

**“ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PROYECTO  
CONSTRUCCIÓN DE EMBALSE DE RIEGO  
HUEDQUE, COMUNA DE CAUQUENES”**

**INFORME FINAL**

**RESUMEN EJECUTIVO**

**SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2012**





Comisión Nacional de Riego  
Gobierno Regional - Región del Maule

**“ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD  
PROYECTO CONSTRUCCIÓN DE EMBALSE DE RIEGO  
HUEDQUE, COMUNA DE CAUQUENES”**

**INFORME FINAL  
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 DEL PROYECTO "CONSTRUCCIÓN DE EMBALSE DE RIEGO HUEDQUE, COMUNA DE CAUQUENES"

### ÍNDICE RESUMEN EJECUTIVO

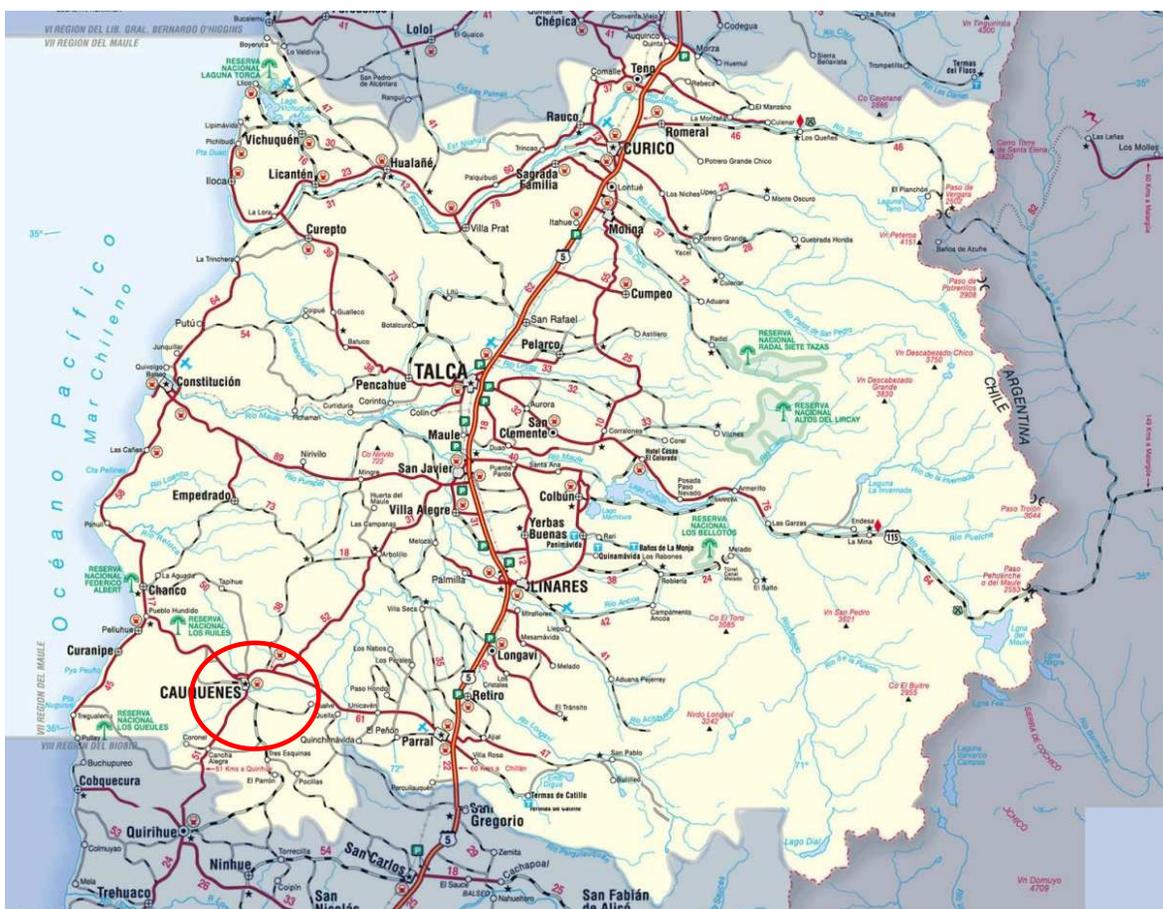
<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>2.</b>	<b>EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE SITIOS DE EMBALSE</b>	2
2.1.	ALTERNATIVAS DE UBICACIÓN DEL EMBALSE	2
2.2.	EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA-AMBIENTAL	2
<b>3.</b>	<b>TRABAJOS DE TERRENO</b>	9
3.1.	TOPOGRAFÍA	9
3.2.	PROSPECCIONES	10
<b>4.</b>	<b>ESTUDIOS BÁSICOS</b>	11
4.1.	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	11
4.2.	ESTUDIO GEOLÓGICO	12
4.3.	ESTUDIO HIDROLÓGICO	12
4.3.1.	Generación de Caudales Medios Mensuales Aportantes al Embalse	12
4.3.2.	Caudales Máximos Instantáneos	13
4.3.3.	Estudio Sedimentológico y Cálculo del Volumen Muerto del Embalse	14
4.4.	ESTIMACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO	14
4.5.	DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS Y ORGANIZACIONES DE USUARIOS	15
<b>5.</b>	<b>ASPECTOS DE INGENIERIA</b>	16
5.1.	ESCENARIOS DE PROYECTO	16
5.2.	MODELO DE SIMULACIÓN	18
5.3.	DISEÑOS PRELIMINARES	20
5.3.1.	Muro de Embalse	20
5.3.2.	Obra de Evacuación de Crecidas	21
5.3.3.	Túnel de Desviación	21
5.3.4.	Obras de Entrega de Caudal	22
5.4.	RED DE CANALES DE DISTRIBUCIÓN	22
5.5.	DISEÑO DE UN SISTEMA DE AFORO REMOTO DE CAUDALES	23
5.6.	INTERFERENCIAS	23
5.7.	EXPROPIACIONES	23
5.8.	ANÁLISIS DE EFECTO REGULADOR DE CRECIDAS DEL EMBALSE	24
5.9.	PRESUPUESTOS	25
<b>6.</b>	<b>ESTUDIOS AGRONÓMICOS</b>	26
<b>7.</b>	<b>PARTICIPACION CIUDADANA</b>	27
<b>8.</b>	<b>ESTUDIO DE ANALISIS AMBIENTAL</b>	28
<b>9.</b>	<b>EVALUACION ECONÓMICA</b>	29
<b>10.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	31

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente documento se refiere al estudio de prefactibilidad de la "**CONSTRUCCIÓN DE EMBALSE DE RIEGO HUEDQUE, COMUNA DE CAUQUENES**", localizado en la Región del Maule de la COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO del Ministerio de Agricultura.

La zona de estudio está comprendida en la comuna de Cauquenes región del Maule, esta área se dividiría en el emplazamiento de la obra de acumulación muy cercana al límite administrativo con la octava región del Bío Bío, y la zona de influencia del embalse que mayormente pertenece a la comuna de Cauquenes. En el mapa que se presenta en la Figura 1-1 se ubica el área de estudio.

**FIGURA 1-1  
UBICACIÓN ÁREA DE ESTUDIO**



Fuente: Elaboración Propia.

Actualmente, la agricultura de este sector se remite exclusivamente a cultivos de secano como el trigo, vid vinífera variedad "País" y empastadas naturales, todos ellos desarrollados principalmente con objetivos comerciales y de autoconsumo, pero que en

general no generan ingresos suficientes como para vivir de la agricultura. En la zona de estudio no existen bocatomas ni canales de riego que extraigan actualmente agua del río Huedque.

En condiciones de riego, el área presenta un potencial agrícola importante, con posibilidad de diversificación, incluyendo frutales aptos para este clima. Actualmente predominan los cultivos tradicionales como cereales, leguminosas y tubérculos. También hay presencia de hortalizas y vid, mientras que la mayor parte de la superficie con aptitud agrícola se encuentra con uso forestal y pastos naturales.

En este contexto, se plantea el desarrollo de este estudio, cuyo objetivo es evaluar las alternativas de mejoramiento del sistema de riego de la zona del río Huedque. El estudio incluye los aspectos técnicos, económicos, financieros, legales y ambientales involucrados.

El presente Estudio de Prefactibilidad pretende dar una respuesta definitiva a los requerimientos de los agricultores de la zona, que serían beneficiados por la construcción del embalse Huedque, en cuestión de seguridad de riego y aumentar el potencial agro-económico de la zona; evaluar la posibilidad de generar energía hidroeléctrica, y también realizar el análisis y prediseño de la red de conducción y distribución, que asegure el traslado del agua desde el embalse a los predios.

## **2. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE SITIOS DE EMBALSE**

### **2.1. ALTERNATIVAS DE UBICACIÓN DEL EMBALSE**

En la Figura 2.1-1 se indica la ubicación de las tres alternativas de embalse en el río Huedque.

La alternativa denominada como N° 1, de más aguas arriba, corresponde a la ubicación identificada en los estudios anteriores. La alternativa N° 2 se ubica aguas abajo de la N° 1, a unos 500 metros aguas arriba del puente sobre el río Huedque. La alternativa N° 3 se ubica aguas abajo del puente sobre el río Huedque. Las tres alternativas corresponden a embalses frontales al río.

### **2.2. EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA-AMBIENTAL**

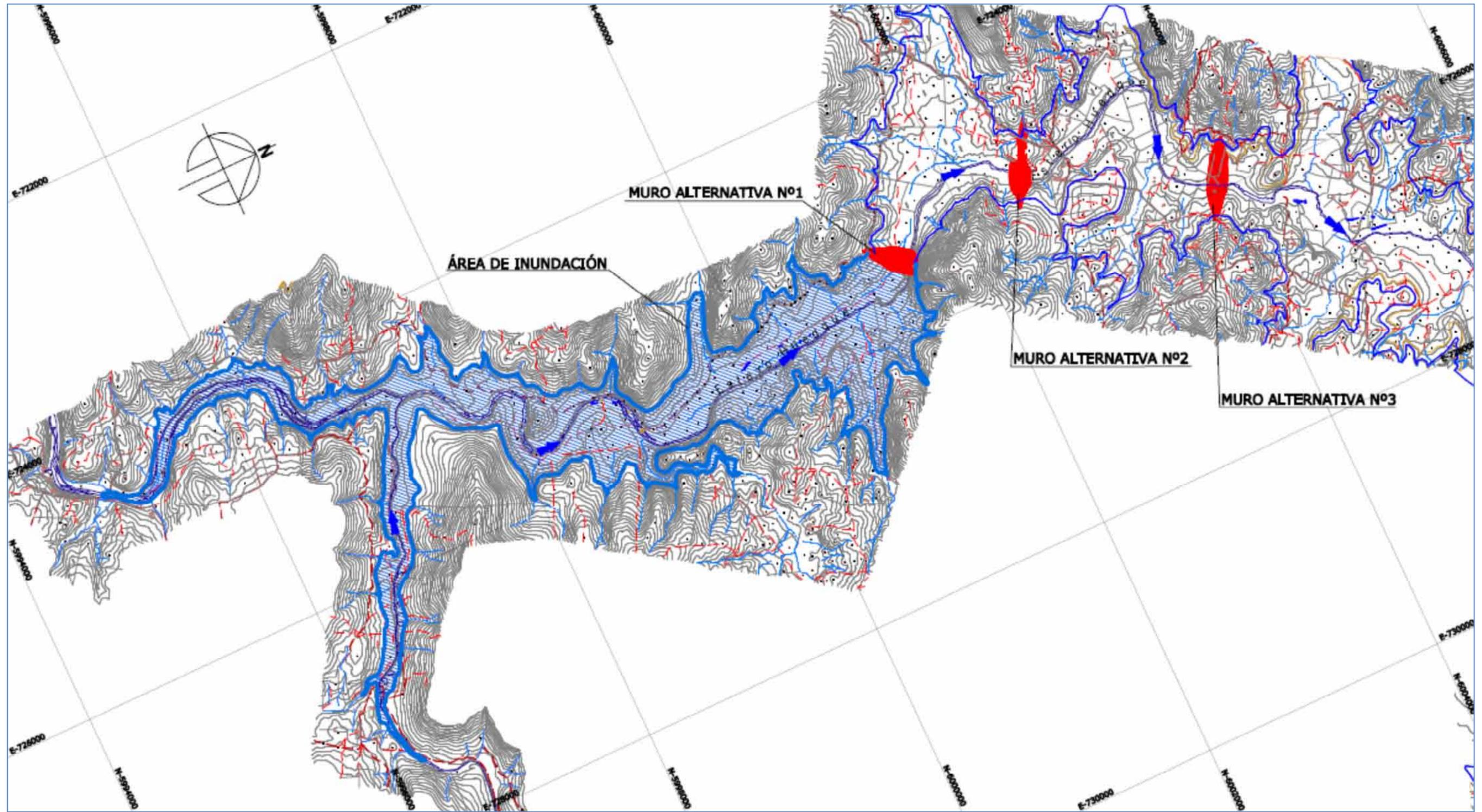
Se realizó una evaluación técnico-económica-ambiental de los sitios de embalse identificados, con el fin de determinar el emplazamiento más adecuado para las obras de regulación.

Esta evaluación se basó en la restitución aerofotogramétrica escala 1:5.000 de la zona de inundación, y en escala 1:10.000 de la zona de riego y en los levantamientos topográficos escala 1:2.000 de cada sitio de embalse identificado. Además, se consideró la

información disponible y las observaciones de las visitas técnicas de diversos especialistas tales como geólogo, mecánico de suelos, biólogos, arqueólogo, entre otros.

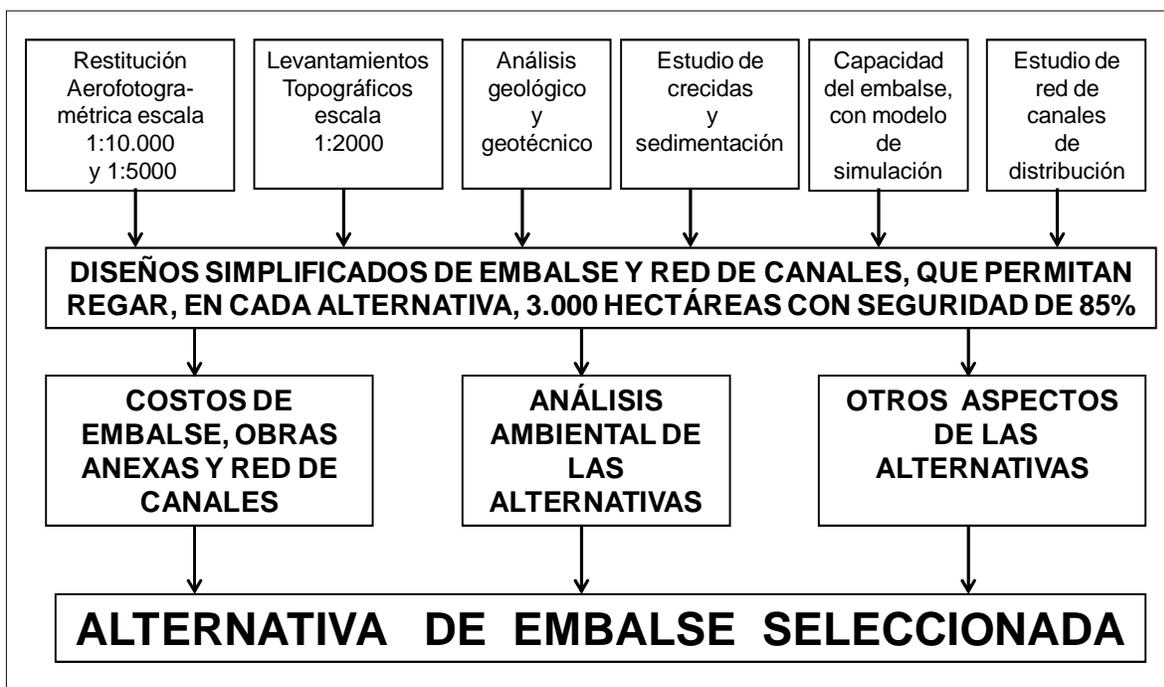
En el esquema que se indica en la Figura 2.2-1 siguiente, se resume la metodología aplicada para la evaluación de alternativas de ubicación del embalse.

**FIGURA 2.2-1**  
**UBICACIÓN DE ALTERNATIVAS DE EMBALSE RÍO HUEDQUE**



Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 2.2-2**  
**METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE UBICACIÓN DEL EMBALSE**



Fuente: Elaboración Propia

La metodología que se aplica considera tres tipos de resultados para decidir la alternativa de embalse, a saber:

- Costos de embalse, obras anexas y red de canales, determinados a partir de diseños simplificados de embalse y de la red de canales, que permitan regar, en cada alternativa, 3.000 hectáreas con seguridad de 85%.
- Análisis ambiental de las alternativas, que comprende aspectos tales como interferencias, expropiaciones, impactos ambientales, análisis de flora y fauna terrestre, flora y fauna acuática, arqueología y otros.
- Otros aspectos de las alternativas, tales como número de beneficiados, accesos, dificultades en las obras, etc.

Con estos resultados, se comparan las tres alternativas, las cuales producirán el mismo beneficio agrícola (3.000 has con seguridad de 85%) y que se diferencian solamente en el costo de las obras, aspectos ambientales y otros. De esta forma, se puede elegir la alternativa con mejores indicadores económicos, como aquella que resulte de menor costo.

Para obtener los resultados indicados, se realizó los siguientes trabajos de terreno, para obtener la cartografía base adecuada:

- Restitución Aerofotogramétrica escala 1:10.000 en la zona a regar, sobre la cual se basa el trazado de la red de canales.

- Restitución Aerofotogramétrica escala 1:5.000, de las zonas de inundación de las alternativas, a partir de las cuales se elaboró las curvas de capacidad de cada embalse.
- Levantamientos Topográficos escala 1:2.000 en cada sitio de las alternativas, para la elaboración de los diseños simplificados del embalse y obras anexas

A continuación, se realizó un reconocimiento y evaluación de emplazamientos para la presa, Esto comprendió, en primer lugar, un análisis geológico y geotécnico de los sitios de cada alternativa, con la participación de los respectivos especialistas. A partir de esto, se definió el tipo de presa, recomendaciones para taludes, entre otros aspectos para el diseño preliminar.

Además, se elaboró el estudio de crecidas y sedimentación, en los cuales se basó el cálculo de las dimensiones del vertedero de evacuación de crecidas y la definición del volumen muerto del embalse y la correspondiente cota de la torre de toma.

La capacidad del embalse requerida se determinó mediante la aplicación del modelo de simulación a escala mensual, desarrollado durante este estudio.

Se desarrolló el planteamiento general para el diseño y estudio de la red de distribución de agua con canales matrices, cuyo trazado se realizó sobre la base de la cartografía escala 1:10.000. Se realizó una estimación preliminar del caudal a transportar y se efectuó el desarrollo de los trazados de los canales matrices, considerando canales en tierra, en sección trapecial.

Con los antecedentes anteriores, se efectuó el diseño simplificado, cubicaciones y presupuesto de las obras de embalse y red de canales para cada alternativa, Además, se consideró el costo de las interferencias, tales como variante del camino, expropiaciones en zonas de inundación y obras de embalse y expropiaciones en la faja de canales matrices.

A continuación, se desarrolló los aspectos ambientales en temas específicos de análisis de flora y fauna terrestre, flora y fauna acuática, arqueología y calidad de aguas. Con estos antecedentes se elaboró el análisis ambiental de las alternativas, con mayor énfasis en los aspectos que se diferencian en cada alternativa, como las expropiaciones e interferencias.

En el Cuadro 2.2-1 siguiente se ha resumido la información relevante comparativa de las tres alternativas de embalse identificadas, desglosada en aspectos técnicos, Expropiaciones e interferencias, Aspectos Ambientales y Aspectos Económicos.

Se consideró tres escenarios posibles de diseño de fundación del muro del embalse, a saber:

Escenario I: Se requiere pared moldeada máxima en alternativas 1 y 3

Escenario II: Se requiere pared moldeada mínima en alternativas 1 y 3

Escenario III: No se requiere pared moldeada en ninguna alternativa.

En los tres escenarios se adopta la misma solución de fundación para la alternativa 2, consistente en un diente de material impermeable, de 10 m de profundidad, debido que en las visitas a terreno se observó roca superficial a unos 300 m aguas abajo del eje del muro, lo que hace suponer que en esta alternativa no sería necesario una fundación con pared moldeada.

### CUADRO 2.2-1

#### RESUMEN DE LA EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE UBICACIÓN DE EMBALSE

ÍTEM		ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
<b>Aspectos Técnicos</b>	Superficie regada con seguridad de 85% (has)	3.000	3.000	3.000
	Relación agua / Muro.	45	37	51
	Altura Muro (m)	36,8	32,8	29,5
	Volumen de Regulación para regar 3.000 has con seguridad 85% (Hm3)	42	42	42
	Longitud coronamiento del muro (m)	504	751	733
	Longitud Red de Canales matrices y derivados (km)	139	142	136
	Obras de cruce y singularidades en red de canales	2 sifones y 1 túnel	2 sifones y 1 túnel	2 sifones y 1 túnel
<b>Expropiaciones e interferencias</b>	Superficie de expropiación zona de inundación y obras (has)	621	663	762
	Superficie de expropiación faja canales (has)	209	213	204
	Interferencias del proyecto	Se requiere una variante de camino secundario de un privado, 11 km	Se requiere variante de Camino público 5 km	Se requiere variante de Camino público, 7,7 km y nuevo puente sobre río Huedque
	Complejidad de las expropiaciones	<u>Mínima.</u>  Hay 1 ó 2 casas No hay terrenos en producción.	<u>Compleja.</u>  Hay 10 a 15 casas y varios terrenos en producción.	<u>Muy compleja,</u>  Hay 30 a 40 casas y muchos terrenos en producción.
<b>Aspectos Ambientales y sociales</b>	General	No hay diferencias en los componentes ambientales analizados (agua, suelo, aire, flora, fauna, arqueología, )		
	Indicador ambiental (*)	Preferencia 1	Preferencia 2	Preferencia 3
<b>Aspectos Económicos</b>	Costo total de las obras, incluidas expropiaciones, (Millones de US\$,	74.4	68.7	87.5

**CUADRO 2.2-1**  
**RESUMEN DE LA EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE UBICACIÓN DE EMBALSE**

ÍTEM		ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
<b>Escenario I</b>	neto)			
Se requiere pared moldeada máxima en alt. 1 y 3	Costo total de las obras, incluidas expropiaciones, por hectárea (US\$ / ha)	24800	22900	29,167
<b>Aspectos Económicos</b>	Costo total de las obras, incluidas expropiaciones, (Millones de US\$, neto)	70.1	68.7	81.2
<b>Escenario II</b>				
Se requiere pared moldeada mínima en alt. 1 y 3	Costo total de las obras, incluidas expropiaciones, por hectárea (US\$ / ha)	23367	22900	27067
<b>Aspectos Económicos</b>	Costo total de las obras, incluidas expropiaciones, (Millones de US\$, neto)	68.4	68.7	78.8
<b>Escenario III</b>				
No se requiere pared moldeada en ninguna alternativa	Costo total de las obras, incluidas expropiaciones, por hectárea (US\$ / ha)	22800	22900	26267

(\*) Jerarquización según cinco criterios ambientales

Fuente: Elaboración Propia

Del Cuadro 2.2-1 comparativo, se puede observar lo siguiente:

- a) La alternativa N° 3 (la de más aguas abajo) presenta las peores características, ya que en los tres escenarios de diseño de fundación tiene un costo de obras sensiblemente mayor a las otras alternativas; tiene las expropiaciones de mayor complejidad. dado que inunda muchas casas y terrenos productivos; las interferencias son más complejas por la variante y puente nuevo del camino público que se requeriría. Por estas razones, se deja esta alternativa como la de menor prioridad.
- b) La alternativa N° 2 (la segunda más aguas abajo) presenta un costo menor que la alternativa 1 (ubicada más aguas arriba), sólo en el escenario en que se requiera la pared moldeada más desfavorable o máxima. En los otros dos escenarios, el costo total es muy similar a la alternativa 1.

- c) La alternativa N° 2 tiene expropiaciones de mayor complejidad en comparación a la alternativa 1. En efecto, la alternativa 2 requiere expropiar entre 10 a 15 casas y terrenos en producción, lo cual es altamente sensible en la zona, de acuerdo con la percepción de los potenciales afectados. En cambio, la alternativa N° 1 sólo requeriría la expropiación de 1 ó 2 casas y no hay terrenos en producción,
- d) En relación con las interferencias, la alternativa N° 1 sólo requiere construir una variante de camino secundario de propiedad de un privado, de longitud de 14 km y de uso eventual. En cambio, la alternativa 2 requiere construir una variante del camino público, actualmente con alto tránsito de vehículos de todo tipo, en una longitud de 5 km.
- e) La relación agua / muro de la alternativa N° 1 (= 45) es un poco mayor respecto de la alternativa N° 2 (= 37), lo que la hace un poco más atractiva desde el punto de vista técnico.
- f) La alternativa N° 1, por estar a una cota más alta, tiene la posibilidad de dejar una mayor cantidad de superficie bajo cota de canal, en comparación a las alternativas 2 y 3 que se ubican a cotas más bajas.

Por los antecedentes anteriormente indicados se recomendó continuar con los estudios en la alternativa N° 1, que se visualiza como la más conveniente.

### **3. TRABAJOS DE TERRENO**

#### **3.1. TOPOGRAFÍA**

Los principales trabajos de terreno realizados fueron los siguientes:

- a) Restitución aerofotogramétrica en escala 1:10.000, para la zona de riego y en escala 1:5.000 en zonas de inundación. Esta cubierta fotográfica fue realizada en diciembre de 2011 y comprendió tres líneas de vuelo.
- b) Levantamientos topográficos escala 1:2.000 en cada zona de obras de embalse, para cada una de las tres alternativas de ubicación de embalse.
- c) Levantamiento topográfico en escala 1:500 de la zona del muro del embalse, de la alternativa seleccionada.
- d) Reconocimiento en terreno, análisis geológico y de mecánica de suelos de cada alternativa de ubicación de embalse y de zonas de empréstitos.
- e) Levantamiento de perfiles transversales y de singularidades de canal existente.
- f) Levantamiento de perfiles transversales del cauce, río Huedque, en una longitud de 20 km, desde la confluencia del río Huedque con el estero La Raya.

### 3.2. PROSPECCIONES

En el Cuadro 3.2-1 siguiente se resume las prospecciones con sondajes y con calicatas realizadas en el estudio.

Cabe señalar que en todas las muestras de suelo que se tomaron, se realizó ensayo completo de clasificación USCS.

En el Cuadro 3.2-2 se indica un resumen de los resultados de los tres sondajes realizados en el eje del muro de la alternativa seleccionada.

**CUADRO 3.2-1  
RESUMEN DE PROSPECCIONES REALIZADAS**

<b>Prospecciones en Fundación de la Presa y Obras Anexas</b>	
Sondajes en zona de muro alternativa seleccionada	3
Calicatas en zona del vertedero	6
Sondajes electro verticales	4
Perfiles de refracción sísmica	5
Clasificación en todas las prospecciones cada 2,5 metros	todos
Ensayes de compresión y densidad en testigos de roca de los sondajes	10
Ensayes de compresión no confinada en testigos de sondajes	6
Ensayes de compresión no confinada en calicatas de zona de vertedero	2
Consolidaciones en suelos finos saturados, hasta 8 kg/cm <sup>2</sup> con un ciclo de descarga recarga a los 4 kg/cm <sup>2</sup>	5
Ensayes de corte y descripción petrográfica en testigos de sondajes	5
Densidades in-situ en calicatas de fundación de la presa y área de vertedero	4
<b>Prospecciones en Zona de Inundación</b>	
Calicatas en zona de inundación	3
<b>Prospecciones en Zona de Yacimientos</b>	
Calicatas en zona de yacimientos	6
Ensayes triaxiales tipo CIU en muestras recompatadas al 92% del Proctor Modificado	3
Ensayes de permeabilidad en muestras recompatadas al 92% del proctor modificado	3
Ensayes Proctor Modificado	4
Ensayes de medición de contenido de materia orgánica	3
<b>Muestra de árido para hormigones</b>	
Ensaye de desgaste de los ángeles	3
Ensayes de reacción alcálisis agregado	3
<b>Prospecciones en Canales</b>	
Calicatas en trazados de canales, con descripción estratigráfica, fotografía del fondo y clasificación USCS	32

Fuente: Elaboración Propia

**CUADRO 3.2-2**

**RESULTADO SONDAJES EN EJE DEL MURO ALTERNATIVA SELECCIONADA**

Sondajes	Ubicación	Profundidad	Espesores		
			Sedimentos	Maicillo	Roca
<b>S1</b>	Estribo Izquierdo	25,20	8,60	2,25	14,35
<b>S2</b>	En el valle (centro)	30,05	7,60	3,75	18,80
<b>S3</b>	Estribo Derecho	25,50	15,90	8,00	1,65

Fuente: Elaboración Propia

Además, se realizaron 5 perfiles de refracción geosísmica en la zona del muro. El objetivo de la investigación fue determinar la morfología del basamento subterráneo y las características estratigráficas de los suelos yacentes. Para ello se utilizó el método sísmico de refracción. De igual forma, se realizaron 4 sondajes de resistividad eléctrica en la zona del muro (SEV), usando el método eléctrico en su modalidad sondajes eléctricos verticales.

**4. ESTUDIOS BÁSICOS**

**4.1. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

Se realizó un estudio de mecánica de suelos, sobre la base de la exploración efectuada y de los ensayos de laboratorio realizados, con lo cual se concluyó lo siguiente:

- El sitio en estudio es adecuado para la construcción de un muro del tipo Presa Homogénea.
- La permeabilidad que muestra el material de relleno recompactado al 92% de la densidad máxima compactada seca, dada por el ensaye Proctor modificado (NCh1534/2 Of1979), permite suponer para efectos prácticos que el muro será impermeable.
- A partir de los resultados de los ensayos de infiltración según el método Le Franc Mandel, permiten establecer que el suelo de fundación del muro es lo suficientemente impermeable como para el control de la pérdida de caudal a través de él, por lo que no se requerirán obras adicionales para el control de las filtraciones.

Respecto del material detectado en el área de yacimiento, se obtuvo las siguientes conclusiones:

- El material encontrado en el área de yacimientos, clasifica principalmente en el sistema USCS SC, CI, ML; es decir corresponden a arenas arcillosas, arcillas arenosas y limos algo arenosos.
- En las áreas de empréstito no hay disponibilidad de material fluvial para drenes o preparación de hormigones.
- Las muestras analizadas tienen un porcentaje de finos superior al 17%. Se debe tener especial cuidado, con la alta plasticidad que puedan presentar algunas capas del material de relleno, debido a las dificultades para su compactación.

A partir de los ensayos ejecutados, propiedades índice, origen geológico y literatura geotécnica disponible, se han adoptado los siguientes parámetros de resistencia al corte para los distintos materiales que contempla el proyecto:

Limo arenoso a arena limosa (muro de la presa):  $\phi = 27^\circ$  (ángulo de fricción interna)  
 $C = 2.0 \text{ t/m}^2$  (cohesión) y  $\gamma = 1.7 \text{ t/m}^3$  (peso unitario natural)

Arcilla color rojizo (suelo de fundación de la presa):  $\phi = 20^\circ$  (ángulo de fricción interna)  
 $C = 2.0 \text{ t/m}^2$  (cohesión) y  $\gamma = 1.7 \text{ t/m}^3$  (peso unitario natural)

## 4.2. ESTUDIO GEOLÓGICO

La Geología de detalle se basa en las visitas a terreno realizadas, los resultados de prospecciones con sondajes y calicatas y la cartografía en escala 1:2000 de la zona de emplazamiento del muro del embalse. Sobre dicha base, se entrega un diagnóstico de la geología local, aplicada a las obras del muro de embalse, túnel de desviación y vertedero.

En todos los casos, el basamento rocoso detectado en los 3 sondajes corresponde, esencialmente, a granodiorita grisácea, cuya sección superior, por efecto de meteorización, incluye un nivel de suelo residual del tipo maicillo, correspondiente a un material cuya caracterización geotécnica se sitúa en una zona de transición entre los denominados "suelos duros" y "rocas blandas" (*soft rocks*).

La complementación de la información obtenida a partir de la revisión de cortes viales locales, con el registro estratigráfico de los 3 sondajes perforados a lo largo del eje de la alternativa seleccionada de la presa del proyecto, permitieron establecer que, gradualmente, en la medida de la profundización, los procesos de meteorización de las rocas graníticas, tienden gradual y persistentemente a perder intensidad; producto de ello, a partir de la superficie se pasa desde un suelo maicilloso, decolorado, bastante fino, con alto contenido arcilloso, hacia niveles más profundos, con materiales más densos, resistentes y ripables, hasta alcanzar la roca basal, geomecánicamente competentes, con nula ripabilidad, por tanto, sólo removible mediante la aplicación de técnicas de voladuras. Alcanzada en profundidad de niveles basales de rocas graníticas intactas, ellas se presentan macizas, densas, resistentes, con alta capacidad de soporte.

## 4.3. ESTUDIO HIDROLÓGICO

### 4.3.1. Generación de Caudales Medios Mensuales Aportantes al Embalse

El periodo escogido es de mayo de 1975 hasta diciembre 2010. Dado que los registros de caudales sólo se disponen en la Estación Río Cauquenes en Arrayan (658 km<sup>2</sup>) y no se poseen en la zona de estudio de Huedque (378 km<sup>2</sup>), fue necesario realizar una transferencia de información hidrológica. La metodología adoptada corresponde a la aplicación de un modelo hidrológico, mediante la calibración de parámetros, y luego estimar

el caudal asociado al punto de ubicación del embalse, considerando representativos los parámetros ajustados en Río Cauquenes en Arrayán.

**CUADRO 4.3.1-1**  
**CAUDALES MEDIOS APORTANTES A EMBALSE HUEDQUE**  
**ASOCIADOS A DISTINTAS PROBABILIDADES DE EXCEDENCIA (M3/S)**

P <sub>exc</sub> %	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
5	1,620	44,56	53,35	45,67	30,46	15,87	8,141	3,982	1,131	0,352	0,309	0,273
20	0,319	7,69	20,42	24,94	17,38	9,82	4,590	2,102	0,643	0,197	0,122	0,089
50	0,058	1,22	7,47	13,23	9,66	5,94	2,518	1,077	0,355	0,108	0,046	0,027
85	0,007	0,13	2,16	6,06	4,69	3,19	1,202	0,472	0,171	0,051	0,014	0,006
90	0,004	0,07	1,61	5,04	3,95	2,76	1,009	0,389	0,144	0,043	0,010	0,005
95	0,002	0,03	1,05	3,83	3,06	2,22	0,779	0,291	0,112	0,033	0,007	0,003

Fuente: Elaboración Propia

**4.3.2. Caudales Máximos Instantáneos**

En el Cuadro 4.3.2.-1 se muestra el resumen de los Caudales Máximos obtenidos mediante distintas metodologías. Los valores obtenidos con la Formula Racional, V.K. y DGA-AC es correcto considerarlos hasta periodos de retorno de 100 años, según el estudio de Crecidas de la DGA (1995). Los valores obtenidos mediante el análisis de frecuencia presentan valores muy altos para la zona de estudio. Estos valores provienen de la trasposición de cuencas de la Estación Río Cauquenes en Arrayan, que tiene el doble de área aportante que la zona de ubicación de embalses, por lo que existe una incertidumbre que puede inducir a errores en su cálculo. El Hidrograma Unitario Sintético también tiende a sobreestimar los caudales para periodos de retorno pequeños, es por ello que se adoptan como representativos los caudales máximos obtenidos mediante el método de la DGA-AC hasta periodos de retorno de 100 años. Para periodos de retorno alto, mayores a 100 años, se adoptan los valores propuestos por el Hidrograma Unitario Sintético.

**CUADRO 4.3.2-1**  
**CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS REPRESENTATIVOS DE LA ZONA DE**  
**UBICACIÓN DE EMBALSE**

T	Racional	V.K.	DGA-AC	Análisis Frecuencia	HUS	Adoptado
años	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s
2	193	106	<b>126</b>	188	243	<b>126</b>
5	304	181	<b>205</b>	373	400	<b>205</b>
10	384	240	<b>257</b>	504	502	<b>257</b>
15	422	269	<b>283</b>	579	565	<b>283</b>
20	448	290	<b>305</b>	632	610	<b>305</b>
25	468	306	<b>323</b>	673	641	<b>323</b>

**CUADRO 4.3.2-1**  
**CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS REPRESENTATIVOS DE LA ZONA DE**  
**UBICACIÓN DE EMBALSE**

T	Racional	V.K.	DGA-AC	Análisis Frecuencia	HUS	Adoptado
años	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s
50	532	358	<b>372</b>	798	742	<b>372</b>
100	621	430	<b>421</b>	922	849	<b>421</b>
200	-	-	-	1044	<b>956</b>	<b>956</b>
500	-	-	-	1205	<b>1099</b>	<b>1099</b>
1000	-	-	-	1326	<b>1211</b>	<b>1211</b>
10000	-	-	-	1724	<b>1600</b>	<b>1600</b>

Fuente: Elaboración Propia

**4.3.3. Estudio Sedimentológico y Cálculo del Volumen Muerto del Embalse**

En el Cuadro 4.3.3-1 se muestra el Volumen Muerto obtenido mediante las distintas metodologías, que considera el gasto solido en suspensión y el gasto mediante arrastre de fondo. También se muestra la tasa asociada a cada método, considerando un peso específico igual a 1,65 ton/m<sup>3</sup>.

**CUADRO 4.3.3-1**  
**VOLUMEN MUERTO CON TASA REGIONAL**

Metodología	Volumen Muerto m <sup>3</sup>	Tasas ton/día/km <sup>2</sup>
USLE	2.483.920	0,59
Bzdigian K.	3.254.014	0,78
Dendy Bolton	3.287.247	0,79

Fuente: Elaboración Propia

El volumen muerto adoptado corresponde al máximo valor estimado mediante las distintas metodologías, 3,3 hm<sup>3</sup>, de esta manera se asegura que el volumen entrante no supere este valor para el horizonte de vida útil de la obra, 50 años. Al comparar las tasas de producción específica se observa que presentan un valor cercano al estudio de San Juan de Quirihue realizado por SIGA 2008, igual a 0,65 ton/día/km<sup>2</sup>, mientras que en el presente estudio se adopta una tasa igual a 0,70 ton/día/km<sup>2</sup>.

**4.4. ESTIMACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO**

Para la estimación del Riesgo Sísmico se utilizaron las metodologías probabilística y la determinántica. La primera de ellas entrega un valor que combina el efecto de todas las fuentes, mientras que en la segunda se considera cada fuente sismogénica por separado considerando el efecto más extremo que cada una de ellas produce sobre el sitio en estudio.

En el Cuadro 4.4-1 se resume los resultados de la metodología probabilística, consistente en la aceleración horizontal máxima (pga) para diversos períodos de retorno, considerando las fuentes interplaca tipo thrust e intraplaca de profundidad intermedia.

**CUADRO 4.4-1  
ACELERACIÓN HORIZONTAL MÁXIMA (PGA)**

Período de Retorno (años)	PGA (g)
475	0.395
1950	0.465
9900	0.612

Fuente: Estudio Sísmico

En relación con la Metodología Determinística, de acuerdo a lo observado a partir de los terremotos históricos, se considera la repetición de un gran terremoto thrust como el de 1751 o el reciente 27 de febrero de 2010 con hipocentro frente al proyecto a una distancia epicentral de 50 km del proyecto, profundidad de 30 km, y una magnitud  $M_S = 8.9$ . En el Cuadro 4.4-2 se resume los resultados obtenidos.

**CUADRO 4.4-2  
PARÁMETROS Y RESULTADOS DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINÍSTICO,  
CONSIDERANDO LAS FUENTES ESTUDIADAS.**

Fuente	Distancia Epicentral (km)	Profundidad (km)	Distancia Hipocentral (km)	Magnitud (Ms)	PGA (% g)
Interplaca tipo thrust	50.0	30.0	50.8	8.8	62.5
Intraplaca de prof. intermedia	25.0	60.0	65.0	8.0	62.0

Fuente: Estudio Sísmico

Del Cuadro 4.4-2, es posible ver que la máxima sollicitación proviene de los terremotos interplaca tipo thrust, producto de la gran magnitud que alcanzan estos eventos en la zona de estudio. Cabe destacar que los valores obtenidos del estudio determinístico son similares a los obtenidos del estudio probabilístico cuando se consideran períodos de retorno muy largos (~ 10.000 años).

#### **4.5. DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS Y ORGANIZACIONES DE USUARIOS**

Los únicos derechos de aprovechamiento de aguas superficial y corriente constituidos en el río Huedque corresponden a los otorgados como reserva a favor de Fisco, en específico a la Dirección de Obras Hidráulicas, el año 2009. Son derechos de tipo consuntivo y de ejercicio permanente y eventual. El volumen anual asignado en el río Huedque es 107,5 millones de m<sup>3</sup>.

Según la resolución de la DGA Región del Maule N° 066/2009 que otorgó estos derechos, las aguas se captarán gravitacionalmente desde ambas riberas del cauce, a 600 m aguas abajo de la confluencia del estero La Raya con el río Huedque, que corresponde a las coordenadas UTM (m) N: 5.995.391 y E: 185.399.

Según el registro de Organizaciones de Usuarios de la Dirección General de Aguas, en la zona no existen Juntas de Vigilancia, Asociaciones de Canalistas o Comunidades de Aguas constituidas y reconocidas por el organismo.

## **5. ASPECTOS DE INGENIERIA**

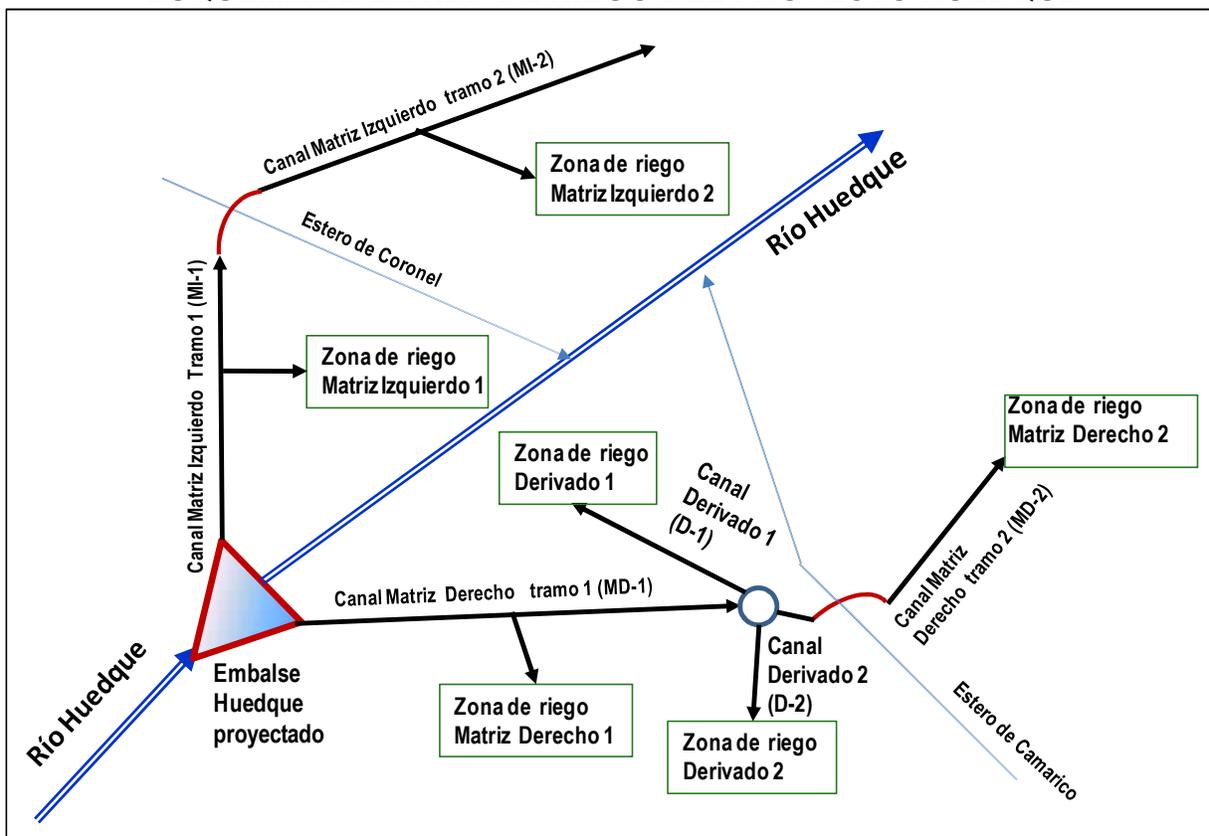
### **5.1. ESCENARIOS DE PROYECTO**

Se planteó un total de cinco (5) Escenarios de proyecto que se visualizan para cumplir con los objetivos del proyecto. Cada escenario está definido por una zona bajo cota de canal, que se puede abastecer con aguas reguladas del embalse Huedque, con una seguridad de riego de 85%. A su vez, cada escenario de superficie regada segura, tiene asociado un tamaño del volumen útil del embalse y obras anexas, como también las soluciones para las interferencias, superficie a expropiar, entre otros factores.

En la Figura 5.1-1 siguiente se ilustra el esquema de la red de riego planteada para el proyecto, la cual comprende dos canales matrices, uno por cada ribera del río. En la ribera izquierda, el canal matriz tiene dos tramos: el primer tramo (MI-1), comienza inmediatamente a pie de embalse y termina en el estero de Coronel, donde se cruza mediante un sifón. Aguas abajo del sifón comienza el segundo tramo del matriz izquierdo (MI-2) que se desarrolla hasta su final cerca del río Huedque.

Por su parte, en la ribera derecha se tiene un primer tramo del canal matriz (MD-1) al término del cual nacen dos canales derivados (Derivado 1 y Derivado 2). El segundo tramo del canal matriz derecho (MD-2) comienza después de cruzar por un túnel y termina cerca del río Huedque.

**FIGURA 5.1-1  
ESQUEMA DE LA RED DE RIEGO DEL PROYECTO HUEDQUE**



Fuente: Elaboración Propia

En el Cuadro 5.1-1 siguiente se detalla las superficies de cada zona de riego que quedan bajo cota de canal, según cada escenario de proyecto. Las superficies fueron determinadas sobre la base de levantamiento a escala 1:10.000, de modo de cubrir todo el rango posible de interés de superficie bajo cota de canal. Las superficies que se indican son las realmente productivas, esto es, descontando un 5% del área física bajo canal por corresponder a construcciones, caminos y otros.

**CUADRO 5.1-1  
SUPERFICIES PRODUCTIVAS BAJO COTA DE CANAL (HAS)**

CANAL	Superficies Bajo Canal (has)				
	ESC. 1	ESC. 2	ESC. 3	ESC. 4	ESC. 5
Matriz Ribera Izquierda tramo 1	732.7	695.2	622.85	583.7	583.7
Matriz Ribera Izquierda tramo 2	664.7	547.9	605.94	487.5	487.5
Matriz Ribera Derecha tramo 1	681.0	631.2	565.30	542.4	542.4
Matriz Ribera Derecha tramo 2	574.8	550.7	428.05	427.4	0
Derivado 1	271.4	271.8	243.68	230.5	0
Derivado 2	330.1	267.9	229.01	133.9	0

**CUADRO 5.1-1  
SUPERFICIES PRODUCTIVAS BAJO COTA DE CANAL (HAS)**

CANAL	Superficies Bajo Canal (has)				
	ESC. 1	ESC. 2	ESC. 3	ESC. 4	ESC. 5
<b>SUPERFICIES TOTALES</b>	<b>3254.6</b>	<b>2964.7</b>	<b>2694.8</b>	<b>2405.4</b>	<b>1613.6</b>
COTA INICIO CANAL MATRIZ	170	167	165.5	164	164
<b>Longitud Total de Canales (km)</b>	<b>143</b>	<b>132</b>	<b>132.3</b>	<b>130.3</b>	<b>79.7</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Según se puede observar en el Cuadro 5.1-1 anterior, el escenario N° 1 corresponde a la máxima superficie productiva posible de abastecer que queda bajo canal, de 3254,6 hectáreas. Para esto, los canales matrices deben comenzar a la cota 170,00, a objeto de dejar bajo cota de canal la superficie indicada. A su vez, en los escenarios N° 2 y N° 3 los canales matrices comienzan en la cota 167,00 y 165,50, logrando una superficie productiva bajo canal de 2964,7 y 2694,3 has, respectivamente.

En los escenarios 4 y 5, la cota de inicio de los canales matrices es la mínima posible, de 164,00 msnm y se diferencian en que el escenario 4 cubre toda la superficie posible, con un total de 2405,4 has, en tanto que en el escenario 5 se considera sólo el primer tramo del canal matriz derecho, logrando de esta forma una superficie de 1613,6 has.

Con el propósito de cubrir la mayor superficie posible, se consideró diferentes cotas de inicio de los canales matrices, lo cual significa considerar una cota de torre de toma o de captación del agua para entrega a riego también mayor.

## 5.2. MODELO DE SIMULACIÓN

Se desarrolló un modelo matemático de simulación para representar los balances de agua superficiales en el río Huedque y determinar el volumen útil de un embalse sobre el río Huedque, que permita regar la superficie definida, con seguridad de 85%.

Los resultados del modelo de simulación se han resumido en el Cuadro 5.2-1 siguiente, en términos del volumen útil del embalse que es necesario para regar la superficie considerada en la situación sin proyecto y para cada escenario con proyecto, con seguridad de riego de 85%.

**CUADRO 5.2-1**  
**RESUMEN DE RESULTADOS MODELO DE SIMULACION**

Variable	SIN PROYECTO		CON PROYECTO					
	SUP. 85%	SUP TOTAL	ESC. 1	ESC. 2	ESC. 3	ESC. 4	ESC. 5	
Superficie Productiva bajo riego (has)	18.9	3254.6	3254.6	2964.7	2694.8	2405.4	1613.6	
Volumen de regulación (Hm3)	0	0	37.8	34.5	31.4	28.1	18.7	
Seguridad de riego (%)	85	0	85	85	85	85	85	
Evaporación promedio del embalse (Hm3)	0	0	0.26	0.24	0.23	0.22	0.18	
Promedio de la demanda de riego suplida, noviembre – marzo (%)	97.7	16	98	98	98	98	98	
Promedio de la demanda de A.P. suplida (%)	0	0	99	99	99	99	99	
<b>Operación Minicentral Hidroeléctrica</b>								
Altura de agua promedio del embalse (m)			18.3	17.7	17.1	16.5	14.3	
Caudal de generación promedio (m3/s)			1.5	1.4	1.3	1.2	0.9	
Potencia Instalada (MW)			0.41	0.36	0.32	0.29	0.19	
Energía generada promedio anual (GWh)			2.02	1.83	1.65	1.46	0.96	
Factor de Planta			0.57	0.58	0.58	0.57	0.57	

Fuente: Elaboración Propia.

En los resultados de la situación del escenario actual o sin proyecto, se puede observar que la superficie equivalente que se puede regar actualmente, con seguridad de 85%, es de sólo 19 hectáreas. Además, se verifica que en la situación actual no hay seguridad de riego para la superficie potencial del proyecto de 3254 hectáreas.

En el escenario con proyecto, se determinó que los volúmenes de regulación requeridos con cada escenario varían entre 18.7 y 37.8 Hm3, observándose una clara tendencia lineal entre los volúmenes requeridos y la superficie regada con seguridad 85%

De los resultados obtenidos, se puede indicar que se visualiza que existen los recursos hídricos suficientes como para regar la superficie máxima bajo canal con 85% de seguridad y que el volumen de embalse requerido es del orden de los 38 Hm3.

En la satisfacción de la demanda de agua potable, de 10 l/s continuos, en todas las alternativas es posible suplir esta demanda, sin que se afecte la seguridad de riego.

En relación con la generación hidroeléctrica, se observa que para obtener un factor de planta del orden de 0,57, es necesario tener una potencia instalada entre 0,19 y 0,412 MW. Los mayores caudales de generación se producen en los meses de noviembre a marzo, coincidiendo con los meses de mayores entregas de caudal para riego.

Se estima que la magnitud de la generación hidroeléctrica es muy baja, de modo que su uso y aplicación estaría limitado a consumos locales cerca del embalse, ya que no se justificaría económicamente una línea de transmisión.

### 5.3. DISEÑOS PRELIMINARES

#### 5.3.1. Muro de Embalse

De acuerdo con el estudio geotécnico, se ha definido las siguientes dimensiones y características del muro del embalse:

- Tipo de presa: presa del tipo Homogénea, de 35.0 m de altura máxima, constituida por un único material correspondiente a un limo arenoso a una arena limosa o arcilla limosa.
- La inclinación de los taludes que constituirá el muro del embalse serán de aproximadamente  $V : H = 1.0 : 3.5$  para el talud de aguas arriba y  $V : H = 1.0 : 3.25$  para el talud de aguas abajo.
- Ancho de coronamiento mínimo de la presa de 9.0 m.
- No se considera fundación o diente de fundación, debido a que el material superficial es suficientemente impermeable, de acuerdo con las calicatas y sondajes efectuados en la zona de muro. Sólo se considera un escarpe de 0,30 m.

En el Cuadro 5.3-1 se resume las características de diseño del embalse, para cada uno de los cinco escenarios analizados.

**CUADRO 5.3-1  
CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO DEL EMBALSE**

DESCRIPCION	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5
Cota a pie de embalse	156.00	156.00	156.00	156.00	156.00
Cota torre de toma	171.00	168.00	166.50	165.00	165.00
Cota radier en inicio canales matrices	170.00	167.00	165.50	164.00	164.00
Volumen almacenado hasta torre de toma (Vol. Muerto), Hm3	11.32	7.39	3.80	3.30	3.30
Volumen útil requerido según superficie del escenario Hm3	37.80	34.50	31.40	28.1	18.70
Volumen total almacenado, hasta el umbral del vertedero Hm3	49.12	41.89	35.20	31.40	22.00

**CUADRO 5.3-1  
CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO DEL EMBALSE**

DESCRIPCION	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5
Cota umbral del vertedero	184.38	182.49	180.58	179.40	176.03
Revancha total (m)	6.30	6.30	6.30	6.30	6.30
Cota coronamiento	190.68	188.79	186.88	185.70	182.33
Altura total del muro (m)	34.68	32.79	30.88	29.70	26.33
Cota coronamiento adoptada	191.00	189.00	187.00	186.00	182.50
Altura total del muro (m)	35.00	33.00	31.00	30.00	26.50

Fuente: Elaboración Propia.

**5.3.2. Obra de Evacuación de Crecidas**

El vertedero diseñado corresponde a uno libre, es decir, sin compuertas de regulación, de ubicación frontal y recto. El tipo de vertedero seleccionado correspondió al vertedero de tipo Ogee debido a su mayor eficiencia en la descarga al adoptar la forma de la lámina de agua en su talud aguas abajo, tal como se propone en el U.S. Bureau of Reclamation (USBR).

La obra de evacuación de crecidas está compuesta por: vertedero, pie de vertedero, canal evacuador y descarga en canal revestido. Su diseño permite la evacuación de una crecida de período de retorno de 1.000 años, con un caudal máximo de de 1.211 m<sup>3</sup>/s.

**5.3.3. Túnel de Desviación**

Durante el período de construcción de la presa, es necesario desviar las aguas del río Huedque a través de una obra denominada túnel de desviación. Para este efecto, se plantea construir un túnel de sección medio punto, con una toma ubicada aguas arriba del muro, con una longitud aproximada de 290 metros, que termina aguas abajo del pie del embalse, devolviendo de esta forma las aguas al río.

El túnel de desviación se diseñó para el caudal de período de retorno 10 años, Q = 257 m<sup>3</sup>/s. Para un período de construcción de 2 años, por lo cual el riesgo hidrológico asociado es de un 19%.

En los primeros 5 metros, el túnel tendrá un revestimiento completo en su sección, a objeto de formar una estructura segura para soportar la sobrecarga de material. Desde los 5 metros en adelante, el túnel estará excavado en roca, hasta los 5 metros finales, que estarán revestidos en sección completa, en forma similar al inicio.

Esta obra contendrá la tubería de la entrega para riego, la cual estará embebida en una estructura de hormigón armado.

### 5.3.4. Obras de Entrega de Caudal

Para el cálculo del diámetro de la tubería, se considera el caudal que debe entregar el embalse en el mes de máxima demanda, de acuerdo con las superficies de riego de cada escenario y con las pérdidas de conducción. Estos valores fueron obtenidos de los resultados del modelo de simulación de la operación del embalse, para cada escenario de proyecto y se indican en el Cuadro 5.3.4-1.

**CUADRO 5.3.4-1  
CAUDALES DE ENTREGA EN EL MES DE MÁXIMA DEMANDA (M3/S)**

TRAMO DEL CANAL	ESC 1	ESC 2	ESC 3	ESC 4	ESC 5
Matriz Ribera Izquierda tramo 1	1.6	1.4	1.4	1.2	1.2
Matriz Ribera Izquierda tramo 2	0.7	0.6	0.7	0.5	0.5
Matriz Ribera Derecha tramo 1	2.1	1.9	1.6	1.5	0.6
Matriz Ribera Derecha tramo 2	0.6	0.6	0.5	0.5	0.0
Derivado 1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.0
Derivado 2	0.4	0.3	0.3	0.1	0.0
Caudal máximo canal matriz Derecho	2.1	1.9	1.6	1.5	0.6
Caudal máximo canal matriz Izquierdo	1.6	1.4	1.4	1.2	1.2
Caudal máximo tubería unificada	3.6	3.3	3.0	2.7	1.8

Fuente: Elaboración Propia.

La obra de entrega de agua del embalse tiene un primer tramo vertical, que corresponde a la longitud de la estructura de la torre de toma, cuya base está en la cota 159,00. A continuación, el segundo tramo se ubica dentro del túnel de desviación, en el cual la tubería va embebida en una estructura de hormigón armado. La longitud de este tramo es de 290 m.

Al término del segundo tramo, la tubería se bifurca en dos: Una parte del caudal sigue hacia el canal matriz derecho, en una longitud de 40 metros, en tanto que la otra parte del caudal se conduce hacia el canal matriz izquierdo mediante un sifón de 340 m de longitud.

### 5.4. RED DE CANALES DE DISTRIBUCIÓN

Los canales serán construidos en tierra, ya que las características del suelo lo permiten. Tendrán una sección trapezoidal con una profundidad no mayor de 2 metros, taludes  $H : V = 1.0 : 1.0$ . La velocidad máxima del agua se limita a 1,2 m/seg, para canales no revestidos.

Para el diseño de la red de distribución de agua, se han trazado canales en los predios utilizando la mínima pendiente posible, de modo de abarcar la mayor cantidad de zona de riego bajo la cota del canal hasta encontrarse con el río. La pendiente del río es muy baja, lo que implica que la pendiente del canal será aun más baja.

## **5.5. DISEÑO DE UN SISTEMA DE AFORO REMOTO DE CAUDALES**

Se estudió la posibilidad de instalar sistemas de aforo remoto del caudal de la red de distribución del agua del embalse. El objetivo principal es tener la posibilidad de medir remotamente el caudal que transportan los canales y así tener control de la red de distribución.

Se diseñaron 4 aforadores, dos al inicio de cada uno de los canales matrices y dos al final del primer tramo de cada uno de dichos canales. Estos aforadores tendrán la capacidad de medir el caudal que transporta el canal y se podrá acceder remotamente a través de internet a los datos guardados. Los aforadores se proyectaron con una sección rectangular para facilitar su construcción y diseño.

El costo de un aforador asciende a los \$13.134.000. Sin embargo se debe tener en cuenta también que el costo de la red 3g es un costo mensual, así como también lo sería el costo de acceso a una red satelital, lo cual incrementaría los costos de operación del aforador.

## **5.6. INTERFERENCIAS**

La interferencia más relevante del proyecto de embalse Huedque se refiere a una variante del camino actual de acceso a la zona de muro, por la ribera izquierda.

El trazado del proyecto de camino alternativo tiene su origen unos 1600 metros por la Ruta M-870 hacia el Sur - Poniente luego del cruce con la Ruta M-868. (También del cruce del río Huedque con la Ruta M-870). Desde estos 1600 metros se extiende un camino privado hacia el Oriente en dirección a la zona de inundación desarrollándose por unos 14 km hasta empalmar con la Ruta N-126. Parte del trazado fue proyectado a lo largo de un camino interior, cuyo mejoramiento está considerado dentro del presente estudio.

En general la velocidad de diseño es de 70 Km/hr, restringida a algunas curvas y pendientes muy altas a una velocidad de 40 km/hr. La rasante se ha proyectado teniendo presente tanto el espacio de la faja existente en el primer tramo, así como el ancho de calzada mínimo que permita la combinación de un vehículo liviano con uno pesado. Con estos antecedentes, se estimó un ancho medio de 6.0 m, con taludes de corte y terraplén de 3/2.

## **5.7. EXPROPIACIONES**

El área de expropiación objeto del presente análisis, corresponde al área de inundación del embalse proyectada, la cual viene delimitada preliminarmente por la cota 195 (m.s.n.m.) y los ejes del muro proyectado de la Alternativa definitiva de Embalse. El área de expropiación se encuentra contenida entre las Comunas de Cauquenes (Región del Maule) y Quirihue (Región del Bío Bío).

Los datos de las propiedades utilizados corresponden aquellos proporcionados por el Servicio de Impuestos Internos a través de su portal web ([www.sii.cl](http://www.sii.cl)) y están actualizados al mes de septiembre de 2012, mientras que el mapa de límites prediales corresponde a aquel confeccionado por CIREN (escala 1:20.000) a partir de la información del SII, actualizada al año 2007 para el caso de la comuna de Cauquenes y al año 1999 para el caso de la Comuna de Quirihue. El cálculo de la superficie a expropiar ha sido efectuado por este Consultor, a través de la superposición de capas de información en software de Sistemas de Información Geográfica. La superficie total a expropiar tiene una extensión de 650 ha y comprende un total de 45 propiedades.

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

El objetivo de este análisis es evaluar el efecto regulador de crecidas de la alternativa de embalse seleccionada. Este embalse se vería afecto a crecidas de origen pluvial solamente, por lo que se evalúa el efecto para esta crecida.

En el Cuadro 5.8-1 se muestra los resultados obtenidos al realizar la estimación del efecto regulador del embalse para las distintas crecidas pluviales.

**CUADRO 5.8-1**  
**CAUDALES MÁXIMOS DE ENTRADA/SALIDA**

T	Caudal entrada	Caudal Salida	% de regulación
años	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	
20	609,7	506,8	17%
50	742,4	631,2	15%
100	849,3	730,1	14%
500	1099,3	962,6	12%
1000	1211,1	1068,1	12%
10000	1600,3	1429,50	11%

Fuente: Elaboración Propia.

Dado los resultados, se aprecia que el efecto regulador del embalse, independientemente del tamaño de la crecida, tendría un valor de amortiguación de un 20% aproximadamente, si se comparan los caudales máximos de entrada con el de salida. Es un valor muy bajo como para concluir que el embalse regularía una crecida, ya que en términos de magnitud, si existiese una crecida milenaria, por ejemplo de 1200 m<sup>3</sup>/s peak, el amortiguamiento de la crecida sería de unos 1000 m<sup>3</sup>/s, que tendría prácticamente el mismo efecto destructor que la crecida sin control.

## 5.9. PRESUPUESTOS

Los precios unitarios que se utilizaron para el proyecto Embalse Rio Huedque, tienen una fecha de vigencia a marzo de 2012, con un valor del dólar a \$ 478 y de la Unidad de Fomento de \$ 22.463. En el Cuadro 5.9-1 se resume el presupuesto de las obras y expropiaciones correspondiente a cada escenario del proyecto.

### CUADRO 5.9-1 PRESUPUESTO DE LAS OBRAS Y EXPROPIACIONES (MILLONES DE PESOS, MARZO DE 2012)



Fuente: Elaboración Propia.

En el Cuadro 5.9-2 se presenta el costo de las obras y expropiaciones en comparación a las magnitudes relevantes de cada escenario, tales como la superficie regada y el volumen útil del embalse.

Se puede observar que el costo por hectárea es mayor a medida que disminuye la superficie beneficiada. En forma análoga, se observa que el costo por volumen útil de capacidad aumenta según disminuye la superficie beneficiada. Lo anterior se explica por las economías de escala que existe cuando se tiene un tamaño de proyecto mayor.

**CUADRO 5.9-2**  
**COSTO DE LAS OBRAS EN RELACIÓN A LA SUPERFICIE Y VOLUMEN ÚTIL**

Escenario	Superficie productiva beneficiada (ha)	Costo Obras y Expropiaciones (Mill. US\$)	Costo/ha (US\$/ha)	Volumen útil embalse (Hm3)	Costo / Vol. útil de capacidad (US\$/m3)
1	3255	\$ 60,95	18.724	37,8	1,61
2	2911	\$ 56,23	19.315	34,5	1,63
3	2695	\$ 53,08	19.696	31,4	1,69
4	2406	\$ 50,48	20.981	28,1	1,80
5	1614	\$ 45,01	27.890	18,7	2,41

Fuente: Elaboración Propia.

## 6. ESTUDIOS AGRONÓMICOS

El estudio agroeconómico pretende evaluar los beneficios económicos del proyecto de construcción del embalse Huedque, comparando tres escenarios distintos: Situación Actual (SA), Situación Sin Proyecto (SSP) y Situación Con Proyecto (SCP). De manera especial, para el presente estudio se ha considerado que las características de la agricultura de secano representativa de la Situación Actual se mantendrán si no se construye el proyecto, es decir, en la Situación Sin Proyecto.

Los potenciales beneficiados por el proyecto corresponden a los propietarios de los predios que se encuentran en el área de influencia de los canales proyectados en el valle de Huedque y que podrían regar con recursos extraídos del cauce del mismo nombre. En total se han identificado 313 predios.

Para una completa caracterización de la Situación Actual Agropecuaria se estableció una serie de atributos físicos, productivos, legales y económicos, asociados a los distintos tipos de agricultores existentes en el área de estudio. Para lograr este objetivo se ha contemplado la aplicación de una encuesta simple de tipo cuantitativa que indaga en cada uno de estos ámbitos. La encuesta abarcó 172 predios de los 313 existentes, que equivalen a 3.294,4 ha (de 5.368,0 ha totales).

En el Cuadro 6-1 se resume el uso del suelo agrícola en la situación actual y en la situación futura.

**CUADRO 6-1  
USO DEL SUELO AGRÍCOLA SITUACIÓN ACTUAL Y SITUACIÓN FUTURA**

Cultivos	Situación Actual										Situación Con Proyecto							
	Riego Permanente		Riego Eventual		Riego Agua Subterránea		Secano		Total		Riego Permanente		Riego Agua Subterránea		Secano		Total	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Trigo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	205,3	6,0	205,3	5,7	0,0	0,0	0,0	0,0	47,2	3,6	47,2	1,0
Papa	0,8	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	3,3	0,1	4,1	0,1	24,1	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	24,1	0,5
Chacra Casera	1,0	1,0	3,3	10,4	8,3	9,3	61,0	1,8	73,6	2,0	89,1	2,7	8,3	9,3	1,0	0,1	98,5	2,1
											226,0	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	226,0	4,8
Pradera Natural	0,0	0,0	15,8	50,0	0,0	0,0	1.856,2	54,6	1.872,0	51,7	161,5	5,0	0,0	0,0	551,5	41,7	712,9	15,3
Olivo	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	2,5	3,1	0,1	5,3	0,1	118,3	3,6	2,2	2,5	0,0	0,0	120,6	2,6
Vid Vinífera	100,0	98,2	11,3	35,6	74,6	82,9	556,8	16,4	742,6	20,5	1.770,7	54,4	74,6	82,9	13,9	1,1	1.859,3	39,8
Huerto Frutal	0,0	0,0	0,9	2,8	2,5	2,8	2,0	0,1	5,3	0,1	51,8	1,6	2,5	2,8	0,0	0,0	54,3	1,2
Otros Frutales	0,0	0,0	0,4	1,3	2,3	2,6	1,9	0,1	4,7	0,1	813,1	25,0	2,3	2,6	0,0	0,0	815,4	17,5
Pino	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	625,4	18,4	625,4	17,3	0,0	0,0	0,0	0,0	625,4	47,2	625,4	13,4
Eucaliptus	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	84,8	2,5	84,8	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	84,8	6,4	84,8	1,8
<b>Total Productiva</b>	<b>101,8</b>	<b>100,0</b>	<b>31,6</b>	<b>100,0</b>	<b>90,0</b>	<b>100,0</b>	<b>3.399,8</b>	<b>100,0</b>	<b>3.623,2</b>	<b>100,0</b>	<b>3.254,6</b>	<b>100,0</b>	<b>90,0</b>	<b>100,0</b>	<b>1.323,8</b>	<b>100,0</b>	<b>4.668,4</b>	<b>100,0</b>
Productiva									3.623,2	67,5							4.668,4	87,0
Sin uso potencialmente regable									1.354,3	25,2							309,0	5,8
Sin uso cultivable solo en secano									283,6	5,3							283,6	5,3
Indirectamente productiva									104,1	1,9							104,1	1,9
Improductiva									2,9	0,1							2,9	0,1
<b>Total</b>									<b>5.368,0</b>	<b>100,0</b>							<b>5.368,0</b>	<b>100,0</b>

Fuente: Elaboración Propia.

## 7. PARTICIPACION CIUDADANA

El objetivo del componente de participación ciudadana es *“Integrar a la comunidad, autoridades y servicios relacionados al desarrollo del proyecto, ya sea a través de consultas, talleres de trabajo u otras actividades que permitirán, por una parte, informarlos de los objetivos y avances del estudio, y por otra, recoger información, inquietudes, intereses y opiniones, incorporándolas en el estudio cuando sea técnica y económicamente factible.”*

Los actores relevantes del área de estudio corresponden a representantes de instituciones del sector público, organizaciones comunitarias como juntas de vecinos, propietarios del sector de emplazamiento de la obra y potenciales beneficiarios.

Del grupo total de actores relevantes, se realizaron 12 entrevistas que buscan representar distintos grupos de actores, los que se manifiestan en su mayoría favorables al proyecto, debido al beneficio comunitario que un embalse podría significar. Dentro de los potenciales problemas que pudieran surgir a futuro, se encuentra la ausencia de una organización de usuarios de aguas en el sector, la asignación de derechos de aprovechamiento de aguas, el cambio cultural de agricultura de secano a riego y el envejecimiento de la población en el sector.

En el marco de las actividades de Participación Ciudadana, se realizaron tres reuniones en distintas etapas del proyecto. En éstas se ha informado a los asistentes respecto de los objetivos del estudio, las actividades a realizar, los resultados de las actividades ya ejecutadas, las alternativas estudiadas, la alternativa recomendada y las principales conclusiones del estudio. En general, estas actividades han sido calificadas como buenas.

## **8. ESTUDIO DE ANALISIS AMBIENTAL**

El proyecto analizado en el presente informe, debe someterse al SEIA mediante la elaboración de un EIA, dado que cumple con los requisitos estipulados con la Normativa Ambiental vigente en Chile.

De forma adicional, se ha realizado un análisis preliminar de impactos potenciales, en el cual se concluye inicialmente, que el componente más afectado sería el de la Flora y Fauna acuática, ya que se han encontrado especies con problemas de conservación, seguido del componente Hidrología, como es de esperarse en proyectos de embalse, ya que se vería bruscamente transformado el régimen de caudales y sedimentos del río. El componente Asentamientos Humanos, por su parte, también es altamente relevante ya que existen 17 construcciones en la zona de inundación que, en caso de ser construido el embalse, deben ser expropiadas y/o reubicadas. Todos los impactos mencionados son permanentes e irreversibles y son válidos tanto para las Etapas de Construcción como de Operación.

Se ha propuesto considerar el borde del sitio prioritario "Quebradas de Tregualemu" (adyacente al área del proyecto) como una Zona de Restricción Ambiental con el fin de resguardar el valor ecológico asociado al ecosistema ahí representado.

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

Finalmente, se han estimado los costos de las medidas ambientales por una cantidad de 2.017 millones de pesos distribuidas entre el año de construcción y el primer año de operación con fuerte énfasis en monitoreo y mitigación, teniendo en cuenta que son sólo medidas tentativas propuestas de modo general en una prefactibilidad y que la valoración definitiva y detallada corresponde al proceso enmarcado en el Estudio de Impacto Ambiental que debe realizarse en conjunto durante la Etapa Diseño de las Obras.

## 9. EVALUACION ECONÓMICA

En este acápite se presentan los resultados de la evaluación económica realizada con los métodos del Presupuesto, Valor Incremental de la Tierra y de las Transacciones de los Derechos de Aprovechamiento de Aguas, cuyos resultados se presentan en los Cuadros 9-1, 9-2 y 9-3, respectivamente, para las cinco alternativas de tamaño de embalse considerados, tanto a precios de mercado como sociales.

**CUADRO 9-1  
RESULTADOS EVALUACIÓN ECONÓMICA  
MÉTODO DEL PRESUPUESTO**

Alternativa	Precios de Mercado					
	V Útil (hm <sup>3</sup> )	VAN (MM \$)	IVAN	VAN/Sup (MM \$/ha)	n/k	TIR (%)
A-1	37,8	-20.886,4	-0,73	-6,42	0,52	5,89%
A-2	34,5	-19.085,7	-0,72	-6,44	0,52	5,87%
A-3	31,4	-18.120,3	-0,73	-6,72	0,50	5,70%
A-4	28,1	-17.659,6	-0,74	-7,34	0,48	5,36%
A-5	18,7	-17.167,5	-0,81	-10,64	0,38	3,85%
Alternativa	Precios Sociales					
	V Útil (hm <sup>3</sup> )	VAN (MM \$)	IVAN	VAN/Sup (MM \$/ha)	n/k	TIR (%)
A-1	37,8	701,6	0,03	0,22	1,02	6,13%
A-2	34,5	573,3	0,02	0,19	1,01	6,12%
A-3	31,4	-227,8	-0,01	-0,08	0,99	5,95%
A-4	28,1	-1.618,5	-0,08	-0,67	0,95	5,60%
A-5	18,7	-6.183,4	-0,32	-3,83	0,78	4,07%

Fuente: Elaboración propia

**CUADRO 9-2  
RESULTADOS EVALUACIÓN ECONÓMICA  
MÉTODO DEL VALOR INCREMENTAL DE LA TIERRA**

Alternativa	Área de estudio (ha)		Valor Unitario (\$/ha)	
	Total	Incremental	Total	Incremental
<b>SA-SCP</b>	10.422.045.779	0	2.015.480	0
<b>A-1</b>	12.294.756.552	1.872.710.773	2.377.637	362.157
<b>A-2</b>	12.120.816.552	1.698.770.773	2.343.999	328.519
<b>A-3</b>	11.958.887.052	1.536.841.273	2.312.684	297.204
<b>A-4</b>	11.785.236.552	1.363.190.773	2.279.103	263.622
<b>A-5</b>	11.310.156.552	888.110.773	2.187.229	171.748

Fuente: Elaboración propia

**CUADRO 9-3**  
**RESULTADOS EVALUACIÓN ECONÓMICA**  
**MÉTODO DE LAS TRANSACCIONES DE DERECHOS DE AGUAS**

Alternativas	Transacciones Evitadas (\$)	
	Total	Incremento
<b>SA-SCP</b>	320.589.379	0
<b>A-1</b>	1.816.256.250	1.495.666.871
<b>A-2</b>	1.657.044.000	1.336.454.621
<b>A-3</b>	1.507.106.250	1.186.516.871
<b>A-4</b>	1.346.348.250	1.025.758.871
<b>A-5</b>	905.809.500	585.220.121

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a lo presentado en los Cuadros 9-1, 9-2 y 9-3 anteriores, el proyecto no es rentable a precios de mercado cuando se usa el método del presupuesto, y es marginalmente rentable a precios sociales, lo que es compatible y esperable para la realidad de la zona.

Para el caso del valor incremental de la tierra el proyecto es rentable, tanto a precios sociales como de mercado, lo que es compatible con el gran aumento de superficie bajo riego. Por último, el proyecto no es rentable al considerar el método de las transacciones.

Se recomienda continuar con el proyecto, considerando un embalse de 37,8 hm<sup>3</sup> de volumen útil.

**10. OTROS USOS DEL EMBALSE**

Se estima factible que en el futuro el embalse pueda ser usado con fines recreacionales, para campings, e incluso la instalación de viviendas veraniegas, para lo cual se requiere, en primer lugar, de infraestructura urbana que a la fecha no existe, y que además no está relacionada con el proyecto de riego.

Un segundo beneficio es el combate de incendios forestales. Este tipo de análisis considera que la ubicación del embalse permitiría disminuir la distancia que deben volar los aviones cisterna para cargar agua y entregar su carga.

Además, se ha evaluado el uso de abastecimiento de agua potable, hasta 10 l/s en forma continua, sin que ello afecte la seguridad de riego. Esto permitirá efectuar ahorros en los costos de operación de las instalaciones de agua potable rural actuales y disminuir los tiempos de viaje de camiones aljibes que abastecen localidades más lejanas.

## 11. CONCLUSIONES

Se ha desarrollado el estudio de prefactibilidad de la "**CONSTRUCCIÓN DE EMBALSE DE RIEGO HUEDQUE, COMUNA DE CAUQUENES**", localizado en la Región del Maule, obteniéndose las siguientes conclusiones principales:

Se realizó una evaluación técnico-económica-ambiental de los tres sitios de embalse identificados, sobre la base de restitución aerofotogramétrica, levantamientos topográficos y visitas técnicas de especialistas, obteniéndose que la alternativa N° 1, ubicada más aguas arriba, resultó la más conveniente. Esto se fundamenta principalmente en que la alternativa N° 1 tiene menor complejidad en las expropiaciones e interferencias y, por estar a una cota más alta, tiene la posibilidad de dejar una mayor cantidad de superficie bajo cota de canal, en comparación a las alternativas 2 y 3 que se ubican a cotas más bajas.

Los tres sondeos realizados en el eje del muro de la alternativa seleccionada, permitieron determinar que existe roca de buena calidad y se encuentra a una profundidad razonable, para los efectos del diseño de la fundación (14,3 m estribo izquierdo, 18,8 m al centro y 1,7 m en estribo derecho).

De acuerdo con la disponibilidad de materiales en la zona del embalse, se concluye que el sitio en estudio es adecuado para la construcción de un muro del tipo Presa Homogénea. En efecto, el material encontrado en el área de yacimientos, clasifica principalmente en el sistema USCS SC, CI, ML; es decir corresponden a arenas arcillosas, arcillas arenosas y limos algo arenosos.

El estudio hidrológico realizado permitió determinar los caudales de diseño para el túnel de desviación, período de retorno de 10 años (257 m<sup>3</sup>/s) y para el vertedero, período de retorno de 1000 años (1.211 m<sup>3</sup>/s). De igual forma, el estudio sedimentológico permitió definir un volumen muerto del embalse de 3,3 Hm<sup>3</sup>.

El proyecto de embalse sobre el río Huedque cuenta con los derechos de aprovechamiento de agua necesarios. Estos derechos han sido otorgados al Fisco – Dirección de Obras Hidráulicas, mediante Resolución DGA Región del Maule N° 066 del 17-7-2009. Son derechos de tipo consuntivo, de ejercicio permanente y eventual. El volumen anual asignado en el río Huedque es 107,5 millones de m<sup>3</sup>.

Mediante la aplicación de un modelo de simulación de escala mensual, se evaluó cinco escenarios de tamaño de proyecto, entre 1613 y 3254 hectáreas, concluyendo que es

posible regar todas las superficies con 85% de seguridad, con volúmenes útil del embalse entre 18,7 y 37,8 Hm<sup>3</sup>.

De acuerdo con los diseños realizados, para cada uno de los cinco escenarios analizados, el muro del embalse tiene una altura total entre 26,5 y 35 m. Los taludes del muro serán de V : H = 1.0 : 3.5 para el talud de aguas arriba y V : H = 1.0 : 3.25 para el talud de aguas abajo. A su vez, la red de canales de distribución de agua desde el embalse comprende un canal matriz por cada ribera del río, con una longitud total, según el escenario, entre 80 y 143 km.

La interferencia más relevante del proyecto de embalse Huedque se refiere a una variante del camino actual de acceso a la zona de muro, por la ribera izquierda del río Huedque, con una longitud de aproximadamente 14 km.

La superficie total a expropiar en la zona de inundación del embalse y de obras del embalse, tiene una extensión 650 ha y comprende un total de 45 propiedades.

En relación con la generación hidroeléctrica, se observa que se puede lograr potencias instaladas entre 0,19 y 0,41 MW. Se estima que la magnitud de la generación hidroeléctrica es muy baja, de modo que su uso y aplicación estaría limitado a consumos locales cerca del embalse, ya que no se justificaría económicamente una línea de transmisión.

En las actividades de Participación Ciudadana realizadas, tanto de entrevistas a actores relevantes, como de reuniones con los potenciales beneficiados por el futuro embalse, se ha verificado una percepción favorable hacia el proyecto.

El proyecto debe someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) mediante la elaboración de un estudio de Impacto Ambiental (EIA), dado que cumple con los requisitos estipulados con la Normativa Ambiental vigente en Chile.

De acuerdo con la evaluación económica realizada, el proyecto no es rentable a precios de mercado, cuando se usa el método del presupuesto. El proyecto es marginalmente rentable a precios sociales, lo que es compatible y esperable para la realidad de la zona. Para el caso del valor incremental de la tierra el proyecto es rentable, tanto a precios sociales como de mercado, lo que es compatible con el gran aumento de superficie bajo riego. Por último, el proyecto no es rentable al considerar el método de las transacciones.

Dada la rentabilidad social positiva del proyecto, se recomienda continuar con el proyecto en la etapa de factibilidad, considerando un embalse de 37,8 hm<sup>3</sup> de volumen útil, que tiene la potencialidad de beneficiar a un total de 313 predios agrícolas.