiniones de la comunidad

(talleres, entrevistas), para dar sustentabilidad al recurso hídrico existente, y explorar nuevas fuentes de agua para el crecimiento de la región. Se tomo como guía los lineamientos del documento anterior "Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021 –Región de Arica y Parinacota".

Desde el punto de vista de gestión de los recursos hídricos, el plan se ha enfocado en las políticas que se están desarrollando en el país y la región, y en los requerimientos de la comunidad, los cuales corresponden a: Fiscalización de captaciones ilegales, Eficiencia hídrica agrícola y de agua potable, Cambio de cultivos que demanden menos recursos hídricos, Reutilización de aguas servidas, Gestión sustentable del agua, Programa de gestión de los acuíferos, Gestión integrada de los recursos hídricos.

En el **Anexo XV** se presenta el detalle de una propuesta de "Plan Estratégico de Infraestructura, Manejo y Administración del Recursos Hídrico, Región de Arica y Parinacota, 2020-2030".

15. Conclusiones

A continuación se sintetizan las conclusiones de las principales actividades:

El Observatorio de Sequía de la XV Región de Arica y Parinacota se presenta como una nueva herramienta de información y gestión de sequía, que permitirá a distintos usuarios, particulares o gubernamentales, tener un mejor conocimiento de la situación presente de la sequía en la Región y específicamente en cada subcuenca.

En el planteamiento y evaluación de alternativas de nuevas fuentes de recurso hídrico en la Región se seleccionaron cuatro soluciones para ser analizadas a nivel de prefactibilidad. Se determinó dimensiones de elementos principales, especificaciones técnicas, cubicaciones y valorización. Los nombres de proyecto de las soluciones son: i) Análisis prospección y exploración acuífero Visviri, ii) Estudio hidrológico de detalle de la cuenca del río Uchusuma y Caquena para aprovechamiento futuro, iii) Estudio hidrológico y capacidad de almacenamiento de las quebradas que aportan a la cuenca del río San José, sector Alto, iv) Estudio de disponibilidad y disposición de las aguas servidas de Arica como medida de gestión a la escasez hídrica.

De las alternativas analizadas todas son ambientalmente viables, teniendo cada una mayor o menor implicancia ambiental. Las alternativas de pozos de Visviri y trasvase de Caquena no ingresarían al sistema de evaluación ambiental, pero se ubican en áreas de desarrollo indígena, cercanas a acuíferos protegidos y en cuencas compartidas con países fronterizos. La alternativa de embalses en Azapa Alto debería ingresar al sistema de evaluación ambiental, se ubica en área de desarrollo indígena, cercana a parques nacionales y a sitios prioritarios de conservación. La alternativa de reuso de aguas servidas de Arica debería ingresar al servicio de evaluación ambiental y resolver legalidad referente a la disposición y derechos del reuso de aguas sanitarias tratadas.

Sin embargo, de acuerdo a la evaluación económica, la alternativa de embalses en Azapa Alto es negativa, por lo tanto el proyecto no es rentable desde el punto de vista económico. El aspecto más influyente en los costos corresponde al número de bombas que se requieren para elevar el agua por las quebradas hacia los puntos de entrega, ya que por tratarse de la zona alta de la subcuenca, la morfología presenta una pendiente pronunciada, por tanto, se requiere una mayor capacidad de elevación. Esta situación trae como consecuencias costos elevados a nivel de inversión, operación y mantenimiento.

Con respecto al Plan Estratégico de Recursos Hídricos en la Región, se ha desarrollado principalmente por las brechas detectadas en los estudios anteriores y en el presente, en el que se han plasmado diversos puntos en aras de fortalecer la gestión y el ordenamiento de los recursos hídricos. El plan se ha enfocado en las políticas que se están desarrollando en la Región y el país, y en los requerimientos de las comunidades, los cuales corresponden a:

- Infraestructura hidrométrica
- Sistematización de la información de los recursos hídricos
- Certeza jurídica-perfeccionamiento de título
- Productos estratégicos de la DGA
- Situación de los recursos hídricos respecto de la disponibilidad
- Programa de gestión de los acuíferos
- Gestión integrada de los recursos hídricos.