

**“CONSTRUCCIÓN EMBALSE UMIRPA PARA  
REGADÍO EN CUENCA VÍTOR, REGIÓN DE  
ARICA Y PARINACOTA”**

**INFORME FINAL  
RESUMEN EJECUTIVO**

**SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2012**





Comisión Nacional de Riego

**“CONSTRUCCIÓN EMBALSE UMIRPA PARA REGADÍO EN  
CUENCA VÍTOR, REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA”**

**RESUMEN EJECUTIVO**

**SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2012**

**Estudio Elaborado por:**

**ARRAU INGENIERÍA E.I.R.L.**

Dir: María Luisa Santander 0231, PROVIDENCIA – SANTIAGO

Fonos: 02-23414800 – e-mail: [oficina@arrauingenieria.cl](mailto:oficina@arrauingenieria.cl) – [www.arrauingenieria.cl](http://www.arrauingenieria.cl)

**“ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD CONSTRUCCIÓN EMBALSE UMIRPA PARA  
REGADÍO EN CUENCA VÍTOR, REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA”**

**RESUMEN EJECUTIVO  
DICIEMBRE 2012  
ÍNDICE**

**ÍNDICE GENERAL**

**RESUMEN EJECUTIVO**

**VOLUMEN 1: ESTUDIO DE INGENIERÍA**

**VOLUMEN 2: ESTUDIOS AGROECONÓMICOS**

**VOLUMEN 3: ESTUDIO ANÁLISIS AMBIENTAL**

**VOLUMEN 4: PARTICIPACIÓN CIUDADANA**

**VOLUMEN 5: ÁLBUM DE PLANOS DE ESTUDIO DE INGENIERÍA**

**VOLUMEN 6: ÁLBUM DE PLANOS DE ESTUDIO AGROECONÓMICO**

**VOLUMEN 7: TOPOGRAFÍA**

**“ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD CONSTRUCCIÓN EMBALSE UMIRPA PARA  
REGADÍO EN CUENCA VÍTOR, REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA”**

**RESUMEN EJECUTIVO  
DICIEMBRE 2012  
ÍNDICE**

**Índice**

---

1	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
2	ÁREA DE ESTUDIO	2
3	RECONOCIMIENTO Y EVALUACIÓN DE EMPLAZAMIENTOS PARA LA PRESA	3
4	ESTUDIOS BÁSICOS	6
4.1.	Restitución Aerofotogramétrica	6
4.2.	Topografía	7
4.3.	Hidrología	8
4.4.	Estudio Sedimentológico	9
4.5.	Estudio Geológico	10
4.6.	Estudio Geotécnico	11
4.7.	Estudio Geofísico	13
4.8.	Derechos de Agua	14
5	ESTUDIO AGROECONÓMICO	15
5.1.	Objetivos y Alcances Generales	15
5.2.	Listado de Agricultores y Estratificación Predial	15
5.3.	Situación Actual	16
5.4.	Situación Actual Optimizada	17
5.5.	Situación Futura o con Proyecto	17
5.6.	Demandas de Agua	19
5.7.	Beneficios Agrícolas Netos del Proyecto	20
5.7.1.	Determinación de Flujos Agroeconómicos	20
5.7.2.	Balance de Mano de Obra	23
6	ESCENARIOS DEL PROYECTO	23
7	MODELO DE SIMULACIÓN SIMPLIFICADO DEL SISTEMA DE RIEGO QUEBRADA DE VITOR	24

Índice

---

7.1.	Objetivo General	24
7.2.	Alcances	24
7.3.	Descripción del Modelo	25
7.4.	Resumen y Análisis de Resultados	26
8	DISEÑOS PRELIMINARES	31
8.1.	Presentación	31
8.2.	Capacidades de Embalse	31
8.3.	Diseño Estructural de la Presa	32
8.4.	Diseños hidráulicos de Obras de Evacuación de Crecidas	33
8.4.1.	Diseños Hidráulicos de Obras de Evacuación de Crecidas	33
8.5.	Diseño Hidráulico de Obras Anexas	35
8.6.	Diseño Simplificado de Obras de Conducción y Distribución	35
8.7.	Diseño obras complementarias	36
8.8.	Anteproyecto Sistema de control de Caudales	36
8.9.	Presupuestos	36
8.10.	Conclusiones de los Diseños Preliminares y sus Costos	37
9	ALTERNATIVAS DE NEGOCIO DE HIDROGENERACIÓN	38
10	ANÁLISIS DE EFECTO REGULADOR DE CRECIDAS DEL EMBALSE	38
10.1.	Introducción	38
10.2.	Resultados y Conclusiones Efecto Regulador	39
11	INTERFERENCIAS	40
12	EXPROPIACIONES	41
13	ESTUDIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL	42
14	EVALUACIÓN ECONÓMICA	43
14.1.	Introducción	43
14.2.	Escenarios de Evaluación	43
14.3.	tamaños de Embalse a Evaluar	44
14.4.	Resultados	45
15	PARTICIPACIÓN CIUDADANA	48
16	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES	49

## RESUMEN EJECUTIVO

### 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Este Resumen Ejecutivo corresponde al Informe Final del estudio de prefactibilidad denominado "CONSTRUCCIÓN EMBALSE UMIRPA PARA REGADÍO EN CUENCA VÍTOR REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA" de la COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO del Ministerio de Agricultura.

El objetivo del estudio es proponer y evaluar alternativas de mejoramiento para el sistema de riego de la Quebrada de Vítor, por medio de un embalse que tenga uso múltiple (de riego, y generación hidroeléctrica) y el mejoramiento de la red de conducción y distribución de agua, asociada a la zona beneficiada por el futuro embalse y como objetivo secundario, suplir demandas de agua para consumo doméstico.

Los estudios incluyeron 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 principales de la consultoría fueron:

- ◆ Seleccionar el mejor emplazamiento para la presa del embalse Umirpa y sus obras anexas, y desarrollar sus diseños a nivel preliminar.
- ◆ Analizar la situación de los recursos hídricos de la cuenca, identificando los derechos de agua que se hayan concedido, los que estén sin regularizar, así como aquellos recursos excedentes que pudieran ser regulados, embalsados y/o encauzados.
- ◆ Obtener un compromiso con las organizaciones de regantes, de inicio del trámite de regularización y/o perfeccionamiento de sus derechos de aguas.
- ◆ Definir el trazado de los canales necesarios y elaborar sus diseños preliminares, para zonas de nuevo riego.
- ◆ Evaluar alternativas de mejoramiento de los canales de la red existente y diseñar a nivel de prefactibilidad la alternativa elegida.
- ◆ Plantear diversos escenarios de proyecto, considerando distintos usos del embalse, y caracterizarlos con estudios de ingeniería, agronomía y ambientales a nivel de prefactibilidad.
- ◆ Realizar el anteproyecto de ingeniería del aforo remoto de caudales en los canales.
- ◆ Estudiar la operación del sistema riego-uso doméstico-generación y optimizarla.
- ◆ Determinar los beneficios y costos para cada escenario de proyecto.

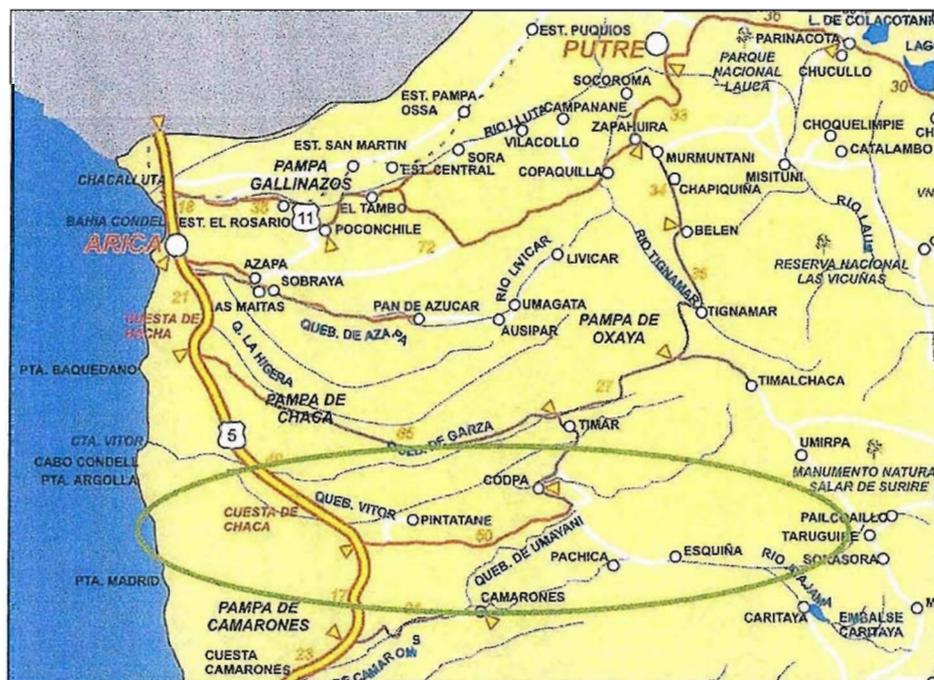
- ◆ Precisar los impactos ambientales, las medidas de mitigación y sus costos.
- ◆ Analizar y proponer alternativas de financiamiento para los proyectos de hidrogenación, así como el Modelo de Negocios y Operación.
- ◆ Desarrollar un Programa de Participación Ciudadana.
- ◆ Evaluar económicamente las alternativas planteadas y recomendar la más conveniente.

## 2. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra inserta en la Quebrada de Vitor o Chaca, la que en el sector precordillerano recibe el nombre de Valle de Codpa, que nace en la Cordillera Central a una altura de 4.300 m.s.n.m., tal como se muestra en la Figura 2.1-1, en la Región de Arica y Parinacota, en la Comuna de Camarones.

La hoya de la quebrada de Vitor se desarrolla en el sector central de la provincia de Arica, entre los paralelos S 18°40' y 18°53' y entre los meridianos O 69°17' y 70°22', comprendiendo una superficie de 1.660 km<sup>2</sup>. Limita al norte con la hoya del río San José de Azapa, al sur con la hoya del río Camarones, de la cual queda separada principalmente por la pampa Camarones; al oriente limita con la hoya alta del río Quiburcanca, afluente del Lauca y, en cierto sector, con la depresión sin desagüe del Salar de Surire.

**FIGURA 4.1-1**  
**UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO**



Fuente: [www.orplan.cl](http://www.orplan.cl)

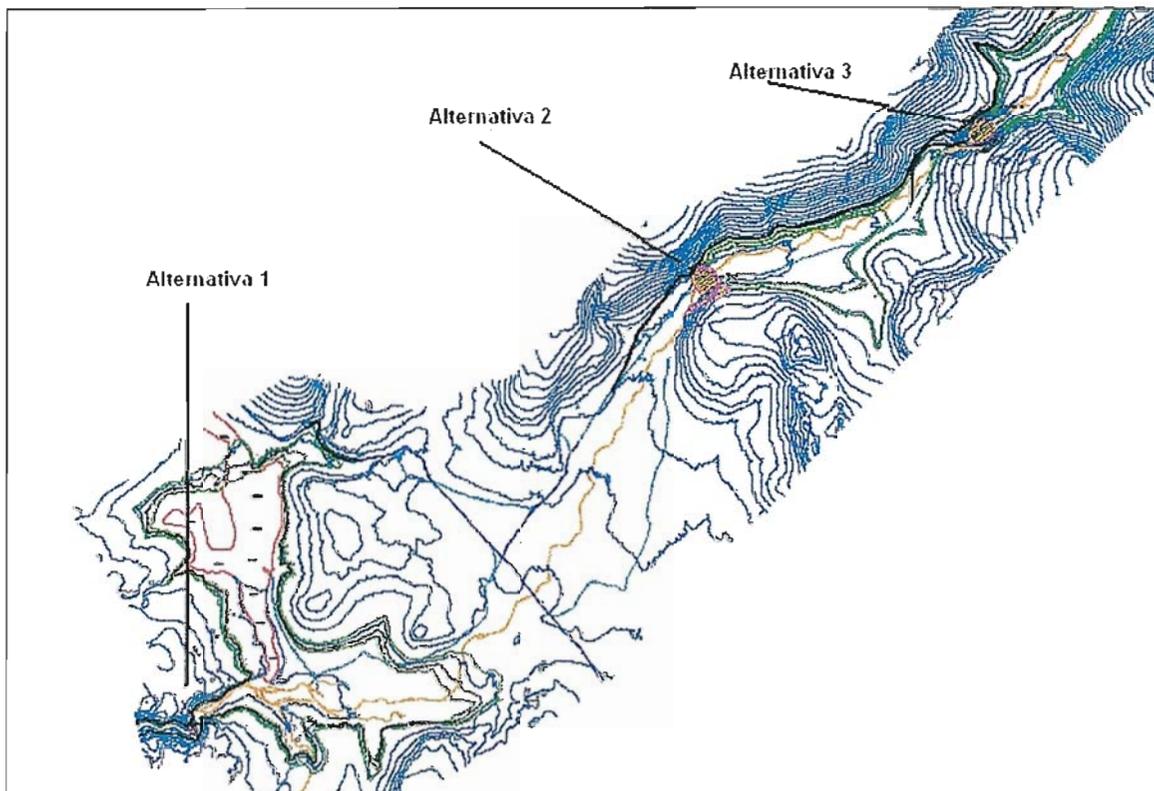
Desde el punto de vista político-administrativo el área de estudio se encuentra inserta en las comunas de Camarones y Putre, región de Arica y Parinacota. La primera comuna se ubicada en el extremo sur de la provincia de Arica, mientras que la segunda se ubica en el extremo sur de la provincia de Parinacota. Esta área limita al norte con las comuna de Arica y General Lagos, al sur con las comunas de Huará, Camiña y Colchane (Región de Tarapacá), al este con Bolivia y al oeste con el océano Pacífico.

### **3. RECONOCIMIENTO Y EVALUACIÓN DE EMPLAZAMIENTOS PARA LA PRESA**

Se identificaron preliminarmente tres sitios de embalse. En la Figura 5.1-1, se indica la ubicación de estos sitios que se denominaron de la siguiente forma:

- ✦ Alternativa 1: Propuesta por el Departamento de Proyectos de Riego-DOH (2005) la de más aguas abajo.
- ✦ Alternativa 2: La intermedia
- ✦ Alternativa 3: La de más aguas arriba

**FIGURA 3-1  
UBICACIÓN ALTERNATIVAS DE EMBALSE**



Fuente: Elaboración propia

La selección de estas tres 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, el 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 planos de escala 1:2.000. Por tratarse de un análisis comparativo, no se incluyeron aquellos costos que son equivalentes para las tres alternativas.

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 3 considerando 1 como la mejor alternativa y 3 como la peor alternativa, pudiendo en algunos casos estar los 3 sitios en la misma categoría. Estas prioridades se resumen en el Cuadro 3-1, que claramente entrega en términos globales la primera prioridad a la Alternativa 1.

**CUADRO 3-1**  
**COMPARACIÓN CUALITATIVA DE DIFERENTES ASPECTOS**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>ALT. 1</b>	<b>ALT.2</b>	<b>ALT. 3</b>
Tipo de presa	1	2	2
Relación Agua/Muro	1	2	3
Altura del muro	1	2	3
Características Geológicas	1	2	3
Características Geotécnicas	1	2	3
Facilidades para el diseño de las obras de arte	1	2	2
Facilidades constructivas	1	2	2
Mejoramientos y nuevos trazados de Canales	1	1	1
Tamaño del proyecto	1	2	3
Accesibilidad	2	1	1
Cantidad y características de las interferencias	1	2	2
Características productivas zona a inundar	1	1	1
Ubicación con respecto a la zona de riego	1	1	1
Ubicación con respecto a los recursos de agua	1	2	2

**CUADRO 3-1  
COMPARACIÓN CUALITATIVA DE DIFERENTES ASPECTOS**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>ALT. 1</b>	<b>ALT.2</b>	<b>ALT. 3</b>
Impactos ambientales asociados	3	1	2
Calidad del Agua	1	1	1
Evaporación	3	2	1
Costos de expropiaciones	2	1	1
Situación legal	1	1	1
Generación hidroeléctrica	1	1	1
Regulación de Crecidas	1	2	2
<b>Total</b>	<b>27</b>	<b>33</b>	<b>38</b>

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. Para complementar dicho análisis, se evaluaron dos diferentes escenarios de riego, incluyendo o no el riego de la zona de Chaca a través de una tubería, con el fin de definir si la elección del mejor sitio de presa era sensible al variar el alcance de éste.

Bajo dichos criterios se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- ◆ En términos de costo, la alternativa 1 es la más conveniente en ambos escenarios, siendo alrededor de un 40% más económica que el resto. La alternativa más cara es la 3.
- ◆ En términos Cualitativos, el análisis de diversos factores técnicos y legales señalan que la mejor alternativa es la 1 y que la peor es la alternativa 3.
- ◆ Las recomendaciones geológicas-geotécnicas recomiendan la alternativa 1 por sobre el resto, tanto por su morfología, calidad de la roca y alta probabilidad de encontrar formaciones rocosas a pocos metros del lecho fluvial.
- ◆ El espejo de agua que se forma en la alternativa 1 es el mayor y por ende presenta una mayor evaporación que las alternativas 1 y 2, sin embargo, sigue siendo la más económica aunque el volumen acumulado es el mayor de las alternativas en los dos escenarios. Se descarta el uso de algún tipo de tecnología para la reducción de la evaporación por su alto costo y poca certeza de buenos resultados.
- ◆ No se considera necesario el trazado de nuevos canales en la zona alta y baja del valle, ya que bajo las condiciones analizadas hasta este avance del estudio, basta con el mejoramiento de la capacidad de algunos pocos

canales para satisfacer los L/s otorgados por derechos, los cuales son mucho mayores a la actual demanda de riego.

- ◆ Se debe definir la factibilidad de desarrollar la conducción Ofragía – Chaca por su alto costo de construcción, estimado preliminarmente en 132.000 UF.
- ◆ La ubicación geográfica de la alternativa 1 le permite la recolección total de los recursos hídricos de la cuenca de cabecera del río Codpa, y por ende tiene mayor potencial como regulador de crecidas. Sin embargo, de acuerdo a los antecedentes recopilados la recarga subterránea del sector de Chaca se realizaría por la producción hídrica de la zona alta del valle, por tanto la construcción de una barrera en dicho punto, tendría consecuencias directas en el acuífero de Chaca. Este efecto se atenuaría en el caso de las alternativas 2 y 3, puesto que se encuentran aguas arriba de la quebrada principal que descarga en la pampa Umirpa.
- ◆ En términos de superficie beneficiada, no hay diferencia entre las alternativas de sitio de embalse pero si entre los escenarios considerados. En el escenario 1 se beneficiarían 130 ha, mientras que en el escenario 2 el número alcanza las 246 ha.
- ◆ Desde la perspectiva del impacto ambiental, la Alternativa 3 resulta ser la más favorable, y es por lo tanto, la primera recomendación, seguida de la Alternativa 2 y en último lugar la Alternativa 1, la cual resulta ser la menos recomendable. En la eventualidad de resultar seleccionada la Alternativa 1 por otros criterios técnicos y económicos, se hace prioritaria la ejecución de planes de mitigación, y un estricto manejo y seguimiento ambiental con el fin de minimizar aquellos impactos que no puedan ser evitados.
- ◆ De acuerdo a la información obtenida de los sondeos, la Alternativa 3 se debe descartar, debido a la aparición de napas surgentes que desestabilizarán el muro por el arrastre de material.
- ◆ Dadas las conclusiones obtenidas del análisis de alternativa del sitio de embalse se eligió la Alternativa 1 para las posteriores etapas de diseño y evaluación.

#### **4. ESTUDIOS BÁSICOS**

Para el desarrollo del diseño seleccionado 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 1.800 há en la zona de Umirpa para el análisis de los sitios de embalses y 2.850 ha en la

zona media baja del valle de Codpa 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 47 km, aproximadamente.

## **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 Geocen 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 los Puntos de Referencia (PRs) entre un Punto de Nivelación del estudio realizado por 4C Consultores Ingenieros<sup>1</sup> denominado como PN 25 y el sector de alternativas de embalse.
- ◆ Traslado de coordenadas desde el punto IGM (ubicado en la localidad de Codpa) y de cotas desde el punto PN 25 a los PR's construidos, por medio de una Poligonal Primaria Geodésica de PRs.
- ◆ Traslado de cotas y coordenadas desde un punto de la Poligonal Primaria hacia la zona de las alternativas de muros, a partir de una Poligonal Secundaria Geodésica de PRs.
- ◆ Radiaciones Geodésicas de PRs, en la zona de estudio.
- ◆ Construcción de 66 PRs para desarrollar 7 poligonales en distintos sectores de la zona de estudio, más 3 pares de PRs uno en cada alternativa de muro.
- ◆ Nivelación geométrica de los PRs mencionados en el punto anterior.
- ◆ Levantamientos de canales y bocatomas, más los sectores de las tres alternativas de muro.

---

<sup>1</sup> Construcción Protecciones de Predios Agrícolas Quebrada de Vitor. Arica, 2009.

La metodología ocupada en la realización de los trabajos topográfico, ya sea, en la construcción y ubicación de 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. 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 el área estudiada.

Para determinar la precipitación media de la cuenca se completó la información pluviométrica de 5 estaciones por medio de regresiones lineales y se compararon los resultados con las isoyetas medias anuales de la zona. Luego, con las series rellenadas, se utilizó el método de polígonos de Thiessen. De igual manera se obtuvieron las precipitaciones máximas en 24 hr, pero esta vez se compararon los resultados con las isoyetas máximas en 24 hr elaboradas por la DGA, 1995.

Se dispuso de la estadística fluviométrica de la estación Codpa en Cala-Cala ubicada aguas abajo de la cuenca en estudio, sin embargo, estos registros corresponden sólo al flujo base de la cuenca, ya que la estación no es capaz de registrar caudales altos. De acuerdo a lo anterior se aplicó el siguiente enfoque para determinar la escorrentía total de la cuenca:

$$E.T. = F. B. + E.D.$$

Donde:

**E.T.:** Escorrentía Total (mm)

**F.B.:** Flujo Base de la Cuenca (mm)

**E.D.:** Escorrentía Directa que se produce a partir de la precipitación efectiva (mm)

Para estimar el flujo base F.B. se consideró representativa la estadística de la estación Codpa en Cala Cala, mientras que para la escorrentía directa E.D. se utilizaron los registros limnigráficos de la nueva estación Codpa en Cala Cala, que se encuentra operativa a partir del año 2011. Se adaptó y calibraron dos modelos de precipitación-escorrentía, GR1M para estimar el Flujo Base y Curva Numero para estimar la Escorrentía Directa, con el fin de extrapolar los parámetros para la cuenca en estudio.

Si bien se consideraron constantes los parámetros calibrados en la estación fluviométrica de Codpa en Cala-Cala, se espera que la construcción y ubicación de la nueva estación fluviométrica en la zona de embalse Umirpa (ver acápite 4.3.10 del Informe Final), permita realizar una verificación de dichos parámetros, con tal de obtener una serie de caudales más representativa del área de estudio.

Por último, se realizó un análisis de los caudales máximos instantáneos asociados a distintos periodos de retorno, los resultados se presentan en el Cuadro 4.3-1.

**CUADRO 4.3-1  
CAPACIDADES DE LOS EMBALSES**

Parámetro	Q (m3/s)
Disponibilidad Hídrica	0,53
T (año)	Q (m3/s)
5	9,4
10	24,4
20	51,9
50	69,9
100	89,0
200	114,1
500	148,0
1000	173,0
10000	270,1

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4. 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.

Ambos gastos sólidos, permiten estimar el volumen muerto para un horizonte determinado considerando el aporte de producción medio anual asociado a cada alternativa de ubicación de embalse. El Valor del Volumen Muerto estimado para el sitio elegido es de 2,8 hm<sup>3</sup>.

#### **4.5. ESTUDIO GEOLÓGICO**

El estudio geológico se utiliza para caracterizar geológicamente la zona. En este caso las principales conclusiones son las siguientes:

♦ En el entorno inmediato al sitio seleccionado para el emplazamiento del muro, la configuración geomorfológica de la Angostura Umirpa, presenta una favorable y conveniente sección transversal, perfectamente enmarcada entre empinadas paredes estables de basamento rocoso expuesto, de tipo volcánico a volcanoclástico, geomecánicamente tipificado como competente, con RQD estimado de 93 a 95%; incluye materiales densos, inalterados, con un moderado grado de fracturamiento, por tanto, resistentes, con baja deformabilidad. Ello supone atractivas relaciones volumen muro / volumen embalse. Esencialmente, se trata de rocas cuyas propiedades geotécnicas, garantizarían el desarrollo de efectivas y seguras estructuras de apoyo (estribos) para el muro del embalse, del tipo RCC.

♦ En el sector, el fondo de la quebrada Umirpa se presenta, de seguro, relleno con un espesor medio de 4,2 m de sedimentos de tipo fluvial a fluvioaluvial; incluirían una secuencia maciza a pobremente estratificada de materiales granulares inconsolidados, con predominio de gravas, gravillas y arenas muy gruesas, con escasos finos cohesivos; los elementos clásticos corresponden a fracciones heterocomposicionales (graníticos, volcánicos, volcanoclásticos), muy bien redondeados, inalterados, muy resistentes. Los señalados materiales presentan una compacidad media a alta

♦ Atendido el escaso espesor del relleno sedimentario granular que, a lo largo del eje el muro, participa de sus cimientos, determinaría que su efectivo retiro, mediante un simple escarificado mecanizado, garantizaría su emplazamiento

directo sobre basamento rocoso geomecánicamente competente, (RQD medio de 93 a 95%).

♦ La selección de una presa del tipo RCC, a base de hormigón rodillado compactado, permitiría la incorporación del vertedero, (libre o de compuertas) en su propio cuerpo.

♦ Los materiales granulares, áridos y enrocados destinados a satisfacer las demandas constructivas del Proyecto, podrían provenir de extracciones, tratamientos y dosificaciones a partir de depósitos granulares (ripios, gravas y arenas sueltas, "limpias" y "bien lavadas"), *Qfca* y *Qfab* y basamento rocoso de la formación Macusa, *Mmsm*, en Plano **GEO-01**, que en el entorno inmediato al sitio de emplazamiento del eje del muro, participan de los márgenes y relleno del fondo de la llanura de inundación de la quebrada Umirpa. La localización final y caracterización en términos de calidad (física y química) y cantidad (volumen disponible), de materiales de agregados, áridos y enrocados, estará supeditada a los resultados de una rigurosa campaña de exploración de sitios, mediante calicatas.

♦ La zona de inundación del embalse, no ofrecería condiciones morfogeológicas que permitan suponer la posibilidad de generar problemas durante su vida operacional, especialmente de aquellos relacionados con el desarrollo de procesos de remoción en masa: desprendimientos y deslizamientos masivos.

♦ La señalada condición de riesgo, se hace extensiva a actividad volcánica, a partir de activos centros eruptivos distantes, emplazados en la cordillera altiplánica.

De la complementación y análisis de la información referencial disponible correspondiente a aquella obtenida tanto a partir del reciente breve reconocimiento directo de los terrenos comprometidos en el emplazamiento del muro y obras anexas del proyecto, como de los registros de los 3 sondajes efectuados a lo largo del eje del muro del Proyecto: ***surge el convencimiento de que, desde el punto de vista de su factibilidad geológica, geotécnica y de riesgos geológicos, no existen en las ubicaciones y trazados de dichas obras, limitaciones serias que dificulten el diseño final, su construcción, puesta en marcha y fase operativa. Conforme a ello, y de acuerdo a la actual conceptualización del Proyecto y conocimiento del ambiente geológico - geotécnico del entorno inmediato o zona de influencia directa, no se visualiza la necesidad de realizar ajustes o relocalizaciones de obras a terrenos alternativos disponibles.***

#### 4.6. ESTUDIO GEOTECNICO

El estudio Geotécnico permite determinar las condiciones de diseño básicas para el proyecto. El análisis comenzó con una recopilación de antecedentes geotécnicos del sector y la ejecución del plan de prospección, el que consistió en la ejecución de 2 sondajes de 15 m y uno 20,5 m de profundidad ubicados en los estribos y centro del muro proyectado,

además de la excavación de 6 pozos de exploración de aproximadamente 1,70 m de profundidad en el sector de emplazamiento del muro de la alternativa seleccionada. En el sector de yacimientos se excavaron 10 pozos de exploración de entre 1,0 m y 2,5 m de profundidad respecto de la superficie actual de terreno. Los pozos se identifican como CY-1 a CY-10.

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

1. El sitio en estudio es adecuado para la construcción de un muro del tipo Hormigón Rodillado (RCC), pero se debe tener la precaución de fundar toda la estructura en roca sana, la que es de muy buenas características morfológicas y presenta características de esfuerzo deformación más que adecuadas para la obra proyectada
2. Antes de fundar la estructura proyectada, se debe retirar toda la sobrecarga detectada en los pozos de exploración y sondajes.
3. Se debe tener especial cuidado en las faenas de excavación y preparación de los estribos para el tipo de presa recomendado, debido al peligro de desprendimientos y derrumbes en las paredes del valle, siempre asociados a este tipo de trabajos.
4. El diseño contempla el apoyo total de la estructura (muro) en roca sana, con la finalidad de controlar principalmente las filtraciones o pérdidas de carga a través del suelo de fundación. Esto implica faenas específicas de preparación del terreno antes de la ejecución de los hormigones masivos.

Respecto del material detectado en el área de yacimiento, se tienen las siguientes conclusiones en cuanto a su utilización para la construcción de una presa del tipo RCC (Roller Compacted Concrete):

1. El material encontrado en el área de yacimientos, clasifica principalmente en el sistema USCS GP y GW, es decir, corresponde a una grava que va de pobremente graduada a bien graduada
2. Para sectores del área de empréstito, que presenten mucho material fino (mayor a 5% bajo 0,08 mm) será necesario "parrillar" el material para obtener las partículas sobre 5 mm, si se estima necesaria su utilización en la preparación de hormigones.
3. Las muestras analizadas, se tiene un porcentaje de finos inferior al 5%, lo que se debe tener presente en el diseño de la mezcla para el hormigón rodillado.
4. La autorización del material detectado en los yacimientos para ser chancado o parrillado, y ser utilizado en la preparación del hormigón para la construcción del

muro, finalmente pasa por el especialista respectivo, el que decidirá a partir de las características estructurales de este proyecto y de los resultados de los ensayos específicos para tal efecto.

↯ Material Fino bajo 0,08 mm	NCh 1223
↯ Impurezas Orgánicas	NCh 166
↯ Partículas desmenuzables % máx.	NCh 1327
↯ Partículas Blandas % máx.	NCh 170 Anexo E
↯ Sales agresivas (kg/m <sup>3</sup> de hormigón	NCh 1444/1
↯ Carbón y Lignito % máx.	NCh 170 Anexo E
↯ Resistencia a la desintegración	NCh 1328
↯ Resistencia al desgaste	NCh 1369
↯ Absorción de agua % máx.	NCh 1117
	NCh 1239
↯ Coeficiente volumétrico medio	NCh 1511

#### 4.7. ESTUDIO GEOFÍSICO

El estudio Geofísico complementa la caracterización dada por el estudio geotécnico. Los resultados de la interpretación de los perfiles sísmicos de refracción se muestran en los gráficos tiempo-distancia que son el reflejo de las configuraciones utilizadas en terreno.

Cada sección muestra las capas o estratos calculados y las velocidades reales de las ondas con sus respectivos espesores. El Cuadro 4-7-1 muestra un resumen de estos resultados.

**CUADRO 4.7-1  
RESUMEN DE RESULTADOS ALTERNATIVA SELECCIONADA**

Alternativa Seleccionada	Perfil	E <sup>1er</sup> est. m	Veloc. m/seg	E <sup>2do</sup> est. m	Veloc. m/seg	Prof <sup>3er</sup> est. m	Veloc. m/seg
	1, Figura 3		2	1250	>2	4140	
2, Figura 4		3	1650	>3	4870		
3, Figura 5		2 - 3	560	>2 - 3	4170		
4, Figura 6		1 - 2	800	4 - 6	2600	>6 - 7	4650

E = espesor est= estrato Veloc = velocidad Prof= profundidad  
Fuente: SEGMI

Para caracterizar los materiales del subsuelo en cuanto a su calidad geotécnica se utilizó una aproximación a la información inédita obtenida en el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, Cuadro 4.7-2.

**CUADRO 4.7-2  
RESUMEN DE RESULTADOS**

Vp m/seg	Tipo de Material
400 - 1000	Suelo superficial, finos, arenas, vegetal y otros
1000 - 2500	Roca meteorizada a suelos compactos
2500 - 2900	Roca meteorizada a rocas sanas
>2900	Rocas sanas
-----	Límite de penetración de la onda sísmica de acuerdo a la longitud del perfil sísmico

Fuente: SEGMI

Las velocidades de rocas y suelos pueden variar en un rango amplio, estas variaciones dependen fundamentalmente del grado de meteorización en la que se encuentren.

Los materiales sedimentarios naturales como gravas, arenas, escombros de falda u otros también presentan un rango de velocidades amplio, los cuales dependerán fundamentalmente de su grado de consolidación, tamaño del grano, contenido de agua y edad geológica. Estos pueden variar aproximadamente entre 300 a 2600 m/seg.

En la Alternativa seleccionada las velocidades encontradas en el segundo estrato de los Perfiles 1, 2 y 3 corresponderían a roca de alta calidad geotécnica. El segundo estrato del Perfil 4 correspondería a rocas de regular calidad geotécnica, 2.600 m/seg y el tercer estrato calculado representa la roca sana de alta calidad geotécnica.

#### 4.8. DERECHOS DE AGUA

Este estudio permite caracterizar la situación y condición de los derechos de agua en la zona. En la zona de estudio existen derechos de agua tanto superficiales como subterráneos. El análisis acabado de los derechos y su regularización se está realizando por parte de la empresa CEPA en el estudio "Saneamiento y Regularización Derechos de Agua en Arica y Parinacota". Además se está realizando un programa de conformación de la Junta de Vigilancia del Valle de Vitor por parte de la consultora Agrolely LTDA.

## 5. ESTUDIO AGROECONÓMICO

### 5.1. OBJETIVOS Y ALCANCES GENERALES

El estudio agroeconómico evaluó los beneficios económicos del proyecto de construcción del embalse Umirpa, comparando 3 escenarios distintos: Situación Actual, Situación Actual Optimizada y Situación Futura o Con Proyecto.

El área de influencia es la Quebrada de Vítor, la que para el presente estudio se subdividió de manera inicial en cinco sectores, pero posteriormente se descartó del estudio la zona de Caleta Vítor (Sector 4), quedando finalmente los sectores 1, 2, 2A y 3.

- ◆ Sector 1: Se ubica al oriente de la localidad de Cala Cala y Chitita, partiendo en la localidad de Corralones hasta Incauta.
- ◆ Sector 2: Corresponde a la quebrada de Codpa, desde Cala Cala por el oriente hasta Ofragía por el poniente.
- ◆ Sector 2A: Este sector corresponde a un estrecho, profundo y sinuoso cañón donde se ubican algunos poblados como Pintatani, Caunza y Chaqui.
- ◆ Sector 3: Corresponde al Valle de Chaca, ubicado en las inmediaciones de la Ruta 5 Norte.

### 5.2. 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 secundarias de información se confeccionó el listado predial por sector de riego. Posteriormente, se efectuó la estratificación de la propiedad agrícola por tamaño según la superficie total de cada una de las propiedades. Esta estratificación se realizó con el objeto de analizar y representar de la mejor forma la encuesta muestral y el posterior diagnóstico de las situaciones actual, optimizada y futura o con proyecto y obtener a partir de ella los Estudios de Casos representativos de cada sector en estudio.

En resumen la estratificación adoptada es la siguiente:

- ◆ Estrato 0 a 0,5 ha: Agricultura subfamiliar y de subsistencia
- ◆ Estrato 0,51 a 1 ha: Corresponde a unidades familiares pequeñas, con mayor provecho de sus tierras con fines comerciales y de autoconsumo.
- ◆ Estrato 1,01 a 5 ha: Predios de tamaño mediano en relación a la zona en estudio. Comprende agricultores que destinan sus predios principalmente a la agricultura comercial en base a hortalizas y frutales.

- ♦ Estrato de 5,01 a 10 ha: Predios de tamaño grande en relación a la zona en estudio. En general estos predios destinan la totalidad de sus recursos a una agricultura comercial.
- ♦ Estrato mayor de 10 ha: Predios muy grandes en relación a la zona en estudio. Comprende tanto predios de uso y goce privado con alta tecnología, como predios pertenecientes a comunidades indígenas y/o de bienes nacionales, no necesariamente explotados en forma tecnificada y/o intensiva. Cabe señalar que en caso de explotaciones de Bienes Nacionales, éstas se encuentran en calidad de toma por sus actuales agricultores.

En el Cuadro 5.2-1 se presenta la estratificación por sector y estratos de tamaño.

**CUADRO 5.2-1  
DISTRIBUCIÓN PREDIAL POR SECTOR Y ESTRATOS DE TAMAÑO**

Sector	Estrato de Tamaño	Número de Predios	Superficie Total (ha)	Superficie de Riego (ha)			Acciones
				Canal	Pozo	Secano	
1	0 a 0,5	14	2,68	1,47	0,00	1,22	168,00
	0,51 a 1,0	5	3,93	1,93	0,00	2,00	108,00
	1,01 a 5,0	11	28,07	12,55	0,00	15,52	30,00
	5,01 a 10,0	5	35,05	0,75	0,00	34,30	90,00
<b>Total Sector 1</b>		<b>35</b>	<b>69,73</b>	<b>16,70</b>	<b>0,00</b>	<b>53,04</b>	<b>396,00</b>
2	0 a 0,5	308	66,07	35,42	0,00	30,65	4.725,50
	0,51 a 1,0	48	32,85	14,88	0,00	17,97	1.139,14
	1,01 a 5,0	27	43,21	18,08	0,00	25,13	1.001,00
	5,01 a 10,0	1	5,88	0,00	0,00	5,88	0,00
<b>Total Sector 2</b>		<b>384</b>	<b>148,01</b>	<b>68,38</b>	<b>0,00</b>	<b>79,63</b>	<b>6.865,64</b>
2A	> de 10,0	1	80,00	10,00	0,00	70,00	0,00
<b>Total Sector 2A</b>		<b>1</b>	<b>80,00</b>	<b>10,00</b>	<b>0,00</b>	<b>70,00</b>	<b>0,00</b>
3	0,51 a 1,0	2	1,66	0,65	0,65	1,01	19,50
	1,01 a 5,0	27	77,80	21,63	35,98	37,83	572,40
	5,01 a 10,0	5	35,86	9,18	9,70	26,16	186,00
	> de 10,0	6	249,22	56,99	59,99	189,23	649,00
<b>Total Sector 3</b>		<b>40</b>	<b>364,54</b>	<b>88,45</b>	<b>106,32</b>	<b>254,23</b>	<b>1.426,90</b>
<b>Total Área</b>		<b>460</b>	<b>662,28</b>	<b>183,53</b>	<b>106,32</b>	<b>456,90</b>	<b>8.688,54</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de DOH (2002) y DGA (1994).

### 5.3. SITUACIÓN ACTUAL

Para una completa caracterización de la situación actual agrícola es necesario establecer una serie de atributos físicos, productivos, legales y económicos, asociados a los distintos tipos de agricultores existentes en el área de estudio. Para lograr este objetivo se implementó una encuesta simple de tipo cuantitativa que indaga en cada uno de estos ámbitos. La encuesta abarcó 101 predios de los 477 existentes, alcanzando el 21,2% de representatividad.

Luego del análisis de los resultados de la encuesta simple se realizó un estudio de casos, el que tiene por finalidad ahondar en los aspectos técnicos de los distintos rubros productivos del área de estudio, identificando en forma precisa todas las labores, insumos y productos que se obtienen en la agricultura y ganadería, y los costos asociados, para finalmente confeccionar las fichas técnico-económicas de cultivo, elementos claves para la evaluación posterior de los beneficios del proyecto. Se realizaron 19 estudios de caso que se relacionan directamente con los cultivos, contemplando los distintos niveles de rendimiento de los mismos, presentes en la zona de estudio.

La encuesta agropecuaria y los estudios de caso son la base para realizar la caracterización económica del área en estudio. Una vez que los datos fueron recopilados en terreno, se procesaron y analizaron en gabinete, con lo cual se estableció la estructura de cultivos característica de la Situación Actual Agropecuaria, que a su vez, ha servido para determinar los predios promedio para la caracterización económica (y posterior evaluación económica del proyecto). El uso del suelo de la Situación Actual se obtiene de la expansión de los resultados de la encuesta simple. En total se contemplan 249,7 ha regadas, las que pueden llegar a 407,2 ha si se considera el Sector 4 correspondiente a la Caleta Vitor.

#### **5.4. SITUACIÓN ACTUAL OPTIMIZADA**

La situación actual optimizada, que sirve de base para la evaluación económica del proyecto, se ha definido como aquella resultante de un conjunto de acciones tendientes a efectuar cambios en la actividad agropecuaria del área, sin la realización de las obras planteadas en el proyecto de riego. Este proceso será planteado y desarrollado dentro de un Programa de Asistencia Técnica y Transferencia Tecnológica orientado principalmente a producir cambios de conducta por parte de los agricultores de nivel tecnológico y empresarial bajo y medio. Consiste en un mejoramiento de la situación actual con recursos que no superan el 5% de las inversiones efectuadas en la situación con proyecto.

Un aspecto importante a destacar es que no se ha considerado un cambio en la estructura de cultivos ni de los costos indirectos con respecto a lo definido en la situación actual.

#### **5.5. SITUACIÓN FUTURA O CON PROYECTO**

La situación futura o con proyecto corresponde al mejoramiento de las condiciones actuales que enfrenta el área en estudio por medio de la ejecución y construcción de obras civiles, que en este caso específico se producen por la construcción del embalse Umirpa.

El área de estudio cuenta con recursos de suelo y clima, particularmente apropiados para una agricultura intensiva basada en una explotación amplia de cultivos, tales como frutales de hoja perenne y caduca, parronales y vides viníferas y hortalizas.

Para potenciar una adecuada utilización de los recursos disponibles, es necesario previamente mejorar la seguridad de riego, permitiendo de esta forma satisfacer los requerimientos hídricos de las diversas especies asignadas en el área de estudio.

Se debe señalar que las especies frutales asignadas corresponden a las que actualmente existen en el área, tales como guayabos, mangos, limoneros, olivos y uva de mesa, además de la vid vinífera cepa País. Además de los frutales, se ha intensificado el cultivo de hortalizas, especialmente en base a tomate, ají, arveja, melón, morrón, cebolla, choclo, porotos verde y granado y zapallos italianos.

De esta forma se espera que las mejorías de la situación futura, en relación a los márgenes, se concreten en un plazo no superior a los dieciseis años en aquellos predios de nivel medio a alto y en un plazo de dieciocho en predios de nivel técnico bajo y medio-bajo. Lo anterior, además del período de establecimiento y de puesta en riego, considera la curva natural de producción de los frutales asociada a la edad y que contempla distintos costos e ingresos, según su entrada en producción y período de estabilización.

Los criterios de desarrollo que están presentes en la determinación de la Situación Con Proyecto se han basado íntegramente en experiencias locales y en las actuales perspectivas agroeconómicas debido al proyecto de mejoramiento y unificación de los canales.

La estructura de uso futuro del suelo se planteó suponiendo que se mantendrán los mismos factores y prioridades que definen el uso actual de la tierra, es decir, el uso de la tierra se adaptará a las condiciones hidrológicas esperadas y a la seguridad de riego asociada, información que se presenta en el Cuadro 5.5-1, en comparación con el uso del suelo de la Situación Actual.

**CUADRO 5.5-1  
COMPARACIÓN USO DEL SUELO ACTUAL Y FUTURO  
TOTAL ÁREA DE ESTUDIO**

Rubro Productivo		Comparación de Superficies (ha)			
		S. Actual	S. Futura	Diferencia	
RIEGO		ha	ha	ha	%
Hortalizas	Ají	0,062	5,166	5,104	99,00%
	Arveja	5,800	10,673	4,873	46,00%
	Cebolla	4,336	16,172	11,836	73,00%
	Choclo	14,603	30,145	15,542	52,00%
	Lechuga	0,914	18,113	17,199	95,00%
	Melón	1,484	20,994	19,510	93,00%
	Poroto Granado	2,600	17,786	15,186	85,00%
	Poroto Verde	0,663	8,410	7,747	92,00%
	Tomate	10,384	47,213	36,829	78,00%
	Zapallo Italiano	2,293	13,367	11,074	83,00%
	Huerta Casera	0,712		-0,712	-100,00%
	Otras Hortalizas	8,841		-8,841	-100,00%
	Arveja / Arveja	8,253	48,549	40,296	83,00%

**CUADRO 5.5-1  
COMPARACIÓN USO DEL SUELO ACTUAL Y FUTURO  
TOTAL ÁREA DE ESTUDIO**

Rubro Productivo		Comparación de Superficies (ha)			
		S. Actual	S. Futura	Diferencia	
RIEGO		ha	ha	ha	%
	Cebolla / Choclo	1,686	10,249	8,563	84,00%
	Poroto Verde / Choclo	5,801	14,364	8,563	60,00%
	Choclo / Melón	4,114	12,678	8,564	68,00%
	Morrón / Huerta Casera	0,405	3,710	3,305	89,00%
Frutales y Vides	Ciruelo	2,948	2,948		
	Duraznero	3,364	3,364		
	Guayabo	13,498	27,494	13,996	51,00%
	Limonero	7,927	22,916	14,989	65,00%
	Mango	29,634	60,625	30,991	51,00%
	Maracuyá	2,906	2,906		
	Membrillo	4,032	4,032		
	Naranja	16,860	16,860		
	Olivo	16,251	46,481	30,230	65,00%
	Palto	8,897	8,897		
	Pera	9,370	9,370		
	Tuna	6,494	6,494		
	Uva de Mesa	2,243	38,629	36,386	94,00%
	Frutales Varios	12,660	12,660		
	Vid Vinífera	29,156	40,036	10,880	27,00%
	Guayaba c/Alfalfa	0,811	0,811		
	Naranja c/Alfalfa	0,998	0,998		
	Palto c/Alfalfa	1,248	1,248		
	Tuna c/Alfalfa	0,306	0,306		
	Frutales Varios c/Alfalfa	0,655	0,655		
	Vid Vinífera c/Alfalfa	1,404	1,404		
	Naranja c/Prad. Natural	2,241	2,241		
F. Varios c/Prad. Natural	0,717	0,717			
<b>Praderas y Otros Usos</b>	Alfalfa	2,098	2,638	0,540	20,00%
<b>Total Riego</b>		<b>249,669</b>	<b>592,319</b>	<b>342,650</b>	<b>58,00%</b>
<b>SECANO</b>					
	Pradera Natural	22,337		-22,337	-100,00%
	Barbecho	8,553		-8,553	-100,00%
	Secano Sin Uso	312,467		-312,467	-100,00%
	<b>Total Secano</b>	<b>343,357</b>		<b>-343,357</b>	<b>-100,00%</b>
	Indirectamente Productivo	27,352	27,352		
	Sin Uso Agrícola	41,902	41,902		
	<b>Total Área</b>	<b>662,280</b>	<b>662,280</b>		

Fuente: Elaboración propia.

## 5.6. DEMANDAS DE AGUA

Se realizó para la Situación Actual, Actual Optimizada y Futura con Proyecto una descripción de las demandas de agua para uso agrícola en base a la caracterización productiva predial: Para obtener la demanda bruta total del área regada se requiere de

información correspondiente a evapotranspiración potencial, coeficientes de cultivo, precipitación efectiva, demandas netas de agua de riego, eficiencias y tasas de riego por cultivo.

En el Cuadro 5.6-1 se presenta un resumen de la demanda por cada sector definido para el presente estudio. Como conclusión se desprende que la demanda bruta actual es de 3,96 millones de m<sup>3</sup> aproximadamente para la superficie de riego. En Situación Actual Optimizada la cifra llega a 3,43 millones de m<sup>3</sup>. Finalmente, las demandas futuras llegan a 6,49 millones de m<sup>3</sup>.

Es importante destacar que el valor obtenido no considera pérdidas en el sistema de conducción extrapredial. Estas pérdidas si se contemplan en el modelo de operación del embalse.

**CUADRO 5.6-1  
DEMANDA BRUTA (m<sup>3</sup>/mes)**

Situación Actual													
Sector	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	Total
1	7.619	21.043	6.627	6.968	11.907	19.425	25.682	12.760	10.625	10.757	30.538	16.796	180.749
2	103.326	155.112	90.577	99.602	127.389	175.282	214.784	252.223	248.090	234.027	212.622	139.962	2.052.995
2A	0	0	0	0	11.770	24.020	37.290	50.960	47.710	41.620	35.860	0	249.230
3	123.931	325.894	111.750	110.286	102.839	114.502	106.843	104.896	100.651	83.692	100.621	97.067	1.482.972
Situación Actual Optimizada													
Sector	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	Total
1	5.645	5.315	6.118	6.433	10.993	17.925	23.705	11.772	9.813	9.931	28.183	15.510	151.343
2	91.239	83.807	83.670	92.083	117.729	161.959	198.279	232.823	228.994	216.015	196.268	129.203	1.832.069
2A	0	0	0	0	10.380	21.200	32.900	44.960	42.100	36.730	31.640	0	219.910
3	104.682	103.921	110.065	108.433	100.786	112.456	105.066	103.651	99.093	81.980	98.532	95.501	1.224.166
Situación Futura													
Sector	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	Total
1	9.040	9.100	10.941	10.768	40.432	75.824	106.229	49.046	29.307	36.315	100.858	49.737	527.596
2	98.509	92.310	93.377	113.031	144.051	189.128	200.858	237.046	231.960	218.813	198.588	133.969	1.951.639
2A	13.611	17.889	21.628	24.607	39.585	58.425	65.745	79.803	74.709	66.283	62.335	7.343	531.962
3	263.363	271.935	289.723	289.038	306.983	340.434	315.182	329.528	302.835	244.377	267.919	258.510	3.479.827

Fuente: Elaboración propia

## 5.7. BENEFICIOS AGRÍCOLAS NETOS DEL PROYECTO

### 5.7.1. Determinación de Flujos Agroeconómicos

Considerando los criterios planteados en el capítulo de "Criterios de Desarrollo" de la Situación Futura o con Proyecto, los respectivos períodos de transición y las curvas logísticas asociadas, se determinaron los flujos de márgenes netos correspondientes a la situación actual a optimizada y actual a futura o con proyecto para los Predios Promedio y sus correspondientes expansiones.

Los márgenes brutos se han determinado a través de la multiplicación de cada superficie asignada por el margen neto unitario resultante de las fichas técnico-económicas. Posteriormente, en la situación actual se descontaron los gastos indirectos y los costos de

inversión y operación de riego tecnificado. En situación optimizada, además de los descuentos señalados para la situación actual, se descontaron los costos del programa de transferencia tecnológica. En situación futura se consideraron los costos por concepto de gastos indirectos, riego tecnificado, habilitación de terrenos y del programa de transferencia tecnológica.

En el caso específico de la situación actual a actual optimizada en que los recursos hídricos no se encuentran regularizados y por lo tanto la superficie actualmente regada no cuenta con una seguridad de riego adecuada, se ha procedido a afectar los rendimientos y costos de cosecha de acuerdo a la fórmula del Factor de Producción propuesta por Doorenbos y Kassan 1979 (FAO 33) y Ferreyra; Selles y otros 1985 y 1991.

En relación a la situación futura o con proyecto, según los resultados del modelo de simulación efectuado en la presente consultoría, la totalidad de los sectores son regados con un factor de satisfacción mayor al 85%, razón por la cual no fueron afectados con la fórmula del factor de producción.

En relación al sector 2A de Pintatane, en la alternativa de sólo embalse no es factible de regar, razón por la cual no fue considerado dentro de los flujos de evaluación. En cambio, en la alternativa de embalse más tubería, dicho sector se satisface en un 100%, por la cual si es considerado dentro de los flujos de evaluación.

En el Cuadro 5.7.1-1 se presenta un resumen de los flujos para el total del área.

**CUADRO 5.7.1-1  
RESUMEN DE FLUJOS PARA EL TOTAL ÁREA (\$)**

Año	Margen Neto						Flujo Neto			
	Situación Actual		Situación Futura Solo Embalse		Situación Futura Embalse y Tubería		Situación Futura Solo Embalse		Situación Futura Embalse y Tubería	
	Precio Mercado	Precio Social	Precio Mercado	Precio Social	Precio Mercado	Precio Social	Precio Mercado	Precio Social	Precio Mercado	Precio Social
1	230.197.535	304.664.793	252.564.430	326.876.580	255.934.330	331.314.467	22.366.895	22.211.787	25.736.795	26.649.674
2	234.161.973	308.938.442	217.627.828	291.939.978	219.667.028	295.047.165	-16.534.145	-16.998.464	-14.494.945	-13.891.277
3	237.736.359	312.978.084	130.179.821	237.823.281	130.570.878	240.737.268	-107.556.538	-75.154.803	-107.165.481	-72.240.816
4	252.123.094	329.059.909	171.267.269	333.835.985	180.621.091	348.622.622	-80.855.825	4.776.076	-71.502.003	19.562.713
5	248.482.229	325.395.416	301.344.421	541.637.066	326.443.646	576.533.933	52.862.192	216.241.650	77.961.417	251.138.517
6	248.738.122	325.818.912	542.449.692	883.556.485	591.037.329	947.761.535	293.711.570	557.737.573	342.299.207	621.942.623
7	261.002.439	337.912.900	1.218.652.367	1.532.706.708	1.325.368.689	1.662.315.156	957.649.928	1.194.793.808	1.064.366.250	1.324.402.256
8	31.770.272	156.798.971	1.368.105.537	1.701.825.370	1.516.534.259	1.880.420.930	1.336.335.265	1.545.026.399	1.484.763.987	1.723.621.959
9	265.730.928	342.014.559	1.525.254.744	1.861.518.250	1.687.894.790	2.054.325.134	1.259.523.816	1.519.503.691	1.422.163.862	1.712.310.575
10	278.271.466	355.499.444	1.605.907.921	1.949.572.505	1.768.547.967	2.142.379.389	1.327.636.455	1.594.073.061	1.490.276.501	1.786.879.945
11	276.698.646	353.784.167	1.665.645.834	2.014.576.535	1.828.285.880	2.207.383.419	1.388.947.188	1.660.792.368	1.551.587.234	1.853.599.252
12	262.566.687	338.489.081	1.696.149.650	2.047.627.453	1.858.789.696	2.240.434.337	1.433.582.963	1.709.138.372	1.596.223.009	1.901.945.256
13	145.908.270	231.917.994	1.716.297.992	2.069.922.388	1.878.046.714	2.261.837.948	1.570.389.722	1.838.004.394	1.732.138.444	2.029.919.954
14	232.531.017	307.352.291	1.752.548.416	2.107.899.199	1.915.188.462	2.300.706.083	1.520.017.399	1.800.546.908	1.682.657.445	1.993.353.792
15	210.773.238	285.118.833	1.761.615.593	2.117.766.923	1.924.255.639	2.310.573.807	1.550.842.355	1.832.648.090	1.713.482.401	2.025.454.974
16	225.549.230	297.604.641	1.774.001.615	2.131.392.024	1.936.641.661	2.324.198.908	1.548.452.385	1.833.787.383	1.711.092.431	2.026.594.267
17	203.228.683	279.794.691	1.788.897.750	2.147.849.181	1.951.537.796	2.340.656.065	1.585.669.067	1.868.054.490	1.748.309.113	2.060.861.374
18	238.364.785	311.348.101	1.789.834.792	2.150.335.907	1.951.512.618	2.342.180.571	1.551.470.007	1.838.987.806	1.713.147.833	2.030.832.470
19	227.790.151	300.668.815	1.796.480.651	2.157.055.195	1.959.120.697	2.349.862.079	1.568.690.500	1.856.386.380	1.731.330.546	2.049.193.264
20	-245.241.952	-123.707.872	1.536.582.077	1.896.805.310	1.699.222.123	2.089.612.194	1.781.824.029	2.020.513.182	1.944.464.075	2.213.320.066
21	254.267.119	328.299.116	1.768.273.455	2.128.765.665	1.930.913.501	2.321.572.549	1.514.006.336	1.800.466.549	1.676.646.382	1.993.273.433
22	254.031.327	328.440.616	1.781.950.192	2.140.176.336	1.944.590.238	2.332.983.220	1.527.918.865	1.811.735.720	1.690.558.911	2.004.542.604
23	255.618.011	330.098.403	1.773.198.727	2.131.819.950	1.935.110.719	2.323.898.780	1.517.580.716	1.801.721.547	1.679.492.708	1.993.800.377
24	271.095.789	347.464.198	1.704.333.972	2.063.450.733	1.861.203.878	2.250.487.477	1.433.238.183	1.715.986.535	1.590.108.089	1.903.023.279
25	280.644.266	357.630.735	1.612.768.656	1.971.995.876	1.763.150.907	2.152.544.965	1.332.124.390	1.614.365.141	1.482.506.641	1.794.914.230
26	276.737.111	353.816.586	1.466.560.275	1.819.265.899	1.609.900.628	1.992.773.090	1.189.823.164	1.465.449.313	1.333.163.517	1.638.956.504
27	280.311.543	357.666.516	1.709.604.081	2.053.834.160	1.872.244.127	2.246.641.044	1.429.292.538	1.696.167.644	1.591.932.584	1.888.974.528
28	266.926.682	343.259.508	1.607.090.081	1.955.473.477	1.768.838.803	2.147.389.037	1.340.163.399	1.612.213.969	1.501.912.121	1.804.129.529
29	260.849.072	336.613.917	1.543.458.916	1.897.287.132	1.706.098.962	2.090.094.016	1.282.609.844	1.560.673.215	1.445.249.890	1.753.480.099
30	241.369.732	315.658.421	1.656.737.816	1.996.748.976	1.819.377.862	2.189.555.860	1.415.368.084	1.681.090.555	1.578.008.130	1.873.897.439

Fuente: Elaboración Propia.

### 5.7.2. Balance de Mano de Obra

Cabe señalar que de acuerdo a los criterios de desarrollo propuestos para el presente proyecto se estima que su estabilización se logrará en el año 2032. En el acápite Descripción General del Área, Antecedentes Regionales y Comunes, Población, letra e) se presenta la mano de obra agrícola disponible al año 2011, de donde se desprende que ésta alcanza a 3.411 hombres y 845 mujeres, lo que suma en total 4.256 personas.

De análisis realizado se concluye que en Situación Actual el requerimiento de mano de obra permanente en el área de estudio asciende a 36 personas, considerando que cada obrero trabaja 24 días al mes. Entretanto, en Situación Futura, este tipo de empleo asciende a 44.298,3 jornadas totales anuales, lo que equivale a 153,8 personas mensuales.

De esta manera, se deduce que por efectos de la ejecución del presente proyecto, hacia el año 2032, los puestos de trabajo permanente se incrementarían en más de cuatro veces, evolución que corresponde a 117,8 unidades de nuevas plazas de colocación.

Teniendo en consideración la demanda de mano de obra permanente en situación actual, del orden de 10.361 jornadas, y la estimada en plena madurez del proyecto, año 2032 con 44.298,3 jornadas de trabajo permanente; la tasa interanual de crecimiento de los requerimientos de mano de obra, entre ambas situaciones, alcanza a 7,164%.

Con el propósito de realizar el balance de mano de obra, se utilizará la información disponible al año 2011, referida a la mano de obra existente en el área de estudio disponible para ocuparse en las labores agrícolas, sin considerar a las personas dedicadas a los quehaceres del hogar, que eventualmente podrían incorporarse a este sector. Al comparar la población residente disponible para desempeñarse en el sector agrícola en el año 2032, equivalente a 5.514 personas, se concluye que ésta satisface plenamente los requerimientos de mano de obra permanente en la plena madurez del proyecto.

## 6. 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 y la generación hidroeléctrica con recursos superficiales. Además, se considera la recarga al acuífero del sector de Chaca desde el embalse y el bombeo en la zona de riego. La generación se realiza al pie del muro.

**Escenario 3:** Embalse para satisfacer la demanda de riego y para la generación hidroeléctrica sólo con recursos superficiales. Se considera la construcción de una conducción gravitacional desde Ofragía hasta Chaca. La generación se realiza en el último tramo de la conducción.

## **7. MODELO DE SIMULACIÓN SIMPLIFICADO DEL SISTEMA DE RIEGO QUEBRADA DE VITOR**

### **7.1. OBJETIVO GENERAL**

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**

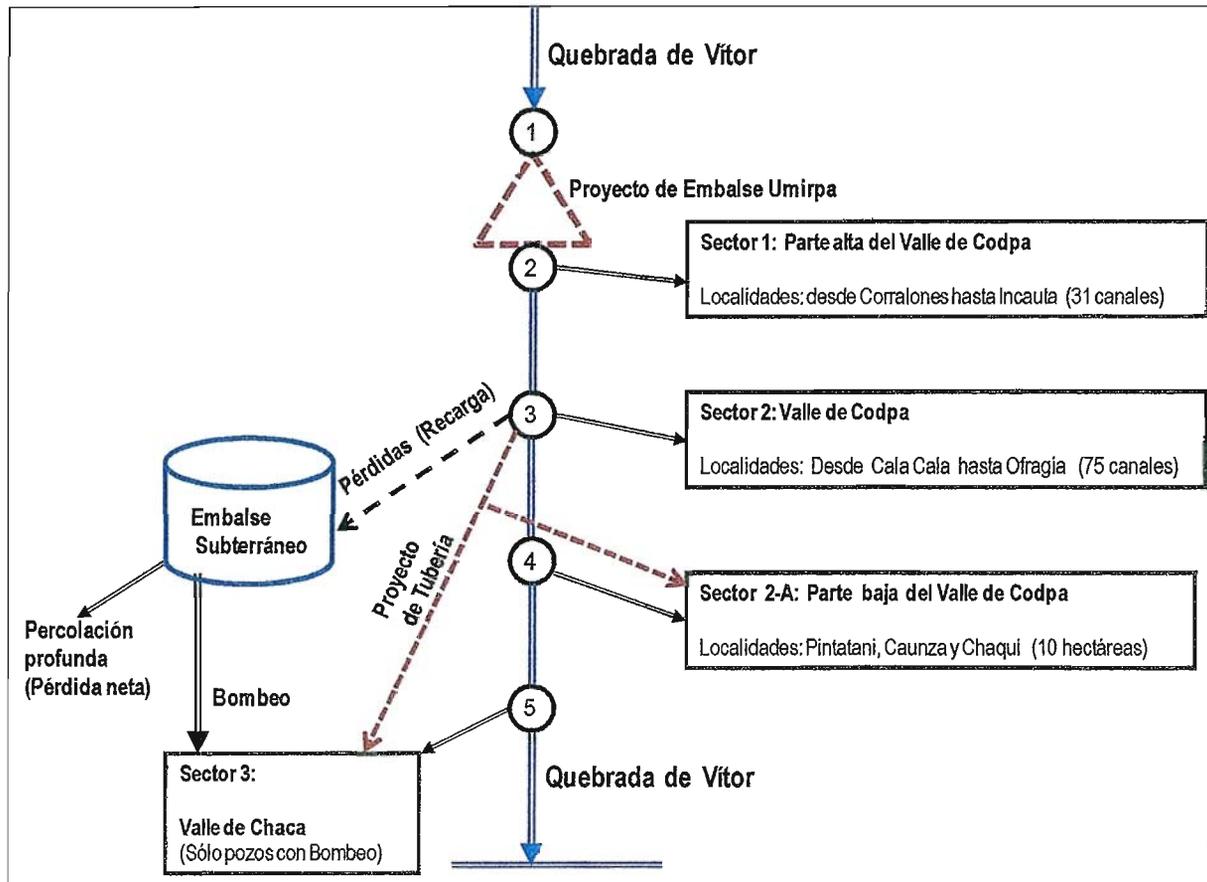
La información básica utilizada corresponde a estudios realizados en esta misma Consultoría, como es el caso del estudio hidrológico (Estadísticas de caudales medios mensuales), estudio agronómico (Superficies y demandas de agua de riego de cada sector, etc.). Los balances de agua son de las aguas superficiales y subterráneas. 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 el esquema de la Figura 7.2-1 se ilustra el esquema del modelo con el cual se representa los balances de agua en el valle de Vitor.

**FIGURA 7.3-1  
ESQUEMA GENERAL DEL MODELO DE SIMULACIÓN**



Fuente: Elaboración Propia

En este esquema se aprecia los siguientes elementos que intervienen en el balance hídrico:

- ◆ Caudal afluente superficial, representado por la estadística de caudales medios mensuales afluentes al embalse.
- ◆ Proyecto de embalse Umirpa, considerando la ubicación seleccionada (Alternativa 1, de más aguas abajo)

- ◆ Los Sectores de riego son los definidos en Estudio Agroeconómico (Acápite 5.1) y de estos se puede agregar lo siguiente:
  - Sector N° 1: Este sector se abastece sólo con canales que captan desde el río.
  - Sector N° 2: Este sector se abastece sólo con canales que captan desde el río.
  - Sector N° 2-A: En la situación actual, este sector se abastece sólo con canales que captan desde el río. En la situación futura, escenario 3, se podría abastecer además con una tubería desde Ofragía.
  - Sector N° 3: Se abastece con pozos con Bombeo. Una parte de esta zona está bajo canal, que se abastece en forma eventual desde el río, durante el invierno altiplánico.
- ◆ Aportes subterráneos que llegan a la zona del valle de Chaca, donde son bombeados.
- ◆ Proyecto de tubería desde Ofragía hasta la zona de Chaca, abasteciendo los sectores 2-A y 3.
- ◆ Embalse subterráneo, que recibe como recarga las pérdidas por infiltración aguas abajo de Ofragía. Este embalse subterráneo se modela con los parámetros siguientes:
  - Volumen máximo: Cuando se supera este volumen, se produce escorrentía superficial, principalmente en el invierno altiplánico.
  - Coeficiente de percolación, que corresponde a la fracción del volumen del embalse subterráneo que se pierde como infiltración profunda (pérdida neta).
  - Volumen inicial del embalse subterráneo.

#### 7.4. RESUMEN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el cuadro 7.4-1 siguiente se resume los resultados obtenidos con el modelo de simulación.

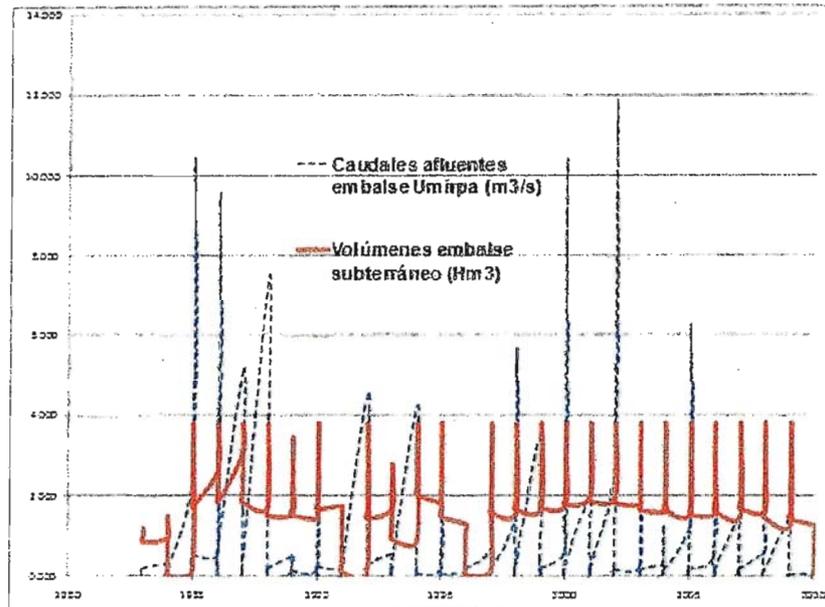
**CUADRO 7.4-1  
RESUMEN DE RESULTADOS DEL MODELO DE SIMULACIÓN**

Parámetros del Escenario	Unidad	ESC 1		ESC 2	ESC 3
		Actual	Actual Optimizada	Con Embalse	Con emb y Tub
Volumen útil embalse superficial	hm <sup>3</sup>	0	0	15,3	15,3
Volumen máximo embalse subterráneo	hm <sup>3</sup>	3,8	3,8	3,8	3,8
Volumen muerto del embalse Umirpa	hm <sup>3</sup>	0	0	2,8	2,8
Volumen inicial embalse subterráneo	hm <sup>3</sup>	1,2	1,2	1,2	1,2
Volumen inicial del embalse superficial	hm <sup>3</sup>	0	0	0	0
Capacidad de conducción proyecto tubería	m <sup>3</sup> /s	0	0	0	0,16
Percolación profunda, fracción del volumen	( <sup>o</sup> /1)	0,05	0,05	0,05	0,05
<b>Resultado</b>					
Volumen promedio del embalse superficial	hm <sup>3</sup>	0	0	9,337	9,32
Rebases del embalse	m <sup>3</sup> /s	0,463	0,463	0,26	0,26
Volumen de Evaporación	hm <sup>3</sup>	0	0	0,232	0,232
Caudal de evaporación	m <sup>3</sup> /s	0	0	0,089	0,089
Caudal de pérdidas en tramo nodos 3 - 5 (Recarga)	m <sup>3</sup> /s	0,087	0,083	0,144	0,035
Caudal promedio bombeo	m <sup>3</sup> /s	0,044	0,036	0,105	0,003
Volumen promedio del embalse subterráneo	hm <sup>3</sup>	2,298	2,500	1,97	1,696
<b>Superficies regadas con seguridad 85%</b>					
Sector 1	ha	20,5	20,5	68,6	68,6
Sector 2	ha	14	15	136,2	136,2
Sector 2 -A	ha	0	0	0	42
Sector 3	ha	107	107	345,5	345,5
Total	ha	141,5	142,5	550,3	592,3

Fuente: Elaboración propia.

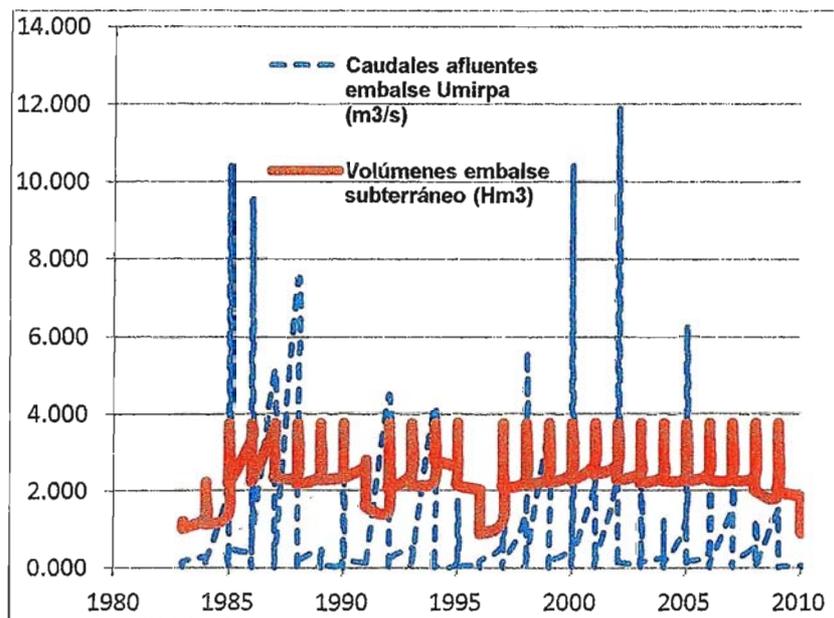
En las Figuras 7.4-1 a 7.4-4 se ilustra la variación del embalse subterráneo en cada mes simulado, junto a la serie de caudales afluentes al embalse Umirpa, para los escenarios 1 (Actual y Actual Optimizado), 2 y 3, respectivamente.

FIGURA 7.4-1  
VARIACION DEL VOLUMEN DEL EMBALSE SUBTERRÁNEO  
ESCENARIO N° 1 (ACTUAL)



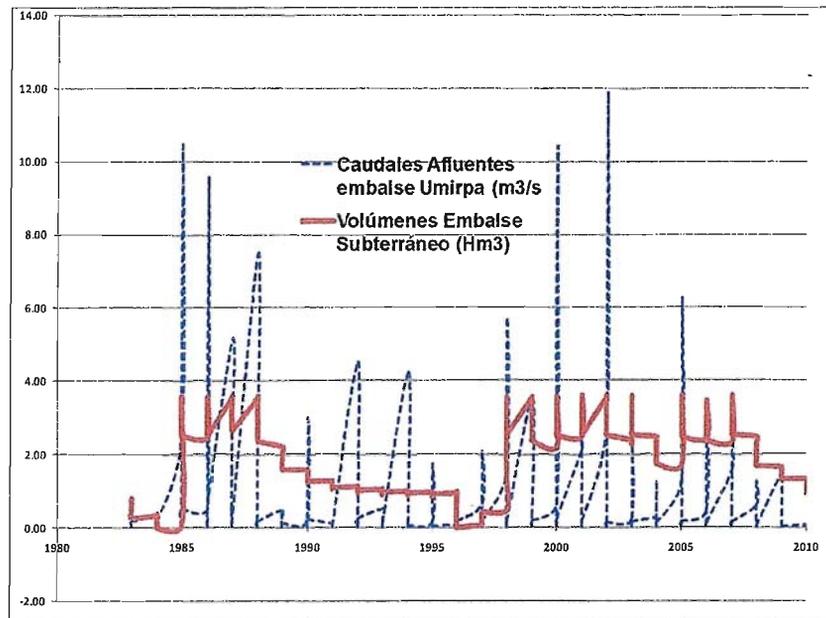
Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 7.4-2  
VARIACION DEL VOLUMEN DEL EMBALSE SUBTERRÁNEO  
ESCENARIO N° 1 (ACTUAL OPTIMIZADO)



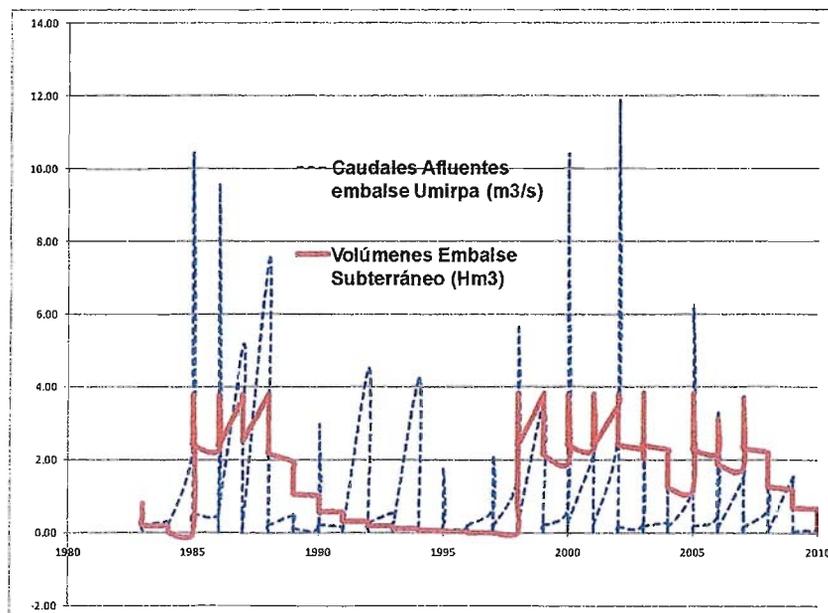
Fuente: Elaboración propia.

**FIGURA 7.4-3**  
**VARIACION DEL VOLUMEN DEL EMBALSE SUBTERRÁNEO**  
**ESCENARIO N° 2 (FUTURO CON EMBALSE)**



Fuente: Elaboración propia.

**FIGURA 7.4-4**  
**VARIACION DEL VOLUMEN DEL EMBALSE SUBTERRÁNEO**  
**ESCENARIO N° 3 (FUTURO CON EMBALSE Y TUBERÍA)**



Fuente: Elaboración propia.

Sobre la base de los resultados obtenidos, se indican las siguientes conclusiones:

- ◆ En la situación actual se riega un total de 141,5 ha con seguridad de 85%, de las cuales 107 corresponden al sector de Chaca y el resto a los sectores 1 y 2.
- ◆ En la situación actual Optimizada (futura sin proyecto) se riega un total de 142,5 ha con seguridad de 85%, de las cuales 107 corresponden al sector de Chaca y el resto a los sectores 1 y 2.
- ◆ En el escenario 2, con embalse, es posible regar un total de 550 has con seguridad de 85%, para lo cual se requiere un embalse con volumen útil de 15,3 hm<sup>3</sup>.
- ◆ En el escenario 3, con embalse y tubería de distribución, es posible regar un total de 592,3 has con seguridad de 85%, para lo cual se requiere un embalse con volumen útil de 15,3 hm<sup>3</sup> y una tubería de distribución a los sectores 2-A y 3, de 160 l/s de capacidad.
- ◆ La evaporación que se registra en el embalse es en promedio de 0,23 hm<sup>3</sup> mensuales, lo que equivale a un caudal continuo de 89 l/s. Este valor representa un 16,2% del caudal promedio afluente al embalse.
- ◆ En el escenario 3 se observa que el sector 3 de Chaca no se realizan bombeos, salvo en muy pocos meses en forma esporádica, (caudal promedio de bombeo de 3 L/s), debido a que esta zona se abastece directamente con la tubería. Esto representa un ahorro en el costo actual del bombeo en los pozos.
- ◆ Se observa que el volumen del embalse subterráneo tiene una variación hacia valores más bajos en el escenario 2 (con embalse) con respecto al escenario 1 (actual), debido a un mayor uso del agua, ya que se considera una mayor superficie regada y por lo tanto una mayor demanda. En el escenario 3 (con embalse y tubería), el volumen del embalse subterráneo baja aún más, debido a que se disminuye la recarga del acuífero, la cual es conducida por la tubería proyectada.
- ◆ La generación hidroeléctrica que es posible obtener, supeditada a las entregas de agua para riego, son las siguientes:
  - Minicentral a pie de embalse: 61 KW de potencia instalada, con una potencia media de generación de 33 KW.
  - Minicentral en final del tramo de tubería, 154 KW de potencia instalada, con una potencia media de generación de 100 KW.

- ◆ Se observa que las potencias de generación son muy pequeñas como para considerar un proyecto de línea de transmisión hacia un nudo del sistema interconectado o centro de consumo lejano. Por lo tanto, el posible aprovechamiento hidroeléctrico del proyecto se podría considerar de tipo local, como por ejemplo, la iluminación de las instalaciones del embalse o similar.

## **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
- ◆ Conducción y Distribución
- ◆ Obras Complementarias

### **8.2. CAPACIDADES DE EMBALSE**

Se definieron tres capacidades de Embalse para obtener una curva de costo, los tamaños se eligieron de acuerdo a la forma de la curva de embalse, morfología de la poza de inundación y disponibilidad del recurso. Las capacidades se describen a continuación:

- ◆ **Capacidad Máxima:** se definió bajo los siguientes antecedentes:
  - La amplitud de la tasa generada por el embalse impide que el muro supere los 29 metros ya que no se cuenta con la restitución necesaria para generar los bordes del área de inundación
  - Con valores cercanos a dicha altura de muro se alcanza el máximo de volumen posible de embalsar, es decir, no se dispone de más recursos hídricos en el punto.
- ◆ **Capacidad Media:** esta permite generar la curva de costos del embalse al generar un punto intermedio entre las otras dos capacidades.
- ◆ **Capacidad Mínima:** Capacidad utilizada en la etapa anterior que permitía el riego con 85% de seguridad en la parte Alta del Valle (Vila Vila - Ofragía), según los resultados del modelo de simulación Preliminar.

Con estas tres capacidades se estimó un espectro de costos del embalse propuesto.

El Volumen Umbral (Volumen máximo del embalse antes que comience a evacuar agua sobre el vertedero) obtenido para las distintas capacidades de embalse, se resume en el Cuadro 8.2-1 junto a la altura necesaria para embalsar dicho volumen, la cual se calcula a partir de la curva de embalse.

**CUADRO 8.2-1  
VOLUMEN UMBRAL**

Capacidades de Embalse	Volumen Muerto		Volumen Útil	Volumen Umbral	
	(hm <sup>3</sup> )	(h)	(hm <sup>3</sup> )	(hm <sup>3</sup> )	(h)
Mínima	2,80	14,50	4,10	6,90	18,39
Media	2,80	14,50	9,80	12,60	21,84
Máxima	2,80	14,50	20,00	22,80	26,44

Fuente: Elaboración Propia

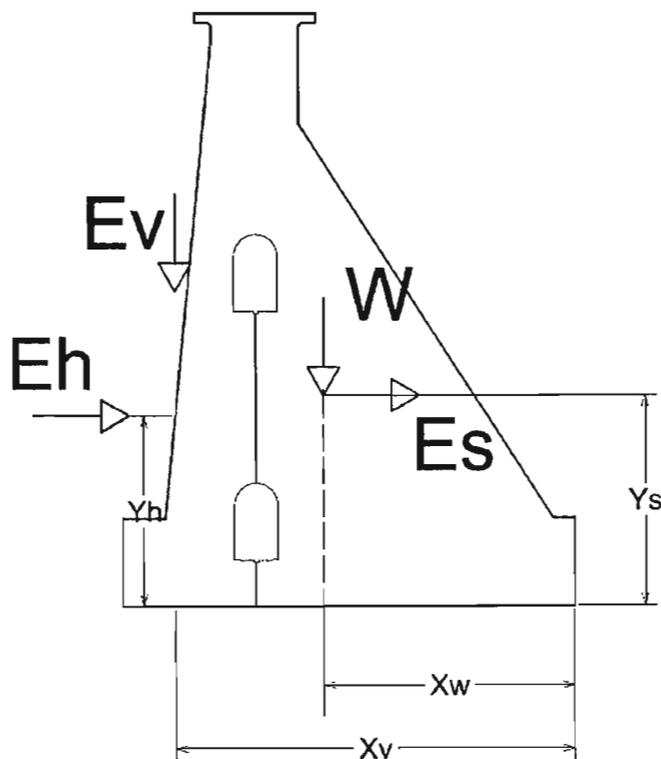
Del Cuadro 8.2-1 se puede desprender que la altura de muro asociada a la capacidad máxima no supera los 27 m de alto. Considerando que se desea una revancha máxima de 3 metros, la altura máxima de muro no superaría los 30 metros.

Además, de la curva de embalse, se sabe que el volumen almacenado para un muro de 30 metros alcanza un valor cercano a los 33 hm<sup>3</sup>.

### 8.3. DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA PRESA

Considerando las tres capacidades indicadas, se realizó el análisis de estabilidad estático y sísmico, tanto para el deslizamiento como para el vuelco de la estructura. Los resultados indicaron que no existen problemas de estabilidad en el muro. En la Figura 8.3-1 se presentan las fuerzas que afectan el Muro.

**FIGURA 8.3-1**  
**DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE LA PRESA. CASO ESTÁTICO**



Fuente: Elaboración propia.

#### 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 hidráulicos de Obras de Evacuación de Crecidas
- ✦ Diseño hidráulico de Obras Anexas

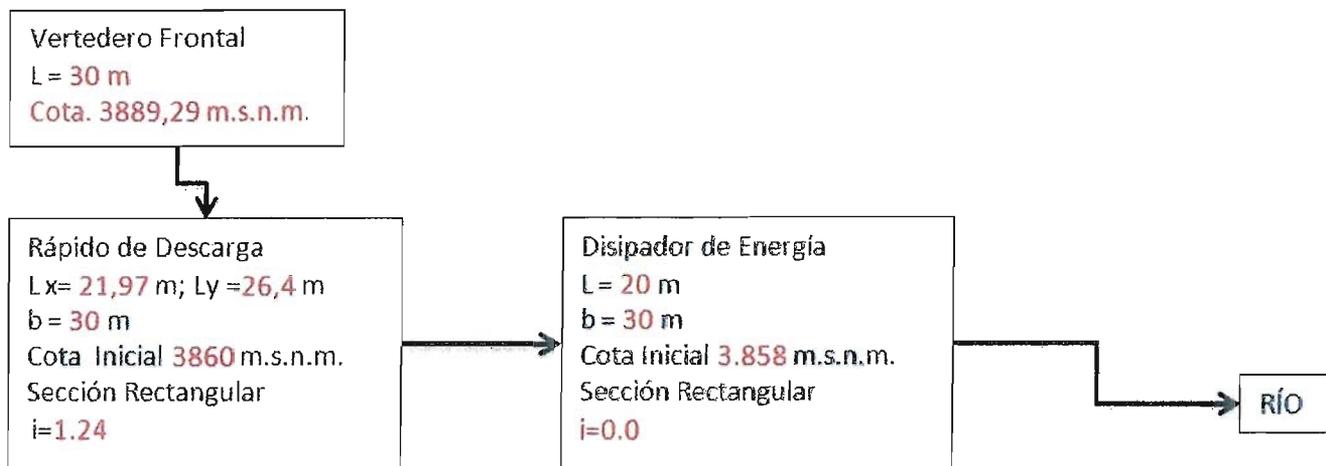
##### 8.4.1. Diseños Hidráulicos de Obras de Evacuación de Crecidas

A continuación se puntúan las obras proyectadas en el embalse que son necesarias para la evacuación de crecidas:

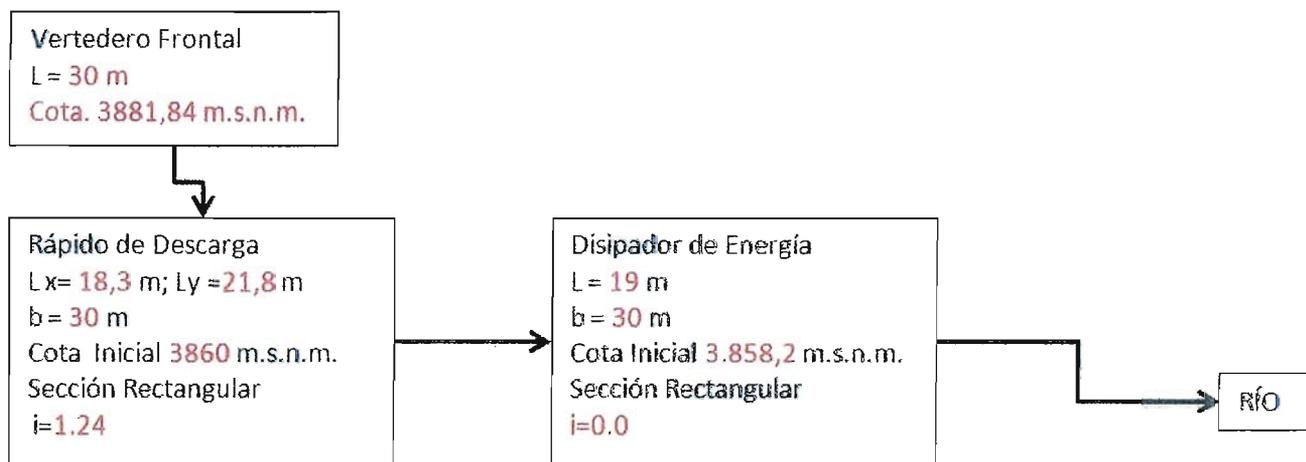
- ✦ Revancha de 2,7 m de alto.
- ✦ Vertedero Evacuador de Crecidas de 30 m de largo y 2,7 m de alto.
- ✦ Rápido de Descarga. No presenta posibles problemas por cavitación.
- ✦ Disipador de Energía Tipo III, según USRB.

A continuación se presenta un diagrama de flujo con las dimensiones más importantes de las obras, para tres capacidades analizadas.

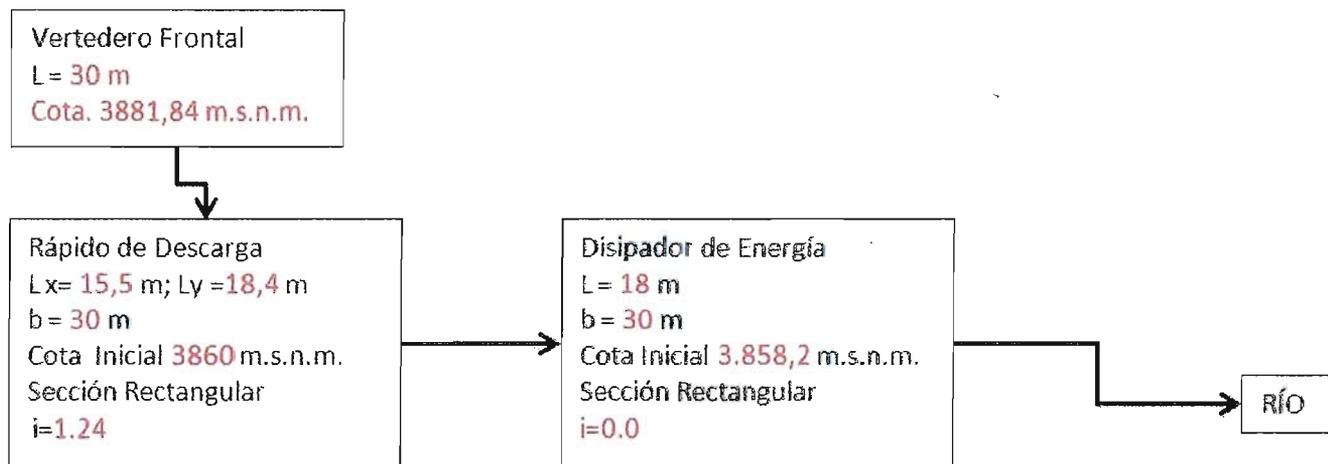
### CAPACIDAD MÁXIMA



### CAPACIDAD MEDIA



### CAPACIDAD MINIMA



## 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 14 pulgadas y de 65 m.
- ✦ Túnel de Desvío. Cajón bajo el Muro de 4x4 metros

## 8.6. DISEÑO SIMPLIFICADO DE OBRAS DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN

Los criterios utilizados para realizar los mejoramientos en los canales fueron los siguientes:

- ✦ A partir del diagnóstico de los canales. Se identificaron canales de tierra y de hormigón que deben ser mejorados. El canal será de preferencia de 0,2 X 0,2 m. Si con dichas dimensiones el canal no tiene la capacidad de porteo suficiente, se aumentarán las dimensiones.
- ✦ Si el canal no cuenta con la capacidad necesaria para transportar el caudal demandado, se modifica el tramo crítico. Lo mismo si el tramo es en tubería.
- ✦ Si el canal es cruzado por una quebrada lateral se proyecta una obra de cruce que lo proteja.

Además de los mejoramientos proyectados en los canales se realizó la prefactibilidad de la conducción en presión Ofragía - Chaca definida en el escenario 3 del modelo de simulación. La tubería, que cuenta con 12 tramos para evitar las sobrepresiones, se proyectó en acero ya que fue el material más económico de los analizados. En la Figura 8.6-1 se incluye el trazado tentativo de la tubería proyectada.

**FIGURA 8.6-1**  
**TRAZADO DE TUBERÍA PROYECTADA**



Fuente: Elaboración propia en base Imagen Google Earth

## 8.7. DISEÑO OBRAS COMPLEMENTARIAS

La construcción del embalse obligaría a modificar los trazados de los caminos presentes en el sector de la presa y área de inundación y a construir caminos de acceso, de acuerdo a la alternativa y escenario que se proponga como definitivo.

## 8.8. ANTEPROYECTO SISTEMA DE CONTROL DE CAUDALES

La incorporación de un embalse regulador, en la cuenca de la quebrada de Vitor, 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 un grupo de operadores o celadores que manejen la entrega de caudales. 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.

El aforo de las obras considera para caudales de diseño menores a 30 l/s, el uso de un vertedero triangular tipo. Para caudales mayores al señalado se propone un aforador de barrera triangular.

## 8.9. PRESUPUESTOS

Se presenta un resumen de los totales de los costos de embalse en el Cuadro 8.9-1 los cuales incluyen la construcción del muro y los mejoramientos de los canales existentes. Se utilizó la UF Abril 2012: \$ 22.536 y Dólar Abril 2012: \$ 487.

**CUADRO 8.9-1**  
**RESUMEN DE LOS PRESUPUESTOS**

Capacidad	Costo Total Neto (\$CLP)
Mínima	\$ 8.759.760.562
Media	\$ 9.974.968.531
Máxima	\$ 12.063.624.602

Fuente: Elaboración propia

Para obtener el Costo Total del escenario 3 se debe sumar el costo de la conducción Ofragía-Chaca el cual asciende a \$ 3.564.361.448.

El Modelo de Simulación ha determinado un embalse de un volumen de 24,77 hm<sup>3</sup>, el cual ingresado a la curva de costo del embalse presenta un valor de \$11.091.270.295

Como se ha mencionado antes, el proyecto cuenta con tres escenarios, uno sin proyecto (Escenario 1), y dos con proyecto: uno sin la conducción Ofragía – Chaca (Escenario 2) y el otro con la conducción (Escenario 3). En el Cuadro 8.9-2 se presenta el resumen de los costos con proyecto. El costo del Escenario 3 considera el costo del Escenario 2 más el costo de las tuberías de diámetro mínimo.

### **CUADRO 8.9-2 COSTO DEL PROYECTO POR ESCENARIO**

<b>Escenario</b>	<b>Costo</b>
Escenario 2	\$ 11.091.270.295
Escenario 3	\$ 14.655.631.743

Fuente: Elaboración propia.

Las superficies regadas por los escenarios 2 y 3 son de 550,3 ha y 592,3 ha respectivamente, obteniéndose un valor por hectárea regada de 42.318 (\$US/ha) y de 51.593 (\$US/ha).

## **8.10. CONCLUSIONES DE LOS DISEÑOS PRELIMINARES Y SUS COSTOS**

A partir de los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente:

- ◆ La curva de costos del Embalse (costo de Embalse v/s Volumen de Agua) tiene un comportamiento lineal. Generalmente el costo más incidente en este tipo de obras es el muro que al aumentar su altura su valor de construcción se encarece sin seguir un comportamiento lineal. En este caso en particular la poca diferencia en la altura del muro del embalse obtenido para las capacidades adoptadas para el análisis, se traduce en una baja variación en el tamaño del muro.
- ◆ El costo por metro cúbico de agua disminuye para embalses de mayor tamaño. La morfología de la zona de inundación, permite que desde una cota en adelante el aumento de un metro corresponde a la de varios hm<sup>3</sup> de agua almacenada, por esta razón al incrementar la altura del muro el costo por metro cúbico disminuye considerablemente.
- ◆ La diferencia de los costos de los escenarios 2 y 3 es la conducción Ofragía – Chaca, ya que el volumen útil obtenido para ambos escenarios es el mismo.

## 9. ALTERNATIVAS DE NEGOCIO DE HIDROGENERACIÓN

Se analizó tanto la utilización local de la energía generada como la conexión de las MCH al Sistema Interconectado del Norte Grande (SING).

Los puntos en donde se proyectó la instalación de una MCH fueron al pie del muro en el sector de Umirpa y al final de conducción Ofragía – Chaca. El primer punto se incluye en los escenarios 2 y 3 mientras que el segundo sólo en el escenario 3.

Los resultados obtenidos de la evaluación de la instalación de la MCH, son los siguientes:

- ◆ La operación de la MCH debe estar supeditada a las demandas de riego y al uso de los derechos de agua de los regantes. Por esta razón la energía generada y factor de planta que son posibles de obtener son reducidos, debido a la variación de los caudales de entrega del embalse y de la altura de agua. Eso además, conlleva a que no se pueda comercializar una potencia firme que permita aumentar los beneficios de la central.
- ◆ Al analizar el precio mínimo requerido de la energía para que el proyecto sea rentable y compararlo con el precio medio de energía del SING (34,25 \$/MWh), se refuerza la conclusión referente a que las opciones de generación no son rentables, por lo que no es recomendable realizar su análisis en forma más detallada ni generar alternativas de negocios.
- ◆ Finalmente se recomendó realizar la evaluación de la MCH sólo para uso local, tanto para el pie del muro como al final de la conducción Ofragía – Chaca. La conexión con el SING queda descartada por su elevado costo. La viabilidad se realizó en la evaluación económica del proyecto (acápite 14) en donde se concluyó que la MCH no era factible.

## 10. ANÁLISIS DE EFECTO REGULADOR DE CRECIDAS DEL EMBALSE

### 10.1. INTRODUCCIÓN

Se evaluó el efecto regulador de crecidas de la alternativa de embalse seleccionada. Como consideraciones generales de los efectos reguladores en embalses se puede mencionar los siguientes aspectos (Stowhas, Seminario Embalses 2010):

- ◆ Los embalses no agravan el impacto de las crecidas naturales.
- ◆ Los embalses con vertederos no controlados, siempre mitigarán la magnitud de los caudales máximos de crecidas, y eventualmente también su volumen.
- ◆ Los embalses con vertederos controlados por compuertas siguen leyes de operación que, salvo errores garrafales, de los cuales afortunadamente no

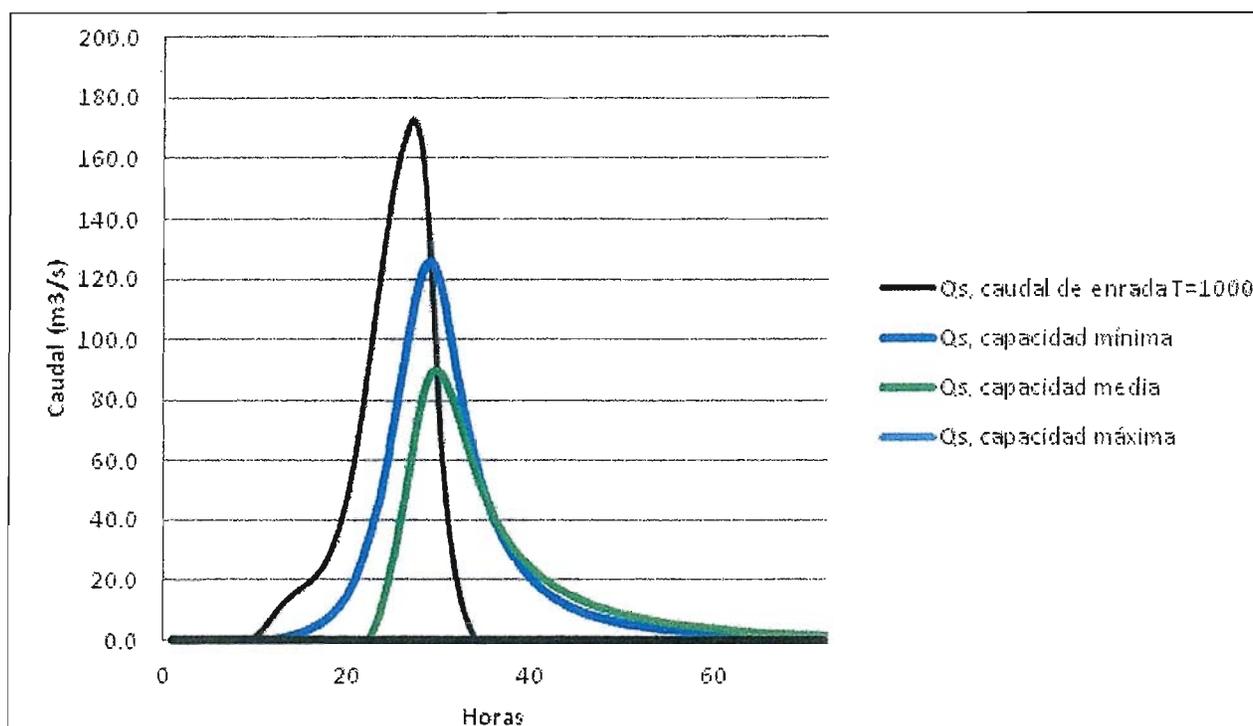
existen antecedentes históricos, también mitigarán la magnitud de los caudales máximos y de los volúmenes de crecidas, o en el peor caso, resultarán neutros.

- ♦ La intervención de reservorios naturales si puede agravar el impacto de las crecidas naturales.

## 10.2. RESULTADOS Y CONCLUSIONES EFECTO REGULADOR

El efecto regulador del embalse se calculó para distintos períodos de retorno de la crecida, desde 20 años, hasta 10.000 años. En las Figura 10.2-1 se presenta el hidrograma de entrada y de salida para la crecida de  $T=1.000$  años.

**FIGURA 10.2-1**  
**HIDROGRAMA DE ENTRADA Y SALIDA PERÍODO DE RETORNO  $T = 1000$  AÑOS.**

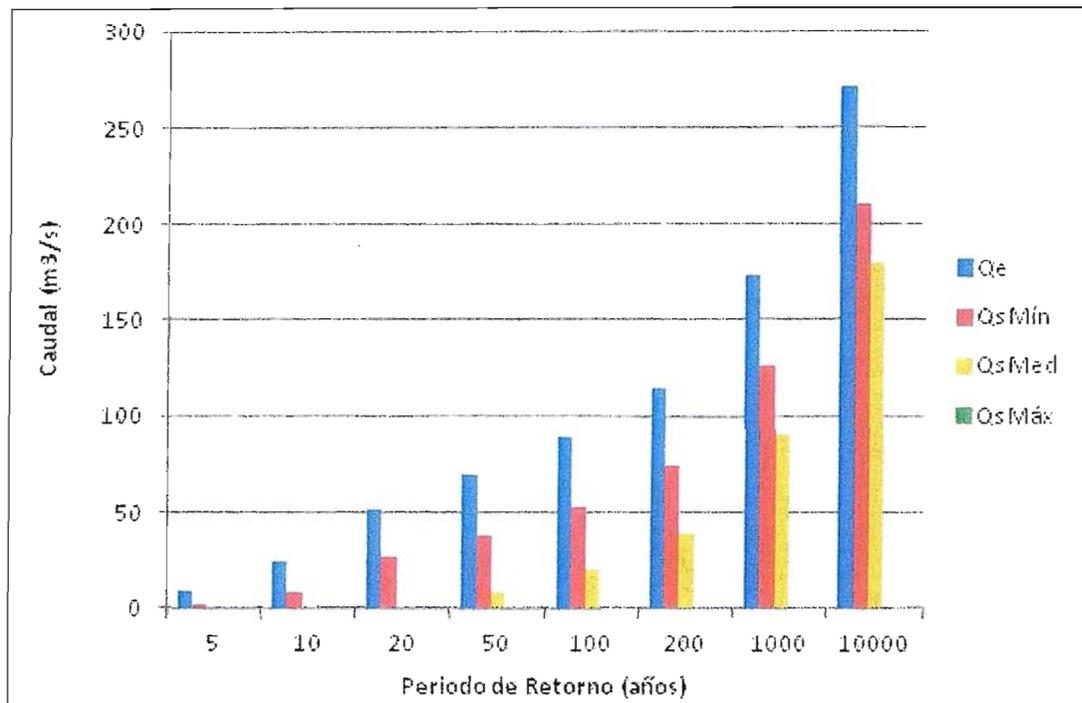


Qe: caudal de entrada, Qs: caudal de salida.

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 10.2-2 se resumen gráficamente los resultados obtenidos al realizar la estimación del efecto regulador del embalse para todas las distintas crecidas analizadas.

**FIGURA 10.2-2**  
**REGULACION PARA DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO**



Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar, que en la Figura 10.2-2 no aparece el Caudal de salida del embalse de capacidad máxima (Qs Máx), esto se debe a que la presa es capaz de absorber toda la crecida.

Dado los resultados anteriores, se puede apreciar que el efecto regulador del embalse es muy alto, sobre todo para las capacidades media, máxima y capacidad según modelo de simulación, ya que se controla en un alto porcentaje la crecida. Si se escogen estas capacidades mencionadas se puede considerar el embalse como un gran regulador de crecidas.

Para un embalse con capacidad igual a la mínima, el efecto de regulación resulta bajo para periodos iguales o mayores a  $T=200$  años (< a 30%), de modo que si se escoge esta capacidad como la de diseño, no se podría considerar el embalse como regulador de crecidas.

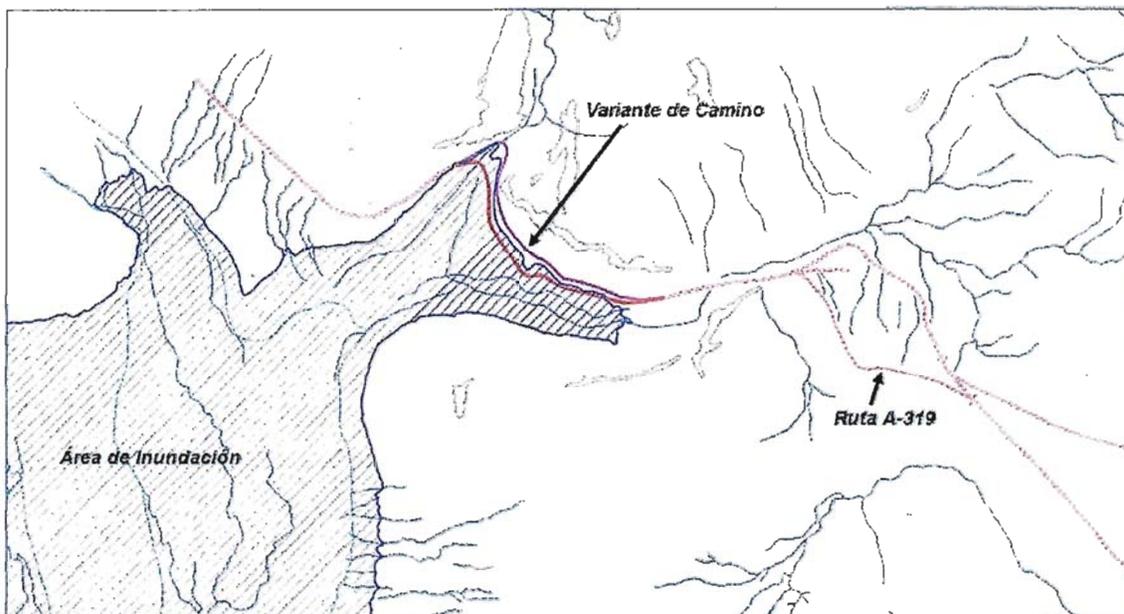
## 11. INTERFERENCIAS

Las interferencia que se debe considerar es la siguiente: Reposición ruta regional primaria A-319, 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-319 existente que permite el acceso al Salar de Surire y que va desde la ruta A-31 (sector de Parcohaylla) a la ruta A-95 (Salar de Surire), se realizó un trazado alternativo a un cota mayor que la de inundación, variante que tiene una longitud aproximada de 512 m. El trazado del proyecto de alternativa vial, tiene su origen en el Km 24,5 de la ruta. Desde este punto va paralelo al área de inundación hasta empalmar con el camino actual. Este trazado alternativo, se ilustra en la Figura 11-1.

El diseño geométrico consideró 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 4,0 m y taludes de corte y terraplén de 1/1. El Costo Total de la Obra es de \$ 510.327.577.

**FIGURA 11-1**  
**TRAZADO CAMINO PROYECTADO**



Fuente: Elaboración propia a partir información Google Earth

## 12. EXPROPIACIONES

El valor de la tierra se estimó a partir de los antecedentes recopilados por la Odepa en base a información de avisos en la Revista del Campo y clasificados del diario "El Mercurio", actualizados a Diciembre de 2010. Este valor se fijó en 4.500.000 \$/ha, o bien 209,7 UF (Dic/2010) que al actualizarlas al 1 de Abril de 2012 se obtuvo un valor de 4.726.695 \$/ha. Finalmente, se aproximó a 4.800.000 \$/ha, el cual se consideró como valor final.

En el Cuadro 12-1 se presenta el área a expropiar asociada a cada una de las alternativas en la zona de embalse. En dicho cuadro también se incluye el costo de la expropiación. En el caso de la conducción Ofragía-Chaca proyectada, las hectáreas a expropiar son 9,81 y su costo es de 2.090 UF.

**CUADRO 12-1  
COSTOS DE EXPROPIACIONES SECTOR DE EMBALSE**

Capacidad	Altura de Muro (m)	Superficie Inundación (ha)	A Obras Zona de Muro (ha)	Superficie Caminos (ha)	Total (ha)	Costo (\$)	Costo (UF)	Costo (U\$)
Mínima	21,1	187,66	0,54	2,28	190,48	914.304.000	40.570	1.875.726
Media	24,5	238,20	0,54	2,28	241,02	1.156.896.000	51.334	2.373.412
Máxima	29,1	312,37	0,54	2,28	315,19	1.512.912.000	67.132	3.103.791

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

Fuente: Elaboración propia

### 13. 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 enfocados en la Alternativa escogida durante la consultoría, incluyendo análisis legal, descripción y evaluación de impactos potenciales preliminares, y la estimación de los costos ambientales asociados.

Respecto de la alternativa estudiada, esta resultó ser la menos favorable desde la perspectiva ambiental, pero la más atractiva desde el punto de vista técnico, lo cual deja un menor margen de acción en lo que a minimización de impactos se refiera ya que la ubicación es primordial en este sentido. Sin embargo, también se debe tener en cuenta que la obra sólo puede ser construida en los lugares técnicamente factibles. Todo esto da pie a una discusión sobre cómo ponderar adecuadamente el factor ambiental con el técnico, que debiera llevarse a cabo en los ámbitos de planificación y formulación de políticas.

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

Los componentes más afectados serían Flora, Vegetación y Fauna terrestre, lo cual resulta esperable a la luz de los antecedentes del medio biótico levantados en terreno (especies endémicas y con estados de conservación) y al tipo de obra. 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.

Respecto de los costos estimados para las medidas ambientales, se ha estimado un monto preliminar de 1.657 millones de pesos, valor que se reparte en dos años y que es considerado además dentro de la evaluación económica del proyecto. Gran parte del monto es explicado por la lejanía y accesibilidad de la zona de estudio ya que en rigor la obra es pequeña si se compara con otros embalses, con un muro de 29.600 m<sup>3</sup>. 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.

## **14. EVALUACIÓN ECONÓMICA**

### **14.1. 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).

### **14.2. ESCENARIOS DE EVALUACIÓN**

Para realizar la evaluación económica se definieron tres escenarios de evaluación:

Con el fin de realizar la evaluación mediante el método del presupuesto, a priori se definen 3 escenarios de evaluación:

1. Escenario base: Corresponde a la Situación Sin Proyecto
2. Escenario 2: Corresponde a la Situación Con Proyecto sin contemplar el proyecto de conducción para el tramo Ofragía – Chaca.

3. Escenario 3: Corresponde a la Situación Con Proyecto contemplando el proyecto de conducción para el tramo Ofragía – Chaca.

Los escenarios 2 y 3 se analizarán para un proyecto multipropósito de riego, agua potable, generación hidroeléctrica y control de crecidas.

Con el fin de desarrollar la evaluación, se presenta en el Acápite 15.6 los costos y en el Acápite 15.7 los beneficios a considerar.

### 14.3. TAMAÑOS DE EMBALSE A EVALUAR

Obtenidas las capacidades de embalse necesarias para satisfacer la demanda del área productiva futura máxima en los escenarios con proyecto (Escenario 2 y 3 con Volumen Umbral igual a 18,1 hm<sup>3</sup>), se realizó el análisis para 6 nuevas capacidades de embalse con el fin de contabilizar y generar una curva de beneficios asociada a una incorporación de área productiva menor a la máxima.

Esta variación de capacidades tiene como objetivo final la obtención del óptimo económico del proyecto. En el Cuadro 14.3-1 se incluyen las nuevas capacidades o tamaños a evaluar.

**CUADRO 14.3-1  
TAMAÑOS DE EMBALSE A EVALUAR ESCENARIOS 2 Y 3**

Volumen Umbral (hm <sup>3</sup> )	Volumen Útil (hm <sup>3</sup> )
6,9	4,1
8,0	5,2
10,0	7,2
12,0	9,2
12,6	9,8
14,0	11,2
18,1	15,3

Fuente: Elaboración Propia.

A partir de los nuevos tamaños se calcularon los costos y beneficios asociados a las distintas alternativas en los escenarios de proyecto 2 y 3.

Los costos considerados en el análisis económico son los siguientes:

- ◆ Obras de riego, en este caso el muro de embalse y el mejoramiento de canales
- ◆ Costos de operación y mantenimiento de las obras de riego.

- ◆ Conducción Tramo Ofragía – Chaca, para el escenario 3.
- ◆ Bombeo en el sector de Chaca, para el escenario 2.
- ◆ Variante camino ruta regional primaria A-319.
- ◆ Expropiaciones.
- ◆ Estudio y mitigación de impacto ambiental

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

- ◆ Riego.
- ◆ Suministro de Agua Potable.
- ◆ Generación Hidroeléctrica
- ◆ Control de Crecidas (Daño Evitado).
- ◆ Valor Incremental de la Tierra: para el método de evaluación respectivo.
- ◆ Incremento de las Transacciones de Derechos de Aguas: para el método de evaluación respectivo.

#### **14.4. RESULTADOS**

La evaluación económica fue realizada con los métodos del Presupuesto (Cuadro 14.4-1), Valor Incremental de la Tierra (Cuadro 14.4-2) y de las Transacciones de los Derechos de Aprovechamiento de Aguas (Cuadro 14.4-3).

**CUADRO 14.4-1  
RESULTADOS EVALUACIÓN ECONÓMICA  
MÉTODO DEL PRESUPUESTO**

<b>Precios de Mercado</b>					
<b>Volumen Umbral (hm3)</b>	<b>VAN (MM \$)</b>	<b>VAN/Sup (MM \$/ha)</b>	<b>IVAN</b>	<b>n/k</b>	<b>TIR (%)</b>
<b>Escenario 2 (Sin Conducción Ofragía - Chaca)</b>					
Cap. 6.9	-7.809,7	-31,54	-0,97	0,19	<b>1,20%</b>
Cap. 8.0	-7.780,8	-26,46	-0,93	0,22	<b>2,13%</b>
Cap. 10.0	-7.662,0	-20,58	-0,85	0,28	<b>3,38%</b>
Cap. 12.0	-7.839,3	-18,53	-0,82	0,30	<b>3,90%</b>
Cap. 12.6	-7.894,7	-18,00	-0,81	0,31	<b>4,04%</b>
Cap. 14.0	-8.012,5	-16,85	-0,79	0,33	<b>4,36%</b>
Cap. 18.1	-8.604,7	-15,64	-0,77	0,35	<b>4,72%</b>
<b>Escenario 3 (Con Conducción Ofragía - Chaca)</b>					
Cap. 6.9	-10.657,3	-41,21	-0,96	0,16	<b>0,32%</b>
Cap. 8.0	-10.695,2	-35,71	-0,93	0,19	<b>1,11%</b>
Cap. 10.0	-10.555,7	-27,09	-0,86	0,24	<b>2,54%</b>
Cap. 12.0	-10.813,4	-24,53	-0,83	0,26	<b>3,05%</b>
Cap. 12.6	-11.085,7	-25,02	-0,83	0,26	<b>2,97%</b>
Cap. 14.0	-11.288,9	-24,04	-0,82	0,27	<b>3,18%</b>
Cap. 18.1	-11.326,1	-19,12	-0,77	0,32	<b>4,25%</b>
<b>Precios Sociales</b>					
<b>Volumen Umbral (hm3)</b>	<b>VAN (MM \$)</b>	<b>VAN/Sup (MM \$/ha)</b>	<b>IVAN</b>	<b>n/k</b>	<b>TIR (%)</b>
<b>Escenario 2 (Sin Conducción Ofragía - Chaca)</b>					
Cap. 6.9	-3.681,4	-14,87	-0,52	0,59	<b>2,71%</b>
Cap. 8.0	-2.727,6	-9,27	-0,37	0,70	<b>3,79%</b>
Cap. 10.0	-1.066,5	-2,86	-0,14	0,89	<b>5,25%</b>
Cap. 12.0	-208,3	-0,49	-0,03	0,98	<b>5,87%</b>
Cap. 12.6	59,2	0,13	0,01	1,01	<b>6,04%</b>
Cap. 14.0	694,9	1,46	0,08	1,07	<b>6,41%</b>
Cap. 18.1	1.652,1	3,00	0,17	1,14	<b>6,87%</b>
<b>Escenario 3 (Con Conducción Ofragía - Chaca)</b>					
Cap. 6.9	-6.084,1	-23,53	-0,61	0,49	<b>1,67%</b>
Cap. 8.0	-5.255,3	-17,55	-0,50	0,57	<b>2,56%</b>
Cap. 10.0	-3.235,2	-8,30	-0,29	0,75	<b>4,17%</b>
Cap. 12.0	-2.388,1	-5,42	-0,20	0,82	<b>4,76%</b>
Cap. 12.6	-2.582,8	-5,83	-0,22	0,81	<b>4,68%</b>
Cap. 14.0	-2.196,1	-4,68	-0,18	0,84	<b>4,92%</b>
Cap. 18.1	364,5	0,62	0,03	1,02	<b>6,15%</b>

Nota: Referencia Valor UF \$22.536, al 01/04/2012  
Referencia Valor Dólar \$487,44 al 01/04/2012  
Fuente: Elaboración propia

**CUADRO 14.4-2  
RESULTADOS EVALUACIÓN ECONÓMICA  
MÉTODO DEL VALOR INCREMENTAL DE LA TIERRA**

Capacidad	Escenario 2		Escenario 3	
	Total	Incremental	Total	Incremental
SA-SAO	1.212.376.000	0	1.272.016.000	0
Cap. 6,9	1.618.314.000	405.938.000	1.715.134.000	443.118.000
Cap. 8	1.775.484.000	563.108.000	1.853.376.000	581.360.000
Cap. 10	2.039.800.000	827.424.000	2.158.252.000	886.236.000
Cap. 12	2.211.504.000	999.128.000	2.330.970.000	1.058.954.000
Cap. 12,6	2.264.232.000	1.051.856.000	2.338.744.000	1.066.728.000
Cap. 14	2.388.616.000	1.176.240.000	2.428.314.000	1.156.298.000
Cap. 18,1	2.641.440.000	1.429.064.000	2.843.040.000	1.571.024.000
	<b>Valor Unitario (\$/ha)</b>			
Capacidad	Escenario 2		Escenario 3	
	Total	Incremental	Total	Incremental
SA-SAO	2.203.118	0	2.147.587	0
Cap. 6,9	2.940.785	737.667	2.895.718	748.131
Cap. 8	3.226.393	1.023.275	3.129.117	981.530
Cap. 10	3.706.705	1.503.587	3.643.849	1.496.262
Cap. 12	4.018.724	1.815.606	3.935.455	1.787.868
Cap. 12,6	4.114.541	1.911.423	3.948.580	1.800.993
Cap. 14	4.340.571	2.137.452	4.099.804	1.952.217
Cap. 18,1	4.800.000	2.596.882	4.800.000	2.652.413

Referencia Valor UF \$22.536, al 01/04/2012;  
 Nota: Referencia Valor Dólar \$487,44 al 01/04/2012  
 Fuente: Elaboración propia

**CUADRO 14.4-3  
RESULTADOS EVALUACIÓN ECONÓMICA  
MÉTODO DE LAS TRANSACCIONES DE DERECHOS DE AGUAS**

Capacidad	Escenario 2		Escenario 3	
	Total	Incremento	Total	Incremento
SA-SAO	644.638.917	0	644.638.917	0
Cap. 6,9	1.339.473.178	694.834.261	1.333.439.515	688.800.598
Cap. 8	1.598.920.685	954.281.768	1.556.685.045	912.046.127
Cap. 10	2.051.445.408	1.406.806.490	2.021.277.093	1.376.638.175
Cap. 12	2.353.128.556	1.708.489.638	2.298.825.589	1.654.186.672
Cap. 12,6	2.443.633.500	1.798.994.583	2.316.926.578	1.672.287.661
Cap. 14	2.648.778.041	2.004.139.124	2.461.734.489	1.817.095.572
Cap. 18,1	3.065.100.785	2.420.461.868	3.065.100.785	2.420.461.868

Nota: Referencia Valor UF \$22.536, al 01/04/2012  
 Referencia Valor Dólar \$487,44 al 01/04/2012  
 Fuente: Elaboración propia

Los resultados muestran que el proyecto no es rentable a precios privados para el método del presupuesto para los 2 escenarios. Por otra parte, a precios sociales el proyecto es rentable para los volúmenes desde 12,6 hm<sup>3</sup> a 18,1 hm<sup>3</sup> en el escenario 2 y solo es rentable para alternativa de 18,1 hm<sup>3</sup> del escenario 3. Según este método, la alternativa que da una mayor rentabilidad, en términos sociales, es un embalse con volumen umbral de 18,1 hm<sup>3</sup> que no considere una conducción especial en el sector de Ofragía - Chaca, con un VAN de MM\$1.652,1 y una TIR de 6,87%.

Con respecto al método de chequeo del valor incremental de la tierra, la alternativa de embalse de 18,1 hm<sup>3</sup> del escenario 3 es la que obtiene mejores resultados, seguida muy de cerca por el proyecto del mismo tamaño del escenario 2, lo que se explica por la mayor superficie de riego incorporada. En el método de las transacciones de derechos de aprovechamiento de aguas el embalse de 18,1 hm<sup>3</sup> de ambos escenarios son los con mayor incremento en los costos evitados por transacciones.

## **15. PARTICIPACIÓN CIUDADANA**

La componente de participación ciudadana tiene por objetivo integrar a los actores sociales relevantes con presencia en el territorio de intervención, en el desarrollo del Proyecto, a través de distintos espacios de participación (entrevistas, talleres de trabajo, encuentros y otras actividades), que permitan, por una parte, informar a la comunidad y por otra, recoger sus inquietudes, intereses y opiniones, incorporándolas en el Proyecto, cuando sea pertinente

El área de estudio se ubica en la cuenca hidrográfica de Vitor, la que se encuentra casi en su totalidad en la comuna de Camarones, de la Región de Arica y Parinacota. Hacia aguas abajo del sitio estudiado se abarcan los sectores/poblados de: Vila Vila (sector), Mollegrande (sector), Corralones (sector), Sivitaya (sector), Chitita (poblado), Guañacagua (poblado), Guatanave (poblado), Marquirave (sector), Codpa (poblado), Cerro Blanco (poblado), Ofragía (sector), Chaqui (sector), Calaunsa (sector), Pintatane (sector). El último sector de la cuenca de Vítor, perteneciente administrativamente a la comuna de Arica, abarca lo que se conoce como valle de Chaca y Caleta Vítor.

La población de la comuna de Camarones es de 1.220 habitantes, con 745 hombres y 475 mujeres, la que es en un 100% rural. En los sectores ubicados en el área de estudio habitan 624 personas, siendo 343 hombres (55%) y 281 mujeres (45%). La actividad económica más importante es la agricultura-ganadería que representa un 65% de la actividad económica en cuanto a ocupación de la población de la cuenca hidrográfica.

El área de estudio se encuentra inserta en el Área de Desarrollo Indígena (ADI) "Alto Andino", donde existen comunidades y asociaciones indígenas constituidas bajo la Ley Indígena y de organizaciones tradicionales, por lo que se debe implementar en las futuras etapas un proceso de Consulta Indígena, según lo comprometido por el Estado de Chile en el Convenio 169.

Dentro de los actores relevantes se encuentra la Asociación Indígena Comunidad de Itiza, la Comunidad Indígena de Umirpa, la Junta de Vigilancia de Codpa, el Comité de Regantes Valle de Chaca, la Junta de Adelanto de Caleta Vitor. Los actores públicos con presencia en el territorio son la CNR, la Ilustre Municipalidad de Camarones, el Gobierno Regional, la SEREMI de Agricultura, el INDAP y la Dirección General de Aguas.

Dentro de las actividades de la componente de Participación Ciudadana se realizaron entrevistas a los actores relevantes, tres reuniones ampliadas de participación ciudadana y un *focus group*.

Las entrevistas permitieron caracterizar a los actores relevantes, conociendo su visión sobre el territorio y sobre el estudio. A partir de esto se realizó la matriz de actores relevantes, de manera de indicar la posición, el argumento, la influencia del actor, la relación entre los actores y la estrategia a seguir.

Se realizaron tres reuniones ampliadas de participación ciudadana, donde se convocó a los actores relevantes del territorio a informarse sobre el estudio. Estas reuniones se realizaron en tres momentos distintos del estudio, al inicio, en el proceso de selección de alternativas y hacia el final de éste. En estas reuniones se presentó el estado de avance del estudio, se respondieron dudas, se canalizaron inquietudes y se recibieron comentarios y sugerencias. Se recalcó la importancia de la participación de la comunidad tanto en esta etapa como en las próximas del estudio. Estas reuniones fueron calificadas en general como buenas a través de la encuesta de evaluación.

Algunos temas que surgieron en los espacios de participación fueron la generación de energía a través de una minicentral, del riego en el sector de Chaca, el estado de los canales en cada uno de los sectores, sobre la conducción del agua hacia Chaca, los daños de la minería en la agricultura, los resultados finales del estudio, entre otros.

Las sugerencias para las futuras etapas del estudio corresponden a atender las necesidades de capacitación en temas legales y de dirigencia, que se complementen con otros programas que se están ejecutando actualmente en el sector. Los niveles de participación son buenos, por lo que se pueden mejorar, además de los niveles de empoderamiento del proyecto por parte de la comunidad.

## **16. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES**

Se realizó un acabado estudio de prefactibilidad del embalse Umirpa, concebido para asegurar el riego de la Quebrada de Vítor desde el sector de Vila Vila hasta el Sector de Chaca. Como resultado del proyecto, se tienen las siguientes conclusiones:

1. Se recorrió el valle y se definieron varias alternativas de sitios posibles para emplazar la presa, de este análisis de sitios, se propuso como el más viable una angostura existente en el río Codpa aproximadamente 40,0 km aguas arriba de la localidad de Codpa, en el sector de Pampa Umirpa.

2. Como resultado de la evaluación realizada en esta consultoría, se sugiere que el tipo de presa más conveniente sea la de hormigón rodillado, especialmente por las características geomorfológicas de su garganta en el sitio propuesto, su condición de autovertedora de crecidas, que permite evitar la excavación por la ladera de un gran macizo rocoso para el vertedero, que sí requieren los otros tipos de presa.
3. La angostura en donde se propone proyectar el emplazamiento del muro, presenta condiciones geomorfológicas adecuadas y su área de inundación no presentaría problemas en lo que respecta a infraestructura ni producción agrícola, con la sola excepción de una variante caminera que debe construirse, ya que el actual camino queda dentro de la zona que será inundada.
4. El espejo de agua de la tasa de acumulación del embalse analizado, es amplio, y por ende, presenta una tasa evaporación relevante. Se descarta el uso de algún tipo de tecnología para la reducción de la evaporación por su alto costo y poca certeza de buenos resultados.
5. La roca en el lecho del río, de acuerdo a los análisis realizados, se encuentra a tan sólo 4 metros de profundidad lo que facilita la constructibilidad de las obras del muro y reduce los costos. Además, presenta características favorables para el apoyo de un muro de hormigón rodillado.
6. Los sectores de empréstitos necesarios para la construcción de la obra serían suficientes para la construcción del muro y de sus obras anexas.
7. 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: frutales de hoja perenne y caduca, parronales y vides viníferas y hortalizas. Los suelos presentan las características necesarias para su utilización agrícola. Las áreas de riego están limitadas por las laderas del valle que desde un punto hacia arriba presentan pendientes muy escarpadas que hacen imposible su aprovechamiento. Con respecto a la calidad de aguas, ésta no presenta restricciones significativas, sin embargo se deben establecer algunas precauciones con los niveles de conductividad eléctrica, hierro, sodio, cadmio y boro presentes en algunas de las mediciones y que sobrepasan la norma chilena de calidad de agua para riego 1.333.
8. Con respecto al estudio agroeconómico, el tipo de agricultores presentes actualmente en el área de estudio practica una agricultura de riego en la mayoría de los casos sólo con fines de 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 0,5 ha, y escasa existencia de predios con más de 10 ha. Además existen terrenos que se encuentran deshabitados y sus propietarios viven en localidades fuera del valle.

9. Las características de los agricultores y el 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 permitirá implementar nuevos cultivos y una producción más intensiva y rentable en el área de estudio. En la evaluación agroeconómica se han contemplado los costos de inversión y mantención anual de sistemas de aspersión y goteo para alfalfa y frutales, respectivamente.

Los cambios propuestos no podrán 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 de riego con un mayor nivel tecnológico. Por ello se ha propuesto un programa de asistencia técnica y transferencia tecnológica que involucra a todos los agricultores beneficiados por el embalse, el cual tendrá una duración variable dependiendo del tipo de predio participe. Este ámbito es clave para aumentar las posibilidades de desarrollo de los agricultores.

10. Un aspecto importante a destacar es la generación de mano de obra agrícola en un escenario con proyecto, en el cual destaca que los puestos de trabajo permanente se incrementarían en más de cuatro veces, evolución que corresponde a 118 unidades de nuevas plazas de colocación. Teniendo en consideración la demanda de mano de obra permanente en situación actual, del orden de 10.361 jornadas, y la estimada en plena madurez del proyecto, año 2032 con 44.298 jornadas de trabajo permanente; la tasa interanual de crecimiento de los requerimientos de mano de obra, entre ambas situaciones, alcanza a 7,164%.
11. Como recomendación es necesario mencionar que para futuras etapas del estudio, se debe construir un catastro de usuarios en terreno más actualizado, que contenga información sobre el Rol SII, nombre del usuario y del predio, superficies de riego y seco, además de las acciones asociadas al predio.
12. Para hacer posible la construcción y traspaso de las obras, de acuerdo a lo estipulado en el DFL 1123 de 1983 y sus modificaciones, los derechos de aprovechamiento de aguas superficiales deben ser perfeccionados según lo indicado en el código de aguas, mencionando el nombre del titular, ubicación exacta del punto de captación, caudal en volumen por unidad de tiempo y características con que se otorga o reconoce el derecho, esto es, si se trata de un derecho consuntivo o no consuntivo; de ejercicio permanente o eventual; o de ejercicio continuo, discontinuo o alternado entre varias personas.

Luego de cumplirse el perfeccionamiento de los derechos de aprovechamiento de aguas se debe contemplar un período de explotación provisional de las obras durante el cual se elaborará el rol de regantes definitivo del embalse y se constituirá la organización de usuarios de las aguas, a la cual se le efectuará el traspaso de las obras. De esta forma, la organización de usuarios de las aguas del embalse Umirpa tendrá como

objetivo operar el embalse, distribuir las aguas reguladas de acuerdo con los derechos, operar los canales y velar por la seguridad y mantención de las obras, sin perjuicio de otras labores que le correspondan de acuerdo al Código de Aguas.

13. En definitiva, el proyecto tiene un impacto significativo en el sector agropecuario, tanto en términos económicos y sociales, ya que incluso pretende provocar un cambio en la cultura agrícola, con rasgos ancestrales, y dar un impulso a una agricultura de riego desarrollada.
14. El estudio de los recursos hídricos y modelo de simulación, sugiere que es factible darle 85% de seguridad de riego a la superficie actual, e incluso indicó que es posible aumentar la superficie segura, alcanzando el máximo de tierra productiva indicada en el estudio agroeconómico (592,3 ha si se considera una tubería en el tramo de Ofragía-Chaca y 550,3 ha sin esta obra). En todo caso, se recomienda en la etapa de factibilidad se incorpore al área de estudio el sector de Caleta de Vítor, que no fue incorporado en este análisis.
15. A pesar de que en este estudio se generó un modelo simplificado de simulación del sistema hidrogeológico de la Quebrada de Vítor, es necesario realizar un análisis más acabado del comportamiento del acuífero presente en el sector de Chaca, incluyendo datos de recarga, profundidad, niveles históricos entre otros, de manera de perfeccionar las estimaciones de recarga, flujos subterráneos, flujos sub-superficial y percolación de éste.
16. Respecto a la generación hidroeléctrica, los resultados obtenidos indican que con los valores actuales del costo de energía, dicho proyecto no es económicamente rentable a nivel local y tampoco si se considera un enlace con el sistema interconectado del norte Grande (SING). En el caso de que se quisiera realizar el proyecto a nivel local en el sector de Chaca, se debería subsidiar alrededor del 60% del costo de la energía.
17. Respecto al control de crecidas, la inclusión de una barrera en el río Codpa, en el punto elegido para el emplazamiento del proyecto, genera beneficios sobre el valle, ya que este será sometido a caudales menores a los esperados. Este efecto se debe a la morfología del área de inundación del embalse, que puede incrementar en gran medida su volumen, con aumentos menores de su nivel de agua. A pesar de ello, los beneficios asociados al efecto regulador del embalse, que ascienden aproximadamente \$11.000.000 anuales en el caso más favorable (mayor tamaño de embalse), no son comparables con los obtenidos directamente por el sector agrícola.
18. En las actividades de Participación Ciudadana realizadas, tanto entrevistas a actores relevantes, como reuniones con los potenciales beneficiados por el futuro embalse, se ha verificado una percepción favorable hacia el proyecto, por parte de los agricultores como también de las autoridades locales. El interés por el proyecto ha quedado demostrado por la convocatoria de las reuniones realizadas. En estas actividades se

identificaron facilitadores del proyecto, tales como; dirigentes de las organizaciones de usuarios de aguas y los propietarios del terreno en donde se emplazaría el embalse.

19. Con el fin de hacer más sustancial el efecto participación ciudadana en las futuras etapas del estudio, se recomienda incorporar un componente de capacitación y fortalecimiento organizacional, tanto desde el punto de vista técnico como legal, el que ayudará de sobremanera a los beneficiarios a enfrentar un eventual proceso de construcción y traspaso de las obras, constitución de los derechos de aguas y conformación de organizaciones de usuarios de aguas. Además se sugiere que se implementen actividades de participación de carácter diferenciado en función de los efectos que pudiera tener el proyecto en distintos grupos en el área de estudio.
20. Desde la perspectiva ambiental, la alternativa de embalse estudiada resultó ser la menos favorable, pero la más atractiva desde el punto de vista técnico, lo cual deja un menor margen de acción en lo que a minimización de impactos se refiera ya que la ubicación es primordial en este sentido. Sin embargo, también se debe tener en cuenta que la obra sólo puede ser construida en los lugares técnicamente factibles.

Respecto del análisis de pertinencia de ingreso al SEIA, se concluye, que el proyecto deberá someterse al SEIA como un Estudio de Impacto Ambiental (EIA), ya que es sabido que el tipo de obra estudiada en el presente Proyecto genera impactos ambientales relevantes e irreversibles y que determinan el modo de ingreso como un EIA de acuerdo al Artículo 11 de la Ley 19.300, sus modificaciones (Ley 20.417) y sus especificaciones en el Artículo 6 (letras m y p) del Reglamento del SEIA. Los componentes más afectados serían Flora y Vegetación terrestre seguido de la hidrología, lo cual resulta esperable a la luz de los antecedentes del medio biótico levantados en terreno (especies endémicas y con estados de conservación) y al tipo de obra. 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.

21. De acuerdo con la evaluación económica realizada con el método del presupuesto, el proyecto no es rentable a precios de mercado para todas las alternativas de embalse, es decir el VAN privado y la TIR son siempre menores a cero y 12%, respectivamente. A precios sociales el proyecto sin tubería en el tramo entre Ofragía y Chaca obtiene mejores resultados en comparación con el proyecto que sí la considera. Además, dentro del proyecto sin tubería, el tamaño óptimo a recomendar es 18,1 hm<sup>3</sup> de volumen umbral, ya que es el más rentable en términos sociales, con un VAN igual a MM\$1.652,1, TIR de 6,87% y un indicador IVAN igual a 0,17.

Para el caso de los métodos del valor incremental de la tierra y de las transacciones de derechos de aprovechamiento de aguas el proyecto es

conveniente para todas las alternativas, siendo la con mejores resultados la alternativa de 18,1 hm<sup>3</sup>.

La mayor parte de los beneficios que determinan esta rentabilidad provienen del uso para la agricultura de riego, dejando en un muy segundo plano a los beneficios derivados del control de crecidas.

22. Con respecto a la evaluación financiera es importante 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, lo que trae como consecuencia que el subsidio propuesto sea, en la mayoría de los predios analizados, sobre el 90%, y en la mitad de los casos sobre el 99%. Solo en el sector 3 se registran predios en donde el subsidio es menor al 75%.
23. A pesar de que el proyecto resulta rentable a precios sociales para un volumen igual a 18,1 hm<sup>3</sup> con o sin tubería, el análisis de sensibilidad muestra que existe un riesgo moderado de que el proyecto se vuelva no rentable. Ante esto es necesario que en la etapa de factibilidad se pueda estudiar con más detalle los beneficios agrícolas y los costos de las obras, además realizar un análisis de riesgo detallado que entregue mayor información acerca de la fortaleza del proyecto.
24. Como externalidades positivas del proyecto se pueden mencionar el desarrollo de actividades turísticas, conformación de un nuevo polo de desarrollo productivo, aumento de mano de obra utilizada y el arraigo de la población en el área de estudio.
25. Finalmente, dada la rentabilidad social positiva del proyecto en esta etapa, se recomienda continuar con la etapa de factibilidad, considerando un embalse de 18,1 hm<sup>3</sup> de volumen Umbral, que tiene la potencialidad de aumentar el área agrícola por sobre las 550 ha en el Valle de Vítor.