

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD
CONSTRUCCIÓN EMBALSE PINTANANE EN
QUEBRADA DE AROMA, HUARA**

INFORME FINAL

RESUMEN EJECUTIVO

SANTIAGO, MARZO DE 2014





Comisión Nacional de Riego
Gobierno Regional Tarapacá

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD
CONSTRUCCIÓN EMBALSE PINTANANE EN QUEBRADA DE AROMA,
HUARA**

INFORME FINAL

RESUMEN EJECUTIVO

SANTIAGO, MARZO DE 2014

Estudio Elaborado por:

ARRAU INGENIERÍA E.I.R.L.

Dir: María Luisa Santander 0231, PROVIDENCIA – SANTIAGO

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





ÍNDICE INFORME FINAL

RESUMEN EJECUTIVO

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN EJECUTIVO

VOLUMEN 1: ESTUDIO DE INGENIERÍA

VOLUMEN 2: PARTICIPACIÓN CIUDADANA

VOLUMEN 3: ESTUDIOS AGROECONÓMICOS

VOLUMEN 4: ESTUDIO ANÁLISIS AMBIENTAL

VOLUMEN 5: TOPOGRAFÍA

VOLUMEN 6: PLANOS



ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO

Acápites	Descripción	Página
1	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
2	ÁREA DE ESTUDIO	3
3	RECONOCIMIENTO Y EVALUACIÓN DE EMPLAZAMIENTOS PARA LA PRESA	4
4	ESTUDIOS BÁSICOS	8
4.1.	RESTITUCIÓN AEROFOTOGRAMÉTRICA	8
4.2.	TOPOGRAFÍA	9
4.3.	ESTUDIO GEOLÓGICO	10
4.4.	ESTUDIO GEOTECNICO	10
4.5.	ESTUDIO GEOFÍSICO	12
4.6.	ESTUDIO SÍSMICO	13
4.7.	HIDROLOGÍA	14
4.8.	ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO	17
4.9.	CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA	18
4.10.	DERECHOS DE AGUA	18
5	ESCENARIOS DEL PROYECTO	20
6	ESTUDIO AGROECONÓMICO	21
6.1.	OBJETIVOS Y ALCANCES GENERALES	21
6.2.	LISTADO DE AGRICULTORES Y ESTRATIFICACIÓN PREDIAL	22
6.3.	SITUACIÓN ACTUAL	23
6.4.	SITUACIÓN SIN PROYECTO	23
6.5.	SITUACIÓN CON PROYECTO	24
6.6.	DEMANDAS DE AGUA	25
6.7.	BENEFICIOS AGRÍCOLAS NETOS DEL PROYECTO	25
6.7.1.	Beneficios Económicos Directos	25
6.7.2.	Generación de Empleo Agrícola	26
7	MODELO DE SIMULACIÓN OPERACIONAL EMBALSE PINTANANE	27
7.1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	27
7.2.	ALCANCES	28
7.3.	DESCRIPCIÓN DEL MODELO	28

ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO

Acápite	Descripción	Página
7.4.	RESUMEN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	30
8	DISEÑOS PRELIMINARES	32
8.1.	PRESENTACIÓN	32
8.2.	CAPACIDADES DE EMBALSE	32
8.3.	DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA PRESA	33
8.3.1.	Ancho Coronamiento	33
8.3.2.	Cálculo de Estabilidad de la Presa	33
8.4.	DISEÑOS HIDRÁULICOS DE OBRAS DE EVACUACIÓN DE CRECIDAS	33
8.4.1.	Diseños Hidráulicos de Obras de Evacuación de Crecidas	34
8.5.	DISEÑO HIDRÁULICO DE OBRAS ANEXAS	35
8.6.	DISEÑO SIMPLIFICADO DE OBRAS DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN	35
8.7.	PLANTA MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA	37
8.8.	DISEÑO OBRAS COMPLEMENTARIAS	38
8.9.	ANTEPROYECTO SISTEMA DE CONTROL DE CAUDALES	38
9	ALTERNATIVAS DE NEGOCIO DE HIDROGENERACIÓN	39
10	PRESUPUESTOS	40
10.1.	COSTOS TOTALES DE ALTERNATIVAS DE PROYECTO	40
10.2.	ANÁLISIS DE LOS COSTOS	41
11	ANÁLISIS DE EFECTO REGULADOR DE CRECIDAS DEL EMBALSE	42
11.1.	INTRODUCCIÓN	42
11.2.	DAÑO EVITADO	43
11.3.	ANÁLISIS DEL EFECTO REGULADOR	43
11.4.	COMENTARIOS Y CONCLUSIONES DEL CONTROL DE CRECIDAS	43
12	INTERFERENCIAS	44
13	EXPROPIACIONES	45
14	ESTUDIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL	46
15	EVALUACIÓN ECONÓMICA	47
15.1.	INTRODUCCIÓN	47

ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO

Acápites	Descripción	Página
15.2.	TAMAÑOS DE EMBALSE A EVALUAR	48
15.3.	RESULTADOS	49
16	PARTICIPACIÓN CIUDADANA	52
16.1.	INTRODUCCIÓN	52
16.1.1.	Objetivos del Estudio	52
16.1.2.	Objetivos Específicos	52
16.2.	RESULTADOS	52
16.2.1.	Descripción del Área del Proyecto	52
16.2.2.	Plan de Actividades de Participación Ciudadana	53
16.2.3.	Componente de Género	53
16.3.	EVALUACIÓN DEL PROCESO DE PARTICIPACIÓN CIUDADANA	54
16.4.	CONSIDERACIONES MÍNIMAS PARA ETAPAS FUTURAS	54
16.5.	ANÁLISIS APLICACIÓN CONVENIO 169 DE LA OIT	54
16.6.	CONCLUSIONES DE PARTICIPACIÓN CIUDADANA	55
17	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES	58

RESUMEN EJECUTIVO

1. Introducción y objetivos

La presente consultoría se refiere al ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DEL PROYECTO "CONSTRUCCIÓN EMBALSE PINTANANE EN QUEBRADA DE AROMA, HUARA", desarrollado por la COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO con financiamiento del Gobierno Regional de Tarapacá, y encargado a la consultora Arrau Ingeniería EIRL.

El objetivo principal del estudio es proponer y evaluar los efectos asociados a la construcción de un embalse de cabecera en la Quebrada de Aroma, orientado principalmente a mejorar las condiciones de abastecimiento del sector agrícola y sus explotaciones actuales y futuras, además de controlar las crecidas producidas por el invierno altioplánico.

Este estudio de prefactibilidad consideró trabajos de terreno en ámbitos agronómico, civil, ambiental y de participación ciudadana, para asegurar que las proposiciones de proyecto que se planteen se basen en una fiel representación de las condiciones reales existentes y consideren los conocimientos y aspiraciones de los interesados. Los objetivos específicos de la consultoría fueron:

- Seleccionar el mejor emplazamiento y tamaño óptimo para una obra de acumulación multipropósito y sus obras anexas, considerando principalmente los beneficios potenciales de utilizar agua embalsada para riego, regulador de crecida y agua potable, entre otros, y desarrollar sus diseños a nivel de diseños preliminares.
- Identificar y proponer las mejores alternativas de obras para asegurar una óptima captación, distribución y entrega a la zona agrícola del recurso hídrico regulado por el embalse, y desarrollar los prediseños de esta red de canales y sus obras anexas.
- Analizar los recursos hídricos del sector y realizar un completo diagnóstico de la situación técnica y legal de los derechos de aprovechamiento de aguas de propiedad de los potenciales beneficiarios del proyecto.
- Prestar Asesoría Legal y Técnica a las organizaciones de usuarios que correspondan, en relación con los trámites de regularización y/o perfeccionamiento de los derechos de aprovechamiento de aguas de propiedad de los regantes que integran dichas organizaciones.
- Analizar en profundidad a nivel de Prefactibilidad técnica, económica, legal y ambiental de las alternativas propuestas de construcción de embalse del sistema de regadío en Quebrada de Aroma, regulador de crecidas, que incluyen la red de distribución y el análisis de las posibilidades de hidrogeneración, lo cual se deberá hacer acorde a los estudios técnico-económicos del presente estudio.
- Determinar en función de los estudios Agropecuarios y Agro-económicos, las demandas hídricas del proyecto a nivel de Prefactibilidad, de tal forma de dimensionar el embalse y la red de canales de la forma más óptima posible, condicionando su operación para variados escenarios de simulación.

- Realizar diferentes estudios de ingeniería básica a nivel de prefactibilidad (hidrología, hidrogeología, mecánica fluvial, transporte de sedimentos, geológicos, geotécnicos, topográficos, etc.) para el estudio de las alternativas de presa.
- Determinar el tamaño y emplazamiento óptimos para la Presa del Embalse, además del momento óptimo de la inversión.
- Plantear escenarios de proyecto con las obras seleccionadas y caracterizarlos con estudios de ingeniería y de agronomía, a nivel de prefactibilidad.
- Estudiar la operación conjunta entre sistema de riego y sistema de control de crecidas y optimizarla.
- Generar el anteproyecto del Embalse y sus obras anexas, así como la red de Canales de distribución, incluyendo las obras necesarias para la implementación de Hidrogeneración asociada al Riego.
- Evaluar y prediseñar un sistema de red remota para medición de caudales en canales de conducción y distribución de las aguas.
- Evaluar eventuales interferencias que el proyecto podría tener con instalaciones existentes (caminos, sectores de cultivos, propiedad privada, entre otros) y cuantificar los costos asociados.
- Analizar la situación agropecuaria actual y proyectarla, en función de la mayor seguridad de riego que cualquiera de las alternativas de proyecto generaría, planteando un mejoramiento en las tecnologías de riego y cultivos actuales, así como elaborar un Programa de Asistencia Técnica y de Transferencia Tecnológica para la zona del Proyecto.
- Desarrollar un Programa de Participación Ciudadana.
- Realizar un Estudio de Análisis Ambiental del Proyecto (EAA), precisando los impactos ambientales, las medidas de mitigación y sus costos, tanto para el embalse, su red de distribución y las obras de hidrogeneración.
- Determinar los beneficios y costos para cada escenario de proyecto.
- Preparar un programa de Inversión donde se consideren los costos de construcción y operación del embalse y obras anexas, y de la red de canales asociada, además estimar los costos de implementar los planes de Transferencia Tecnológica y Asistencia Técnica, para ser expuestos a la comunidad.
- Evaluación económica del proyecto mediante el Método de la Productividad Marginal o Método del Presupuesto, cuyos resultados deberán ser chequeados a través del desarrollo del Método del Valor Incremental de la Tierra y el Método del Valor de Mercado de las transacciones de Derechos de Aprovechamiento de Agua.

2. ÁREA DE ESTUDIO

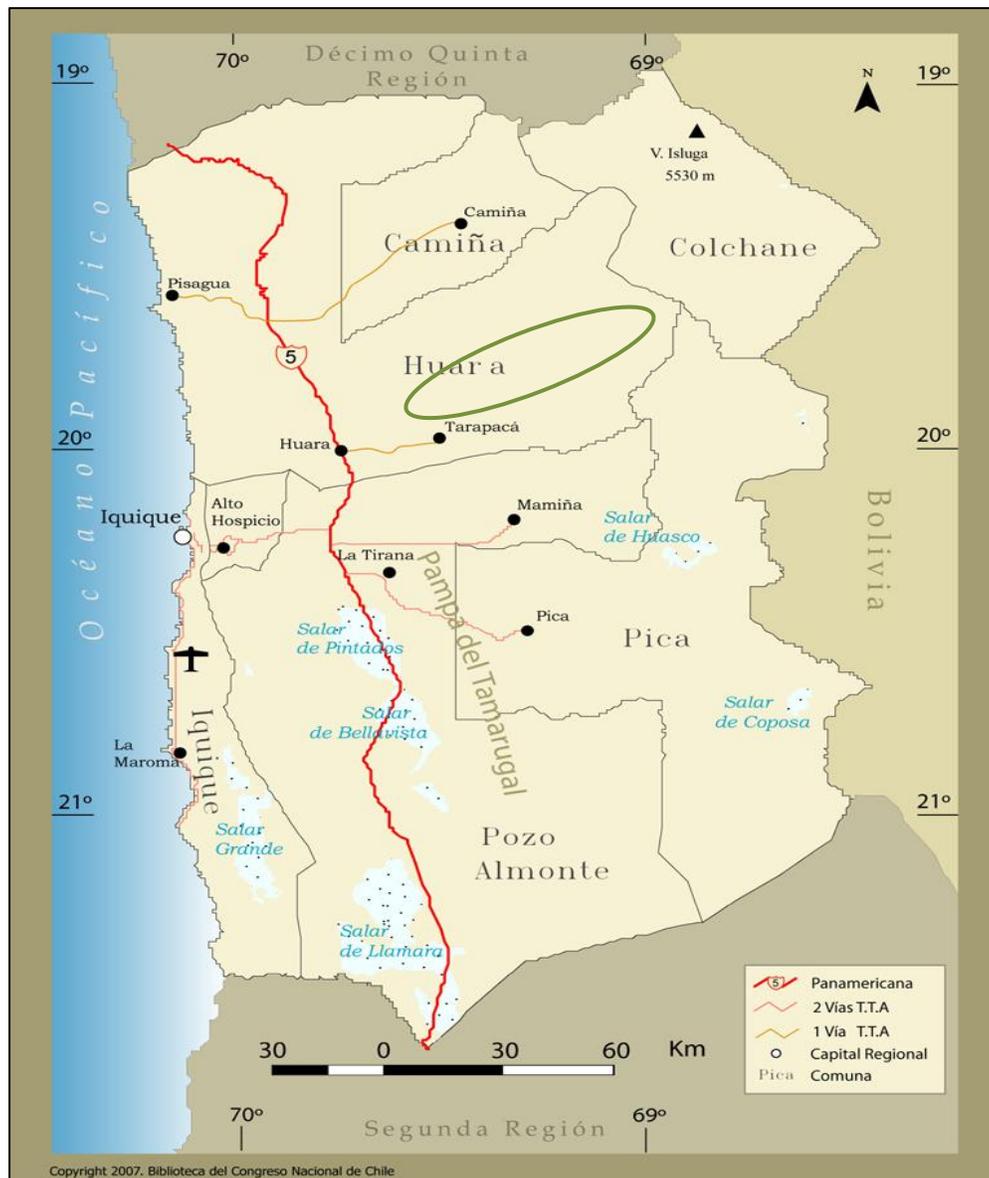
El área de estudio se encuentra inserta en la Quebrada de Aroma, la que nace en la Cordillera Central a una altura de 4.200 m.s.n.m., en el límite poniente del altiplano chileno, en la comuna de Huara, región de Tarapacá. Esta obra se ubicaría aguas abajo de la localidad de Aroma en la quebrada del mismo nombre, entre los 1.900 y 2.000 m.s.n.m., en un sector denominado Misticca.

La hoya de la quebrada de Aroma se desarrolla en el sector central de la provincia de Arica, entre los paralelos S 19°29' y 19°58' y entre los meridianos O 69°03' y 69°52', comprendiendo una superficie de 1.225 km² hasta el sector del muro de embalse. Limita al norte con la hoya de la quebrada Soga, al sur con la hoya de la quebrada de Tarapacá, al oriente limita con la pampa de Colchane y las zonas adyacentes del volcán Isluga y al poniente con la pampa del Tamarugal.

Desde el punto de vista político-administrativo, el área de estudio se encuentra dentro de la comuna de Huara, ubicada en el extremo norte de la provincia de El Tamarugal y la región de Tarapacá, rodeando la comuna de Camiña (Figura 2-1). Al norte limita con la comuna de Camarones, al sur con las comunas de Pozo Almonte, Alto Hospicio e Iquique, al este con la comuna de Colchane y Pica y al oeste con el océano Pacífico. Abarca una superficie de 10.474,6 km² que equivalen al 26,59% del territorio provincial y al 24,81% de la superficie regional.

En la actualidad existen 9 propietarios en la quebrada de Aroma entre el sector de Pailca y Curaña, 34 ha en total, los cuales son potenciales beneficiarios del proyecto, a estos se les suma la Asociación Indígena Unión de Chacareros de Puchuldiza y a la Asociación Indígena Valle Verde que años atrás, tenían una captación aguas abajo de Curaña y regaba una zona aledaña a la ruta 15, en el sector de Cerro Unitas.

FIGURA 2-1
UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO



Fuente: Biblioteca del Congreso Nacional (2007)

3. Reconocimiento y Evaluación de Emplazamientos para la presa

Preliminarmente, se identificaron tres sitios de embalse denominados como Alternativa (ALT): ALT1, ALT2 y ALT3. La alternativa ALT1 corresponde al sitio de presa propuesto por la Comisión Nacional de Riego y es la que se ubica más aguas arriba en la quebrada, donde comienza el estrechamiento del valle en el sector de Misticca.

Adicionalmente, se incluyeron el antiguo sitio propuesto por el Ministerio de Obras Públicas en el año 1930, denominado para efectos del presente estudio como Alternativa ALT4 y un sitio propuesto e inspeccionado por el geólogo especialista ubicado aguas arriba de la alternativa ALT1 en pleno sector de Misticsa denominado como Alternativa ALT5.

A priori la alternativa ALT4 tiene una gran limitante debido a la presencia de petroglifos en su tasa de inundación por lo cual sería descartada, en tanto la alternativa 5 presenta desventajas sobre las demás alternativas en cuanto a su tamaño de muro.

En la Figura 3-1, se indica la ubicación de las alternativas a analizar, las que se denominaron de la siguiente forma:

- ALT1: a unos 3,45 Km aguas abajo de la confluencia entre la Quebrada de Aroma y la Quebrada de Sapte.
- ALT2: a unos 3,9 Km. aguas abajo de la confluencia entre la Quebrada de Aroma y la Quebrada de Sapte
- ALT3: a unos 4,1 Km. aguas abajo de la confluencia entre la Quebrada de Aroma y la Quebrada de Sapte
- ALT4: a unos 12,9 Km. aguas abajo de la confluencia entre la Quebrada de Aroma y la Quebrada de Sapte
- ALT5: a unos 2,1 Km. aguas abajo de la confluencia entre la Quebrada de Aroma y la Quebrada de Sapte

Las alternativas se presentan adicionalmente en el Plano GN-PTN-01.

FIGURA 3-1 UBICACIÓN ALTERNATIVAS DE EMBALSE



Fuente: Elaboración propia, a partir de Google Earth

La selección de estas alternativas, permitió delimitar todos los trabajos de terreno necesarios para elaborar los diseños simplificados de la presa en los emplazamientos identificados. Estos trabajos de terreno, consistieron básicamente en la visita de ingenieros especialistas, ambientales, geólogos, arqueólogos y geotécnicos, cuyos informes permitieron completar los antecedentes para la selección del sitio. La información anterior

se complementó con la restitución aerofotogramétrica, la topografía y los catastros de infraestructura realizados para este estudio.

Entre los antecedentes obtenidos, se destacan la definición de las curvas características para cada sitio, la estimación del volumen embalsado y necesario para cada presa, el área de inundación, un informe arqueológico, y la recopilación de los antecedentes ambientales relacionados.

De este modo, se realizaron los diseños simplificados de la presa en cada alternativa de emplazamiento y se determinó su costo de construcción, apoyándose en la topografía proporcionada por el Modelo Digital e Elevación Satelital (DEM) del sensor ASTER, con el fin de analizar de manera anticipada la situación de los sitios, sin tener que esperar los planos de la restitución y la topografía.

Para cada uno de los parámetros analizados, se ordenó cada embalse en una escala de mejor a peor, donde se le asignan valores del 1 al 5 considerando 1 como la mejor alternativa y 5 como la peor alternativa, pudiendo en algunos casos estar los 5 sitios en la misma categoría. Luego de asignar el valor correspondiente a cada ítem se sumaron y se seleccionaron las alternativas que obtuvieron los menores tres puntajes. Estas prioridades se resumen en el Cuadro 3-1, que claramente indican que los sitios ALT1, ALT2 y ALT3 presentan las mejores condiciones para el emplazamiento de un embalse.

CUADRO 3-1
COMPARACIÓN CUALITATIVA DE DIFERENTES ASPECTOS

Parámetro	ALT1	ALT2	ALT3	ALT4	ALT5
Tipo de presa	2	1	1	2	2
Relación Agua/Muro	3	2	1	4	5
Características Geológicas	1	2	3	4	5
Características Geotécnicas	2	1	3	4	5
Características productivas zona a inundar	1	1	1	2	1
Ubicación con respecto a la zona de riego	1	1	1	2	1
Ubicación con respecto a los recursos de agua	2	2	2	1	2
Evaporación	3	5	4	1	2
Cantidad y características de las interferencias	1	1	1	3	2
Impactos ambientales asociados	3	3	3	5	4
Accesibilidad	2	2	2	1	1
Tamaño del proyecto	1	1	1	1	1
Costos de expropiaciones	1	1	1	2	1
Facilidades para el diseño de las obras de arte	2	1	1	2	2
Facilidades constructivas	2	1	1	3	2
Altura del muro	1	1	1	1	1
Situación legal	1	1	1	1	1
Generación hidroeléctrica	1	1	1	1	1
Regulación de Crecidas	2	2	2	1	2
Mejoramientos y nuevos trazados de Canales	1	1	1	1	1
Total	33	31	32	42	42

Fuente: Elaboración propia

En resumen, se realizó un análisis, tanto en términos cualitativos como económicos, de las alternativas de sitios de embalse considerando las normativas y exigencias pertinentes a este tipo de obras. Dicho análisis, se evaluó bajo un escenario de riego que contempla 400 ha agrícolas regadas con un 85% de seguridad, obteniéndose las siguientes conclusiones:

- En términos de costo, la alternativa ALT3 es la más conveniente, siendo alrededor de un 50% más económica que la alternativa ALT5 de mayor costo.
- En términos Cualitativos, el análisis de diversos factores técnicos y legales señalan que las mejores alternativas son los sitios ALT1, ALT2 y ALT3 y que la peor es el sitio ALT5.
- El informe Arqueológico indica que el sitio ALT4, se ubica un importante sitio arqueológico de petroglifos, reconocido como Ariquilda 1, por lo tanto, **debe descartarse definitivamente como ubicación para el Embalse**. Por otra parte, en el sector de Misticsa, donde se ubican el resto de las alternativas, se encontraron 8 sitios arqueológicos repartidos desde el lugar donde se proyectan los muros hasta la confluencia de la quebrada de Aroma con la de Sapte. Estos sitios arqueológicos tendrían que ser levantados de manera más exhaustiva para las eventuales futuras etapas de factibilidad y diseño del proyecto.
- El informe geológico recomienda la alternativa ALT1 por sobre el resto, señalando que en los sitios ALT2 y ALT3 presentan en sus apoyos derechos (norte) una compleja mezcla de bloques rocosos, inestables, con predominio de materiales conglomerádicos de diversa forma y tamaño, que corresponderían a la formación El Diablo, movilizados por un voluminoso deslizamiento multirrotacional, el cual demandaría voluminosas remociones destinadas a la eliminación de dichos materiales y posiblemente a costosos mecanismos de anclaje.
- Además, **descarta categóricamente el sitio ALT5** por no presentar las condiciones necesarias para el apoyo del muro.
- El informe geotécnico señala que para la construcción de una presa, se presentan más favorables los sitios ALT1 y ALT2 ya que la alternativa ALT3 presenta riesgos de inestabilidad de laderas y gran cantidad de bloques sueltos en el lecho del río que sería necesario remover. Finalmente recomienda la ALT2 por presentar una garganta mas angosta.
- No se considera necesario realizar nuevos trazados de canales para satisfacer la demanda de agua del sector agrícola de la parte alta del valle (Pailca a Ariquilda), pero si se propone realizar un mejoramiento de ellos, revistiéndolos en todo su desarrollo, ya que de esta manera se mejora su conducción, se facilita su limpieza y perdurabilidad.
- Respecto a los canales en el sector de Curaña es necesario el trazado de un nuevo canal para regar el sector denominado como Vegas de Curaña, aumentar la capacidad del canal Curaña en su tramo de tierra y también en su tramo en tubería (Conducción Curaña-Cerro Unitas)

- La cercanía en la ubicación geográfica de las alternativas no descartadas, las hace equivalentes en términos de recolección de los recursos hídricos y en capacidad como reguladoras de crecidas.
- En términos de superficie beneficiada, no hay diferencia entre las alternativas de sitio de embalse que favorecerían a alrededor de 400 ha.
- Desde la perspectiva del impacto ambiental asociado a los sitios de presa analizados, los sitios ALT1, ALT2 y ALT3 no presentan diferencias y resultan ser los que menos impacto ambiental ocasionan, y son por lo tanto, los más recomendables, no obstante, la alternativa que resulte seleccionada, requerirá la ejecución de planes de mitigación específicos (a detallar en el Estudio de Análisis Ambiental), y un estricto manejo y seguimiento ambiental con el fin de minimizar aquellos impactos que no puedan ser evitados, debido a la características de este tipo de obras. Por su parte, las Alternativas ALT4 y ALT5, debieran descartarse definitivamente, debido a que la primera inundaría un sitio de interés arqueológico y la segunda inundaría parte de la Reserva Nacional Volcán Isluga.
- Dados los antecedentes expuestos anteriormente, los sitios ALT4 y ALT5 son descartados por no presentar las características mínimas para la construcción de un embalse y por tanto el estudio se desarrollará para los sitios ALT1, ALT2 y ALT3.

4. ESTUDIOS BÁSICOS

Para el desarrollo de los prediseños, para cada una de las tres alternativas de embalse, se realizaron los estudios básicos indicados en los siguientes acápite.

4.1. *Restitución Aerofotogramétrica*

La restitución Aerofotogramétrica permite obtener la base cartográfica para el proyecto. El proceso consideró levantar aerofotogramétricamente una superficie aproximada de 1.000 ha en la zona de quebrada de Aroma para el análisis de los sitios de embalses y 500 ha en la zona media baja del valle de la misma quebrada para la zona de riego. La longitud media del levantamiento en la zona alta fue de 15 km y en la zona media baja del valle de 20 km, aproximadamente incluyendo la faja de la tubería existente.

4.2. *Topografía*

La Topografía permite tener detalles del terreno en el que se emplazan las obras. Los trabajos topográficos relacionados con la zona de estudio, poligonal, nivelación y levantamientos del proyecto se ejecutaron tomando como base los antecedentes proporcionados en el informe realizado por Geoingeniería Ltda. que contiene los puntos georreferenciados de la poligonal base del proyecto mediante posicionadores satelitales GPS. Estos puntos se determinaron en coordenadas UTM, datum SIRGAS.

El desarrollo de los trabajos en terreno se planificó de manera tal de obtener un sistema topográfico único y homogéneo, para lo cual se consideraron las siguientes actividades:

- Construcción de una Red de transporte de coordenadas Primaria que envuelva la totalidad del área y esté ligada a vértice IGM y en base a ella configurar una Red Secundaria construida como una secuencia de cuadriláteros con Bases Intervisibles.
- Construcción de 32 vértices que constituyen las redes Primaria, Secundaria y complementaria para desarrollar y vincular los distintos sectores de la zona de estudio.
- Construcción de los PRs en el sector de las alternativas de embalse (9) y en el sector agrícola más cercano a la carretera 5 norte (6).
- Traslado de coordenadas desde el punto IGM UNITAS, ubicado en el cerro de igual nombre, y traslado de cotas desde el punto Pilar de nivelación del IGM denominado PN 3A 7 a los Red de nivelación con Puntos de Referencia (PRs) construidos en sector uno (zona de Regadío) y sector tres y cuatro (sector de embalses), por medio de una nivelación geométrica entre ambos sectores se realizó un transporte por medio de cota optométrica por medio de la Red Primaria y Secundaria.
- Traslado de cotas y coordenadas desde vértices de la Red Primaria y Secundaria hacia la zona de las alternativas de muros y sitios agrícolas, a partir de una Red Complementaria Geodésica de PRs.
- Levantamientos de las tres alternativas de muros y sitios agrícolas, a partir de densificaciones Geodésicas de PRs.
- Nivelación geométrica de la red de PRs mencionados en el punto anterior.

La metodología ocupada en la realización de los trabajos topográfico, ya sea, en la construcción y ubicación de los monolitos para los vértices de las redes y los monolitos para PRs, nivelación geométrica, poligonales GPS y levantamientos, se basó en las Especificaciones Técnicas Topográficas de la Dirección de Obras Hidráulicas (ETT-DOH) y Términos de Referencia de este Estudio, mediante la utilización de la instrumentación adecuada, con el fin de que se cumpla con los requerimientos de precisión y tolerancias que se exige.

4.3. Estudio Geológico

El estudio geológico se utiliza para caracterizar las formaciones físicas presentes en la zona. En este caso, el análisis y evaluación de las consideraciones obtenidas a partir de los reconocimientos en terreno y de estudios anteriores, permite establecer que, la ALT1 reuniría las mayores ventajas para el emplazamiento de las obras del presente proyecto. Los criterios de sustentación corresponden a:

- Ambiente y condiciones geomorfológicas de la sección transversal de la quebrada en el sector.
- Uniformidad, continuidad y estabilidad geológica - estructural de los materiales de la formación Altos de Pica, OMap, en Plano GEO-PTN-02, comprometidos en el emplazamiento de todas las obras del Proyecto.
- Favorables características geotécnicas de los señalados materiales, en términos de sus propiedades resistentes, capacidad de soporte, deformabilidad, estanqueidad, estabilidad físico - química y resistencia a la erosión.
- Reconocida estabilidad de las laderas de la Quebrada de Aroma, comprometidas tanto en el emplazamiento de los estribos de presa, como en el vaso o cubeta del embalse.
- Disponibilidad en calidad y cantidad, a distancias apropiadas, de materiales granulares y finos impermeable para el diseño y construcción de la presa, mediante las tipologías CFRD y CFGD.
- Nulo a bajo nivel de riesgos, impuestos por el desarrollo de procesos de remociones en masa (deslizamientos, desprendimientos, flujos de barro o detritos, solifluxión o reptación lenta), durante la vida operativa del Proyecto. Se trata de procesos de común ocurrencia en el segmento de la quebrada de Aroma, objeto de ocupación por las obras de las ALT2 y ALT3.

4.4. ESTUDIO GEOTÉCNICO

El estudio Geotécnico permite determinar las condiciones de diseño básicas para el proyecto, el que consistió en la ejecución de 9 sondajes entre 20,4 y 45,0 m de profundidad, 3 en cada alternativa del proyecto, además de 12 pozos de exploración de 5 m de profundidad máxima en la misma zona. En el sector de yacimientos se excavaron 5 pozos de exploración de 4,5 m de profundidad máxima respecto de la superficie actual de terreno. En la zona de inundación se excavaron 6 pozos de exploración de 6,0 m de profundidad. En la zona de trazado de canales, se excavaron 19 pozos de 2 m de profundidad máxima. Finalmente, se excavaron 4 pozos de exploración en la zona de los cerros de las 3 alternativas del proyecto.

De la exploración efectuada y de los ensayos de laboratorio realizados, se concluye lo siguiente:

- Desde el punto de vista de disponibilidad de materiales para la construcción del muro del embalse en las 3 alternativas de sitio, de los resultados de la exploración ejecutada y ensayos de laboratorio ejecutados, es que el lugar más adecuado para la construcción de la presa es la ALT1, así como la presa más adecuada para el proyecto en cuestión corresponde a una del tipo CFGD

(Concrete Face Gravel Dam), es decir una presa de grava con pantalla de hormigón. En los sectores de empréstito, antes del carguío de camiones, se deberá respetar la banda granulométrica entregada;

- Para la construcción de la presa, se recomienda la utilización principalmente de grava algo arenosa, tamaño máximo 500 mm, compactada hasta alcanzar el 80% de la densidad relativa. Para el “Cojín” de la pantalla de hormigón (Cushion), directamente bajo ella, en un espesor mínimo de 2,0 m se colocará una grava de tamaño máximo de 3” y máximo un 5% de finos bajo 0,08 mm;
- Para sectores del área de empréstito que presente mucho material fino (mayor a 5% bajo 0,08 mm) será necesario “parrillar” el material para obtener las partículas sobre 76,2 mm (3”) si se requiere;
- Para la construcción del muro del embalse, primero que todo, se realizará un escarpe de 30 cm de espesor máximo en toda el área de su emplazamiento. Retiro del material más fino existente, capa vegetal, arenas arcillosa y arenas limosas, de modo que la presa quede apoyada en la grava compacta detectada en la exploración o directamente sobre el conglomerado;
- En ambos estribos de la presa, se excavará hasta alcanzar la roca fracturada, para la fundación del “plinto”;
- Se colocarán los materiales de relleno, en capas horizontales de espesor suelto no superior a 1,0 m, las que se compactarán con rodillo vibratorio de peso estático igual o superior a 15 toneladas. El equipo compactador se pasará un mínimo de 6 veces por cada punto de cada capa. En sectores estrechos, entorno y sobre los ductos hasta una altura mínima de 2,0 m; se usará equipo de menor tamaño y se disminuirá el espesor de capa y del tamaño máximo del granular colocado (grava arenosa T.M 4”), previa autorización de la inspección técnica, de manera de conseguir rellenar todos los espacios adecuadamente. Los rellenos se colocarán de manera de cumplir con las líneas y niveles indicados en los planos;
- Respecto del suelo de fundación del muro del embalse, este corresponde a una grava arenosa compacta, por lo que las propiedades mecánica de resistencia al corte y esfuerzo deformación son adecuadas para la construcción del muro del embalse;
- Para el control de las filtraciones por debajo del muro, se dispondrá de una línea de inyecciones, que inicialmente deberá alcanzar una profundidad media de 2,0 m de modo de alcanzar con certeza la roca de mejor calidad;
- En cuanto a la posibilidad de que produzca erosión en los taludes en el área de inundación del embalse, no existe la certeza de que sea sólo local, dada la matriz areno limosa de sobrecarga sobre el suelo;

- En general el suelo para el área de inundación corresponde a una grava arenosa aguas abajo, y desde una arena limosa a limo arenoso para el sector aguas arriba de este. El suelo del área de inundación se muestran bien consolidado.

4.5. ESTUDIO GEOfísico

El estudio Geofísico realizado consistió en perfiles sísmicos que permitieron complementar la caracterización dada por el estudio geotécnico. Es importante señalar que el método de refracción sísmica en sí mismo sólo diferencia capas de acuerdo a las velocidades de propagación de ondas elásticas en ellas. La información de profundidad que da el método debe entenderse como distancias a las interfases determinadas y no son por lo tanto, necesariamente verticales. El Cuadro 4.5-1 muestra un resumen de estos resultados para las tres alternativas seleccionadas.

**CUADRO 4.5-1
RESUMEN DE RESULTADOS**

Evento	E~ 1 ^{er} est M	Velocidad (m/s)	E~ 2 ^{er} est M	Velocidad (m/s)	E~ 3 ^{er} est M	Velocidad (m/s)
ALT1	1-2	515	10-12	1.680	>12-13	3.970
	2-3	440	5-7	2.125	>9-8	3.000
	3-4	337	6-10	912	>10-13	3.815
	2	300	5-6	1.470	>7-8	3.290
	2-3	687	7-8	2.438	>9-11	3.330
	4-8	402	>4-8	2.200		
ALT2	2-4	800	8-13	1.945	>10-17	2.825
	3	402	4-10	2.000	>7-13	2.330
	1-2	600	6	2.000	>7-8	2.500
	1-3	687	12-15	1.670	>15-16	4.167
	3-4	515	11-13	2.080	>14-17	3.225
	1-2	875	8-10	2.565	>10-11	3.640
ALT3	2	515	9-12	1.250	>11-14	2.890
	2-4	800	10-11	1.870	>12-15	2.820
ALT3	3-6	750	12-15	2.410	>18	4.980
	2-4	750	7-9	1.655	>9-13	2.850
	2	430	12-14	1.172	>14-16	3.750
	3	337	11-¿	912	>14?	3.815

E = espesor est= estrato

Fuente: SEGMI

Para caracterizar los materiales del subsuelo en cuanto a su calidad geotécnica se utilizó una aproximación a la información obtenida en el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, Cuadro 4.5-2.

**CUADRO 4.5-2
CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES DEL SUBSUELO**

V_p (m/s)	Tipo de Material
300-800	Suelo Superficial, arenas, escombros de falda, bolones gravas, materiales sin consolidación
800-2.400	Suelo semi compacto, roca meteorizada, gravas mal graduadas
2.500-2.800	Roca meteorizada a roca sana
>2.900	Roca sana
-----	Limite de penetración de la onda sísmica de acuerdo a la longitud del perfil sísmico

Fuente: Departamento de Geofísica Universidad de Chile

Las velocidades de las rocas pueden variar en un rango amplio, ésta dependencia está relacionada con los parámetros físicos en la cual se encuentra. En general las rocas fracturadas pueden presentar velocidades entre 1.500 m/s y cercanas a 3.000 m/s. Es posible que las rocas puedan presentar valores de velocidades muy inferiores (meteorización).

Los materiales sedimentarios naturales como gravas u otros pueden también presentar un rango amplio de velocidades, las cuales están asociadas a las propiedades físicas en que se encuentran. Estas pueden variar aproximadamente entre 500 m/s a 2.700 m/s.

Las tres alternativas estudiadas se encuentran en gravas cementadas de origen volcánico y rocas metamórficas con diferentes grados de consolidación motivo por el cual presentan velocidades variables en espacios reducidos. El rango de velocidad de estos materiales varía entre 1.000 m/s a 2.600 m/s.

4.6. Estudio sísmico

En el estudio sísmico se presentan los antecedentes geológicos, sismológicos y metodológicos utilizados para la estimación del Peligro Sísmico (probabilístico y determinístico).

Para ello, se consideraron las tres principales fuentes sismogénicas presentes en la zona (interplaca tipo thrust, intraplaca de profundidad intermedia y corticales), describiéndose cada una de ellas por separado. Se utilizan las leyes de atenuación definidas por Ruiz y Saragoni (2005), por ser las estimaciones más recientes hechas con datos exclusivamente chilenos y que considera la separación de las fuentes interplaca e intraplaca de profundidad intermedia, y las definidas por Campbell y Bozorgnia (2008) para la fuente cortical, por ser la más recientes. Se utilizan sismos máximos creíbles de magnitud 8,8, 8,0 y 7,5¹ para las fuentes interplaca tipo thrust, intraplaca de profundidad intermedia y cortical, respectivamente. Con ello, se estiman las aceleraciones horizontales máximas de 0,38 y 0,64 de la aceleración de gravedad, para períodos de retorno de 475 años (Sismo de Diseño) y 4.975 años (Sismo Máximo Creíble), respectivamente.

Luego, se procedió al análisis determinístico, el cual considera las principales fuentes sismogénicas presentes en la zona (terremotos interplaca tipo thrust, intraplaca de

¹ Datos en Escala Ms de magnitud de ondas superficiales. Todas las magnitudes de sismos indicadas en el capítulo son referidas a esta escala, debido a que es la que de mejor manera representa el daño producido por un gran terremoto

profundidad intermedia y fallas corticales activas), describiéndose cada una de ellas por separado.

Posteriormente, y a partir de un análisis detallado de las fuentes, se obtienen los parámetros solicitados para el terremoto máximo creíble de cada fuente sísmica descrita, permitiendo la estimación del peligro sísmico determinístico. Finalmente, se llegó a que el terremoto máximo creíble corresponde a un evento intraplaca de profundidad intermedia ($M_s = 8,0$), mientras que para el sismo de diseño se obtiene un evento interplaca tipo thrust ($M_s = 8,5$), como el más representativo. Cabe destacar que todas las estimaciones presentadas en este estudio fueron hechas considerando roca o suelo duro.

4.7. Hidrología

La Hidrología permite determinar caudales afluentes al embalse y caudales de crecida. Para ello se necesita estimar la precipitación de la cuenca y recopilar los registros disponibles de caudales en las alternativas de sitios de muro ALT1, ALT2 y ALT3. Para ello se utilizó la información tanto de la única estación pluviométrica recientemente instalada en la cuenca de Aroma, Estación Chiapa, así como la información de estaciones vecinas como de estudios anteriores. Una vez recopilada esta información se realizó la extensión y relleno de la precipitación, en el que se obtuvo como resultado un valor de precipitación media de 122 mm para los sitios alternativos ALT1, ALT2 y ALT3, se debe considerar que este valor posee una alta variabilidad interanual y se concentra principalmente entre los meses de diciembre a marzo.

Dado que en la quebrada de Aroma no se cuenta con registros mensuales de caudales medios se utilizaron métodos indirectos de estimación del caudal calibrados en con los registros de las estaciones fluviométricas de la quebrada de Tarapacá. El método seleccionado corresponde al escalamiento de valores medios y desviación estándar de esta variable, con parámetros calibrados en la cuenca vecina con registros extensos. En el Cuadro 4.7-1 se muestran los resultados.

CUADRO 4.7-1
PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL Y CAUDAL MEDIO MENSUAL EN QUEBRADA AROMA

Alternativas	Área (km²)	Pp (mm)	Q (m³/s)
ALT1	1.230	122	0,328
ALT2	1.231	122	0,329
ALT3	1.231	122	0,329

Fuente: Elaboración propia

Dado el escasa información de registros fluviométricos, se procedió a realizar dos campañas de aforos en la quebrada de Aroma de tal manera de complementar la información recopilada en estudios anteriores e información de una estación fluviométrica con registros de 1930 (Jara, 1929; Estación Q. Aroma en Alagnusca (DGA-BNA) (1929-1930)), En la Figura 4.7-1 se muestran los puntos y valores de caudales levantados en el presente estudio de Prefactibilidad durante los periodos Marzo - 2013 y Octubre - 2013.



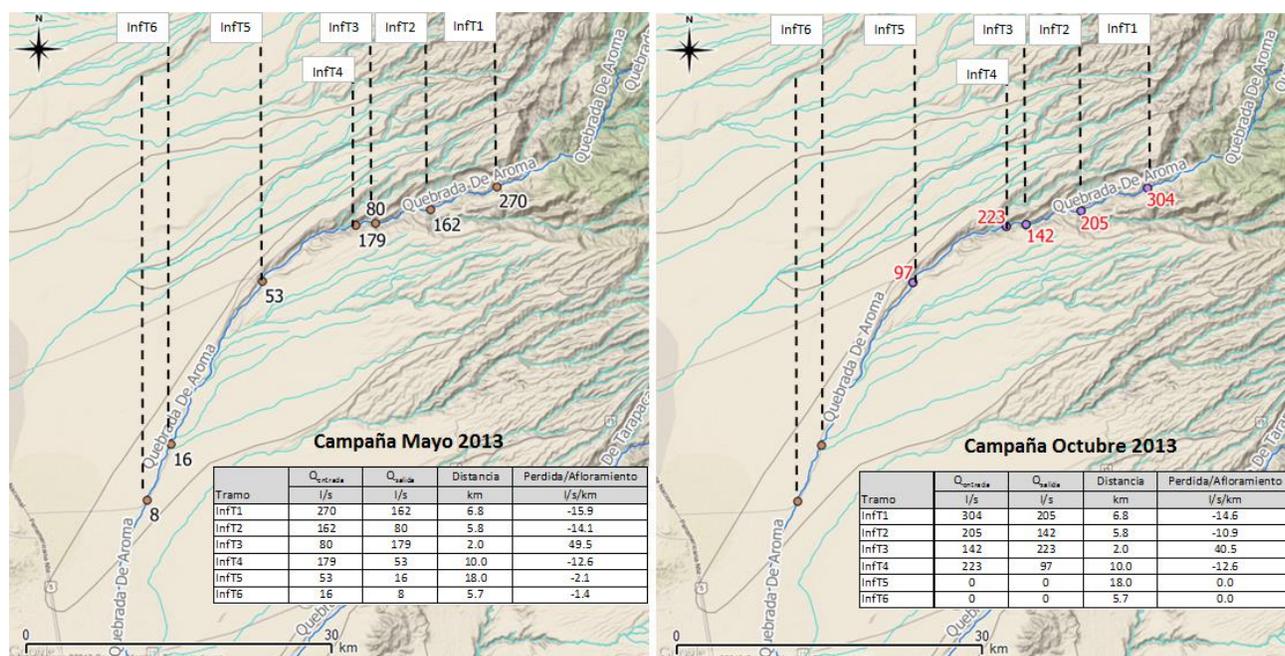
Se observa que en la ubicación del sitio ALT3 se registró en Mayo un caudal de 270 L/s y en Octubre un caudal de 304 L/s. Si bien estos valores son puntuales permitieron identificar zonas de infiltración y afloramiento que no habían sido descritos en estudios anteriores.

Por otro lado para determinar el caudal máximo asociado a distintos periodos de retorno se utilizaron relaciones precipitación escorrentía como Verni-King, Formula Racional e Hidrograma Unitario Sintético. Dado que los parámetros de coeficiente de escorrentía de la formula Verni-King y Racional no están calculados para la zona de estudio, se procedió a estimar en forma empírica mediante valores registrados en la Quebrada de Tarapacá. La duración de diseño corresponde a 72 horas en el HUS, considerando que este valor maximiza el peak de la crecida y la distribución de la tormenta se determinó en base al ajuste de Espíldora del Grupo 1, que corresponde a la distribución que mejor observada según el hietograma de la tormenta registrada en la Estación Pluviométrica de Chiapa en Febrero del año 2012.

Se adoptaron como definitivos los caudales provenientes de la Formula Racional mediante los coeficientes de escorrentía empíricos, ya que esta fórmula se ajustó a los resultados del análisis de frecuencia en la cuenca vecina de quebrada de Tarapacá. En el Cuadro 4.7-2 se muestra el resultado para cada alternativa de embalse.



FIGURA 4.7-1
CAMPAÑAS DE AFORO EN QUEBRADA DE AROMA



Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 4.7-2
CAUDAL ADOPTADOS (m³/s)

Sitios de Muro	Periodo de Retorno (años)							
	5	10	20	50	100	200	1.000	10.000
ALT1	16	27	41	64	85	114	180	320
ALT2	16	27	41	63	84	113	179	318
ALT3	16	27	41	63	84	113	179	318

Fuente: Elaboración Propia.

Los hidrogramas de crecida asociados a tormentas de 72 hrs de duración se ajustaron a los valores de caudales máximos adoptados para cada periodo de retorno mostrados en el Cuadro 4.7-2, de esta manera se obtuvieron los hidrogramas asociados a tormentas para periodos de Retorno 5, 10, 20, 50, 100 y 200 años. En el Cuadro 4.7-3 se muestran los volúmenes de crecida ajustados para distintos eventos.

CUADRO 4.7-3
VOLÚMENES DE CRECIDAS AJUSTADOS EN QUEBRADA DE AROMA

Periodo de Retorno (años)	5	10	20	50	100	200
Volumen (hm ³)	1,5	3,2	5,6	9,8	14,0	20,4

Fuente: Elaboración Propia.

4.8. *Estudio Sedimentológico*

El objetivo principal del estudio sedimentológico es cuantificar el Gasto Sólido Total (GST) asociado a las distintas alternativas de embalse lo que permite estimar el volumen de sedimentos que se acumularán durante la vida útil de la obra, lo que se conoce como Volumen Muerto. Para ello, se estimaron las principales componentes de este fenómeno, como Gasto Sólido de Fondo (GSF) y Gasto Sólido en Suspensión (GSS). El volumen muerto se calculó como el aporte de ambas componentes que llegan al punto del embalse durante un periodo de vida útil de 50 años. El enfoque para estimar el Gasto Sólido Total asociado a un punto determinado del río fue el siguiente:

$$\text{GST} = \text{GSF} + \text{GSS}$$

Donde:

GST : Gasto Total de Sedimentos (kg/s)

GSF : Gasto Arrastre de Fondo (kg/s)

GSS : Gasto Sólidos en Suspensión del Cauce (kg/s)

El Gasto Sólido en Suspensión corresponde a las partículas que se generan producto de la erosión de la lluvia sobre el suelo, y que llegan al cauce a través del arrastre de la escorrentía superficial, también conocido como lavado de cuenca. El Gasto Sólido de Fondo corresponde al que se genera debido a la erosión del río, producto del esfuerzo de corte sobre las partículas que componen el fondo del cauce, este arrastre se transporta de dos formas: como arrastre de fondo propiamente tal, o partículas que durante periodos intermitentes son capaces de entrar en suspensión. Al igual que los caudales líquidos en la zona al contar con falta de registros de estaciones sedimentométricas se procedió a realizar los cálculos mediante métodos indirectos y se compararon con valores de tasas regionales estimados en estudios de otras zonas de embalses de riego. Los volúmenes calculados se presentan en el Cuadro 4.8-1.

Tomando en cuenta estos valores finalmente se adoptó un valor de 6,0 hm³ como volumen de diseño para las distintas alternativas de embalse.

CUADRO 4.8-1
VOLUMEN MUERTO SEGÚN METODOLOGIA MUSLE Y PSIAC PROMEDIO

Alternativa	MUSLE (hm ³)	PSIAC Promedio (hm ³)
ALT1	5,8	5,2
ALT2	5,8	5,2
ALT3	5,8	5,2

Se consideran 50 años de operación del embalse; $\gamma = 1,65 \text{ t/m}^3$

4.9. Caracterización Hidrogeológica

Se realizó una caracterización de la hidrogeología de la zona de la presa propuesta además de la capacidad de infiltración de la quebrada. El análisis presentado en el estudio se basa en información disponible, e información generada en el marco de este estudio, tal como un estudio gravimétrico, sondajes eléctrico-verticales (SEV), y campañas de aforos.

En general, los resultados obtenidos mostrarían la existencia de un potencial sector acuífero, el que contendría aguas salobres. La potencia del acuífero varía entre 5 y 60 m, dado el material esperable, la permeabilidad del acuífero estaría comprendida entre 10^{-4} a 10^{-5} m/s.

Considerando que el ancho medio del valle varía entre 20 y 400 m y que la pendiente de la quebrada varía entre 1% y 3 % se estima que el flujo promedio que podría tenerse varía entre 1 y 20 L/s, presentándose zonas en las que la capacidad de porteo es baja, por lo que se producen afloramientos de importancia.

En lo que respecta a los niveles freáticos, para un año 85% el caudal medio anual es del orden de 200 L/s, con lo que el flujo que podría entrar al acuífero de la Pampa del Tamarugal alcanza hasta cerca de un 10% del caudal medio. En todo caso debe hacerse notar que el caudal que influye sobre el nivel freático no está asociado al límite superior del caudal de porteo, sino que al mínimo, ya que en los sectores con baja capacidad se producen afloramientos.

Por lo anterior, si bien es cierto se espera un efecto en los niveles este no debería ser muy pronunciado.

4.10. Derechos de Agua

Se efectuó un estudio completo sobre las cuencas de interés proporcionadas, con la finalidad de establecer tanto los derechos de aprovechamiento de aguas constituidos sobre dichos cauces y acuíferos, como asimismo las peticiones de otorgamiento de nuevos derechos y de regularizaciones sobre tales fuentes, además de validar los datos aportados sobre derechos de aprovechamiento que la presente consultoría poseería sobre las mencionadas cuencas.

En forma específica y concreta, se revisó la situación respecto de las siguientes fuentes o cauces y localidades:

- Río o quebrada de Aroma
- Quebrada de Sotoca
- Quebrada de Sapte
- Quebrada de Chismiza

Como localidades o lugares de interés en la zona, se tuvo especial atención con Ariqueña, Pailca, Misticsa o Mixtisa, Cullco, Chilachila, Jaina, Chiapa y la zona del Parque Nacional Isluga. Todos los cauces naturales y localidades antes indicados se ubican en la comuna de Huara, I Región de Tarapacá.

Sin perjuicio de lo anterior, fue revisada la situación de derechos de aprovechamiento de aguas tanto superficiales como subterráneas en las cercanías de los lugares antes indicados (Acápite 6.4 del Volumen 1), cuya final pertinencia será determinada por la empresa mandante. Los derechos superficiales otorgados en la quebrada de Aroma pertenecientes a 8 regantes (personas naturales y organizaciones comunitarias) equivalen a 343,5 L/s, de los cuales 42,5 L/s están perfeccionados (41,89 L/s consuntivos, permanentes y alternados y 0,7 L/s consuntivos permanentes), el resto (301 L/s) no están perfeccionados ya que faltan menciones de tipo y ejercicio. Además, existen 7 peticiones en trámite de derechos consuntivos, permanentes y alternados, equivalentes a 182 L/s. Finalmente, existen dos derechos subterráneos, uno por 0,8 L/s del cual se desconocen los datos esenciales del derecho y 0,1 L/s que tiene una cuota máxima anual de 1.576,8 m³.

De los antecedentes documentales con que se trabajó, básicamente constituidos por inscripciones de derechos de aprovechamiento en el Registro de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces de Pozo Almonte, como asimismo hecha la revisión pertinente en Oficinas de la Dirección General de Aguas, tanto en Iquique como en Santiago, es posible formular las siguientes observaciones:

- Básicamente, la propiedad sobre los derechos de aprovechamiento de aguas, en lo concerniente al proyecto, recae sobre derechos de tipo superficial, tanto en forma de extracciones comunitarias como individuales, siendo un mínimo – prácticamente carente de relevancia – los derechos de tipo subterráneos.
- Esta propiedad se encuentra fuertemente consolidada, en el sentido que se trata de derechos con sus pertinentes inscripciones asentadas en el Registro de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces de Pozo Almonte.
- En lo que tiene relación con peticiones en actual tramitación, debe tenerse claro que ellas se encuentran básicamente abandonadas desde hace largo tiempo ante el Juzgado de Letras de la misma ciudad, autoridad que no ha tenido ocasión de pronunciarse sobre las mismas, ya sea denegándolas o acogéndolas, al dictar una sentencia que reconozca un derecho sometido a regularización ante esa instancia, de modo que, por el momento, no representan riesgo de oposición al proyecto, toda vez que se trata de peticionarios que aún no son titulares de derechos.
- Lo de mayor trascendencia y que contribuye a avalar la factibilidad del proyecto, está constituido por el hecho que el Río Aroma no se encuentra con declaración de agotamiento por parte de la Dirección General de Aguas, lo que posibilita la solicitud de derechos de tipo superficial sobre dicho curso o sus afluentes, a lo que debe agregarse que tampoco la zona del proyecto cuenta con declaración de área de restricción para el otorgamiento de derechos subterráneos.

En otras palabras, es posible solicitar el otorgamiento de derechos superficiales para el proyecto, toda vez que el río no está legalmente agotado, y a su vez, la inexistencia de área de restricción contribuye a un esperable ambiente favorable para la concreción de dicho proyecto.

5. Escenarios del proyecto

Definido el emplazamiento del embalse, el tipo de muro y los sectores potenciales de riego, se continuó con la identificación de los escenarios posibles de proyecto que permiten determinar el tamaño óptimo del embalse.

A continuación se describen los escenarios de proyecto elegidos como los más adecuados para cumplir con los objetivos de la consultoría, considerando entre otros aspectos, los recursos hídricos asignables al embalse, la capacidad de regulación y la ubicación de los distintos sectores de riego.

Los escenarios son los siguientes:

Escenario 1: Situación actual o sin proyecto.

Escenario 2: Embalse para satisfacer la demanda de riego del sector alto de la quebrada de Aroma (desde el sector de Pailca hasta Ariquida) y la potencial zona de riego que se ubica en las cercanías de la localidad de Huara. Este escenario se evaluará para la situación de calidad de agua actual y para una situación de calidad mejorada indicadas en el volumen agroeconómico y que se definen en el acápite siguiente.

Se proyecta la conducción de las aguas por tubería desde el sector de Ariquilda hasta el sector de Cerro Unitas para el abastecimiento de la nueva zona de riego, con una extensión de 44 km aproximadamente. El transporte se realizaría por medio de las conducciones Ariquilda – Curaña (ARI-CU) y Curaña – Cerro Unitas. (CU-C.U.).

Para este escenario, se contemplan las siguientes componentes de multipropósito:

- Generación hidroeléctrica al pie del Muro
- Control de Crecidas

Además, se consideraron dos situaciones de calidad de agua en el escenario Con Proyecto:

- **Calidad Actual:** considera el actual escenario de calidad de agua utilizando los mismos cultivos y variedades de Situación Actual y Sin Proyecto, dada su adaptabilidad a las condiciones tóxicas existentes de salinidad, boro y arsénico para el desarrollo de la mayor parte de los cultivos. Se incorpora además la coliflor como representante de las escasas alternativas hortícolas que toleran estos niveles de salinidad a un máximo alcanzable de 50% de rendimiento potencial según FAO Irrigation and Drainage Papers, 1994, lo que merma significativamente el margen del cultivo. Este escenario es el que en rigor se debe considerar en Situación Con Proyecto.
- **Calidad Mejorada:** asume un escenario hipotético en que el agua entregada por el proyecto cumplirá con los estándares de calidad apropiados para riego y constituye una referencia de comparación en el marco hipotético que el agua fuese tratada. Se plantea así un escenario

hipotético donde la calidad de agua, en su parámetro más restrictivo que es la conductividad eléctrica (Ce), no supere los 2,1 mmhos/cm, umbral de Ce planteado por FAO 29 Rev. 1 sobre el cual el potencial de rendimientos de las especies agrícolas en general baja del 75%. Se supone además un mejoramiento de la calidad del agua en sus niveles de boro existentes dado que como ya se mencionó, para el desarrollo de los cultivos es el factor más limitante. De esta manera se posibilita la incorporación de alternativas de cultivo en esta estructura y que los rendimientos de los ya presentes experimenten un aumento según su condición de adaptabilidad.

6. ESTUDIO AGROecoNÓMICO

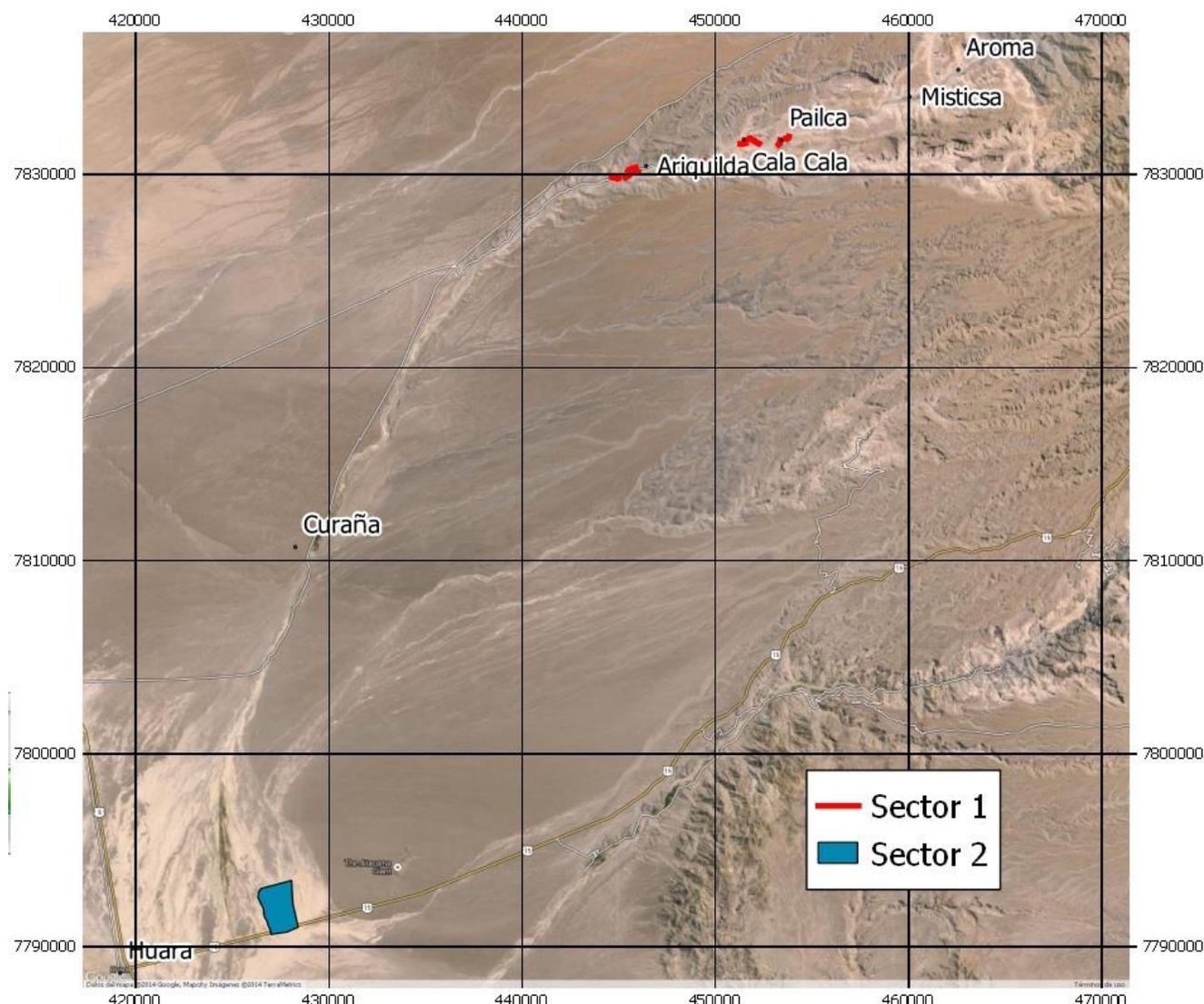
6.1. *Objetivos y Alcances generales*

Este estudio pretende evaluar los beneficios agroecológicos del proyecto “Construcción Embalse Pintanane en la Quebrada de Aroma, Huara”, comparando tres situaciones distintas: Situación Actual (SA o Escenario1), Situación Futura Sin Proyecto (SSP) y Situación Futura Con Proyecto (SCP o Escenario 2).

El área de influencia del presente estudio comprende los sitios posibles de regar aguas abajo del sector proyectado para la construcción del embalse (Ver Figura 6.1-1), diferenciándose dos sectores de riego:

- **Sector 1:** Corresponde a la quebrada de Aroma, desde la ubicación del muro del embalse hasta la zona de Curaña.
- **Sector 2:** Este sector se emplaza al sur de la Pampa del Tamarugal a 10 km de la ruta CH 15, Huara – Colchane. Actualmente en su totalidad sin actividad agrícola. Corresponde a la zona de expansión agrícola.

FIGURA 6.1-1
PREDIOS POR ESTRATO SECTOR 1



Fuente: Elaboración propia a partir de Qgis

6.2. *Listado de Agricultores y Estratificación Predial*

Una vez establecida la sectorización del área de interés, se procedió a confeccionar un listado con los beneficiarios del proyecto en base a fuentes primarias y secundarias de información. En el Cuadro 6.2-1 se presenta la estratificación predial para el Sector 1, señalando número de predios y superficie física involucrada. La estratificación de los predios del Sector 2 para la situación Con Proyecto queda determinada por las posibilidades de expansión agrícola y los criterios para establecer la superficie de las Unidades Productivas Prediales (UPPs) consideradas (Acápite 6.5).

**CUADRO 6.2-1
PREDIOS POR ESTRATO SECTOR 1**

Estrato	Predios		Superficie		
	Nº	%	Total		Promedio (ha)
			ha	%	
E1 (0 a 1 ha)	2	22,2	2,0	4,7	1,0
E2 (1 a 5 ha)	3	33,3	8,0	18,6	2,7
E3 (5 a 10 ha)	3	33,3	21,0	48,8	7,0
E4 (>10 ha)	1	11,1	12,0	27,9	12,0
Total	9	100,0	43,0	100,0	-

Fuente: Elaboración propia a partir de fuentes primarias.

6.3. *Situación Actual*

El tipo de agricultores en el área de estudio practica una agricultura en la mayoría de los casos sólo con fines de subsistencia. El tamaño predial es el característico de los valles precordilleranos del norte grande, es decir, terrenos muy pequeños, en su mayoría con una superficie menor a 5 ha, y escasa existencia de predios con más de 10 ha especialmente por la falta de terrenos aptos para la agricultura. En la actualidad, existe una gran porción de predios sin uso.

Para una completa caracterización de la situación actual agrícola es necesario establecer una serie de atributos físicos, productivos, legales y económicos, asociados a los distintos tipos de agricultores existentes en el área de estudio. Para lograr este objetivo se ha implementado una encuesta extendida de tipo cuantitativa que indaga en cada uno de estos ámbitos. La encuesta abarcó el 100% de los predios en el Sector 1 (9 predios) y 11 predios de la quebrada de Tarapacá, considerándolos como referencia para establecer criterios de desarrollo futuros en una Situación con Proyecto. La superficie riego actual es 20 ha, las que poseen una seguridad de riego del 55,3%, en tanto la superficie con 85% de seguridad alcanza las 5,6 ha (ver Cuadro 6.5-1).

6.4. *Situación Sin Proyecto*

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

El área de estudio presenta, en general, condiciones de clima apropiadas para el desarrollo de una agricultura intensiva basada en una explotación amplia de cultivos, tales como hortalizas y frutales de hoja perenne. A pesar de ello, las altas concentración de sales y elementos trazas limitan de forma significativa los rendimientos actuales de producción, como también la incorporación de nuevos cultivos de interés comercial. En este contexto, en Situación Sin Proyecto se proponen sólo mejoras incorporadas a un programa de

manejo para cada cultivo, sin incurrir en inversiones mayores. El uso del suelo es el mismo que el definido en la Situación Actual.

6.5. *Situación con proyecto*

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

Como ya se mencionó, las concentraciones de sales y ciertos elementos trazas presentes en Situación Actual condicionan las proyecciones de la actividad agrícola, por lo cual se plantean dos condiciones de evaluación para la Situación con Proyecto, dependiendo de la calidad de agua posible de obtener para riego:

Calidad de Agua Actual: Contempla la misma calidad de aguas que actualmente es posible medir en el cauce.

Calidad de Agua Mejorada: En este caso se contemplan obras y tratamientos que determinen niveles de conductividad eléctrica no mayores a 2,1 mmhos/cm, además un mejoramiento de los niveles de boro existentes, lo que en conjunto permitir incorporar diferentes tipos de cultivos hortícolas favorables en cuanto a su adaptabilidad edafoclimática, y proyecciones de mercado.

Para ambas condiciones de calidad de agua, en el Sector 2 se calculó un tamaño de Unidades Productivas Prediales (UPPs) que permita, con la estructura de cultivos propuesta, superar al menos en un 20% el ingreso medio mensual de una familia tipo de la Región de Tarapacá (\$949.262 según antecedentes INE, 2012), con lo cual se pretende incentivar la inmigración de agricultores a esta zona del área de estudio. El Cuadro 6.5-1 muestra el uso del suelo en la Situación Actual y Con Proyecto en condición de calidad de agua actual y mejorada, contemplando la alternativa de embalse de mayor volumen (15 hm³). En el caso Con Proyecto las superficies poseen 85% de seguridad de riego.

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

Cultivo	SA - SSP		SCP Calidad Actual		SCP Calidad Mejorada	
	ha	%	ha	%	ha	%
Maíz Choclo	15,3	76,26	187,90	72,91	0,00	0,00
Coliflor	-	-	35,71	13,86	-	-
Lechuga - Maíz Choclo	-	-	-	-	47,26	20,60
Betarraga - Coliflor	-	-	-	-	33,24	14,49
Lechuga - Tomate	-	-	-	-	45,08	19,65
Cebolla - Melón	-	-	-	-	34,31	14,96
Lechuga - Acelga - Lechuga	-	-	-	-	56,08	24,44
Alfalfa	4,7	23,74	34,10	13,23	13,45	5,86
Total Productiva	20,0	100,00	257,70	100,00	229,40	100,00

Fuente: Elaboración propia.

6.6. Demandas de Agua

Se realizó para la Situación Actual, Sin Proyecto y Con Proyecto una descripción de las demandas de agua para uso agrícola en base a la caracterización productiva predial. Como conclusión se desprende que la demanda bruta total anual en Situación Con Proyecto calidad de agua actual (volumen útil de 15 hm³) es de 1,13 hm³ en el Sector 1 y 6,07 hm³ en el Sector 2, mayor que los 0,85 hm³ de la Situación Actual (sólo Sector 1). Con calidad de agua mejorada la demanda bruta del sector 1 alcanza 0,91 hm³, mientras en el Sector 2 llega a los 5,56 hm³.

6.7. Beneficios Agrícolas Netos del Proyecto

6.7.1. Beneficios Económicos Directos

A partir de las margenes brutos por hectárea (unitarios) multiplicados por la estructura de cultivos de la superficie de riego y descontando los gastos indirectos generales considerados es posible obtener los margenes netos en la Situación Sin Proyecto y Con Proyecto. El beneficio económico neto que la construcción de las obras se obtiene de la sustracción entre los flujos de beneficios de la Situación Con Proyecto y Sin Proyecto. Este resultado se presenta en el Cuadro 6.7.1-1 a precios de mercado y precios sociales, para la alternativa de embalse de mayor volumen útil (15 hm³).

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

Año	Precios de Mercado					Precios Sociales				
	SSP	SCP Calidad Actual		SCP Calidad Mejorada		SSP	SCP Calidad Actual		SCP Calidad Mejorada	
	Margen Neto	Margen Neto	Flujo Neto	Margen Neto	Flujo Neto	Margen Neto	Margen Neto	Flujo Neto	Margen Neto	Flujo Neto
0	9.201.014	9.201.014	0	9.201.014	0	13.910.421	13.910.421	0	13.910.421	0
1	5.588.912	-14.132.260	-19.721.172	-43.026.171	-48.615.083	10.120.142	-7.510.077	-17.630.219	-29.787.582	-39.907.724
2	5.940.280	-2.674.134	-8.614.414	15.700.533	9.760.253	10.128.299	7.795.245	-2.333.054	35.389.535	25.261.236
3	6.397.803	15.854.894	9.457.091	19.775.226	13.377.423	10.064.434	30.359.067	20.294.633	54.405.959	44.341.525
4	6.994.384	12.777.464	5.783.080	99.390.075	92.395.691	10.152.769	36.639.416	26.486.647	145.643.360	135.490.590
5	15.093.362	62.574.140	47.480.778	133.575.384	118.482.022	18.047.284	93.816.612	75.769.328	198.334.937	180.287.653
6	15.128.126	107.385.845	92.257.718	206.568.787	191.440.661	18.055.763	142.203.135	124.147.372	294.518.301	276.462.538
7	15.128.126	125.751.582	110.623.456	297.162.443	282.034.317	18.055.763	164.061.162	146.005.399	413.296.013	395.240.250
8	15.128.126	137.873.718	122.745.592	444.743.356	429.615.230	18.055.763	179.675.588	161.619.825	581.537.537	563.481.774
9	15.128.126	167.670.198	152.542.072	564.937.000	549.808.873	18.055.763	209.472.068	191.416.305	715.526.997	697.471.234
10	15.128.126	171.048.372	155.920.245	646.818.293	631.690.166	18.055.763	212.934.117	194.878.354	804.301.468	786.245.705
11	13.372.300	171.048.372	157.676.071	677.221.158	663.848.857	16.299.937	212.934.117	196.634.180	841.597.510	825.297.573
12	15.128.126	169.359.285	154.231.158	747.063.505	731.935.379	18.055.763	211.203.092	193.147.329	911.449.319	893.393.556
13	15.128.126	167.670.198	152.542.072	753.219.227	738.091.100	18.055.763	209.472.068	191.416.305	917.586.118	899.530.355
14	6.030.601	240.831.198	234.800.597	753.775.566	747.744.965	8.958.238	282.633.068	273.674.830	918.151.918	909.193.680
15	1.842.114	236.208.550	234.366.436	719.637.029	717.794.915	4.769.750	278.094.295	273.324.544	884.013.381	879.243.631
16	15.128.126	198.412.047	183.283.921	753.775.566	738.647.439	18.055.763	240.297.792	222.242.029	918.151.918	900.096.155
17	11.311.157	19.243.894	7.932.737	878.193.032	866.881.875	14.238.794	61.087.702	46.848.908	1.042.578.846	1.028.340.052
18	11.769.123	-48.216.930	-59.986.053	679.187.258	667.418.134	14.696.760	-6.415.060	-21.111.820	843.554.149	828.857.389

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

Año	Precios de Mercado					Precios Sociales				
	SSP	SCP Calidad Actual		SCP Calidad Mejorada		SSP	SCP Calidad Actual		SCP Calidad Mejorada	
	Margen Neto	Margen Neto	Flujo Neto	Margen Neto	Flujo Neto	Margen Neto	Margen Neto	Flujo Neto	Margen Neto	Flujo Neto
19	12.192.760	71.520.252	59.327.493	616.733.220	604.540.461	15.120.396	113.322.122	98.201.726	781.109.573	765.989.176
20	12.873.295	244.209.372	231.336.077	877.636.693	864.763.398	15.800.932	286.095.117	270.294.185	1.042.013.046	1.026.212.114
21	2.025.060	240.129.411	238.104.351	785.083.342	783.058.282	4.952.696	282.015.156	277.062.460	949.459.694	944.506.998
22	10.771.485	242.520.285	231.748.800	836.612.305	825.840.821	13.699.121	284.364.092	270.664.971	1.000.998.119	987.298.998
23	7.803.284	240.831.198	233.027.914	784.259.957	776.456.674	10.730.920	282.633.068	271.902.148	948.626.849	937.895.928
24	15.128.126	240.831.198	225.703.072	803.314.028	788.185.902	18.055.763	282.633.068	264.577.305	967.690.381	949.634.618
25	15.128.126	244.209.372	229.081.245	763.287.182	748.159.056	18.055.763	286.095.117	268.039.354	927.663.534	909.607.771
26	11.154.337	244.209.372	233.055.035	739.221.228	728.066.891	14.081.973	286.095.117	272.013.144	903.597.580	889.515.607
27	15.128.126	242.520.285	227.392.158	713.337.578	698.209.452	18.055.763	284.364.092	266.308.329	877.723.392	859.667.629
28	11.115.869	240.831.198	229.715.329	756.999.815	745.883.946	14.043.506	282.633.068	268.589.562	921.366.706	907.323.200
29	4.674.654	240.113.124	235.438.470	696.498.950	691.824.296	7.602.291	281.914.994	274.312.703	860.875.303	853.273.012
30	14.957.532	244.209.372	229.251.840	837.609.847	822.652.315	17.885.169	286.095.117	268.209.948	1.001.986.199	984.101.031

Nota: Precios referidos a marzo de 2013.

Fuente: Elaboración propia.

6.7.2. Generación de Empleo Agrícola

Un aspecto importante a destacar es la generación de mano de obra agrícola en un escenario con proyecto versus la situación actual. En el Cuadro 6.7.2-1 se presenta un balance de la generación de empleo agrícola permanente y temporal entre la Situación Actual y la Situación Con Proyecto, evaluada para la alternativa de máximo volumen de embalse. En los cuadros señalados se destaca el crecimiento anual de 15,5% y 30,8% del empleo permanente masculino mensual para la calidad de agua actual y mejorada, respectivamente, presentándose una participación del género femenino sólo en las labores temporales.

CUADRO 6.7.2-1
GENERACIÓN DE EMPLEO AGRICOLA TOTAL ÀREA
CALIDAD DE AGUA ACTUAL Y MEJORADA – VOLUMEN ÚTIL 15 hm³

Tipo Jornada	SA	Calidad de Agua Actual				Calidad de Agua Mejorada			
		SCP	Variación			SCP	Variación		
			Nº	% Total	% Anual		Nº	% Total	% Anual
Jornadas Anuales Totales									
Masculinas	896	9.105	8.209	916,60	15,60	28.951	28.055	3132,50	24,30
Femeninas	153	2.187	2.035	1334,10	18,10	20.363	20.210	13252,60	35,80
Jornadas Anuales Permanentes									
Masculinas	43	2.862	2.819	6586,90	30,00	20.774	20.731	48436,90	47,20
Femeninas	0	0	0	-	-	14.096	14.096	-	-
Empleos Mensuales Permanentes									
Masculinos	1	10	9	900,00	15,50	73	72	7200,00	30,80

Femeninas	0	0	0	-	-	49	49	-	-
Jornadas Anuales Temporales									
Masculinas	853	6.243	5.390	632,00	13,20	8.177	7.324	858,70	15,20
Femeninas	153	2.187	2.035	1334,10	18,10	6.266	6.114	4009,10	26,10

Fuente: Elaboración propia.

7. MODELO DE SIMULACIÓN operacional embalse pintanane

7.1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El propósito del modelo de simulación es determinar el volumen útil necesario del embalse y otros parámetros relevantes, para regar la superficie definida, con seguridad de 85%, para cada uno de los tres escenarios a evaluar en el proyecto.

Además, como objetivos específicos se tiene:

- Determinar el volumen útil del embalse requerido en cada escenario futuro, para regar el área potencial de riego, con seguridad de riego de 85%.
- Calcular los promedios mensuales de altura de agua y caudal entregado por el embalse en la operación simulada, para determinar la energía hidroeléctrica posible de generar.
- Calcular la evaporación, con la mayor exactitud posible, dada su alta incidencia en relación a los bajos caudales de la cuenca.
- Analizar el impacto en las variaciones del volumen del embalse subterráneo en cada escenario.

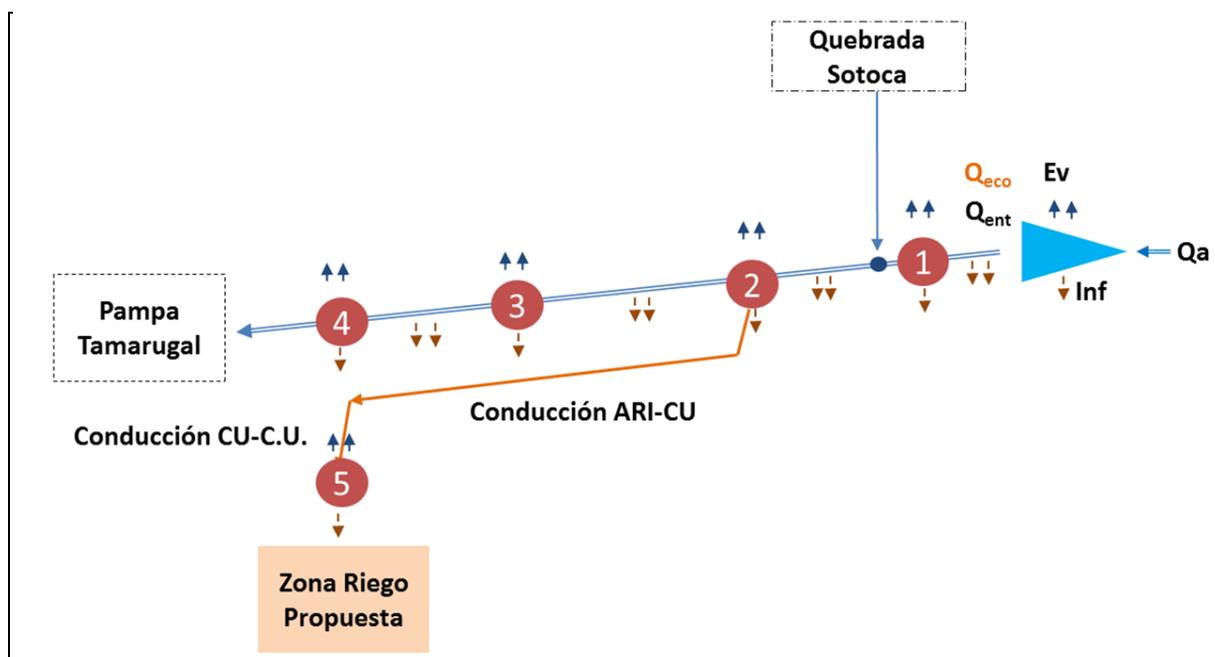
7.2. Alcances

La información básica utilizada corresponde a estudios realizados en esta misma Consultoría, como es el caso del estudio hidrológico (Estadísticas de caudales medios mensuales), estudio agronómico (Superficies y demandas de agua de riego de cada sector, etc.). Los balances de agua son de las aguas superficiales. El modelo se desarrolla mediante una planilla electrónica, la cual permite el ingreso de los datos, el cálculo de la simulación y la emisión de resultados, en forma simple. Los escenarios a analizar son los indicados en el acápite 6.

7.3. Descripción del Modelo

En la Figura 7.3-1 se muestra un esquema del modelo de simulación en el que se operaron los diferentes escenarios de calidad de agua y las distintas alternativas de ubicación de embalse.

FIGURA 7.3-1
ESQUEMA DEL MODELO DE SIMULACIÓN OPERACIONAL PINTANANE



Q_a : Caudal Afluente al Embalse (m^3/s); Ev : Evaporación desde el espejo del embalse (hm^3); Inf : Filtraciones desde el embalse (hm^3); Q_{eco} : Caudal Ecológico (m^3/s); Q_{ent} : Caudal de Entrega para las demandas de las zonas de riego (m^3/s)

Fuente: Elaboración propia.

En cada zona de riego se considera la infiltración debido a pérdidas de la práctica de riego y lixiviación. Cada Nodo representa un sector de Riego o Zona de Balance del Modelo según la siguiente definición:

- **Nodo 1:** Zona de Riego ubicada antes de la Quebrada Sotoca en la Quebrada de Aroma.
- **Nodo 2:** Zona de Riego ubicada aguas abajo de la Quebrada de Sotoca en la Quebrada de Aroma.
- **Nodo 3 y 4:** Zonas de balance de pérdidas y actual zona de toma del Canal "Cu-C.U.
- **Nodo 5:** Zona de Riego Propuesta en la pampa ubicada en el sector de Cerro Unitas a 9 Km de la localidad de Huara.

Las conducciones Ariqueña - Curaña (ARI-CU) y Curaña - Cerro Unitas (CU-C.U.) corresponden a las obras necesarias para transportar el agua desde la zona del Nodo 2 hasta la Zona de Riego propuesta en la Pampa (Nodo 5).

En el Cuadro 7.3-1 se incluye el resumen de los datos y parámetros del modelo de simulación, para los distintos escenarios y las distintas ubicaciones de embalse analizadas. En este escenario se realizaron las verificaciones de los parámetros del modelo (pérdidas, filtraciones, factores de reutilización, etc.), de modo que los valores adoptados reflejaran lo más fielmente posible la situación tanto observada en terreno como de estudios realizados cerca de la quebrada de Aroma.

CUADRO 7.3-1
DESCRIPCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE ENTRADA DEL MODELO

Parámetro	Descripción
Capacidad de regulación del embalse	Se ingresa la capacidad a simular que varía en cada corrida del modelo.
Alternativa de Ubicación de Embalse	Cada alternativa de embalse se debe ingresar como parámetro para evaluar la capacidad de almacenamiento que queda en función de las curvas de embalse de cada sitio.
Sub-escenario de Calidad	Se definieron dos sub-escenarios de calidad. Calidad Actual y Calidad Mejorada, en base a la que varían las demandas de riego según sea el tipo de calidad de agua con la que se dispone para el riego.
Eficiencia de conducción	La conducción de Riego considerada para llegar desde el Nodo 2 hasta la zona de riego de la Pampa se asocia a una eficiencia de riego alta, debido a que se considera en acueducto.
Tasas de Evaporación	Según la ubicación del embalse se estimaron las evaporaciones desde el espejo de agua del embalse considerando la variación mensual y la fuente de información de la CNR para proyectos de riego.
Curva de Embalse	Cada alternativa queda definida por una curva de embalse según la relación de Superficie vs Altura y Volumen vs Altura que está determinada por la capacidad de almacenar aguas arriba del muro de embalse.
Demandas Unitarias de Riego por sector	La Demanda Unitaria de Riego por Sector se estableció considerando los requerimientos del cultivo, el agua necesaria para lixiviar el suelo y un determinado factor de reutilización.
Filtración del embalse a cota máxima	Se consideró una filtración asociada al volumen de embalse, como una pérdida del almacenamiento.
Volumen Muerto del Embalse	Volumen para sedimentos del embalse.

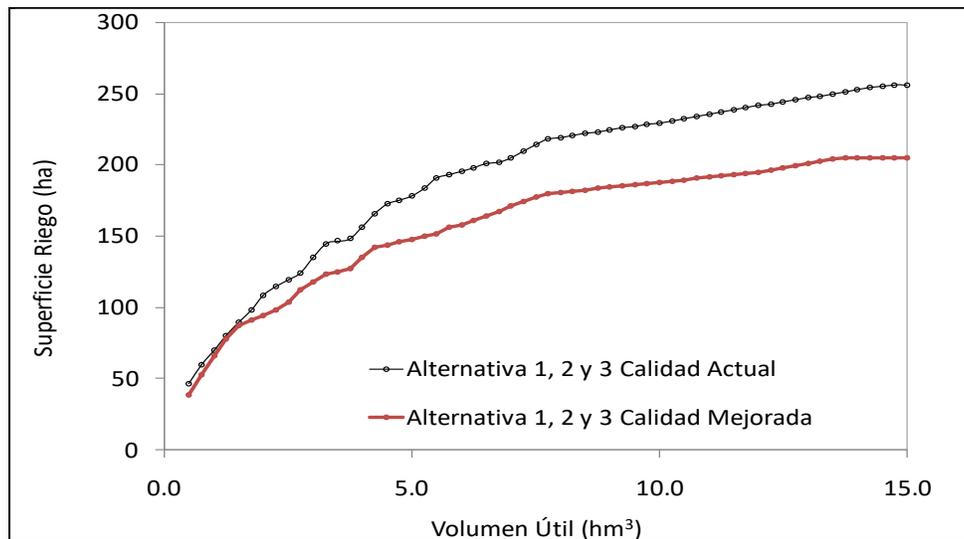
Fuente: Elaboración propia.

Para evaluar la situación con el proyecto de embalse de riego, se adoptaron las siguientes consideraciones:

- La superficie de riego potencial máxima a desarrollarse en la Quebrada de Aroma corresponde a 35 ha, mientras que la zona de expansión sólo puede darse en la zona de la Pampa. Por esta razón para evaluar los volúmenes de riego se considera el máximo de riego en la zona alta (35 ha) y el modelo aumenta las áreas en la zona de expansión de riego.
- Para cada Alternativa de embalse se evaluó la posibilidad de regar con la calidad de agua actual y mejorada, por lo que para cada alternativa se obtuvieron dos curvas de superficie versus volumen máximo.

De la modelación realizada se puede indicar que la superficie regada, considerando la calidad actual de agua, es mayor que la superficie que se puede regar con calidad mejorada (ver Figura 7.3-2), esto se debe principalmente a que al considerar la calidad actual existen derrames que permiten una mayor reutilización del recurso y por tanto una disminución en los requerimientos finales. A pesar de lo anterior, se debe tener en cuenta que el tipo de cultivo considerada en calidad mejorada es de mayor calidad y podría generar mayor rentabilidad, lo que compensaría esta menor cantidad de áreas regadas.

FIGURA 7.3-2
SUPERFICIE REGADA CON 85% DE SEGURIDAD



Fuente: Elaboración propia.

7.4. Resumen Y ANÁLISIS de Resultados

En el caso de las tres alternativas analizadas no existe variación relevante en cuanto a la capacidad de regulación o aumentos en las pérdidas por filtración o evaporación, por lo que la superficie regada versus volumen útil resulta ser la misma para las tres alternativas.

La máxima superficie regada en el caso de los escenarios de calidad analizados corresponde a 256 ha y 205 ha, asociadas a un embalse de volumen útil de 15 hm³, para calidad de agua actual y mejorada. En la curva de volumen útil versus superficie regada se observa un quiebre en 7,5 hm³, a partir del cual el aumento de superficie con seguridad del 85 % comienza a aumentar en forma marginal con respecto al aumento del volumen del embalse.

Se estima que la construcción del embalse podría disminuir la infiltración actual desde la quebrada de Aroma a la Pampa del Tamarugal de 300 l/s, que se estiman actualmente, a 217 l/s y 247 l/s considerando situación con calidad actual y mejorada respectivamente, para las alternativas de embalse de 15 hm³, que considera el caso que genera mayor cantidad de hectáreas de riego.

Respecto al análisis de disminución del caudal de infiltración hacia la pampa se estima que podría estar entre un 28% para situación de calidad actual y un 18% con situación mejorada. Es mayor en el caso de calidad actual debido a que los porcentajes de lixiviación (35% de la demanda) son menores que en la situación con calidad mejorada (54% de la demanda) y por ende es menor el caudal infiltrado hacia la pampa. Los porcentajes de lixiviación son los estimados a partir de las recomendaciones del estudio agronómico. Esto se debe a que en la situación de calidad actual el tratamiento de lavado del perfil del suelo que se realiza con el objetivo de remover sales y elementos tóxicos, como boro y arsénico, no genera resultados satisfactorios, por la cual en una situación sin mejoramiento de



calidad de agua el volumen utilizado para satisfacer la demanda de riego no contemplan un volumen para mejorar la calidad actual del suelo. Por el contrario, en una situación de calidad mejorada sí es factible implementar dichos tratamientos mejorando las características del perfil de suelo propiciando la incorporación de alternativas de cultivo más rentables en una Situación Con Proyecto generando volúmenes de lixiviación más altos.

El análisis de sensibilidad de porcentaje de infiltración en la pampa no mostró cambios relevantes y mantuvo los porcentajes de disminución en el caudal que se infiltra hacia la pampa. De este análisis se concluye que los cambios principales ocurren en los procesos en que se infiltra el recurso hacia la Pampa, ya que en situación sin proyecto el recurso se infiltra directamente desde el río y de las crecidas que llegan a la pampa, mientras que en la situación con proyecto al destinar volúmenes importantes para lavado de suelo ocurre un cambio en la forma de infiltrar el recurso. El grado de incertidumbre asociado a estos análisis se mantiene dentro de un rango importante, al igual que todos los estudios realizados anteriormente en los que se ha estimado la recarga desde la Quebrada de Aroma hacia la Pampa, es por ello que se recomienda a futuro analizar en detalle mediante un modelo adecuado que represente la dinámica de los flujos subterráneos en esta zona.



8. Diseños preliminares

8.1. presentación

Con el fin de determinar los costos asociados a cada escenario de proyecto, se realizaron los diseños simplificados de las siguientes obras:

- El Embalse y sus Obras Anexas
- Sistema de Conducción y Distribución
- Obras Complementarias
- Planta Mejoramiento de la Calidad del Agua

Todos los cálculos y diseños se realizaron sobre la superficie definida en los levantamientos topográficos.

8.2. capacidades de embalse

Se definieron cinco capacidades de embalse para obtener una curva de costo en cada uno de los sitios propuestos. Para definir el tamaño de cada una de las capacidades, se consideraron volúmenes útiles de 3 a 15 hm³ en intervalos de 3 en 3 y un volumen muerto de 6 hm³, con el fin de caracterizar la curva en todo el rango posible de almacenamiento. En el Cuadro 8.2-1 se resumen los volúmenes y cotas de umbral asociadas a los tamaños considerados para el análisis.

**CUADRO 8.2-1
RESUMEN DE VOLÚMENES Y COTAS ASOCIADAS**

Volumen Útil (hm ³)	Volumen Umbral (hm ³)	Cota Umbral		
		ALT1	ALT2	ALT3
3,0	9,0	1.962	1.959	1.958
6,0	12,0	1.966	1.963	1.962
9,0	15,0	1.969	1.967	1.966
12,0	18,0	1.972	1.970	1.969
15,0	21,0	1.975	1.973	1.972
Cota Fondo		1.919	1.910	1.905

Fuente: Elaboración propia

Dado que todas las alturas consideradas de muro son mayores a los 30 metros de alto la categoría del embalse es C. Dicha categoría está de acuerdo a los criterios descritos en el Manual de Obras Mayores de la DGA, que indican que un embalse es categoría C cuando su altura máxima de muro es igual o superior a 30 m, o bien de capacidad igual o superior a 60.000.000 m³.

8.3. *Diseño Estructural de la Presa*

8.3.1. Ancho Coronamiento

El ancho de la presa en el coronamiento se estimó con tres expresiones diferentes, la primera extraída de las publicaciones del Bureau of Reclamation, la segunda extraída de la norma española de grandes presas y una tercera expresión propuesta por los de los ingenieros Jorge Gálvez y Luis Vidal la cual se basa en las grandes presas existentes en Chile.

Combinando los resultados obtenidos de las expresiones anteriores, se ha adoptado conservadoramente por un ancho de coronamiento de 17,0 m (Capacidad mayor).

8.3.2. Cálculo de Estabilidad de la Presa

La inclinación de los taludes que constituirá el muro del embalse serán de $V : H = 1,0 : 2,0$ para el talud de aguas arriba y de aguas abajo.

El análisis de estabilidad de los taludes que constituyen el muro de la presa, con embalse vacío, se realizó con el programa de computación Slide. Respecto del análisis sísmico, se ha utilizado una metodología simplificada pseudo-estática, que introduce las cargas cíclicas como una fuerza inercial horizontal. En este proceso se determina la aceleración de fluencia, la que corresponde a la aceleración máxima para la cual el muro presenta un factor de seguridad igual a 1,0.

De los análisis realizados se concluye que los taludes adoptados para la presa, son adecuados desde el punto de vista estático y sísmico.

Respecto del caso del embalse lleno, el análisis de estabilidad efectuado entrega resultados mayores a los mostrados anteriormente, ya que al existir una pared impermeable y estar el embalse lleno, el agua actúa como una fuerza resistente, aumentando el F.S. del talud.

8.4. *Diseños hidráulicos de Obras de Evacuación de Crecidas*

Se definieron las dimensiones y características hidráulicas de cada una de las alternativas. En particular se obtuvieron:

- Diseños hidráulico de Obras de Evacuación de Crecidas
 - Revancha del Embalse proyectado
 - Canal Colector y Grada
 - Canal de Descarga
 - Rápido de Descarga
 - Disipador de Energía
- Diseño hidráulico de Obras Anexas
 - Obra de Captación y Entrega
 - Túnel de Desvío y Ataguía

8.4.1. Diseños Hidráulicos de Obras de Evacuación de Crecidas

En el Cuadro 8.4.1-1 se resumen los caudales de diseño y verificación de las obras, sus dimensiones y parámetros más relevantes. Para definir el caudal de diseño y verificación se utilizaron los criterios descritos en el Manual de Obras Mayores de la DGA.

**CUADRO 8.4.1-1
OBRAS Y PARÁMETROS RELEVANTES**

Obras y Caudales	Parámetro	Alternativas de sitio de Muro			
		ALT1 F*	ALT1 L**	ALT2	ALT3
Caudales	Qd = Caudal de Diseño (m ³ /s)	180			
	Qv = Caudal de Verificación (m ³ /s)	320			
Revancha del Embalse proyectado	Tipo Vertedero (Forma)	Ogee			
	Largo Vertedero (m)	20			
	Revancha por Carga, Qd (m)	2,40			
	Revancha por Asentamiento (m)	0,56	0,56	0,63	0,67
	Revancha por Oleaje (m)	1,3			
	Revancha seguridad (m)	1,00			
	Rt = Revancha Total (m)	5,3	5,3	5,3	5,4
	Rqv = Revancha por Carga, Qv (m)	3,44	3,47	3,47	3,42
	Revancha Adoptada Máx(Rt,Rqv) (m)	5,5			
Canal Colector	Largo (m)	-	20	20	20
	Pendiente (m/m)	-	0	0	0
	Ancho base Inicial (m)	-	5	5	5
	Ancho base Final (m)	-	6	5	5
	Taludes (H:V)	-	0,33	0,33	0,33
	Altura (m)	-	8,5	8,5	8,5
	Régimen de escurrimiento	Subcrítico			
Grada	Largo (m)	-	8,0	8,0	8,0
	Base (m)	-	5,0	5,0	5,0
	Altura "a" (m)	-	1,0	1,0	1,0
Canal de Descarga	Largo Max. (m)	30	100	215	125
	Base (m)	20	5	5	5
	Taludes (H:V)	-	1/3	1/3	1/3
	Pendiente (m/m)	0,002			
	Altura de escurrimiento máx (m), Qd	2,77	5,44	5,57	5,46
	Régimen de escurrimiento	Subcrítico			
Rápido de Descarga	Largo máx. (m)	220	180	130	160
	Altura máx. (m)	64	47	66	70
	Pendiente (m/m)	0,29	0,26	0,51	0,44
	Base (m)	20	10	10	10
	velocidad máx (m/s), Qd, n=0,011	23,8	25,6	31,1	31,0
Rápido de Descarga	Nº Froude al pie del rápido, Qd, n =0,011	12,4	9,7	13,1	13,0
	Altura de escurrimiento máx (m) = altura crítica	2,02	3,21	3,21	3,21
	Altura de escurrimiento mín (m), n =0,018	0,5	0,9	0,70	0,72
Disipador de Energía	Tipo de Disipador	Tanque Tipo III USBR			
	Largo (m)	28	45	45	45

CUADRO 8.4.1-1
OBRAS Y PARÁMETROS RELEVANTES

Obras y Caudales	Parámetro	Alternativas de sitio de Muro			
		ALT1 F*	ALT1 L**	ALT2	ALT3
	Base (m)	20	10	10	10
	Escalón (m)	5	8	9	9
	Altura conjugada, Qd (m)	6,4	9,3	10,4	10,4

Nota F*: Frontal; L**: Lateral

Fuente: Elaboración Propia

8.5. *Diseño Hidráulico de Obras Anexas*

A continuación se puntúan las obras anexas, necesarias para la construcción y funcionamiento del embalse:

- Obra de captación y Entrega: Tubería de acero entre los 300 y 400 mm de diámetro para volúmenes útiles entre los 3 y 15 hm³. El diseño considera una torre de toma con cota igual a la definida por el volumen muerto y una válvula de corta.
- Túnel de Desvío. Túnel de medio punto para permitir el paso de crecidas asociadas a un periodo de retorno de 20 años, (Q = 41 m³/s), proyectado por bajo del estribo más favorable.

8.6. *Diseño Simplificado de Obras de Conducción y Distribución*

Se propone el mejoramiento de la red de canales existentes en la zona alta de la quebrada, entre el sector de Pailca y el sector de Ariquilda. Para ello se ideó un sistema de turnos y se estimaron los caudales necesarios para satisfacer la demanda de riego.

Respecto a la zona de expansión agrícola propuesta en el sector de Cerro Unitas se propone el trazado de dos tuberías de 26 y 19,6 km. La primera entre el sector de Ariquilda y Curaña a la cual se le denomina conducción ARI-CU y la segunda entre Curaña y Cerro Unitas (Conducción CU-C.U.). La conducción ARI-CU capta las aguas inmediatamente aguas abajo del sector de riego de Ariquilda y las entregas al canal CU-C.U. A lo largo de su desarrollo cruza dos quebradas las cuales se atravesarían por medio de sifones denominados Sifón 1 y 2. La topografía disponible (modelo de elevación Google Earth) permite separar la conducción en 5 tramos caracterizados por su pendiente media.

Los diseños de los canales que conformarían la red de distribución del sector 1 de riego se resumen en el Cuadro 8.6-1.

CUADRO 8.6-1
RESUMEN RESULTADOS CANALES SECTOR 1 DE RIEGO

Canal	Caudal de Diseño (L/s)	Pendiente promedio	Altura normal prom (m)	Ancho máx. canal (m)	Ancho mín. canal (m)	Altura máx. canal (m)	Altura mín. canal (m)	Velocidad máx. (m/s)
Pailca	60	0,015	0,17	0,30	0,30	0,40	0,30	1,33

CUADRO 8.6-1
RESUMEN RESULTADOS CANALES SECTOR 1 DE RIEGO

Canal	Caudal de Diseño (L/s)	Pendiente promedio	Altura normal prom (m)	Ancho máx. canal (m)	Ancho mín. canal (m)	Altura máx. canal (m)	Altura mín. canal (m)	Velocidad máx. (m/s)
Cala Cala 1	60	0,013	0,22	0,40	0,30	0,40	0,20	1,00
Cala Cala 2	60	0,026	0,16	0,40	0,30	0,40	0,20	1,49
Ariquilda 1	70	0,004	0,29	0,40	0,30	0,50	0,30	0,78
Ariquilda 3	72	0,023	0,20	0,30	0,30	0,40	0,30	1,25
Ariquilda 4	60	0,020	0,15	0,30	0,30	0,40	0,20	1,50

Fuente: Elaboración Propia

De los cálculos obtenidos se puede concluir que la conducciones en presión presentan dimensiones menores que se reflejarían en los costos de la obra, sin embargo, una tubería en presión conlleva mayores gastos en la gestión y operación de la conducción, obligando a capacitar personal lo que aumenta los gastos.

Por otra parte los canales deben ser inspeccionados al menos una vez al año debido a lo expuestos que se están a animales y derrames de sedimentos entre otros. Por esta razón se propone que las conducciones se proyecten en acueducto.

CUADRO 8.6-2
DIMENSIONES CONDUCCIÓN ARIQUILDA - CURAÑA ACUEDUCTO

Volumen Umbral (hm ³)	Diámetro cond. Cal. Actual - Todas las ALT						
	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5	Sifón 1	Sifón 2
9,0	560	560	355	450	355	599	338
12,0	630	630	450	560	450	633	428
15,0	710	710	450	560	450	675	475
18,0	710	710	500	630	500	761	475
21,0	710	710	500	630	500	761	475
Volumen Umbral (hm ³)	Diámetro cond. Cal. Mejorada - Todas las ALT						
	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5	Sifón 1	Sifón 2
9,0	560	560	355	450	355	599	338
12,0	630	630	400	500	400	599	380
15,0	630	630	450	560	450	633	428
18,0	710	710	450	560	450	675	428
21,0	710	710	450	560	450	675	475

Fuente: Elaboración propia

Los diámetros obtenidos para la conducción ARI-CU trabajando como acueducto se presentan en el Cuadro 8.6-2. En él se aprecia que los tramos 1 y 2 necesitan diámetros mayores debido a la baja pendiente existente en terreno. Lo mismo sucede con el sifón 1, pero esta vez, la razón de su gran diámetro corresponde a la poca diferencia de cota entre su entrada y salida.

Los diámetros obtenidos para la conducción ARI-CU trabajando como acueducto se presentan en el Cuadro 8.6-3.

CUADRO 8.6-3
DIMENSIONES CONDUCCIÓN CURAÑA-CERRO UNITAS ACUEDUCTO

Volumen Umbral (hm ³)	D cond. Cal. Actual	D cond. Cal. Mejorada - Todas las ALT
9,0	450	450
12,0	560	500
15,0	560	560
18,0	630	560
21,0	630	560

Fuente: Elaboración propia

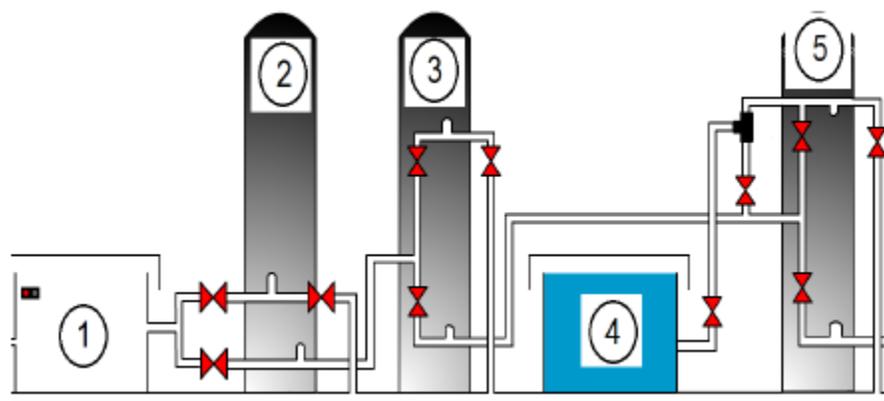
8.7. *Planta Mejoramiento de la Calidad del Agua*

Se consideraron los siguientes lineamientos para el diseño de un sistema para el tratamiento del agua para ser usada para riego:

- el objetivo del tratamiento no es el tradicional, que es obtener agua de calidad potable, sino obtener agua con contenidos de salinidad menores a 2.100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, por seguridad no pasar de 2.000 $100 \mu\text{S}/\text{cm}$. Tal como se indicó en el volumen agronómico, al disponerse con agua de esta nueva calidad los rendimientos de los cultivos aumentan, aumentando el ingreso agropecuario.
- De acuerdo a las condiciones de la zona y los métodos disponibles, los métodos más apropiados de tratamiento son el de tipo solar, por destilación, y la osmosis inversa, o algún tipo de filtración avanzada.

Para el presente estudio se propone como método de tratamiento la osmosis inversa, con una configuración similar a la indicada en el esquema (ver Figura 8.7-1). En esta figura se distinguen 5 elementos sucesivos: (1) tanque de almacenamiento, (2) filtro de arena, (3) filtro de carbón activado, (4) salmuera), y (5) suavizador.

FIGURA 8.7-1
ESQUEMA ELEMENTOS DE PRE-TRATAMIENTO



Fuente: Diseño de Planta de Tratamiento de Agua de Osmosis Inversa para la Empresa Dober Osmotech de Colombia Ltda. José Alberto Moreno Benavides (2011)

8.8. *Diseño obras complementarias*

La construcción del embalse obligaría a modificar los trazados de los caminos presentes en el área de inundación y a construir caminos de acceso para la construcción del muro.

8.9. *ANTEPROYECTO SISTEMA DE control DE CAUDALES*

La incorporación de un embalse regulador, en la cuenca de la quebrada de Aroma, obliga a que existan cambios que permitan el buen funcionamiento en el sistema de riego.

Entre los cambios más importantes se tiene la inclusión de un sistema de control que regule el caudal entregado a cada canal del valle.

Dadas las condiciones del valle se propone que el manejo y operación de los canales sea realizado y regulado por una red de aforadores y la instalación de un sistema de telemetría. Para ello se propone un sistema de control en base a una estructura simple de construir y operar, como es el caso de la compuerta plana en donde el caudal se controla en función de la abertura de la compuerta. Aguas abajo de esta obra se construirá el sistema de aforo que complementa el manejo de la compuerta.

Los puntos de control se ubicarán al inicio de cada canal considerado en el estudio y se realizará mediante una obra tipo que se indica en el acápite de siguiente. Estas permitirán aforar el caudal entregado a cada canal. Además, se proyecta una estación de medición en el río.

El aforador de la estación de control, y de la bocatoma de la conducción ARI-CU, serán de sección rectangular en hormigón armado, ya que esta estructura deberá soportar grandes caudales de crecidas. Los aforadores de los canales de riego son proyectados con una barrera y una sección triangular, ya que se ha demostrado que estos aforadores funcionan mejor para caudales pequeños.

Para poder realizar este diseño será necesario tener en consideración lo siguiente:

- No existe una señal de 3G de celulares en toda la zona de riego, será necesario considerar una conexión por radio VHF a un concentrador.
- Debido a la sequedad del terreno (aire seco) la conexión de estas radiofrecuencias disminuye notablemente, es por esto que se necesitará una antena repetidora que retransmita los datos a otro servidor que tenga acceso a red 3G.
- El medidor ultrasónico se conectará a un computador que por medio del transmisor VHF se conectará a la antena repetidora.
- Debido a que los canales se encuentran en zonas donde no existen cables de electricidad se contará con la energía solar para el funcionamiento de los componentes eléctricos mediante paneles solares y baterías de ciclo profundo.
- La antena repetidora debe ser instalada en una zona de gran altura, de otro modo no podrá operar como corresponde y esta no re-transmitirá los datos.
- El sistema debe ser protegido completamente anti-robos, ya que existe un fuerte incremento en el robo de estos aparatos en Chile.

9. ALTERNATIVAS DE NEGOCIO DE HIDROGENERACIÓN

El análisis se hizo considerando una Mini Central Hidroeléctrica (MCH) al pie de la presa, ya que a priori se estima que la construcción de una central aguas abajo del embalse encarece el proyecto en demasía. Otro punto que se debe hacer notar es que para cada ubicación de embalse, se analizó únicamente la MCH asociada al embalse de mayor tamaño, ya que es el que puede generar mayor hidroelectricidad.

Es importante indicar que en primer lugar se determina el tipo de turbina más apropiado y la potencia instalada posible. Posteriormente se analiza la generación bajo dos escenarios:

- Generación para riego: Se genera supeditado a las entregas requeridas para el riego.
- Generación para Energía: Se opera el embalse, de modo que entregue energía en la forma más pareja posible, sin importar los requerimientos para el riego.

La energía que se podría generar bajo los dos escenarios no supera, en todo los casos los 250 kWh, siendo la de menor generación el sitio ALT1. Los resultados obtenidos de la evaluación de la instalación de la MCH, indican que el proyecto hidroeléctrico no es rentable, por lo que no corresponde analizar su modelo de negocios.

Un uso alternativo de la energía es el tratamiento de las aguas disponibles para riego. Por ejemplo, si se considera un sistema de osmosis inversa, en la actualidad se requieren entre 2 y 3 kWh/m³. Por otra parte, de acuerdo al modelo de simulación, en promedio sólo puede tratarse un 3,7 % del agua de riego, ya que la energía generable por la MCH no es suficiente. Esto hace necesario que para la operación de la planta de osmosis inversa descrita en el Acápito 8.7 no se pueda usar energía hidroeléctrica, y sea necesario usar energía generada con combustibles fósiles.

10. presupuestos

10.1. Costos Totales de Alternativas de Proyecto

Se presenta un resumen de los costos totales del embalse analizados para el escenario 2 de proyecto, considerando en primer lugar una calidad de agua sin tratamiento y una calidad de agua mejorada. Los presupuestos incluyen la construcción del muro y obras anexas, mejoramiento y construcción del sistema de distribución, construcción de accesos y variantes de camino, sistema de aforo remoto y tratamiento de agua para su uso agrícola en el caso que corresponde. Se utilizó la UF 1 Enero de 2014: \$ 23.312,57.

CUADRO 10.1-1

RESUMEN DE COSTOS POR CAPACIDAD DE EMBALSE CALIDAD DE AGUA ACTUAL

TOTAL NETO; INCLUYE GG, UTILIDADES Y CONTINGENCIAS (45%)

DESCRIPCIÓN	Volumen Útil (hm ³)				
	3,0	6,0	9,0	12,0	15,0
Precio de Mercado					
ALT1	25.180.911.474	29.972.139.019	31.912.881.780	34.309.110.333	37.872.531.125
ALT2	27.378.247.182	32.591.668.349	37.114.889.803	41.389.722.088	43.246.403.231
ALT3	29.318.862.376	33.052.212.666	34.950.929.813	39.175.704.221	41.794.523.026
Precios Sociales					
ALT1	24.285.384.545	28.915.575.606	30.957.549.497	33.410.953.517	36.877.811.701
ALT2	26.325.499.575	31.439.260.214	35.844.554.365	40.054.114.347	41.929.761.480
ALT3	28.072.094.444	31.842.999.078	33.705.410.503	37.907.930.207	40.497.819.085

Nota: UF 1 Ene 2014: \$ 23.312,57

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 10.1-2

RESUMEN DE COSTOS POR CAPACIDAD DE EMBALSE CALIDAD DE AGUA MEJORADA ; TOTAL NETO; INCLUYE GG, UTILIDADES Y CONTINGENCIAS (45%)

DESCRIPCIÓN	Volumen Útil (hm ³)				
	3,0	6,0	9,0	12,0	15,0
Precio de Mercado					
ALT1	40.558.362.012	49.731.357.498	54.791.825.948	58.367.145.268	63.163.767.364
ALT2	42.755.697.719	52.350.886.828	59.993.833.972	65.447.757.023	68.537.639.470
ALT3	44.696.312.913	52.811.431.145	57.829.873.982	63.233.739.156	67.085.759.264
Precios Sociales					
ALT1	39.664.179.947	48.676.138.949	53.837.838.530	57.470.333.317	62.170.392.804
ALT2	41.704.294.977	51.199.823.557	58.724.843.398	64.113.494.147	67.222.342.583

ALT3	43.450.889.846	51.603.562.421	56.585.699.536	61.967.310.007	65.790.400.188
------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------

Nota: UF 1 Ene 2014: \$ 23.312,57

Fuente: Elaboración propia.

10.2. análisis de los costos

En promedio los costos del escenario con calidad de agua mejorada son un 68%, 60% y 61% más elevados que los costos del escenario con calidad actual tanto para precios de mercado como para precios sociales (Sitios ALT1, ALT2 y ALT3 respectivamente), dicho incremento es consecuencia del costo por tratar el agua con la planta de Osmosis Inversa.

El sitio más económico es el ALT1 para todo el rango de volúmenes analizados, lo sigue el sitio ALT3, con excepción de volúmenes útiles menores a los 6 hm³, y resulta más costoso el sitio ALT2.

Se calcularon además indicadores “Costo Total por Volumen de Relleno (Cvr)”, “Costo Total por Volumen Embalsado (Cve)” y “Costo Total por Hectáreas Regadas con 85% de Seguridad (Chr)”. En los Cuadro 10.2-1 y 10.2-2 se presentan los promedios obtenidos de dichos índices en cada una de las alternativas de muro, tanto para precios de mercado como sociales. Además, se calcularon los índices considerando una calidad de agua sin tratamiento y una calidad de agua tratada. De dichos cuadros se desprende lo siguiente:

- El valor de Cvr y Cve se mantiene prácticamente constante para una calidad de agua sin tratamiento y se observa una pequeña variación de Cvr en el caso de la calidad de agua mejorada.
- Se observa que el metro cúbico de agua (Cve) más económico corresponde siempre al sitio ALT1 con un precio promedio bajo los 2.300 \$/m³ (2.200 \$/m³ para precios sociales) sin una mejora de la calidad de agua y bajo los 3.800 \$/m³ (3.700 \$/m³ para precios sociales) si se considera el tratamiento de las aguas. La ALT2 posee siempre los valores promedio más altos.
- Respecto a Chr, el costo promedio por hectárea beneficiada de la ALT1 es alrededor de un 13% más bajo (8% calidad mejorada) con respecto al resto de las alternativas.

CUADRO 10.2-1
INDICADORES PROMEDIO PRECIOS DE MERCADO

Indicadores Promedio	Calidad de Agua Actual			Calidad de Agua Mejorada		
	Costo Total por			Costo Total por		
	m3 de Relleno	m3 Embalsado	ha Regado 85% Seg.	m3 de Relleno	m3 Embalsado	ha Regado 85% Seg.
ALT1	41.439	2.227	154.343.914	69.189	3.711	312.688.831
ALT2	41.751	2.518	174.970.927	66.382	4.002	337.880.121
ALT3	41.277	2.502	173.419.174	65.977	3.986	335.722.505

Nota: Seg. = Seguridad

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 10.2-2
ÍNDICES PROMEDIO PRECIOS SOCIALES

Indicadores Promedio	Calidad de Agua Actual			Calidad de Agua Mejorada		
	Costo Total por			Costo Total por		
	m3 de Relleno	m3 Embalsado	ha Regado 85% Seg.	m3 de Relleno	m3 Embalsado	ha Regado 85% Seg.
ALT1	40.159	2.157	149.566.142	67.910	3.641	306.911.994
ALT2	40.319	2.431	168.968.047	64.952	3.916	330.610.733
ALT3	39.795	2.411	167.164.859	64.497	3.895	328.167.774

Nota: Seg. = Seguridad
Fuente: Elaboración propia

11. ANÁLISIS de Efecto Regulador de crecidas del embalse

11.1. Introducción

Tal como se indica en los TR, la Ley 20304 "Sobre Operación de Embalses Frente a Alertas y Emergencias de Crecidas y Otras Medidas", define como embalse de control, a todo embalse que contribuya a la regulación de las crecidas, declarado como tal por la Dirección General de Aguas. Para calificarlo como de control, la DGA deberá considerar, entre otras características, el volumen de regulación del respectivo embalse y la localización de éste respecto de la cuenca hidrográfica, y que aquél permita regular las crecidas de los caudales de agua, con el objetivo de evitar o mitigar las situaciones de peligro para la vida, la salud o los bienes de la población.

Por lo anterior, se evaluó la pertinencia de considerar este embalse como un embalse de control, para lo cual se analizará la capacidad de mitigación de las crecidas. Esto se hizo analizando la capacidad de regulación del embalse estudiado, la cercanía a lugares habitados y la vulnerabilidad de los sectores aguas abajo del embalse, tal que permita, durante las crecidas, evitar o mitigar los riesgos para la vida, la salud o los bienes públicos y privados.

11.2. Daño evitado

El efecto regulador del embalse provocará que el cauce ubicado aguas abajo reciba un caudal menor, y por lo tanto los daños producidos para diferentes períodos de retorno serán menores. Esto ocurrirá aún cuando el embalse se encuentre lleno al momento de venir la crecida. Indudablemente, si el embalse no se encuentra lleno, porque las aguas para riego fueron ya entregadas, o porque se dispone de una capacidad adicional a la de riego, para recibir y controlar crecidas, el efecto reductor será mayor.

El daño evitado corresponde al daño anual esperado, y se calcula matemáticamente, elaborando en primer lugar una curva de daños vs caudales, que se aplica a los escenarios sin proyecto y con proyecto. Ello requiere de procesar el eje hidráulico para diferentes períodos de retorno, especialmente desde 2 años hasta 100 o 200 años, y evaluar las

superficies inundadas y los daños que se pueden producir sobre esa base y otra información de daños históricos ocurridos. Los daños deben cubrir todo el espectro posible, incluyéndose daños directos y daños indirectos.

11.3. *análisis del efecto regulador*

Luego del análisis y los resultados obtenidos referentes al efecto regulador del embalse se puede indicar lo siguiente:

- El efecto regulador es mínimo cuando la capacidad del embalse es igual a un volumen útil de 3 hm³.
- El embalse permite atenuar la duración de la crecida en gran medida para periodos de retorno menores o iguales a T=50 y en ocasiones amortiguarla por completo. Sin embargo, se mantiene el caudal peak.
- Para periodos de T=100 y T=200 años no se percibe el efecto de regulación del embalse.

11.4. *Comentarios y Conclusiones del control de crecidas*

El caso del embalse Pintanane no presentaría daños correspondientes a una gran cantidad de los ítems posibles, dada su ubicación en una cuenca desértica, prácticamente no habitada, sin mayor infraestructura, y en cuyo valle ya se perdieron los principales terrenos agrícolas a causa de anteriores crecidas. En consecuencia, se considera que no es un caso muy atractivo para invertir en control de crecidas.

La quebrada de Aroma ha presentado situaciones históricas de eventos de crecidas que han ocasionado daños significativos, pero cuyo carácter de irreversibles en términos prácticos, ya no pueden ser considerados para futuras evaluaciones. Esto se refiere a la gran cantidad de suelos agrícolas del valle de la quebrada de Aroma, erosionados y arrastrados, que hoy en día su recuperación tiene un costo inviable. Además, si bien las mayores crecidas produjeron daños en las instalaciones militares, hoy en día ya se han construido las obras de defensa necesarias para protegerse de futuras crecidas de magnitudes al menos como las ya ocurridas.

La información existente es bastante precaria y no se dispone de los elementos ni información suficiente para elaborar ejes hidráulicos y calcular superficies inundadas, etc. No obstante, siempre es posible efectuar una primera estimación, de baja precisión en todo caso, de los daños que podrían ocurrir ante diferentes magnitudes de crecidas.

El daño matemáticamente esperado en situación actual es la cantidad de \$6.382.044 al año, y en la situación con proyecto es de \$2.606.975 al año. O sea, el daño anual evitado por el proyecto alcanza la cantidad de \$3.775.069 al año.

Si la cifra anterior se lleva a un cuadro de evaluación económica, con una tasa de descuento social de 6%, suponiendo la inversión en la presa en el año 3 (los dos primeros años se construye la presa de riego y en el año 3 se concluye con la mayor capacidad para control de crecidas), el valor actualizado del beneficio de la obra (serie anual a partir del año 4 por 30 años), es de \$41.872.388.

La cifra anterior debería ser como máximo el valor actualizado de la inversión en el embalse para que el proyecto resulte rentable, lo que es imposible de lograr, por mucho que se afinen las cifras de daños. Queda así demostrado, que el uso adicional del embalse para control de crecidas no es conveniente en el valle de la quebrada de Aroma.

12. interferencias

La interferencia que se debe considerar para los sitios de embalse seleccionados es la reposición de la ruta A-459, en el tramo que se verá afectado por el área de inundación del embalse.

Debido a que el área de inundación del embalse afectaría parte de la ruta regional primaria A-459 existente que permite el acceso a la localidad de Aroma entre otras, se realizó un trazado alternativo a una cota mayor que la de inundación,. Las longitudes de los caminos proyectados para cada tamaño de embalse analizado se indican en el Cuadro 12.1-1. Cabe destacar que para volúmenes útiles de 3 hm³ los sitios ALT2 y ALT3 no presentan interferencias, ya que la zona de inundación queda por debajo de la ruta A-459.

Los diseños geométricos están calculados para una velocidad de diseño de 30 km/h restringida por curvas y pendientes muy altas. Las rasantes se han proyectado teniendo presente, tanto el espacio de la faja existente en algunos tramos, así como el ancho de calzada existente en el camino afectado. Con estos datos se proyectaron los caminos con un ancho de calzada de 5,0 m y taludes de corte y terraplén de 1/1.

**CUADRO 12-1
LONGITUD VARIANTE DE CAMINO**

Sitio Alternativo de Muro	Volumen Útil (hm ³)				
	3,0	6,0	9,0	12,0	15,0
ALT1	563	1.563	1.975	2.167	2.378
ALT2	0	967	1.689	2.100	2.345
ALT3	0	547	1.688	1.971	2.094

Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro 12-2 se presentan los costos directos asociados a la variante de camino necesaria para mantener la conectividad de los poblados y sectores ubicados aguas arriba de los sitios alternativos de embalse.

**CUADRO 12-2
DETALLE DE COSTOS DIRECTOS CONSTRUCCIÓN
VARIANTE DE CAMINO**

Descripción	Volumen Útil (hm ³)				
	3,0	6,0	9,0	12,0	15,0
ALT1	161.385.129	440.577.188	559.804.316	613.409.192	672.318.716
ALT2	0	274.178.721	479.955.388	594.703.324	663.105.378
ALT3	0	156.918.056	479.676.195	558.687.548	593.028.171

Nota: Moneda del 1 de Abril 2012 (UF = 22.536,41; Dólar = U\$ 487,44)

Fuente: Elaboración propia

13. expropiaciones

La superficie a expropiar corresponde a la superficie inundada por el embalse más la superficie ocupada por las obras anexas. Para ello se realizó una medición de la superficie a expropiar que se muestra en el Cuadro 13-1.

El lugar en que se encuentra en el sitio del embalse propuesto, en un escenario de máxima capacidad corresponde a Bienes Nacionales para las 3 alternativas estudiadas.

Para efectuarse la obra de conducción se sugiere la instalación de un camino de inspección aledaño a la conducción, por lo que se estima un ancho de 5 m.

Se realizó una revisión de los libros de propiedad en el CBR de Pozo Almonte, donde no se registran compraventas en el valle de Aroma. El valor de la tierra se estimó a partir de antecedentes recopilados desde la misma fuente para el pueblo de Tarapacá (comuna de Huara), estimándose un valor por hectárea - actualizado al 1 de Enero de 2014 - de \$2.700.000.

CUADRO 13-1
PROPIEDADES AFECTAS A EXPROPIACIÓN

LOTEO	Nº Rol de Avalúo Según SII	Nombre del Propietario Según SII	Nombre Propietario Aparente	Comuna	Dirección o Nombre de la Propiedad	Superficie Total Expropiación (ha)	Observación
1	SIN ROL	B.N.U.P	BIENES NACIONALES	HUARA	PINTANANE	138,29	MURO ALTERNATIVA 1
2	SIN ROL	B.N.U.P	BIENES NACIONALES	HUARA	PINTANANE	125,80	MURO ALTERNATIVA 2
3	SIN ROL	B.N.U.P	BIENES NACIONALES	HUARA	PINTANANE	128,71	MURO ALTERNATIVA 3
4	SIN ROL	B.N.U.P	BIENES NACIONALES	HUARA	ARIQUILDA - CURAÑA	12,97	CAMINO Y OBRA DE CONDUCCIÓN
5	SIN ROL	B.N.U.P	BIENES NACIONALES	HUARA	CURAÑA - CERRO UNITAS	9,08	CAMINO Y OBRA DE CONDUCCIÓN

Fuente: Elaboración propia.

Según los antecedentes disponibles todas las tierras pertenecen al fisco, a pesar de ello, se considera la expropiación de unas eras sin uso ubicadas en el sector de inundación (Misticsa) que en total suman 2,21 ha. En total el costo por las expropiaciones es de \$ 5.968.149.

14. estudio de análisis ambiental

Se analizó, a nivel de prefactibilidad y desde la perspectiva ambiental, los efectos o implicancias de las obras sobre el medio ambiente para las 3 Alternativas evaluadas en esta consultoría y para los 2 escenarios de calidad de agua posibles. Se incluyó análisis legal, descripción y evaluación de impactos potenciales preliminares, y la estimación de los costos ambientales asociados.

Respecto a lo anterior, es interesante mencionar que todas las alternativas analizadas tienen impactos ambientales similares, dada su cercanía física. El componente más afectado sería el de Hidrología, debido a la alteración del régimen de agua y sedimentos del cauce. En cuanto a impacto, le siguen los componentes de Biodiversidad, ya que existe un Parque Nacional perteneciente al SNASPE a menos de 1 km de las áreas de inundación consideradas; posteriormente Flora y Fauna acuática, por las implicancias que tiene para este componente el hecho de intervenir el cauce y dado que se hallaron especies con problemas de conservación. Por último, es importante destacar el impacto que podría sufrir el componente de Patrimonio arqueológico y cultural ya que en la zona de inundación y alrededores se encontraron vestigios que pudieran tener relevancia histórica y que es necesario investigar más profundamente.

Debe tenerse en cuenta que la evaluación acá efectuada es de carácter relativa, es decir, los valores obtenidos no son comparables con otros estudios de otros sectores ni con otro tipo de proyectos, por lo cual el presente análisis sólo permite dar relevancia a aquellos componentes que podrían verse más afectados y dirigir los esfuerzos a minimizar estos impactos mediante los planes de manejo ambiental. Cabe señalar que este estudio aborda de manera preliminar ciertas medidas de control ambiental (mitigación, restauración o compensación, según sea el caso) las cuales son detalladas a través de un plan de manejo ambiental, no obstante estas medidas deben ser re-evaluadas en etapas posteriores del proyecto (Factibilidad y Diseño).

El proyecto deberá someterse al SEIA como un Estudio de Impacto Ambiental (EIA), por cuanto el emplazamiento de las alternativa propuesta generaría impactos ambientales relevantes y que determinan el modo de ingreso como un EIA de acuerdo al Artículo 11 de la Ley 19.300, sus modificaciones (Ley 20.417) y sus especificaciones en el Artículo 6 (letras a y c) del Reglamento del SEIA.

Respecto de los costos estimados para las medidas ambientales, se ha considerado un monto preliminar que va desde 1.146 millones de pesos hasta 3.349 millones de pesos según la alternativa y escenario que se escoja. La diferencia en los valores mencionados se sustenta en la envergadura de la obra según la alternativa que se elija. Este valor se reparte en dos años y es considerado además dentro de la evaluación económica del proyecto.

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

Finalmente, en el caso de que se continúe con el ciclo del proyecto, se recomienda la realización de algunos estudios ambientales específicos como; un estudio sobre la funcionalidad ecológica del río, estrechamente vinculado con la determinación de un caudal ecológico; un estudio para la delimitación de los límites del Parque Nacional Volcán Isluga a una escala más detallada; la actualización de la línea base del medio biótico, profundización de la línea de base arqueológica, entre otros. El objetivo de lo anterior es afinar el conocimiento respecto de estos temas y aumentar así el nivel de claridad y seguridad al momento de evaluar el impacto ambiental correspondiente, con todo lo que esto involucra en términos de la toma de decisiones futuras, planificación y manejo.

15. evaluación económica

15.1. *Introducción*

Se realizó la evaluación económica del proyecto, considerándose los costos y los beneficios derivados de la construcción del embalse. El análisis incluyó el cálculo de los indicadores para diferentes alternativas de diseño y tamaño de embalse, para luego desarrollar un análisis de sensibilidad de los aspectos más relevantes de la evaluación. Las metodologías de análisis y cálculo utilizadas se desprenden de los siguientes documentos.

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

15.2. *tamaños de embalse a evaluar*

Para efectos de esta evaluación económica, se consideran las tres alternativas de ubicación estudiadas en el presente proyecto, con 5 tamaños posibles para cada una (3; 6; 9; 12 y 15 hm³ de volumen útil), tanto para su uso en riego, como también para su uso adicional para control de crecidas y generación hidroeléctrica. Los sitios corresponden a los siguientes:

- Alternativa Sitio 1: a unos 3,45 km aguas abajo de la confluencia entre la Quebrada de Aroma y la Quebrada de Sapte.
- Alternativa Sitio 2: a unos 3,9 km aguas abajo de la confluencia entre la Quebrada de Aroma y la Quebrada de Sapte
- Alternativa Sitio 3: a unos 4,1 km aguas abajo de la confluencia entre la Quebrada de Aroma y la Quebrada de Sapte

Además, dadas las condiciones de calidad de aguas imperantes en la zona, las cuales restringen en forma gravitante el desarrollo agropecuario futuro, se ha decidido evaluar un escenario en el cual se mantiene la calidad de aguas actual y otro con una inversión en obras y tratamiento para el mejoramiento de la calidad de aguas que permita incorporar cultivos más rentable al área de expansión agrícola.

A partir de los estos tamaños se calcularon los costos y beneficios asociados a las distintas alternativas en los escenarios de proyecto.

Los costos considerados en el análisis económico son los siguientes:

- Obras civiles para uso en el riego:

- Embalse de Riego, incluidos los costos de los caminos necesarios para la construcción y obras para abordar interferencias a través de variantes de caminos.
- Obras de conducción, que incluye la construcción de nuevos canales, incluida la red secundaria, la reparación o mejoramiento de otros, la construcción de los acueductos cerrados de conducción, y la construcción de los sistemas de aforo.
- Inversión adicional en obras de embalse si se considera un volumen adicional para control de crecidas.
- Inversión en equipos, e instalación de una mini central hidroeléctrica, incluidas las obras civiles correspondientes.
- Costos de operación y mantenimiento de las obras de embalse y conducción.
- Expropiaciones y servidumbres.
- Inversión y mantenimiento de una eventual planta de tratamiento de aguas, la que se considerará en una evaluación adicional del proyecto.
- Costos relacionados con medidas de mitigación, manejo, monitoreo y compensación ambiental.
- Costos de Capacitación, Asistencia Técnica y Transferencia Tecnológica en el uso y mantenimiento de las obras, período de explotación provisional.

Los beneficios considerados para la evaluación, los cuales pueden resumir en los siguientes ámbitos:

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

15.3. Resultados

Los resultados de la evaluación económica del embalse para su uso en regadío, se entregan en los Cuadro 15.3-1 y 15.3-2, para precios privados y sociales, respectivamente. En ambos cuadros, se entregan resultados sin y con mejoramiento de calidad de aguas.

Se observa, en primer lugar, que no hay alternativa alguna que resulte factible, ni siquiera cercanas a la factibilidad. Si se considera el mejoramiento de la calidad de aguas el

resultado es aún peor. El mejor sitio, dado por el VAN menos negativo, es el 1, es decir, la alternativa ubicada más al este. El tamaño óptimo entre los evaluados es 3,0 hm³ de volumen útil. No obstante, resulta evidente que, el mejor resultado se logra al no realizar el proyecto.

**CUADRO 15.3-1
RESULTADOS EVALUACIÓN A PRECIOS PRIVADOS**

Escenario	Alternativa Sitio	V Útil (hm ³)	VAN (MM \$)	IVAN	VAN/Sup (MM \$/ha)	n/k	TIR (%)	
Calidad de Aguas Actual	1	3,0	-25.246,7	-1,36	-186,9	0,013	-3,79%	
		6,0	-29.888,6	-1,36	-152,8	0,013	-3,65%	
		9,0	-31.800,7	-1,36	-141,7	0,013	-3,62%	
		12,0	-34.153,4	-1,36	-141,5	0,013	-3,62%	
		15,0	-37.774,6	-1,36	-147,4	0,013	-3,65%	
	2	3,0	-27.439,1	-1,37	-203,1	0,013	-3,83%	
		6,0	-32.497,1	-1,36	-166,1	0,013	-3,70%	
		9,0	-37.022,1	-1,36	-164,9	0,013	-3,71%	
		12,0	-41.307,1	-1,36	-171,1	0,013	-3,73%	
	3	3,0	-29.405,8	-1,37	-217,7	0,013	-3,86%	
		6,0	-32.958,6	-1,36	-168,5	0,013	-3,71%	
		9,0	-34.788,0	-1,36	-155,0	0,013	-3,67%	
		12,0	-39.024,6	-1,36	-161,7	0,013	-3,70%	
	Calidad de Aguas Mejorada	1	3,0	-50.431,0	-1,36	-428,1	0,010	-9,93%
			6,0	-62.902,9	-1,35	-397,9	0,010	-10,26%
9,0			-69.496,1	-1,35	-377,3	0,010	-10,41%	
12,0			-74.108,5	-1,35	-379,8	0,010	-10,33%	
15,0			-79.516,0	-1,35	-387,7	0,010	-10,13%	
2		3,0	-52.623,0	-1,36	-446,7	0,010	-9,63%	
		6,0	-65.511,4	-1,36	-414,4	0,010	-9,95%	
		9,0	-74.717,6	-1,35	-405,6	0,010	-9,87%	
		12,0	-81.262,2	-1,35	-416,5	0,010	-9,66%	
3		3,0	-54.589,8	-1,36	-463,4	0,010	-9,39%	
		6,0	-65.972,9	-1,36	-417,3	0,010	-9,90%	
		9,0	-72.483,4	-1,35	-393,5	0,010	-10,08%	
		12,0	-78.979,7	-1,35	-404,8	0,010	-9,85%	
			15,0	-83.413,5	-1,35	-406,7	0,010	-9,78%

Fuente: Elaboración propia.

En concordancia con lo anterior, para que el proyecto sea rentable tendría que provocarse una disminución conjunta de un 96,45% del costo de las obras, operación y ambientales para que el proyecto será rentable. Por otra parte los Ingresos agroeconómicos deberían incrementarse en casi 9 veces (772,92%) para lograr un VAN social positivo.

**CUADRO 15.3-2
RESULTADOS EVALUACIÓN A PRECIOS SOCIALES**

Escenario	Alternativa Sitio	V Útil (hm ³)	VAN (MM \$)	IVAN	VAN/Sup (MM \$/ha)	n/k	TIR (%)
Calidad de Aguas Actual	1	3,0	-24.151,5	-1,35	-178,8	0,065	-3,66%
		6,0	-28.411,3	-1,34	-145,3	0,066	-3,49%
		9,0	-30.330,9	-1,33	-135,1	0,068	-3,44%
		12,0	-32.708,0	-1,33	-135,5	0,068	-3,45%
		15,0	-36.220,2	-1,33	-141,4	0,067	-3,48%
	2	3,0	-26.218,6	-1,35	-194,1	0,065	-3,71%
		6,0	-30.960,9	-1,34	-158,3	0,066	-3,55%
		9,0	-35.313,2	-1,34	-157,3	0,066	-3,55%
		12,0	-39.528,5	-1,34	-163,7	0,066	-3,59%
		15,0	-41.373,8	-1,34	-161,5	0,066	-3,58%
	3	3,0	-28.021,2	-1,36	-207,4	0,065	-3,74%
		6,0	-31.372,7	-1,34	-160,4	0,066	-3,56%
		9,0	-33.072,8	-1,34	-147,3	0,067	-3,50%
		12,0	-37.281,5	-1,34	-154,4	0,066	-3,54%
		15,0	-39.873,1	-1,34	-155,6	0,066	-3,55%
Calidad de Aguas Mejorada	1	3,0	-57.902,8	-1,58	-491,5	0,044	-9,63%
		6,0	-72.717,5	-1,59	-459,9	0,043	-9,92%
		9,0	-80.772,5	-1,59	-438,5	0,043	-10,03%
		12,0	-86.145,1	-1,59	-441,5	0,043	-9,93%
		15,0	-92.055,5	-1,58	-448,8	0,044	-9,75%
	2	3,0	-59.969,8	-1,58	-509,1	0,045	-9,37%
		6,0	-75.267,0	-1,58	-476,1	0,044	-9,64%
		9,0	-85.754,9	-1,58	-465,6	0,044	-9,54%
		12,0	-92.965,6	-1,57	-476,5	0,045	-9,34%
		15,0	-97.209,1	-1,57	-474,0	0,045	-9,33%
	3	3,0	-61.772,3	-1,57	-524,4	0,045	-9,16%
		6,0	-75.678,9	-1,58	-478,7	0,044	-9,60%
		9,0	-83.514,4	-1,58	-453,4	0,044	-9,74%
		12,0	-90.718,5	-1,58	-465,0	0,044	-9,52%
		15,0	-95.708,4	-1,57	-466,6	0,045	-9,44%

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a los métodos alternativos de evaluación económica, en ambos casos los beneficios están muy por debajo del costo de las obras los que superan hasta en 80 veces el valor incremental generado. Por ejemplo, en la evaluación financiera, la capacidad y disposición de pago determinada es muy baja con respecto al total del valor anual a desembolsar por el costo del embalse (\$11.298.830/ha o \$14.328.730/ha, dependiendo si el interés por el pago diferido del proyecto es 2% o 4,5%, respectivamente), lo que trae como consecuencia que el subsidio propuesto sea, para todos los tipos de predios analizados, sobre el 98%, lo que es concordante con la no rentabilidad del proyecto.

La alternativa del sitio 1 con volumen útil de 12 hm³ y 15 hm³ sin considerar obras de tratamiento de la calidad de aguas son la que obtiene el mejor resultado con el método del valor incremental de la tierra y de las transacciones de derechos de aguas, respectivamente, pero tal como se dijo anteriormente, lejos de transformarse en un proyecto viable bajo esta perspectiva.

16. Participación Ciudadana

16.1. *Introducción*

El programa de participación ciudadana se enmarca dentro de los siguientes objetivos.

16.1.1. **Objetivos del Estudio**

Integrar a la comunidad, autoridades y servicios relacionados al desarrollo del proyecto, ya sea a través de consultas, talleres de trabajo u otras actividades que permitirán, por una parte, informarlos de los objetivos y avances del estudio, y por otra, recoger información, inquietudes, intereses y opiniones cuando sea técnica y económicamente factible”

16.1.2. **Objetivos Específicos**

- Contextualizar social y territorialmente el área de influencia del proyecto.
- Identificar y caracterizar a los actores relevantes, tanto comunitarios como institucionales.
- Difundir, a los actores relevantes identificados, los objetivos y avances del estudio.
- Conocer e incorporar, en la medida que sea técnica y económicamente viable, las opiniones, inquietudes, conocimientos y sugerencias de los actores sociales relevantes para el proyecto.
- Elaborar, a partir de las inquietudes ciudadanas, un plan de trabajo de Participación Ciudadana para desarrollar durante la etapa de construcción de las obras.

16.2. *Resultados*

Este Programa de Participación Ciudadana presenta los siguientes resultados.

16.2.1. **Descripción del Área del Proyecto**

Se realizó una descripción general de la zona y de los principales indicadores socioeconómicos; se realizó un diagnóstico del territorio, que corresponde a la contextualización social y territorial del área de estudio, abordando la caracterización de actores y organizaciones, sus relaciones y las problemáticas que afrontan.

Se identificaron distintos actores y organizaciones, realizando luego una caracterización de los actores relevantes, a través de la Matriz de Actores Relevantes. En ella se presenta cada actor identificado, una descripción, la posición frente al proyecto, el argumento, el grado de influencia y la relación entre distintos actores.

Los actores analizados son: Junta de Vecinos – Comunidad Indígena, ambas de Aroma; Asociación Indígena Valle Verde de Pachica; Coordinación Regional de Riego; Dirección de Obras Hidráulicas, DOH; Dirección General de Aguas, DGA; Ilustre Municipalidad de Huara; Programa PRODESAL, Convenio I. Municipalidad de Huara e INDAP; Corporación Nacional Indígena, CONADI; Gobernación Provincial del Tamarugal; Asociación Gremial de Pequeños Agricultores del Valle Quebrada de Tarapacá; Asociación Indígena Aymara Unión

Chacareros de Puchuldiza; SEREMI de Agricultura; Comisión de Fomento Productivo, Consejo Regional de Tarapacá.

16.2.2. Plan de Actividades de Participación Ciudadana

Las actividades del programa de participación ciudadana realizadas durante el desarrollo del Estudio fueron: contactos iniciales y reuniones; visitas a terreno; 15 entrevistas y tres reuniones ampliadas de participación ciudadana, las que se realizaron en distintos momentos del estudio.

Durante estas actividades las principales inquietudes planteadas fueron: la relación del proyecto con las aguas subterráneas, si en un futuro se cobrará por el agua, sobre las expropiaciones y el área donde se realizará el proyecto de expansión, la preocupación y suspicacia en torno a los proyectos mineros en relación con el embalse, el financiamiento de este tipo de obras y la incorporación de estándares del Convenio 169 de la OIT, la solicitud de incorporar un sitio en el análisis de los sitios, consultas sobre la rentabilidad del proyecto, sobre la posibilidad de visitar algún tranque construido, la calidad del agua en relación con la agricultura y la influencia del atajo de las aguas en la zona de Bajo Soga y la Pampa del Tamarugal.

16.2.3. Componente de Género

Se realizó un análisis de género de los datos obtenidos en la encuesta agropecuaria implementada en el estudio agroeconómico, específicamente sobre el acceso a la propiedad de la tierra y la mano de obra. De la información obtenida del análisis de las encuestas es posible constatar que la propiedad de la tierra es mayoritariamente masculina, tanto en tenencia de la tierra como en superficie, así como la mayor parte de los trabajadores permanentes son hombres del grupo familiar; en cuanto a las jornadas temporales, las jornadas familiares son realizadas en partes iguales por hombres y mujeres, asimismo las jornadas de trabajadores externos son realizadas solo por hombres.

Los datos analizados sobre temas de género dejan ver una alta presencia de desigualdades de género, la mujer queda relegada a un plano secundario principalmente en el ámbito productivo y en el acceso a la tierra. Al analizar los posibles factores que podrían generar problemas o conflictos en términos de género producto del desarrollo del proyecto, el obstaculizador predominante corresponde a la barreras de entrada que deben sortear las mujeres para acceder a mejores trabajos y a cargos dirigenciales en organizaciones del agro, lo que puede limitar la incorporación de temas de género en las proyecciones que se realizan del área, y con ellos aumentar las brechas existentes en el país, que son discordantes a la realidad internacional, donde el rol de la mujer ha ganado espacios de importancia.

16.3. Evaluación del Proceso de Participación Ciudadana

El proceso de participación ciudadana se ha llevado a cabo en una secuencia lógica de actividades concatenadas entre si, lo que ha permitido el cumplimiento de los objetivos planteados.

En cada una de las instancias de participación, se logró generar espacios de retroalimentación posteriores a la entrega de información en los que los/as participantes pudieron dar a conocer sus inquietudes, observaciones y comentarios en general.

Se han identificado facilitadores y obstaculizadores del proceso, dentro de lo que destaca la elección del “portero” quien ha presentado una actitud constructiva y colaborativa, facilitando la implementación de actividades relacionadas con el estudio. En cambio los elementos obstaculizadores tienen que ver con un desconocimiento de la quebrada de Aroma, la dispersión de los potenciales beneficiarios y afectados por el proyecto y la desconfianza de la comunidad hacia algunas instituciones públicas, debido a la suspicacia que existe en torno a la actividad minera, la asignación de recursos hídricos, la escasez del recurso y la posibilidad que este proyecto está ocultamente dirigido a algún proyecto minero.

16.4. Consideraciones Mínimas para Etapas Futuras

A pesar que este proyecto no será recomendado para continuar con las siguientes etapas, debido a los resultados obtenidos en la evaluación económica, igualmente podría llevarse a cabo mediante otros mecanismos, por lo que se hacen recomendaciones en torno a incorporar un componente de capacitación y/o fortalecimiento organizacional, además sobre la inscripción de derechos de agua según el artículo 2º transitorio del Código de Aguas y un trabajo desde el punto de vista legal, para la regularización en la tenencia de la tierra, pudiendo gestionar el traspaso de las tierras de uso consuetudinario a nivel individual y/o comunitario.

Además, al estar el valle conformado especialmente por campesinos con predios de tamaños pequeños, se estima necesario capacitar a los regantes en modelos asociativos de explotación y/o comercialización, especialmente en empresas tales como cooperativas que faciliten la puesta en mercado de los productos, mejoren sus márgenes de comercialización y de ese modo hacer mella a la tendencia de vender terrenos para el posicionamiento de una gran empresa dominante, como ha ocurrido en otros valles.

16.5. Análisis Aplicación Convenio 169 de la OIT

Respecto de la aplicación del Convenio 169 de la Organización Internacional del Trabajo sobre Pueblos Indígenas y Tribales en Países Independientes, se recomienda que en el caso de implementar las obras, se debe considerar que el proceso de participación y consulta es un proceso continuo, que debe ser diseñado entre las instituciones representativas de los pueblos indígenas que se sientan parte del territorio, y el Estado a través de sus instituciones, quien es el mandatado a consensuar un procedimiento con las comunidades indígenas y llevar a cabo el proceso de consulta, antes del inicio de la etapa de Factibilidad del proyecto, de manera de acordar con éstas los alcances de los TR's cosa que no se contrapongan con los objetivos de los beneficiarios de esta política del Estado, especialmente considerando que el consentimiento es un estándar vinculante cuando las medidas van a favor de los Pueblos Indígenas.

16.6. Conclusiones de participación ciudadana

Se ha desarrollado el Estudio de Participación Ciudadana del Estudio de Prefactibilidad del Proyecto Construcción Embalse Pintanane en Quebrada de Aroma, comuna de Huara, obteniéndose las siguientes conclusiones y recomendaciones:

1. *Necesidad de contar con una “contraparte social”.* Es posible sostener, a partir de la ejecución del Estudio de Prefactibilidad del Proyecto “Construcción Embalse Pintanane en Quebrada de Aroma, Huara”, que se hace no sólo necesario en general, sino que también con algún grado de urgencia, contar con una contraparte social (comunitaria, organizacional u otra denominación equivalente). Dadas las características de la iniciativa estudiada en el área, el tipo organizacional más pertinente en este contexto será indudablemente el de “organización de usuarios de aguas” –en cualquiera de las formas específicas, consignadas en el Código de Aguas- a fin de que los organismos del Estado tengan la posibilidad cierta de interlocutar con una o más organizaciones de usuarios de aguas (OUA’s) en la quebrada de Aroma en particular y/o en la pampa del Tamarugal, en general. La situación existente durante la etapa de prefactibilidad del presente Proyecto, es la completa ausencia de OUA’s u otra organización comunitaria o de otro carácter que ya sea en función de sus integrantes, amplia base societaria u otro elemento distintivo, pudiera ser efectivamente validada como contraparte social en el ámbito de la gestión de los recursos hídricos en el área de estudio. Independiente de cuál sea el escenario futuro, ya sea pasando a etapa de factibilidad del Proyecto así como cualquier otra alternativa, se hace necesario promover e impulsar la conformación de OUA’s en el territorio. La conformación de una o más de este tipo de organizaciones no sólo significará la efectiva presencia de una contraparte social para las etapas siguientes de este mismo Proyecto u otra iniciativa en el ámbito de los recursos hídricos, sino que –en la medida de que esta/s naciente/s organización/es cuente/n con el acompañamiento y asesoría pertinentes- se podrá anticipar e ir perfilando futuros escenarios en los se requiera de organizaciones sólidas para la gestión / administración de infraestructura de riego u otros requerimientos en la materia.
2. *Profundizar análisis en torno de la tenencia de la tierra.* Se recomienda estudiar con mayor profundidad la situación de la tenencia de la tierra –uso efectivo- versus la propiedad jurídica de ésta, ya que se han observado diferencias considerables entre la información “oficial”, proporcionada por Bienes Nacionales, y el uso u ocupación efectiva de la tierra. El área de estudio se caracteriza por estar ubicada en un sector rural de la comuna de Huara, el cual por sus características geomorfológicas y climáticas, albergó en el pasado actividad agrícola y ganadera. Esta actividad aún se mantiene en la Quebrada, sin embargo con intensidad decreciente en el tiempo. Se pueden encontrar algunos agricultores de ascendencia indígena aymara que cultivan el lecho del río en los sectores de Aroma, Misticsa, Pailca, Cala Cala, y Ariquilda, encontrándose también algunos sectores en los que se desarrolló actividad agrícola en el pasado (en este caso se suma también el sector de Curaña), encontrándose eras abandonadas, pircas o construcciones tipo corral que hacen suponer también una mayor presencia de uso ganadero de la quebrada en el pasado. Los agricultores que ocupan actualmente estos sectores reconocen límites a los terrenos de los que son tenedores y los de sus vecinos, y han manifestado el uso consuetudinario de estas tierras por parte de sus antepasados. Para el caso específico de la quebrada de Aroma, fue posible constatar que la propiedad jurídica no necesariamente les corresponde, siendo que para 10 propiedades estudiadas, solamente dos son reconocidas como regularizadas en su dominio por parte del Ministerio de Bienes Nacionales.

3. *Atender a las particularidades del contexto del Proyecto.* Es necesario tener en consideración un elemento de carácter transversal y con un sin número de consecuencias en los distintos ámbitos del Proyecto, mucho más allá de la sola “ingeniería” y por ello con múltiples aristas comunicacionales, políticas, culturales, entre muchas otras, y es el hecho de que el sistema acuífero de la pampa del Tamarugal representa la fuente de agua no sólo para el consumo humano en las distintas concentraciones urbanas de la Región de Tarapacá sino que también para las actividades extractivas que representan a su vez el motor de la estructura económica regional: la minería. Es este un elemento que es necesario tener siempre a la vista y que al menos en parte, explica algunas otras particularidades en la Región, con posible incidencia en posteriores etapas del Proyecto y que se enuncian sucintamente a continuación:
- a) El Consejo Regional de Tarapacá, que al igual que en el resto del país ha sido recientemente generado por un mecanismo de elección universal, demanda un rol más activo y protagónico en el desarrollo del Proyecto, no sólo por haber recursos del Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR) involucrados en su etapa de prefactibilidad, sino que por la creciente relevancia (sensibilidad) que tiende a tomar este o cualquier otro proyecto en torno del “agua” en la Región.
 - b) A diferencia de la mayor parte del resto de las regiones del país, en la de Tarapacá existe un centro altamente especializado y con un posicionamiento creciente en el ámbito científico regional y que será necesario tener en consideración en las etapas siguientes del Proyecto. Es el caso del Centro de Investigación y Desarrollo en Recursos Hídricos (CIDERH), dependiente de la Universidad Arturo Prat y que cuenta con financiamiento del Gobierno Regional y de distintas empresas mineras con presencia en la Región.
 - c) La realización de la denominada “Marcha por el Agua”, la manifestación realizada durante la sesión de la Comisión de Fomento Productivo del Consejo Regional en la que se analizaba el presente Proyecto, entre otras actividades de movilización ciudadana en la Región -la mayor parte de éstas, en la propia capital regional, Iquique- así como la articulación de la propia Comunidad de Pueblos Indígenas Unidos de las Quebradas de Aroma, Tarapacá y Coscaya, quienes dicen representar a “23 pueblos y más de 3 mil personas”, más allá de situaciones formales y/o grado de representatividad, son indicadores claros de una forma distinta de enfrentar situaciones potencialmente conflictivas que pudieran afectar a los poblados del interior. Esto es, desde la capital regional, con movilizaciones ciudadanas y de forma integral, no necesariamente frente a cada fuente de conflicto en particular y/o de forma separada.
4. *Generar mecanismos claros y validados entre los distintos actores para la entrega de los derechos de aguas que se creen.* Según lo expresado por distintos actores en los variados mecanismos de participación ciudadana aplicados, se deberían generar, agregan, “*garantías por parte del Estado*” en cuanto a la reserva de agua para el proyecto y a la entrega de los derechos de aprovechamiento que genere este tipo de proyectos a los agricultores, y más específicamente a las comunidades indígenas ubicadas en la cuenca estudiada. Solo de esta manera se podrán reconstruir y/o acrecentar las confianzas hacia el Estado y sus instituciones representativas para este tipo de proyectos.

5. *Considerar proceso de consulta indígena según estándares del Convenio 169.* En lo que sigue del Proyecto, debe implementarse un proceso de participación y consulta indígena según los estándares del Convenio 169 de la Organización Internacional del Trabajo (OIT), esto en pos de la recomendación efectuada por la Corte Interamericana de Derechos Humanos, en cuanto “se debe consultar [a los pueblos indígenas] en las primeras etapas del plan... y no únicamente cuando surja la necesidad de obtener la aprobación de la comunidad”². Tanto los poseedores de los derechos de aprovechamiento de aguas, los dueños y/o usufructuarios de algunos de los terrenos afectados y un importante porcentaje de los agricultores potencialmente beneficiarios corresponden a organizaciones y/o personas de ascendencia indígena del pueblo Aymara.

El proceso de participación y consulta debe estar íntimamente ligado al desarrollo de la ingeniería del proyecto, por lo que los procesos deben ser consensuados con el pueblo afectado, a través de sus instituciones representativas, idealmente en forma previa a la próxima etapa de factibilidad, en caso de implementarse. La propuesta en este sentido es la conformación de una mesa de trabajo con los representantes y/o líderes de las organizaciones que forman parte del área afectada en un proceso de autodeterminación y tal como se indica anteriormente, en el marco de un proceso previamente consensuado con el pueblo afectado en esta instancia, de manera de obtener como producto de este trabajo los aspectos distintivos de los que serán posteriormente, los “términos de referencia” de la etapa siguiente del Proyecto, en concordancia con las inquietudes de las comunidades indígenas afectadas directamente. Así entonces, se propone “anticipar” una posible fuente de conflicto y de esta forma intentar atenuar el habitual reclamo inicial de parte de las comunidades, en orden a recién enterarse de este tipo de proyectos una vez que han sido licitados y ya adjudicados a una empresa consultora. En definitiva, se recomienda la inclusión expresa del proceso de “consulta indígena”, ya sea como parte del mismo componente PAC ó bien como un apartado diferenciado, puesto que probablemente la sola omisión de éste –en una siguiente etapa del Proyecto- generaría una potencial fuente de conflicto.

Se debe destacar que es el Estado de Chile, mediante sus instituciones, quien debe implementar la Consulta Indígena, cuyo procedimiento debe ser consensuado con las comunidades indígenas afectadas y el Estado es quien debe disponer los recursos necesarios para su implementación. Adicionalmente, el carácter de la consulta tendría que ser vinculante, ya que la medida tiene como finalidad ir en favor de los Pueblos Indígenas.

17. Conclusiones y Recomendaciones Finales

Se ha desarrollado el Estudio de Prefactibilidad del Proyecto Construcción Embalse Pintanane en Quebrada de Aroma, comuna de Huara, obteniéndose las siguientes conclusiones y recomendaciones:

1. La ubicación de los posibles embalses en la quebrada de Aroma está acotada entre el sector de Misticsa y Pailca, básicamente por las siguientes razones:

² Sentencia caso pueblo indígena Kichwa de Sarayaku vs. Ecuador, año 2012.

Aguas Arriba, se encuentra el Parque Nacional Isluga, el cual tiene como límite occidental la quebrada de Sapte que se une a la de Aroma a unos 3 kilómetros aguas arriba de la alternativa ALT1. Existe en ese sector un posible sitio que tendría características mejores, pero ejecutar una obra de estas características dentro del parque nacional lo hace no factible.

Aguas Abajo, se encuentra el sector de Pailca, que corresponde al primer sector de riego que se beneficiaría con el proyecto de embalse a unos 4,8 km de la alternativa ALT3, que es la ubicada más abajo. Además, inmediatamente aguas abajo de dicho sector, hay presencia de sitios arqueológicos los cuales están protegidos por la ley 17.288, y por ende, no pueden ser alterados. Esto motivó el descarte de la antigua alternativa de embalse, denominada Pintanane.

2. Desde el punto de vista geológico y geotécnico el mejor sitio para el emplazamiento del muro es la alternativa ALT1, ubicada aguas arriba del resto, ya que los materiales de apoyo encontrados en las otras alternativas serían producto de remociones en masa, que no dan certeza respecto de la estabilidad de los estribos en donde se apoyaría el muro.

Los sondeos realizados en los sitios ALT1, ALT2 y ALT3 muestran la presencia de conglomerados compactados a semi-compactados, al menos hasta los 40 metros de profundidad. Se midieron permeabilidades entre los 10^{-6} m/s y 10^{-9} m/s. Más abajo, se encuentra la roca madre. Por dichas razones, fue necesario proyectar una pared moldeada que disminuye los flujos subterráneos que eventualmente podrían debilitar la estabilidad del muro.

3. Desde el punto de vista de disponibilidad de materiales para la construcción del muro en las 3 alternativas de emplazamiento, y según los resultados de las exploraciones y ensayos de laboratorio ejecutados, es que la presa más adecuada para el proyecto corresponde a una del tipo CFGD, es decir, una presa de grava con pantalla de hormigón.
4. El estudio hidrológico permitió determinar un caudal de diseño de $41 \text{ m}^3/\text{s}$ para el túnel de desvío y un caudal de diseño de $180 \text{ m}^3/\text{s}$ ($320 \text{ m}^3/\text{s}$ caudal de verificación) para las obras de seguridad (vertedero, canal colector, canal de descarga, rápido de descarga y dissipador de energía) bajo los criterios del “Reglamento de Obras Mayores de la Dirección General de Aguas”, 2011. De igual forma, el estudio sedimentológico permitió definir un volumen muerto del embalse de $6,0 \text{ hm}^3$.
5. La disponibilidad de agua en el valle es suficiente para satisfacer la demanda de riego, sin embargo, la cantidad de superficie con actual uso no supera las 20 ha. Es por ello, que se propuso una nueva área de riego en el sector de Cerro Unitas, a unos 10 km de la localidad de Huara. En el valle de la quebrada de Aroma ya casi no quedan terrenos agrícolas, entre otras razones, por haber sido arrastrados los suelos por las crecidas y es demasiado caro intentar recuperarlos.
6. Respecto de la calidad del agua presente en la quebrada, los resultados muestran que los parámetros cuya concentración es superior a los límites máximos establecidos por la NCh N°1.333, según los requisitos de agua para riego, son:

arsénico, boro, cloruros, fluoruros, litio, sodio porcentual, sulfatos, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales.

Como conclusión del análisis de la información de calidad de agua disponible por la DGA y de las muestras tomadas en terreno, las aguas de la Quebrada de Aroma no son adecuadas para cualquier tipo de plantaciones, si no que sólo en especies tolerantes o adaptados a dichas condiciones, como es común en los ríos del norte del país, significando una gran limitación para la diversificación de cultivos. En efecto, sólo se pueden producir aquellos más resistentes y adaptados a las condiciones de calidad del agua, que son la alfalfa y el maíz. A pesar de lo anterior, sí son adecuadas para permitir la vida acuática en ella.

7. Por la razón anterior, previendo que el proyecto no resultaría rentable, se consideró la evaluación de dos condiciones de calidad de agua, una que considera la calidad actual y otra con agua tratada para la incorporación de nuevas especies. La idea fue, conociendo que el tratamiento de las aguas para riego hoy en día es demasiado caro, poder verificar la rentabilidad futura en la medida que los costos del tratamiento bajen.
8. Las características de los agricultores (fundamentalmente de subsistencia) y del área de estudio, además de la magnitud del cambio productivo propuesto, justifican la necesidad de realizar inversiones adicionales al embalse, en tecnificación del riego, lo que permite implementar nuevos cultivos y una producción más intensiva y rentable en el área. En la evaluación agroeconómica se han contemplado los costos de inversión y mantención anual de sistemas de aspersión para alfalfa y goteo para hortalizas, los que solo se conciben si se considera el mejoramiento de la calidad de las aguas.
9. Los cambios propuestos no podrían concretarse sin una significativa asistencia técnica y transferencia tecnológica con enfoque local que permita incorporar prácticas de manejo productivo, eficiencia de riego y uso de las obras óptimas para el área de estudio, facilitando el paso a una agricultura con un mayor nivel tecnológico. Por ello, se ha considerado un programa de asistencia técnica y transferencia tecnológica que involucra a todos los agricultores beneficiados por el proyecto, el cual tendría una duración variable dependiendo del tipo de predio partícipe. Este ámbito es clave para aumentar las posibilidades de desarrollo de los agricultores.
10. La máxima superficie regada en el caso de los escenarios de calidad analizados corresponde a 256 ha y 205 ha, asociadas a un embalse de volumen útil de 15 hm³, para calidad de agua actual y mejorada respectivamente.

En la curva de volumen útil versus superficie regada se observa un quiebre en los 7,5 hm³ (214 ha y 177 ha según escenario de calidad actual y mejorada), a partir del cual el aumento de superficie con seguridad del 85 % comienza a aumentar en forma marginal con respecto al aumento del volumen del embalse.

11. Se estima que la construcción del embalse podría disminuir la infiltración actual desde la quebrada de Aroma a la Pampa del Tamarugal de 300 l/s, que se estiman actualmente, a 217 l/s y 247 l/s considerando situación con calidad actual y mejorada

respectivamente, para las alternativas de embalse de 15 hm³, que considera el caso que genera mayor cantidad de hectáreas de riego (256 ha y 205 ha para situación con calidad actual y mejorada, respectivamente).

La baja disminución de los caudales de infiltración (del orden del 28% y 18%) son explicados por el hecho de que el agua almacenada en el embalse es transportada por el río para su entrega por un tramo cercano a los 16 km. Además, el riego en la pampa considera el lavado del suelo, caudal que va directamente en su mayoría al acuífero existente, otra parte se evapora.

12. Respecto a los datos recopilados, no existirían terrenos a expropiar para la realización del proyecto, ya que la totalidad de las tierras pertenecería al Ministerio de Bienes Nacionales. A pesar de lo anterior, se consideró para la evaluación del estudio, la expropiación de 2,21 ha en el sector de Misticsa correspondiente a unas eras, actualmente sin uso, que serían inundadas por el embalse.

A partir de lo anterior, en un análisis posterior, sería conveniente ***profundizar el análisis en torno de la tenencia de la tierra***. Se recomienda estudiar con mayor profundidad la situación de la tenencia de la tierra –uso efectivo- versus la propiedad jurídica de ésta, ya que se han observado diferencias considerables entre la información “oficial”, proporcionada por Bienes Nacionales, y el uso u ocupación efectiva de la tierra.

El área de estudio se caracteriza por estar ubicada en un sector rural de la comuna de Huara, el cual por sus características geomorfológicas y climáticas, albergó en el pasado actividad agrícola y ganadera. Esta actividad aún se mantiene en la quebrada de Aroma, sin embargo con intensidad decreciente en el tiempo. Se pueden encontrar algunos agricultores de ascendencia indígena aymara que cultivan en el lecho del río en los sectores de Aroma, Misticsa, Pailca, Cala Cala, y Ariqueña, encontrándose también algunos sectores en los cuales se desarrolló actividad agrícola en el pasado (en este caso se suma también el sector de Curaña), encontrándose eras abandonadas, pircas o construcciones tipo corral que hacen suponer también una mayor presencia de uso ganadero de la quebrada en el pasado.

Los agricultores que ocupan actualmente estos sectores reconocen límites a los terrenos de los que son tenedores y los de sus vecinos, y han manifestado el uso consuetudinario de estas tierras por parte de sus antepasados. Para el caso específico de la quebrada de Aroma, fue posible constatar que la propiedad jurídica no necesariamente les corresponde. Para 10 propiedades estudiadas, solamente dos son reconocidas como regularizadas en su dominio por parte del Ministerio de Bienes Nacionales.

13. En relación con las interferencias de la obra estudiada, el área de inundación afectaría la Ruta A-459, la cual debe ser repuesta por medio de una variante de camino, proyectada a una cota adecuada.
14. En relación con la generación hidroeléctrica a pie de embalse, se determinó que esta no es factible por la necesidad de construir una línea de transmisión muy larga, además de la poca potencia disponible.

15. Respecto al control de crecidas, el análisis realizado indica que los beneficios son prácticamente nulos debido a la precaria infraestructura que se podría proteger y a que gran parte de la superficie, en la cual se podría practicar la agricultura, fue devastada y arrastrada por las crecidas. Por el contrario, el costo para construir el muro es del orden de los 500 a 700 millones de pesos. De todas maneras, el hecho de incluir un embalse en la quebrada generaría una disminución de los caudales de crecidas de periodos de retorno menores a 50 años y, mayores a 50 años, en tormentas de poca duración.
16. Respecto a la componente de Participación Ciudadana, uno de los principales obstáculos que se ha presentado durante el desarrollo del Estudio ha sido la dispersión de los potenciales beneficiarios del proyecto. Esto se ha logrado subsanar mediante una amplia cobertura, debido a la migración que ha ocurrido en el área de estudio.

A partir de lo anterior, se considera necesario **contar con una “contraparte social”**. Es posible sostener, a partir de la ejecución de este Estudio de Prefactibilidad, que se hace no sólo necesario en general, sino que también con algún grado de urgencia, contar con una contraparte social (comunitaria, organizacional u otra denominación equivalente). Dadas las características de la iniciativa estudiada en el área, el tipo organizacional más pertinente en este contexto será indudablemente el de “comunidad de aguas”, en cualquiera de las formas específicas consignadas en el Código de Aguas, a fin de que los organismos del Estado tengan la posibilidad cierta de interlocutar con una o más organizaciones de usuarios de aguas (OUA's) en la quebrada de Aroma en particular y/o en la pampa del Tamarugal, en general.

La situación existente durante la etapa de prefactibilidad, es la completa ausencia de OUA's u otra organización comunitaria o de otro carácter que ya sea en función de sus integrantes, amplia base societaria u otro elemento distintivo, pudiera ser efectivamente validada como contraparte social en el ámbito de la gestión de los recursos hídricos en el área de estudio. Independiente de cuál sea el escenario futuro, ya sea pasando a etapa de factibilidad del Proyecto así como cualquier otra alternativa, se hace necesario promover e impulsar la conformación de OUA's en el territorio.

La conformación de una o más de este tipo de organizaciones no sólo significará la efectiva presencia de una contraparte social para las etapas siguientes de este mismo Proyecto u otra iniciativa en el ámbito de los recursos hídricos, sino que en la medida de que esta/s naciente/s organización/es cuente/n con el acompañamiento y asesoría pertinentes, se podrá anticipar e ir perfilando futuros escenarios en los se requiera de organizaciones sólidas para la gestión / administración de infraestructura de riego u otros requerimientos en la materia.

Finalmente se destaca que, en el área de estudio, tanto los poseedores de los derechos de aprovechamiento de aguas, los dueños y/o usufructuarios de algunos de los terrenos afectados y un importante porcentaje de los agricultores potencialmente beneficiarios corresponden a organizaciones y/o personas de ascendencia indígena del pueblo Aymara.

17. Se perciben algunas situaciones que han generado algún grado de controversia, como la desconfianza en las instituciones especialmente en cuanto al otorgamiento de derechos de agua (DGA); la potencial influencia que tendría el detener el escurrimiento normal de las aguas en crecida para embalsarla, sobre el sistema acuífero de la pampa del Tamarugal; la reglamentación de la Consulta Indígena en el marco del Convenio 169 de la OIT. Entre otras.
18. De acuerdo con la evaluación económica realizada con el método del presupuesto, el proyecto de riego no es rentable tanto a precios sociales como privados, para todas las alternativas consideradas, es decir el VAN es siempre menor a cero, lo que se explica principalmente por el alto costo de las obras en contraste con los muy bajos beneficios. Para el caso de los métodos del valor incremental de la tierra y de las transacciones de derechos de aprovechamiento de aguas, el proyecto tampoco es conveniente para ninguna de las alternativas. En el Cuadro 18-1 se resumen los costos sociales de construcción por alternativa y capacidad analizada.

CUADRO 17-1
RESUMEN DE COSTOS SOCIALES POR CAPACIDAD DE EMBALSE (\$).
CALIDAD ACTUAL Y MEJORADA. TOTAL NETO; INCLUYE GG, UTILIDADES Y
CONTINGENCIAS (45%)

Calidad de Agua	Alternativa	Volumen Útil (hm ³)				
		3	6	9	12	15
Actual	ALT1	24.285.384.54 5	28.915.575.60 6	30.957.549.49 7	33.410.953.51 7	36.877.811.70 1
	ALT2	26.325.499.57 5	31.439.260.21 4	35.844.554.36 5	40.054.114.34 7	41.929.761.48 0
	ALT3	28.072.094.44 4	31.842.999.07 8	33.705.410.50 3	37.907.930.20 7	40.497.819.08 5
Mejorada	ALT1	39.664.179.94 7	48.676.138.94 9	53.837.838.53 0	57.470.333.31 7	62.170.392.80 4
	ALT2	41.704.294.97 7	51.199.823.55 7	58.724.843.39 8	64.113.494.14 7	67.222.342.58 3
	ALT3	43.450.889.84 6	51.603.562.42 1	56.585.699.53 6	61.967.310.00 7	65.790.400.18 8

Fuente: Elaboración Propia

19. El análisis de sensibilidad de las variables más relevantes muestra que es necesario un cambio simultáneo muy significativo en el costo del embalse, de sus costos operacionales y ambientales para que el proyecto se vuelva rentable a precios sociales, llegando a valores cercanos al 100%. Por otra parte los ingresos agroeconómicos deberían incrementarse en casi 9 veces (772,92%) para lograr un VAN social positivo.
20. Con respecto a la evaluación financiera, es importante destacar que la capacidad y disposición de pago determinada es muy baja con respecto al total del valor anual a

desembolsar por el costo del embalse (\$11.298.830/ha o \$14.328.730/ha, dependiendo si el interés por el pago diferido del proyecto es 2% o 4,5%, respectivamente), lo que trae como consecuencia que el subsidio propuesto sea, para todos los tipos de predios analizados, sobre el 98%, lo que es concordante con la no rentabilidad del proyecto.

Recomendaciones Finales

1. Finalmente, dada la rentabilidad social muy negativa del proyecto, **se recomienda no continuar con éste en la etapa de factibilidad** ya que difícilmente se justifique su construcción para ser postulado vía D.F.L.N°1.123 de 1981.
2. A opinión del consultor la única forma para que el proyecto siga su proceso de evaluación es por la vía de la excepción, será por lo tanto, materia de gobierno analizar si se construye. En el caso de que esto suceda se considera necesario realizar los siguientes análisis, ya que de no ser así, la construcción del embalse podría afectar componentes que hasta el momento no han sido consideradas:
 - Modelo acabado del sistema Pampa del Tamarugal que simule la interacción entre la napa y los cursos superficiales que descargan a la pampa, que además, permita realizar los siguientes análisis:
 - Análisis del equilibrio de la napa y efectos sobre ésta por la construcción de un embalse u otro tipo de obra que obstaculice el flujo de aguas superficiales y/o subterráneas normales de la cuenca.
 - Análisis de los efectos sobre la napa y sobre el ecosistema que sostiene (Ej. Tamarugos) debido a la demanda de agua asociada a minería y agua potable.

Para ello se hace necesario la constante medición de los caudales, de las quebradas que incluyen el sistema pampa el Tamarugal, en puntos estratégicos tales como zonas de afloramientos, zonas de infiltración, inicio y fin de bofedales, etc.; construcción de una red de pozos de medición que permitan monitorear los niveles freáticos de la napa; instalación de estaciones pluviométricas; análisis del incremento poblacional del sector de Huara, entre otros.

- **Considerar proceso de consulta indígena según estándares del Convenio 169.** En lo que sigue del Proyecto, debe implementarse un proceso de participación y consulta indígena según los estándares del Convenio 169 de la Organización Internacional del Trabajo (OIT), esto en pos de la recomendación efectuada por la Corte Interamericana de Derechos Humanos, en cuanto “se debe consultar [a los pueblos indígenas] en las primeras etapas del plan... y no únicamente cuando surja la necesidad de obtener la aprobación de la comunidad”³.

³ Sentencia caso pueblo indígena Kichwa de Sarayaku vs. Ecuador, año 2012.



El proceso de participación y consulta debe estar íntimamente ligado al desarrollo de la ingeniería del proyecto, por lo que los procesos deben ser consensuados con el pueblo afectado, a través de sus instituciones representativas, idealmente en forma previa a la próxima etapa de factibilidad, en caso de implementarse. La propuesta en este sentido es la conformación de una mesa de trabajo con los representantes y/o líderes de las organizaciones que forman parte del área afectada en un proceso de autodeterminación y tal como se indica anteriormente, en el marco de un proceso previamente consensuado con el pueblo afectado en esta instancia, de manera de obtener como producto de este trabajo los aspectos distintivos de lo que será posteriormente, los “términos de referencia” de la etapa siguiente del Proyecto, en concordancia con las inquietudes de las comunidades indígenas afectadas directamente.

Así entonces, se propone “anticipar” una posible fuente de conflicto y de esta forma intentar atenuar el habitual reclamo inicial de parte de las comunidades, en orden a recién enterarse de este tipo de proyectos una vez que han sido licitados y ya adjudicados a una empresa consultora. En definitiva, se recomienda la inclusión expresa del proceso de “consulta indígena”, ya sea como parte del mismo componente PAC ó bien como un apartado diferenciado, puesto que probablemente la sola omisión de éste, en una siguiente etapa del Proyecto, generaría una potencial fuente de conflicto.

- Se recomienda **atender a las particularidades del contexto del Proyecto**. Es necesario tener en consideración un elemento de carácter transversal y con un sin número de consecuencias en los distintos ámbitos del Proyecto, mucho más allá de la sola “ingeniería” y por ello con múltiples aristas comunicacionales, políticas, culturales, entre muchas otras, y es el hecho de que el sistema acuífero de la Pampa del Tamarugal representa la fuente de agua no sólo para el consumo humano en las distintas concentraciones urbanas de la Región de Tarapacá sino que también para las actividades extractivas que representan a su vez el motor de la estructura económica regional: la minería. Es este un elemento que es necesario tener siempre a la vista y que al menos en parte, explica algunas otras particularidades en la Región, con posible incidencia en posteriores etapas del Proyecto.
- 