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

INFORME FINAL

VOLUMEN 1

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2012

CNR
Ministerio de Agricultura
Gobierno de Chile

Comisión Nacional de Riego
Gobierno Regional - Región del Maule

"ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PROYECTO CONSTRUCCIÓN DE EMBALSE DE RIEGO HUEDQUE, COMUNA DE CAUQUENES"

INFORME FINAL

VOLUMEN 1: ESTUDIOS DE INGENIERÍA

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 – www.arrauingenieria.cl

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1. INTRODUCCIÓN

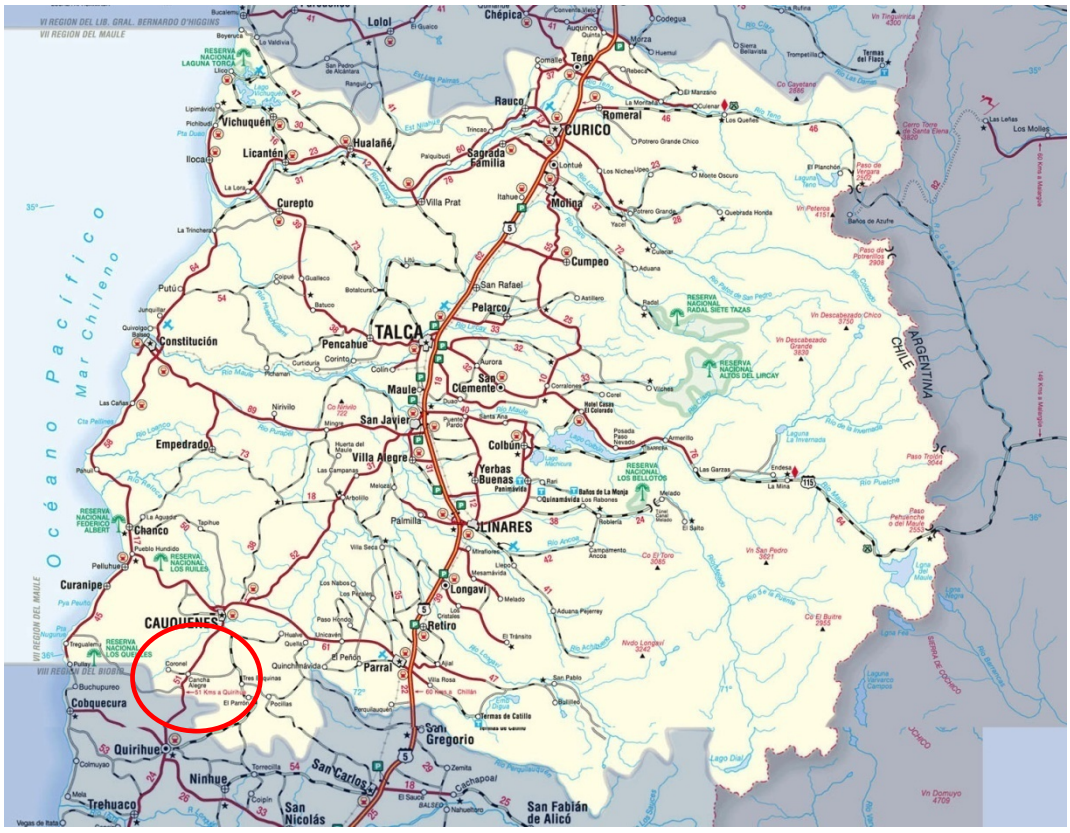
El presente documento se refiere al estudio de Prefactibilidad de la **"CONSTRUCCIÓN DE EMBALSE DE RIEGO HUEDQUE, COMUNA DE CAUQUENES",** localizado en la Región del Maule de la COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO del Ministerio de Agricultura.

La Comisión Nacional de Riego es el organismo responsable de la planificación, generación de información y seguimiento de programas de desarrollo agrícola en áreas de Riego y Drenaje, y dentro de este marco llama a la presente licitación.

1.2. UBICACIÓN DEL PROYECTO

En el mapa que se presenta en la Figura 1.2-1 se ubica el área de estudio.

FIGURA 1.2-1
UBICACIÓN ÁREA DE ESTUDIO



Fuente: Elaboración propia a partir de www.MapasdeChile.com

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

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.

La ubicación específica de los sitios a evaluar para emplazar el embalse se encuentran en el Río San Juan y Río Huedque, ríos consecutivos que desembocan en el Río cauquenes. En el año 1978 se propuso la siguiente ubicación para el Embalse Huedque: coordenadas geográficas 36° 06' de latitud sur y 72° 30' de longitud oeste.

1.3. ANTECEDENTES GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

La zona en estudio corresponde al secano interior de la provincia de Cauquenes, y se caracteriza por tener un clima templado y húmedo, con un período seco en verano e inviernos fríos y húmedos con heladas en esta estación y en primavera inclusive. Estas condiciones climáticas hacen que la mayoría de los cultivos se deban desarrollar bajo condiciones de riego. Los terrenos agrícolas fluctúan entre tierras de secano y riego limitado, además la falta de regulación de los recursos hídricos afectan fuertemente el desarrollo agropecuario del valle. Los productores se tienen que adecuar a las condiciones hidrológicas de cada año, y no pueden todos pueden aprovechar las potencialidades que ofrecen las superficies adicionales de suelos cultivables.

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.

Las aguas embalsadas deberían permitir el riego de aproximadamente 4.800 ha para unos 101 agricultores beneficiados, correspondientes al sistema de riego del río Huedque (situadas a lo largo de los ríos San Juan, Huedque y la parte baja del Río Cauquenes).

El presente Estudio de Prefactibilidad pretende dar una respuesta definitiva a las necesidades de los agricultores, que serían beneficiados por la construcción del embalse y la red de riego aumentando el potencial agroeconómico de la zona a través de la incorporación de nueva superficie regada con alta seguridad ; adicionalmente se evaluó la posibilidad de generar energía hidroeléctrica al pie de la presa como una externalidad del proyecto de riego.,

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

1.4. IDENTIFICACION Y DEFINICION DEL PROBLEMA OBJETIVO DEL ESTUDIO

El objetivo del estudio 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.

Para ello se analizará y evaluará a nivel de prefactibilidad las alternativas de construcción de un embalse en el río Huedque, el mejoramiento y/o construcción de una nueva red de canales, con aprovechamiento hidroeléctrico, para aumentar la superficie y seguridad de sistema de riego de la zona del río Huedque.

1.5. OBJETIVO GENERAL

El objetivo del estudio 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.

1.6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos de este estudio son los siguientes:

1. Analizar en profundidad la Pre-Factibilidad técnica, económica, financiera, legal y ambiental de las alternativas propuestas de construcción de embalse del sistema de riego de la zona del río Huedque, que incluyen la red de distribución y el análisis de las posibilidades de hidrogeneración, lo cual se deberá hacer acorde a los estudios técnico-económicos del presente estudio.

2. Verificar y analizar exhaustivamente la situación de los recursos hídricos de la cuenca, identificando los derechos de aguas concedido a los regantes, así como aquellos recursos excedentarios que pudieran ser embalsados, con el objetivo de presentar ante la DGA la solicitud de reserva respectiva.

3. Se debe establecer un compromiso con las organizaciones de regantes que correspondan, de inicio del trámite de regularización y/o perfeccionamiento de sus derechos de aguas, en caso de ser necesario.

4. Determinar en función de los estudios Agropecuarios y Agroeconómicos, las demandas hídricas del proyecto a nivel de Pre-Factibilidad, de tal forma de dimensionar el embalse y su red de distribución de agua de la forma más óptima posible, condicionando su operación para variados escenarios de simulación.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

5. Se deberán efectuar diferentes estudios de ingeniería básica a nivel de Pre-Factibilidad (hidrología, hidrogeología, mecánica fluvial, transporte de sedimentos, geológicos, geotécnicos, topográficos, etc.).

6. Plantear escenarios de proyecto con las obras seleccionadas y caracterizarlos con estudios de ingeniería y de agronomía, a nivel de prefactibilidad.

7. Estudiar la operación del sistema de riego y optimizarla.

8. Determinar el Tamaño y Posición óptimos para la Presa del Embalse.

9. Desarrollar el Anteproyecto de la Presa y sus Obras Anexas, incluyendo las obras necesarias para la implementación de Hidrogeneración, así como el Modelo de Negocios y Operación.

10. Evaluar alternativas de mejoramiento de los canales de la red existente y diseñar a nivel de prefactibilidad la alternativa elegida.

11. Definir el trazado de los canales necesarios y elaborar sus diseños preliminares, para las zonas de nuevo riego.

12. Se debe agregar al diseño de ingeniería el aforo remoto de caudales; incorporar una red remota de medición de caudales con el fin de centralizar la información.

13. El Consultor deberá analizar y proponer alternativas de financiamiento para los proyectos de hidrogeneración, así como el Modelo de Negocios y Operación.

14. Deberá analizar las eventuales interferencias que el proyecto podría tener con instalaciones existentes (caminos, sectores de cultivos, propiedad privada, entre otros).

15. Se deberá analizar la situación agropecuaria actual y proyectarla, en función de la mayor seguridad de riego que cualquiera de las alternativas de proyecto generaría, planteando un mejoramiento en las tecnologías de riego y cultivos actuales, así como elaborar un Programa de Asistencia Técnica y de Transferencia Tecnológica para la zona del Proyecto.

16. Desarrollar un Programa de Participación Ciudadana

17. Realizar un Estudio de Análisis Ambiental del Proyecto (EAA), precisando los impactos ambientales, las medidas de mitigación y sus costos, tanto para el embalse, su red de distribución y las obras de hidrogeneración.

18. Identificar, analizar y cuantificar los costos de las posibles expropiaciones que tendrían que ser ejecutadas.

19. Preparar un programa de Inversión donde se consideren los costos de Construcción y Operación del embalse, además estimar los costos de implementar

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

los planes de Transferencia Tecnológica y Asistencia Técnica, para ser expuestos a la comunidad.

20. Evaluación Económica a través de 3 métodos: el Método del Presupuesto, el Método de las Transacciones y el Método del Valor Incremental de la Tierra, para diferentes escenarios de mejoramiento del sistema de riego (capacidades del embalse, red de canales e hidrogeneración), y definir cuál es el tamaño del proyecto y momento de inversión óptimos.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

2. RECOPILACIÓN DE ANTECEDENTES.

2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIOS ANTERIORES

A continuación se describen los estudios generales realizados con anterioridad que son atingentes al actual proyecto.

2.1.1. EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS DE LA CUENCA DEL RÍO CAUQUENES: INFORME TÉCNICO / MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS, DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS – 2011

El presente estudio tiene como objeto realizar una evaluación de los recursos hídricos subterráneos de la cuenca del Río Cauquenes, ubicada en las provincias de Cauquenes y Ñuble, en las Regiones de Maule y Biobío respectivamente, con el fin de establecer la disponibilidad en volumen total anual factible de otorgar como derechos.

El río Cauquenes es un afluente del río Perquilauquén, y cruza parte de la provincia de Cauquenes, nace en la Cordillera de la Costa, cerca de la ciudad de Cauquenes y fluye en dirección oriente. Después de pasar al sur de esta ciudad, recibe las aguas del río Tutuvén. La cuenca del Río Cauquenes se dispone geográficamente en la zona suroccidente de la región del Maule.

En el estudio S.I.T. Nº 59, de junio de 1999 Exploración de los Recursos Hídricos Subterráneos, VII Región, de la DGA, se identificó globalmente el área de estudio de acuerdo con un criterio hidrológico que nos permiten describir geomorfológicamente y geológicamente la cuenca, además se efectuó un estudio geofísico para cuantificar el espesor del relleno.

Se realiza una reseña geomorfológica, geológica, geofísica e hidrogeológica de la zona de estudio.

2.1.2. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD EMBALSE SAN JUAN DE QUIRIHUE, DOH – 2008

2.1.2.1. INTRODUCCION

El Ministerio de Obras Públicas, por intermedio de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), adjudicó a la Empresa SIGA Ingeniería y Consultoría S.A. la realización del estudio denominado “Estudio de Factibilidad Construcción Sistema de Riego Embalse San Juan, VII Región” por resolución DOH N° 074 de fecha 23 de Noviembre de 2006. La fecha de inicio contractual fue el 13 de diciembre de 2006.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

El estudio se orienta en la filosofía de la DOH que es apoyar a los sectores más necesitados, en la construcción de obras para regulación y conducción de aguas, optimizando el uso del recurso cada vez más escaso y potenciando su desarrollo agrícola, con el objeto de mejorar la calidad de vida de los beneficiarios.

Es importante destacar que en la región, definida como Secano Intermedio de la Comuna de San Javier y Cauquenes, así como en la mayoría de las cuencas de secano intermedio y costero, se producen problemas de sequía, que se manifiestan acompañados de la falta de recursos y tecnología en los sectores agrícolas.

En 1995 se realizó el estudio de prefactibilidad del embalse San Juan y que contempló, entre otros, los aspectos agronómicos, económicos y los prediseños de las obras, concluyendo que el proyecto era factible desde el punto de vista técnico pero los indicadores económicos privados y sociales estaban bajo los límites establecidos por MIDEPLAN.

Pasada una década del estudio de prefactibilidad y a solicitud de la Región, DOH licitó el estudio a nivel de factibilidad del embalse San Juan, abordando con mayor extensión los estudios básicos de topografía, geología, geotecnia, hidrología para contar con mayores antecedentes y de esta forma evaluar con más precisión el proyecto

Los diseños a nivel de ingeniería básica, han estimado a la luz de las apreciaciones técnicas de los estudios realizados, que la mejor alternativa para construir una presa en el sitio considerado la presenta un muro de hormigón gravitacional de 30 m de altura, que contiene el vertedero en su propio cuerpo. El estudio de disponibilidad de recursos para atender la demanda con 85 % de seguridad permite regar 2400 ha con un volumen útil de embalse de 25 millones de m3.

El estudio presenta los proyectos de las obras que integran el sistema de regadío del Embalse San Juan y los resultados de la evaluación económica, indican que los VAN para precios privados y sociales son negativos y los TIR del proyecto son muy bajos con respecto a la tasa de recuperación del capital, lo que significa que no es conveniente ejecutar el proyecto.

Para disponer de una visión global de los resultados de los estudios realizados, se presenta en el Cuadro 2.1.2.1-1 la hoja de datos relevantes del proyecto.

CUADRO 2.1.2.1-1
DATOS RELEVANTES DEL PROYECTO

NOMBRE DEL PROYECTO	ESTUDIO DE FACTIBILIDAD CONSTRUCCION SISTEMA DE RIEGO EMBALSE SAN JUAN DE QUIRIHUE VII REGION
UBICACIÓN DE LAS OBRAS	AREA INUNDADA Y PRESA : VIII REGION AREA RIEGO : VII REGION
HORIZONTE DEL PROYECTO	30 AÑOS

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 2.1.2.1-1
DATOS RELEVANTES DEL PROYECTO

NOMBRE DEL PROYECTO	ESTUDIO DE FACTIBILIDAD CONSTRUCCION SISTEMA DE RIEGO EMBALSE SAN JUAN DE QUIRIHUE VII REGION
TIPO PRESA Y CORONAMIENTO	HORMIGON GRAVITACIONAL 222 msnm
VOLUMEN HORMIGON PRESA	85.400 m3
ALTURA PRESA	29,5 m
VOLUMEN TOTAL EMBALSE	29.000.000 m^3
VOLUMEN MUERTO	2.300.000 m^3
CAUDAL CRECIDA 1:1000	709 m^3/s
LONGITUD Y COTA VERTEDERO	60 m 218,5msnm
AREA INUNDACION a COTA 218,5	550 ha
CANAL MATRIZ	72 km
CAUDAL PRIMER TRAMO	2,32 m^3/s con sección trapezoidal ancho 2 m H=1 m taludes 1:1
SIFONES	7
TUNELES	3
CANALES DERIVADOS	10
EXPROPIACIONES	896 ha
TOTAL AREA RIEGO	2400 ha
TASA RIEGO PROMEDIO	0,24 l/s/ha
ESTRATIFICACION PREDIAL	2 Sectores (Alto y Bajo) con 5 Estratos (Rango Tamaño: hasta 5-15-50-200 y 200,1 ha) y 3 Subestratos (Subsistencia - Tecnológico Bajo – Medio)
TOTAL AREA PROYECTO	105 Predios con 6499 ha con 5014 ha agrícolas de las cuales 2400 ha con riego del proyecto, 1884 cultivos actuales y 729 secano
OBRAS AFECTADAS	Captación agua potable Quirihue Construcción 16 km de nuevos caminos
PARTICIPACION CIUDADANA	3 Reuniones con autoridades y comunidades zonas beneficiadas y afectadas
COSTO DEL PROYECTO (SIN IVA)	$ 29.011.555.193 moneda Diciembre 2006
EVALUACIÓN ECONOMICA	
PRIVADA	VPN = $ - 29.166.710.667 TASA =2,65%
SOCIAL	VPN = $ - 18.321.142.696 TASA= 2,85 %

Fuente: Estudio de Factibilidad Construcción Sistema De Riego Embalse San Juan de Quirihue VII Región.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

2.1.2.2. OBJETIVOS Y ALCANCES DEL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

El objetivo de este estudio se centra en el análisis de las alternativas de mejoramiento del riego, mediante la construcción de un embalse de regulación y su red de canales, para lo que se analiza a nivel de factibilidad todos los aspectos técnicos, económicos y ambientales que permitan incrementar la superficie y seguridad de riego del área del estudio, consolidando el sitio de emplazamiento de un embalse de regulación seleccionado en la etapa de prefactibilidad, su capacidad, la tipología de la presa y sus obras anexas.

Las alternativas propuestas y todo el conjunto de parámetros asociados a ellas, fueron evaluados para seleccionar aquella que fuese óptima para los objetivos de este proyecto.

El alcance de los estudios, cubre de esta manera el análisis de la factibilidad técnica, económica, y ambiental de un embalse de regulación, localizado a unos 12 kilómetros de la ciudad de Quirihue, sobre el río San Juan, para el riego de unas 2.400 ha, ubicadas al poniente de la ciudad de Cauquenes, VII Región.

Para el cumplimiento de los objetivos, se analiza la disponibilidad de los recursos hídricos de la cuenca, identificando la situación de los derechos de agua para efectuar el estudio de la demanda hídrica del proyecto.

Para determinar los beneficios que se obtienen por la incorporación del riego, hay que analizar la situación agropecuaria actual y proyectarla en función de la mayor seguridad de riego que el embalse genera, planteando un mejoramiento en las tecnologías de riego y cultivos actuales, así como elaborar un Programa de Asistencia Técnica y de Transferencia Tecnológica para la zona del Proyecto.

Teniendo en consideración la construcción de nuevas obras, se analizan las posibles expropiaciones que tienen que ser ejecutadas para la implementación del sistema.

Además se desarrolla el Estudio de Análisis Ambiental del Proyecto (EAA), aportando los antecedentes técnicos necesarios para su correcta ejecución con el objetivo general de evaluar ambientalmente los posibles impactos al entorno del sistema, definiendo además, los respectivos planes de manejo ambiental y costos.

Finalmente se formula un Programa de Participación Ciudadana, con el objetivo de integrar a los actores sociales relevantes en el desarrollo del Estudio, con 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.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

2.1.3. RECONOCIMIENTO Y ESTUDIO PRELIMINAR DE LAS POSIBILIDADES DE EMBALSE PRESELECCIONADAS EN LA CUENCA DEL RÍO MAULE 1978

2.1.3.1. Ubicación

El sitio de la presa correspondiente a esta posibilidad de embalse se sitúa en el río Huedque a unos 5 km aguas abajo se la confluencia del río San Juan con el estero La Raya. El lugar se localiza en un angostamiento del valle en que el lecho se ubica a la cota 175 m aproximadamente y que tiene por coordenadas geográficas 36”06” de latitud sur y 72”30” de longitud oeste.

2.1.3.2. Accesos

Para llegar al sitio de la presa en el rio Huedque hay que tomar el camino que parte de Cauquenes en dirección a Quirihue y seguir por este hasta el cruce con el acceso sur al pueblo Coronel de Maule. A partir de este cruce hay que continuar hacia el sur por 12,5 km más. Hasta otro cruce con un camino que se dirige hacia el oeste para llegar a Cobquecura. Tomando por este último se llega al puente sobre el río Huedque después de recorrer 6 km. A partir del cruce antes citado. El sitio de presa se ubica 1,5 km hacia aguas arriba, distancia que hay que recorrer a pie por no existir una senda apta para vehículos.

Desde Cauquenes hay que recorrer unos 23 km para llegar al cruce con el camino a Cobquecura, por lo que entre esta ciudad y el puente sobre el río Huedque hay que salvar una distancia total de 29 km por caminos de tierra relativamente buenos.

2.1.3.3. Hidrología

La cuenca del río Huedque ubicada aguas arriba del sitio de la presa abarca una superficie de 370 km^2, sobre los que caen precipitaciones anuales que, en promedio y según la altura del lugar que se trate, varias entre 650 mm y 300 mm. Se estima que la producción especifica de la cuenca debe ser de unos 10 l/s km^2, por lo que el caudal promedio en el sitio de la presa tendría que ser de unos 3,7 m3 /s. En un año 35% seco el medio anual se reduciría a 2,3 m3 /s, con lo que la cuenca aportaría un volumen anual de 72 millones de m3, de los que 64 millones de m3 escurrirían durante el período comprendido entre Abril y septiembre en que se llenaría el embalse.

2.1.3.4. Topografía

En la zona del sitio de la presa el río pasa entre dos cerros separados en su base por la planicie de unos 200 m de ancho en que se sitúa el lecho del río. El cerro de la derecha tiene laderas de pendientes más bien fuertes y que debe ser de 1,3:1 aproximadamente, mientras que el de la izquierda muestra taludes suaves, cuya pendiente debe ser de 4:1 en la parte baja y de 2,5:1 en la parte alta.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Aguas arriba de este lugar el valle se ensancha y continúa con una pequeña pendiente longitudinal. Estas características le dan una capacidad apropiada para embalsar las aguas del río con una reducida subida de su nivel.

2.1.3.5. Geología

En la elegida para implantar la presa el río Huedque escurre sobre una planicie rodeada de carros de baja altura y de suaves pendientes. Esta planicie está formada por sedimentos aluviales recientes, compuestos de suelos de arena limosa con gravas y algunos bloques de roca derivados del escombro de falda. Se estima que estos sedimentos se encuentran saturados y son de baja consistencia. Su espesor fluctuaría entre 10 y 15 m.

Tanto aguas arriba como aguas abajo del sitio de presa se ven desde el aire numerosos afloramientos rocosos. También se les observa en el lecho del río.

Las colinas que limitan ambos lados del valle del Huedque están totalmente cubiertas por un suelo arcilloso, de color rojizo, que impide analizar el tipo de basamento rocoso existente en el área. En este suelo, de unos 3 a 5 m de espesor, se observan diferentes tipos litológicos de rocas, como dioritas, andesitas porfirices y rocas metamórficas que podrían representar el basamento del lugar o bien corresponden a escombros de faldas de las rocas que conforman las cumbres de los cerros. En todo caso, estima que a unas profundidades inferiores a unos 5 m debe existir roca apropiada para servir de fundación a una presa. Por consiguiente, se puede decir que desde el punto de vista geológico del lugar es apto para el emplazamiento de una presa.

2.1.3.6. Geotecnia

Los antecedentes obtenidos en el terreno señalan que la zona de fundación de la presa está constituida por roca sobre la cual existe un espesor de suelos de unos 5 m. En la zona del lecho el espesor de los sedimentos se supone que es mayor, pero probablemente no supere los 10 m.

2.1.3.7. Materiales para la Construcción de la Presa

Los materiales para la construcción de una presa de rellenos son escasos en el lugar. Los permeables existen en cantidades limitadas en el lecho del río, mientras que los impermeables podrían traerse de unos 5 km de distancia, donde existen depósitos de maicillo.

Previo a la construcción de la presa sería necesario despejar en los empotramientos los suelos que cubren la roca, de modo de dejar el núcleo de la presa en contacto con esta. En la zona del lecho del estero se excavaría una zanja para permitir que los materiales impermeables de la presa llegasen hasta la roca. El ancho de la zanja no debería ser inferior a unos 30 m, además tendría que realizarse una cortina de inyecciones de carácter exploratorio que penetrase al menos unos 20 m en la roca.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

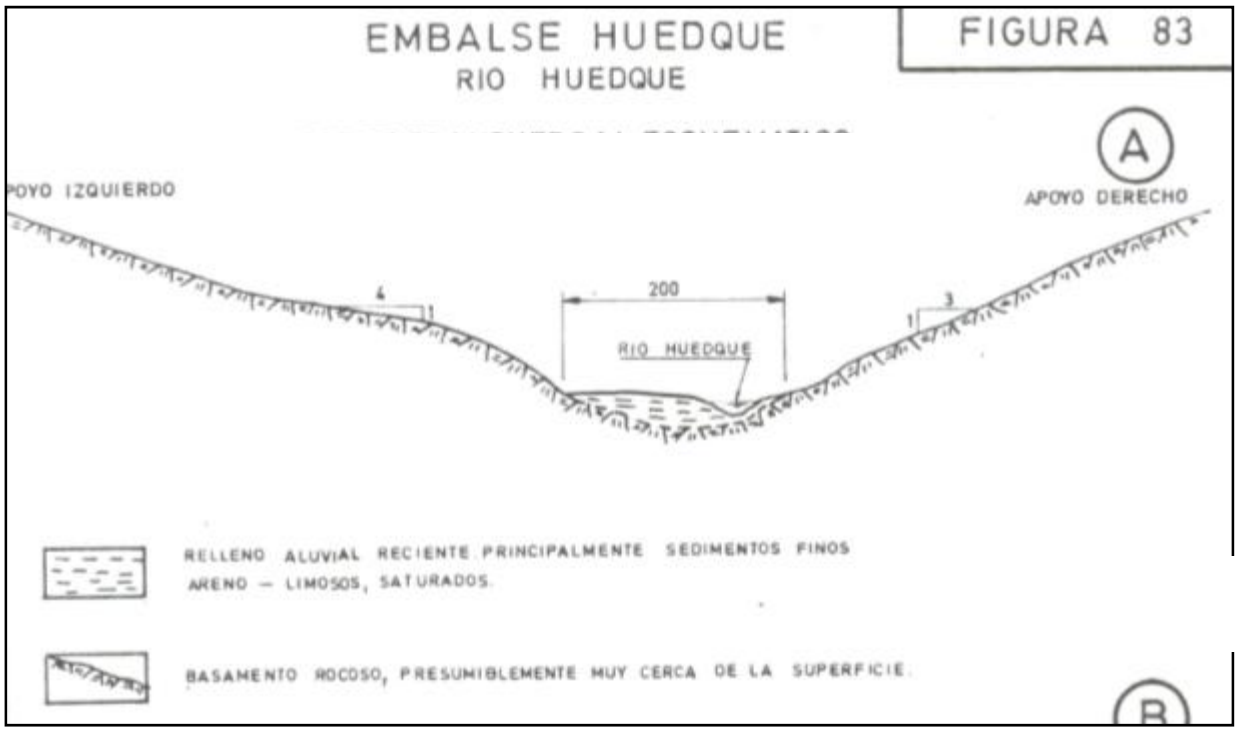
2.1.3.8. Características de la Obra de Embalse

a) Presa.

Tomando en cuenta la escasez de materiales permeables y la distancia a la cual se encontrarían los impermeables del sitio de emplazamiento del muro, se ha decidido adoptar para este lugar un diseño de presa con un núcleo ancho centrado y espaldones de fluviales de poco espesor.

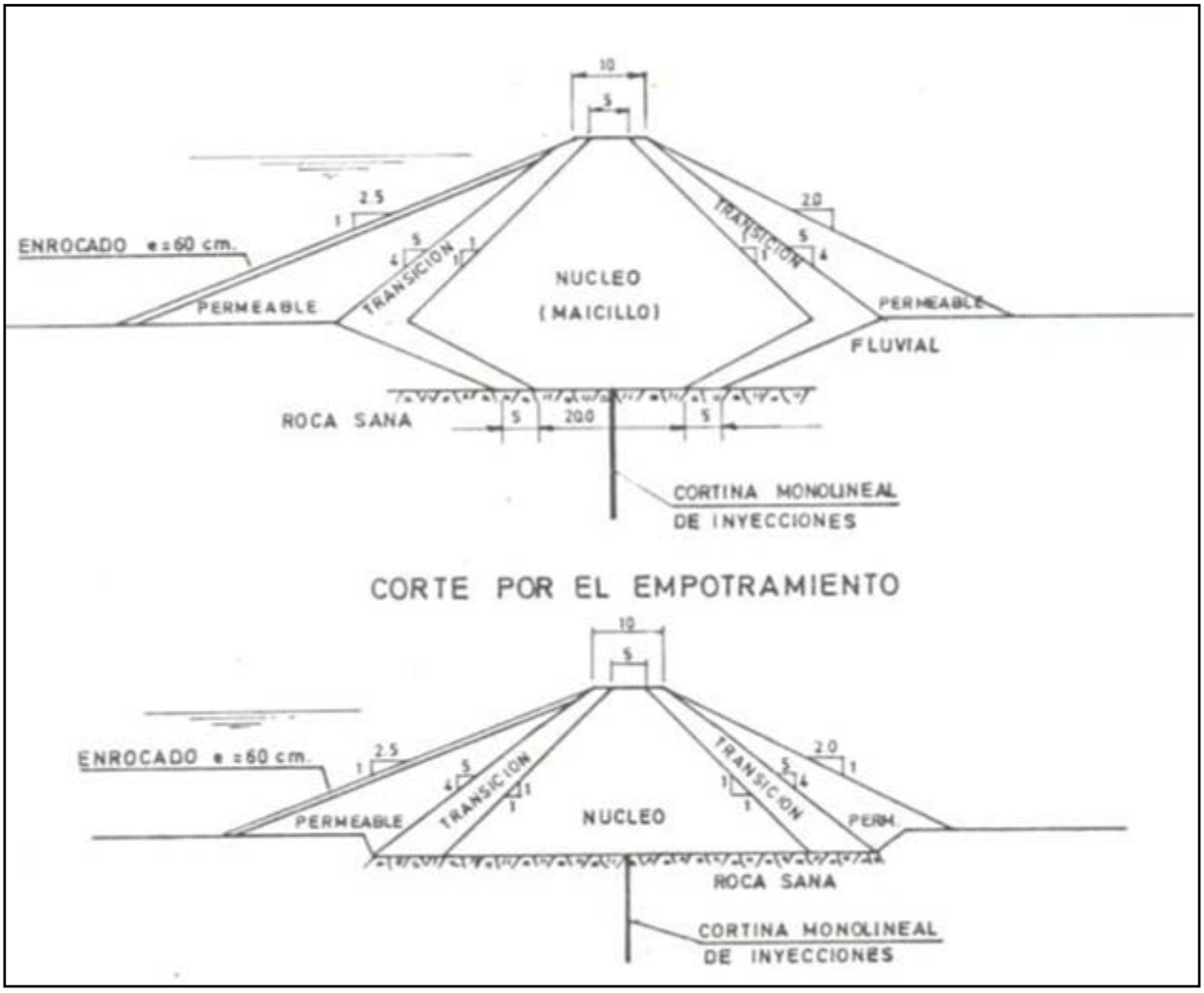
La presa tendría una altura de unos 20 m, con el cual el embalse adquiriría la capacidad suficiente para acumular los recursos hidrológicos del período de llenado de un año seco. En el coronamiento alcanzaría un ancho de 10 m y una longitud de unos 500 m. Sus taludes tendrían pendientes de 2,5:1 en el lado de aguas arriba y de 2,0:1 en el de aguas abajo. Las pendientes del núcleo y de las transiciones serían respectivamente de 1:1 y de 5:4. La Figura 2.1.3.8-1 y Figura 2.1.3.8-2 representa lo anterior.

FIGURA 2.1.3.8-1
CORTE TRANSVERSAL ESQUEMÁTICO POR EL SITIO DE LA PRESA



Fuente: Estudio de los posibles lugares aptos para servir de Embalse en la Cuenca del río Maule. CEDEC. 1978

FIGURA 2.1.3.8-2
PERFIL POR EL EJE LONGITUDINAL DE LA PRESA



Fuente: Estudio de los posibles lugares aptos para servir de Embalse en la Cuenca del río Maule. CEDEC. 1978

La forma descrita de la presa se ha estimado basándose en las medidas hechas en la carta a escala 1:50 000 para distintas cotas de su coronamiento. Para la altura de 20 m el volumen de la presa sería de unos 120.000 m^3.

El vertedero de evacuación de crecidas convendría probablemente ubicarle en el lado izquierdo, donde las excavaciones que tendrían que hacerse serían menores que en el lado derecho. Su capacidad se estima tendría que ser del orden de los 1 500 m3/s.

Para la desviación de las aguas durante la construcción sería necesario hacer un túnel que parecería conveniente ubicarlo en el lado derecho del valle que, por presentar una pendiente más fuerte, permitiría disminuir al mínimo posible su longitud. La capacidad de este túnel sería de unos 1 000 m3/s.

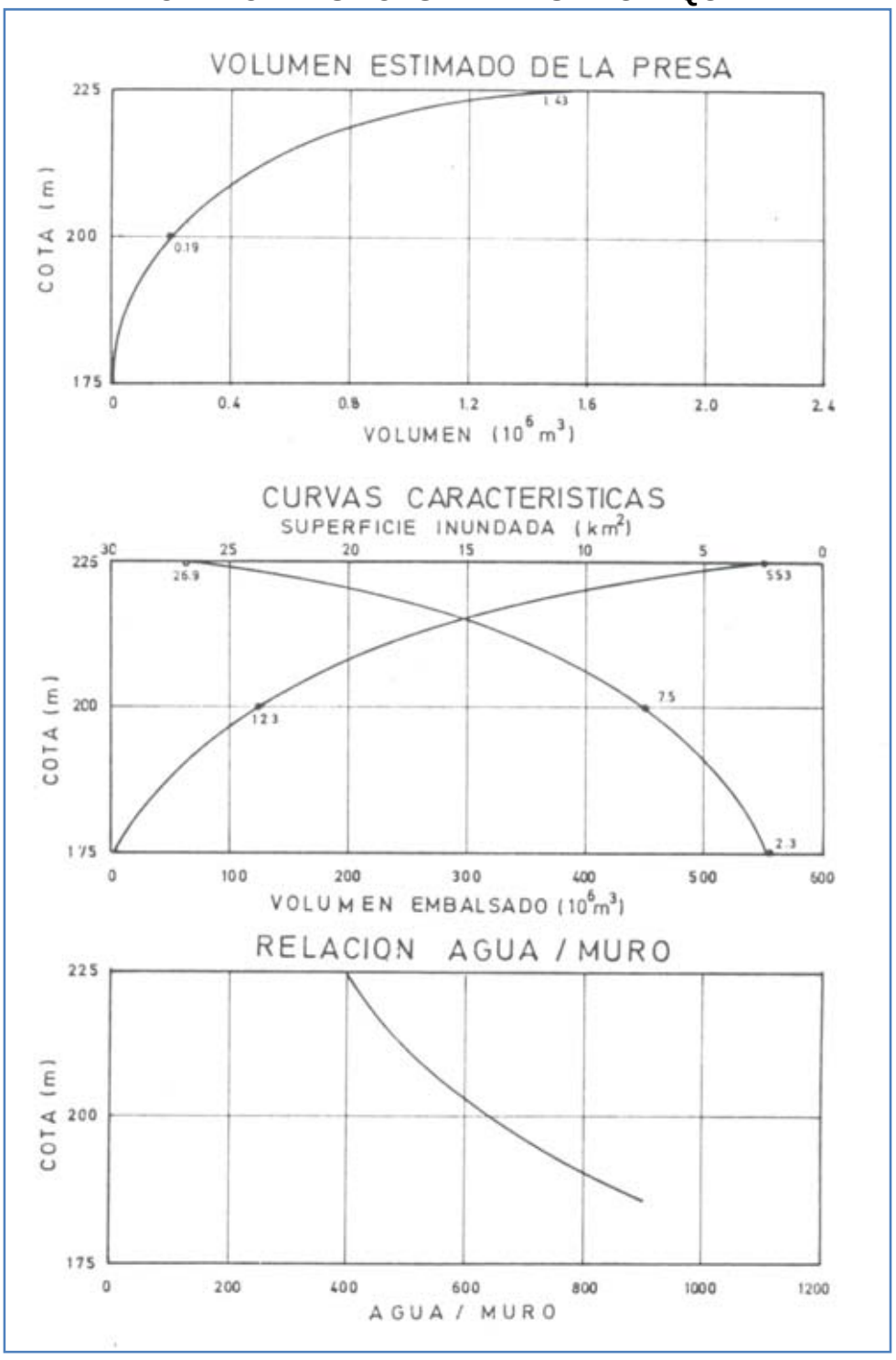
Considerando la amplitud del valle del río Huedque, cabria también pensar en la posibilidad de construir la presa por partes, para así evitarse los costos asociados a la ejecución del túnel de desviación.

b) Embalse.

La zona de inundación presenta características apropiadas para la acumulación de las aguas gracias a su pequeña pendiente longitudinal. Las curvas características de este embalse, deducidas de las medidas hechas en la carta “Coronel de Maule” a escala 1:50 000, se han presentado en el grafico de la figura siguiente. Estas últimas confirman lo anterior dicho en cuanto a la buena relación de volumen embalsado por metro de incremento del nivel de las aguas. También se puede ver que para embalsar los 64 millones de m^3 que aportaría el río durante el período de llenado de un año 85% el nivel de las aguas tendría que llegar a la cota 192 m aproximadamente, lo cual exigiría construir una presa del orden de 20 m. La Figura 2.1.3.8-3 representa lo anterior.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 2.1.3.8-3
CARACTERÍSTICAS EMBALSE HUEDQUE



Fuente: Estudio de los posibles lugares aptos para servir de Embalse en la Cuenca del río Maule. CEDEC. 1978

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Los terrenos que inundaría el embalse parecen no tener mayor valor agrícola, ya que presentan un aspecto pantanoso por efecto del alto nivel de la napa subterránea. En el presente se les utiliza principalmente como potreros.

c) Obras de Entrega

Estas se diseñarían de modo de aprovechar las obras de desviación. En caso de existir túnel de desviación las válvulas de entrega podrían acomodarse en un interior.

2.1.3.9. Superficie por Regar

Las aguas embalsadas deberían permitir el riesgo de una extensión de unas 4.900 ha. Estos terrenos posiblemente se situarían en el curso bajo del río Cauquenes.

2.1.3.10. Conclusiones

El sitio de la presa de Huedque presenta características de interés para la construcción de un embalse que regule las aguas del río Huedque. El lugar aparentemente no presentaría dificultades para la implementación de un muro de las dimensiones apropiadas para acumular las aguas de invierno. Además según los valores de la relación agua/muro mostrada en el gráfico, las obras de embalse serían económicas, especialmente para alturas de muro baja. Para una presa de unos 20 m de altura la relación que se obtendría sería superior a 700.

Los valores indican que la posibilidad de embalse en referencia sería digna de mayores estudios, aunque previamente habría que aclarar cuáles son los lugares que se pretende regar con este embalse. Ya que los terrenos más convenientes de regar están ubicados a una cota superior a la de las aguas embalsadas y por lo tanto exigirán una elevación mecánica, lo cual frente al embalse San Juan lo hace menos favorable.

En una etapa más avanzada del proyecto podría considerarse en forma más detallada el estudio de esta solución.

2.1.4. ESTUDIO DE LOS POSIBLES LUGARES APTOS PARA SERVIR DE EMBALSE EN LA CUENCA DEL RÍO MAULE. CEDEC 1978

Con el fin de suministrar la información referente a los embalses que eventualmente podrían construirse en la cuenta del río Maule, se ha procedido a analizar sistemáticamente la topografía de toda esta región, en busca de cualquier lugar apto para la acumulación de agua. Una vez determinados los lugares con las características adecuadas, se han medido las capacidades de sus vasos y se ha estimado el volumen tanto de las presas que embalsarían las aguas como del afluente medio anual a dichos lugares. Dentro de esta información se ha encontrado lo siguiente referente al embalse de Huedque.

Río: estero Huedque, afluente del río Cauquenes

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Etapa de Estudio: prefactibilidad

Ubicación: la angostura elegida para la implantación de la presa se sitúa a la latitud de 36°6 S y a la longitud de 72°30 W.

Características Principales.

a) Curvas S= f(H) y V= f(H): debido a la reducida altura de la presa, no fue posible deducir estas curvas del plano a escala 1:50.000. El Área inundada sería del orden de 7,6 km^2.

b) Dimensiones de la presa: Altura: 25 m, ancho en la base: 350 m, longitud coronamiento: 550 m

c) Posibles materiales de fundación de la presa: roca y sedimentos fluviales.

d) Volumen estimado de la presa: 0,85 hm^3

e) Volumen embalsado: 126,3 hm^3

f) Relación agua/muro: 149

DATOS HIDROLOGICOS.

Cuenca total afluente:	371 km^2
Cuenca propia:	148 km^2
Rendimiento especifico estimado:	12 l/s km^2
Rendimiento especifico de la cuenca propia:	12 l/s km^2
Caudal afluente total estimado:	4,5 m^3/s
Caudal afluente de la cuenca propia:	1,8 m^3/s
Volumen medio anual afluente:	142 hm^3
Volumen aportado por la cuenca propia:	57 hm^3

Tiempo Medio de Llenado.

Con el aporte de la cuenca total:	0,9 años
Con el aporte de la cuenca propia:	2,2 años

Zona Regable:

Terrenos cultivables situados en el valle del rio Cauquenes.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Conclusiones.

La posibilidad de Huedque es alternativa de la de San Juan. Si no se construye San Juan, Huedque podría contar con el caudal afluente total de la cuenca, y su tamaño resultará apropiado para regularlo. La posibilidad de Huedque presenta interés por tener una buena relación agua/muro y existir terrenos cultivables hacia aguas abajo que se beneficiarían con su construcción.

2.1.5. ESTUDIO INTEGRAL DE RIEGO DE LA CUENCA DEL RIO MAULE. PREFACTIBILIDAD. CEDEC 1977

2.1.5.1. Objetivos y Alcances del Estudio

El objetivo del Estudio es plantear una alternativa de desarrollo integral de riego y de desarrollo agropecuario de la cuenca del río Maule a nivel de Prefactibilidad.

Esto implica en primer término evaluar la disponibilidad y calidad de los recursos básicos naturales, clima, suelo y agua; y diagnosticar el uso que se hace de ellos.

El estudio se limita a considerar sólo los efectos inmediatos del desarrollo agropecuario que se plantee, no es necesario identificar ni evaluar con detalle la infraestructura de apoyo actualmente existente: comercio, transporte, agroindustrias, finanzas, comunicaciones, equipamiento, etc. Esta identificación y evaluación debe aplicarse solamente a la infraestructura directamente relacionada con la actividad agropecuaria e incluye en forma especial las obras matrices y de distribución para el riego.

El carácter de prefactibilidad del estudio implica considerar la cuenca como una sola unidad de producción, para la cual puede plantearse diferentes alternativas de desarrollo integral, asociadas a diferentes esquemas de obras para el mejor aprovechamiento de los recursos hídricos.

Sólo se consideró la parte de la superficie que incluye todos los suelos agrícolas susceptibles de ser mejorados mediante el riego y que se encuentran bajo la posible influencia de riego del río Maule o de cualquiera de sus afluentes.

Debido a la complejidad de la cuenca y su gran extensión se ha subdividido. Siendo la evaluación del desarrollo agropecuario mediante el buen aprovechamiento de los recursos hídricos, la subdivisión utilizada de la cuenca se basa en criterios relativos a las fuentes y usos de dicho recurso.

2.1.5.2. Ubicación, Extensión y Límites

La cuenca del Maule está ubicada en el rectángulo comprendido entre los paralelos 35º y 36º30’ de latitud sur y los meridianos 70º30’ y 72º30’ de longitud norte.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Su extensión es de 21.000 km^2, de los cuales 5.500 km^2 corresponden a terrenos identificados como agrícolamente explotables y que en consecuencia son la materia del presente estudio.

2.1.5.3. Reseña Geológico-Morfológica de la Cuenca

Desde un punto de vista geomorfológico, se distinguen en esta área de este a oeste, cinco unidades características de toda la zona central: Cordillera principal, pre cordillera, depresión intermedia o valle central, cordillera de la costa y planicies litorales. De estos cinco rasgos sólo la depresión intermedia presenta interés desde el punto de vista hidrogeológico, por estar compuesta de sedimentos modernos, los cuales presentan intercalaciones ceníferas, mientras las otras unidades están conformadas en roca fundamental impermeable por lo que tienen escasa importancia para el eventual estudio y explotación del agua subterránea.

2.1.5.4. Hidrografía

El sistema hidrográfico del río Maule es uno de los más importantes de Chile.

El río Maule, además de poseer recursos para el riego de una vasta superficie, es al mismo tiempo, un gran colector, y que drena las aguas que se reciben en todo lo ancho del país, cubriendo una zona de 140 km.

2.1.5.5. Límites de la Cuenca Hidrográfica

El límite Norte corresponde a la línea de divorcio de las aguas entre los ríos Claro y Lontué y a la línea de las altas cumbres que bordean el río Maule por el norte desde la confluencia del río Claro hasta el mar, que incluye los valles de Pencahue y otros menores.

Por el Sur, la cuenca queda limitada por la línea de divorcio de las aguas de los ríos Melado, Perquilauquén, Ñiquén y Cauquenes, con la cuenca del río Itata.

Hacia el Este el límite de la cuenca queda definido por las altas cumbres de la cordillera de los Andes y hacia el Poniente por la línea de las altas cumbres que separan el valle de Pencahue de la cuenca del río Mataquito y la línea de las altas cumbres de la cordillera de la Costa entre la desembocadura del río Maule y el cerro Cato.

2.1.5.6. Geología

La cuenca del río Maule está conformada en rocas desarrolladas desde el Paleozoico hasta el reciente, con evidencias de variados episodios sedimentarios, plutónicos y metamórficos. Estas rocas se presentan en bandas de rumbo aproximado NS, y de tal forma que las más antiguas se encuentran en el sector occidental y son paulatinamente más modernas hacia el este, con la sola excepción de los sedimentos cenozoicos, cuya

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

distribución es distinta. En una ordenación cronológica de los distintos tipos litológicos existentes en la cuenca del Maule se tiene la siguiente secuencia:

a) Paleozoico.

Comprende el basamento Cristalino, el que está conformado por el basamento metamórfico y el basamento granítico. Estas rocas paleozoicas están conformado gran parte de la cordillera de la costa, correspondiendo el flanco occidental de éstas rocas metamórficas, y la zona central y oriental, a rocas graníticas.

b) Mesozoico.

Está conformado por las rocas del geoliminar andino, gran entrada de mar que depositó miles de metros de sedimentos con intercalaciones volcánicas.

La secuencia andina se inicia en el Triásico y culmina a fines del Neocomiano. Con la retirada del mar Neocomiano se produjo un gran alzamiento de los Andes que provocó que los depósitos volcánicos cubrieran áreas cada vez más orientales.

c) Cenozoico.

Durante esta era se consolido la actual cordillera de los Andes. Se le reconoce también, por el relleno de la depresión intermedia, compuesto por sedimentos aluviales, glaciales, y de corrientes de barro y lahares. En la actualidad la zona presenta un volcanismo activo, que está periódicamente, agregando nuevo material en las altas cumbres cordilleranas, como consecuencia de lo cual los ríos están en permanente actividad en busca de su nivel de equilibrio.

2.1.5.7. Características Generales y Distribución de los Suelos en el Área

Dentro del área de estudio se pueden establecer una agrupación que concuerda con las características geomorfológicas más notorias del paisaje.

a) Valles y piedmonts precordilleranos.

Los suelos se caracterizan por su posición de plano inclinado con texturas dominantemente arcillosas; la excepción la constituye el suelo Bramadero que es derivado de cenizas volcánicas. Es evidente la presencia del subtratum de carácter fluvioglacial como es en el caso del suelo Matacabritos y Panimávida. Su uso agrícola es preferentemente ganadero y en riego, remolacha y chacarería para el suelo Bramadero.

b) Llano central entre los ríos Claro y Maule.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Esta zona está constituida por terrazas altas, generalmente con subtratum de tobas de profundidad media a delgada, en una topografía anastomosada. Los suelos más representativos son: San Rafael, Mariposas y Cumpeo. Su uso agrícola es fundamentalmente para pastos, cereales (arroz) y ocasionalmente chacras.

c) Suelos aluviales recientes entre ríos Maule y Perquilauquén.

Son de topografía plana en microrelieve, pedregosidad variable en superficie y perfil, y de profundidad que varía de delgada a media. Su uso está en función a sus propiedades físicas, destinándose a chacras, cereales, pastos, frutales.

d) Trumaos al oriente de Longaví-Parral.

Son suelos de substratum aluvial, caracterizados por una topografía plana, de suelos moderadamente profundos, son derivados de cenizas volcánicas recientes y no presentan evolución en sus perfiles. En riego se adaptan a todo los cultivos de la zona.

e) Cuenca de sedimentación al sur y sur-poniente de Parral.

Este sector se extiende hasta los llanos al oriente de Cauquenes y se destaca por presentan en su límite oriente una topografía plana a suavemente ondulada; moderadamente profunda con substratum de toba ligeramente meteorizado, lo que permite un mejor drenaje y consecuentemente un uso agrícola más amplio, principalmente para arroz, trigo, pastos y ocasionalmente chacras.

f) Formaciones de la cordillera de Costa.

Se caracterizan por el contraste topográfico en relación a la formación anterior ya que ocupan una posición más alta propia de la vertiente oriental de la cordillera de la Costa. Hay terrazas remanentes como el suelo Maule; lomajes y cerros graníticos del suelo Cauquenes; lomajes y piedmonts porfiríticos del suelo Pocillo y sedimentos coluviales de valles intermontanos. En la agricultura predominan los cultivos de viñas, trigo, garbanzos, lentejas, chicharos y chacras.

2.2. ANTECEDENTES ESPECIFICOS

A continuación se describen algunos antecedentes específicos referidos a temas que servirán como base para el desarrollo del actula estudio.

2.2.1. Antecedentes de Derechos de Aprovechamiento

De acuerdo a Resolución: Constituye derecho de aprovechamiento consuntivo de aguas superficiales y corrientes a favor de Fisco, Dirección de Obras Hidráulicas, Provincia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

de Linares, Región del Maule, dispuesta por la DGA Región del Maule 066, Talca, 17 de Julio de 2009, se resuelve:

1. Constitúyase a favor de Fisco, Dirección de Obras Hidráulicas, los siguientes derechos de aprovechamiento consuntivo de aguas superficiales y corrientes en la provincia de Linares, Región del Maule, de acuerdo al detalle que se indica:

Según la resolución se indican los derechos de aprovechamiento y caudales ecológicos de los ríos Cauquenes, Huedque y Perquilauquén. Solo se presentarán los recursos del rio Huedque ya que son los que interesan en este estudio.

Estero Huedque 107,5 Millones de m³/año

CUADRO 2.2.1-1
RECURSOS DEL RIO HUEDQUE

Mes	Ejercicio permanente (m³/s)	Ejercicio eventual (m³/s)
ABR	0,05	0,90
MAY	0,02	26,30
JUN	1,10	29,80
JUL	4,50	27,40
AGO	3,30	15,80
SEP	1,50	12,80
OCT	0,50	6,50
NOV	0,09	4,90
DIC	0,10	1,00
ENE	0,00	0,30
FEB	0,00	0,20
MAR	0,03	0,20

Fuente: Resolución DGA

2. Las aguas se captaran gravitacionalmente, desde los siguientes puntos:

Estero Huedque: desde ambas riberas del cauce, a 600 m aprox. aguas debajo de la confluencia del estero La Raya con el estero Huedque, que corresponde a las coordenadas UTM (m) N: 5.995.391 y E: 185.399.

Las coordenadas UTM están referidas a las cartas I.G.M. Pichibelco, Coronel de Maule y Pocillas, respectivamente, escala 1/50.000, Datum Provisorio Sudamericano de 1956.

3. La titular del derecho de aprovechamiento deberá dejar pasar aguas abajo del punto de captación, del caudal necesario para preservar el equilibrio ecológico del lugar, el que no podrá ser inferior al indicado en la siguiente tabla de distribución mensual.

Estero Huedque:

CUADRO 2.2.1-2
CAUDAL ECOLÓGICO RIO HUEDQUE (L/S)

Q	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
l/s	82	89	502	646	646	646	646	376	177	91	22	68

4. La titular del derecho de aprovechamiento deberá solicitar a la Dirección General de Aguas la autorización de construcción de bocatomas de acuerdo con lo dispuesto en los artículos 151 al 157 del Código de Aguas.
5. La Titular del derecho de aprovechamiento deberá constituir las servidumbres que correspondan.
6. El ejercicio de los derechos de aprovechamiento de agua que se constituyen en el presente acto, deberá dar cumplimiento en los que corresponda, a las disposiciones de la Ley Nº 19.30, de Bases del Medio Ambiente.
7. La presente Resolución se reducirá a escritura pública que suscribirán el representante legal de la interesada y el Sr. Director Regional de Aguas de la Región del Maule, y copia de ella se inscribirá en el Registro de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces competente. La interesada deberá remitir a esta Dirección General copia autorizada de dicha inscripción, para los efectos de incorporarla al Catastro Público de Aguas.
8. La presente Resolución se registrará en la Dirección General de Aguas, en conformidad con lo dispuesto en el Artículo 122 del Código de Aguas.

2.2.2. Antecedentes Geológicos y Geotécnicos

2.2.2.1. Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos de la Cuenca del Río Cauquenes: Informe Técnico / Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Administración de Recursos Hídricos 2011

Geomorfología

El basamento metamórfico constituye esencialmente el modelado de la Cordillera de la Costa, el que debido a la fuerte alteración que presenta, adquiere el carácter de un suelo residual, esto es, terroso, suelto, poroso, muy plástico cuando está húmedo y resistente cuando está seco. Como consecuencia de ello, el suelo es muy sensible a la erosión hídrica y favorece el desarrollo de profundas quebradas que contienen cursos de agua, con grandes crecidas en invierno y caudales efímeros en verano.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

El relleno se produce en forma paulatina mediante mecanismos de lavado de laderas y superficialmente presenta escasa compacidad, siendo muy permeable. La potencia de los depósitos de las quebradas y esteros es escasa, siendo de menor magnitud en las zonas de rocas intrusivas, al interior de la cordillera de la Costa, que en la de roca metamórficas en el flanco y valles occidentales.

La zona de estudio está comprendida por las hoyas de ríos y esteros que nacen en el flanco oriental de la cordillera de la costa, y se desarrollan hasta confluir en distintos puntos en el río Perquilauquén. En esta zona existen controles estructurales de direcciones N-S a NNE-SSW y NNW-SSE, los cuales determinan las direcciones de los principales cauces superficiales.

Respecto a los cauces superficiales, la mayor cuenca del área es la del río Cauquenes, formada a su vez por la subcuenca del río San Juan, cuyas aguas nacen en la cordillera de la Costa, a la altura de la localidad de Cobquecura y siguen una dirección Oeste-Este

Geología

El estudio S.I.T. Nº 59, de junio de 1999 Exploración de los Recursos Hídricos Subterráneos, VII Región, de la DGA utilizó para la descripción geológica el estudio "Avance Geológico de las Hojas Rancagua-Curicó, Talca-Linares, Chanco, Concepción- Chillán", elaborado por el Instituto de Investigaciones Geológicas en octubre de 1977.

Desde un punto de vista hidrogeológico, las unidades geológicas que interesan corresponden a los sedimentos cuaternarios que cubren los valles y que empalman con cordones de cerros de la cordillera de la Costa, principalmente en el borde occidental del área de interés. Se describen las distintas unidades que conforman la geología de la zona.

a) Sedimentos Cuaternario Continentales (Q y Qe)

Esta unidad comprende sedimentos cuaternarios aluviales y diluviales, tanto de origen volcánico, glacial, como fluvial y lacustre, siendo la mayor parte material no consolidado. Bruggen (1913) le da categoría de Piso y la describe como una acumulación de sedimentos en su mayoría finos, arcillosos de origen volcánico, que presentan intercalaciones lenticulares de areniscas conglomerádicas con clastos de obsidiana y subordinadamente andesitas y granitos.

La mayor expresión de esta unidad se encuentra en el Valle Central, donde existe una gran acumulación de material meteorizado in situ, además de los aportes laháricos, fluviales y conos de eyección que traen el producto de la denudación de la cordillera de Los Andes, que frecuentemente aparece formando terrazas.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

A menudo se encuentra en los valles de la cordillera de Los Andes sedimentos fluvioglaciales, que hacia la cabecera de éstos, se continúan en morrénicos, los que están en relación más o menos directa con relictos glaciares del Pleistoceno, los cuales a su vez, comúnmente aparecen embalsando pequeñas lagunas (González y Vergara, 1962).

En la cordillera de la Costa, y específicamente hacia la vertiente occidental de ésta, Moreno y otros (1976) reconocen en la zona de estudio los siguientes tipos de sedimentos cuaternarios: a) gravas y ripios fluviales y b) depósitos lahéricos y flujos de cenizas.

Depósitos de conglomerados volcánicos, medianamente consolidados, con matriz cenicienta (Abud y Cucurella, 1977) forman extensas planicies al sur del río Maule, habiéndoseles reconocido también más al sur en la confluencia de los ríos Perquilauquén y Purapel, y en los alrededores de Cauquenes; según Abad y Cucurella (1977), estos conglomerados corresponden a depósitos lahéricos, lo que es arriesgado de asegurar dada la madurez de sus c1astos.

Hacia la zona costera, se puede apreciar en grandes extensiones, una faja de sedimentos eólicos. Estos depósitos semiconsolidados, están adosados principalmente al basamento metamórfico y en grandes extensiones presentan continuidad areal con los depósitos de playa modernos.

b) Basamento Granítico (Bg y Mg)

El basamento granítico está especialmente relacionado con el basamento metamórfico. Ambos forman un conjunto conocido como basamento cristalino.

El basamento granítico consiste fundamentalmente en tonalitas y granodioritas de grano medio a grueso, los que en general muestran haber estado sometidos a fuertes efectos cataclásticos. Al microscopio el cuarzo se observa muy fracturado y con fuerte extensión ondulosa; los feldespatos también están fracturados y con sus planos de macla desplazados; las biotitas a su vez muestran sus planos de clivaje doblados.

Las granodioritas que conforman el basamento granítico muestran a menudo grandes cristales de microlina, los que les son característicos, no siendo éstos observados en granitos de otras edades en la región estudiada.

En general las rocas graníticas que conforman esta unidad se distribuyen en el sector occidental del área, en la Cordillera de la Costa, en una franja a grandes rasgos paralela al basamento metamórfico y al oriente de éste. El contacto entre ambas unidades es aproximadamente norte-sur.

La edad del basamento granítico está suficientemente definida por una serie de dataciones radiométricas. Levi y otros (1963) determinaron una edad máxima de 340 + - 40

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

millones de años y una mínima de 292 +- 35 millones de años, ambas obtenidas por el método plomo-alfa.

Además de esto, el basamento granítico más al norte del área instruye rocas metasedimentarias (Formación el Cajón) de edad paleozoica superior, y si se considera que unidades triásicas que afloran en la parte central oriental del área se apoyan discordantemente sobre él, es factible asignarle al paleozoico superior.

c) Basamento Metamórfico (Bm)

El basamento metamórfico en la región estudiada, está compuesto en general por pizarras, filitas esquistos, metareniscas y rocas corneanas.

Este complejo metamórfico ha sido analizado, entre otros autores, por González- Bonorino (1970), quien divide la faja que aflora al norte del paralelo 36° 30' en tres series de metamorfismo progresivo: Serie de Curepto, Serie de Nirivilo y serie de Pichilemu.

La Serie de Curepto, que es la más extensa de ellas, se reconoce desde el paralelo 34°30' hacia el sur. Esta serie muestra un metamorfismo de tipo dínamo-térmico con un gradiente creciente hacia el oeste y condiciones de formación de presión alta. En ella se han individualizado tres zonas de asociaciones mineralógicas, todas comprendidas dentro de las facies de esquistos verdes. Estas zonas mineralógicas corresponden en grandes rasgos con tres zonas texturales que son sucesivamente de este a oeste, zona de pizarras de filitas y de esquistos.

Inmediatamente al este de la Serie de Curepto, aflora la Serie de Nirivilo. Esta presenta un metamorfismo de tipo térmico, producto de la intrusión del granito paleozoico emplazado hacia el este, y por lo tanto su gradiente metamórfica es creciente en esta dirección. Las condiciones generales de formación son de baja presión.

En la Serie de Nirivilo, González-Bonorino (1970) ha diferenciado dos fases petrográficas: la fase Purapel, mejor desarrollada en la parte norte de la aureola del batolito, al suroeste de Constitución, sector del río Purapel; y la fase Itata entre el río Itata y Cauquenes.

Las isógradas en las series de Curepto y Nirivilo y la faja misma de afloramientos, está orientadas al nornoroeste, es decir, aproximadamente paralelas al litoral y al batolito paleozoico que las instruye.

En 1972, Aguirre y otros dividen el basamento en dos series: La Serie Oeste y la Serie Este. Basándose en asociaciones de minerales, identifican dos series metamórficas.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

La serie Este de intermedia a baja presión y la Serie oeste de intermedia a alta presión, que ocurren paralelamente de norte a sur.

d) Rocas del Triásico Superior Marino Sedimentario y Volcánico, Sector Pocillas

La localidad de Pocillas está ubicada al sur del paralelo 36° S, entre las ciudades de Parral y Cauquenes. En ella aflora una secuencia estratigráfica definida como Formación Patagua (Muñoz Cristi, 1973), equivalente Estratos de Pocillas (Hervé y otros, 1976). Esta formación comprende fundamentalmente cuatro unidades:

Lutitas de Lucachorro, Pedernal de Quilhue, Lutitas Centinela, Conglomerados y areniscas superiores Esta secuencia según Hervé y otros (1976) descansaría en discordancia de erosión sobre rocas graníticas paleozoicas y estaría instruido hacia el norte por un cuerpo granodiorítico-diorítico y por otros plutones hipabisales dacíticos que se reconocen en el área.

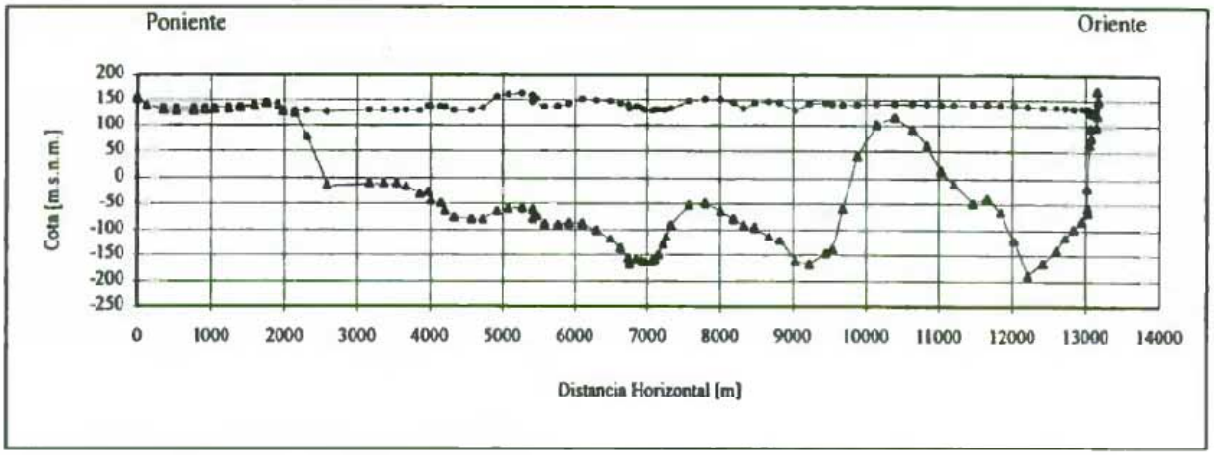
Estos mismos autores encontraron flora fósil en lutitas del cerro Quilvo, lo que permitió datar esta secuencia en una unidad rética, para la que anteriormente sólo se había sugerido una edad triásica (Muñoz Cristi, 1973).

Geofísica

En el estudio S.I.T. Nº 59, de junio de 1999 Exploración de los Recursos Hídricos Subterráneos, VII Región, de la DGA, se determinó que el basamento rocoso en la cuenca del río cauquenes, se presenta con profundidades máximas de entre 300m y 350m, mientras que la potencia del probable acuífero fluctuaría entre los 7m y 25m.

FIGURA 2.2.2-1

BASAMENTO ROCOSO



Fuente: Evaluación de los recursos hidrológicos de la cuenca del rio Cauquenes

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

2.2.2.2. Estudio de Factibilidad Embalse San Juan de Quirihue, DOH – 2008

GEOLOGÍA

Los estudios y análisis geológicos se llevaron a cabo con miras a definir, a nivel de factibilidad, las condiciones de fundación de las obras y a partir de esa información, apoyar al análisis de alternativas para las obras (solución para el muro de embalse, vertedero, etc.).

a) Geomorfología

ASPECTOS HIDROGRÁFICOS

El río San Juan presenta un sentido de flujo hacia el noreste y describe un curso constituido por amplios meandros hasta llegar al punto en que recibe las aguas del estero La Raya y El Cajón, lugar en el cual se orienta en un curso más rectilíneo en sentido norte, para que finalmente en la localidad de Coronel del Maule descargue sus aguas en el río Cauquenes, que forma parte de la cuenca hidrográfica del río Perquilauquén.

RELIEVE

El área del proyecto se encuentra ubicada en el borde oriental de la Cordillera de la Costa, que en este sector se caracteriza por el dominio de un relieve bajo, conformado por lomas cuya alturas promedio bordean los 250 m. Se aprecia además el desarrollo de amplios valles fluviales con laderas de débil pendiente y extensas planicies de inundación, tal como la que se ha generado en la confluencia del estero pajonales y Quiñicavén, al norte de la localidad de Aguamanil. La amplitud del relieve en esta zona es moderada y bordea los 300 m.

FORMAS Y DEPÓSITOS

El río San Juan y sus afluentes, el estero Pajonales y Quiñicavén, al estar restringidos a un régimen netamente pluvial, presentan una actividad erosiva importante en periodos de invierno donde las crecidas han dejado al descubierto las rocas del basamento tanto en las laderas como en los cauces. Por su parte en periodos estivales los ríos y esteros ven considerablemente disminuido su caudal lo que ha favorecido el depósito de sedimentos que en algunos sectores como en la localidad de Aguamanil han generado amplias terrazas fluviales.

El modelo geomorfológico regional responde a una serie procesos desencadenados en la larga evolución de la Cordillera de la Costa donde se han generado continuos alzamientos en bloque e intrusiones magmáticas que han favorecido el solevantamiento de este sector desde el Paleozoico Superior.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

b) Geología del Proyecto

Se caracterizan los materiales de suelo y roca que afloran en el área del proyecto. La información se obtuvo principalmente de los reconocimientos directos del terreno y de las prospecciones del subsuelo realizadas como parte del estudio de factibilidad.

PRESA Y OBRAS ANEXAS

- Geomorfología

El área de la presa está proyectada en un sector donde el río San Juan presenta escasa pendiente y donde el valle es más angosto y está flanqueado por laderas bien desarrolladas.

En el sector del eje de la presa, el río presenta un ancho aproximado de 30 a 35 m, y una planicie central, que se desarrolla en un nivel poco más alto que el nivel de escurrimiento del río.

Las laderas presentan una pendiente moderada a alta (ladera derecha 30° aprox. y ladera izquierda 40° aprox.), y tiene una altura que alcanza los 30 a 35 m aproximadamente. Estas se presentan estables y sin signos de la ocurrencia de fenómenos de origen gravitacional.

- Unidades Geológicas

Las unidades geológicas presentes en este sector son las siguientes:

- Depósitos Fluviales Actuales (Qf): Estos depósitos corresponden principalmente a arenas finas y limos sueltos ubicados en el cauce actual del río, cuyo espesor variaría entre 1 a 1,5 m.

- Depósitos Aluviales de Terrazas (Qt): Corresponde a los depósitos distribuidos a orillas del río San Juan, constituidos por arenas finas y limos pardos y rojizos, de consistencia moderada a baja y escasa plasticidad. En el área de la presa corresponde a una planicie de 4 a 6 m de ancho, distancia medida entre el cauce del río y la ladera.

Las prospecciones de refracción sísmica realizadas en este sector indicaron una velocidad de propagación de ondas que varía entre 1.100 y 1.800 m/s para esta unidad.

De acuerdo a los datos proporcionados por el sondaje S-2, ubicado en la ribera sur (derecha) del río, este depósito alcanza 1,00 m de potencia, bajo el cual se encuentra inmediatamente la roca basal.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Depósitos Coluviales (Qc): Unidad detrítica de tipo gravitacional formada por una mezcla heterogénea de limos y arcillas rojizas con clastos de rocas angulares de 10 a 20 cm. Este material, de consistencia baja, se encuentra cubriendo las laderas de este sector del río, dejando oculto en gran parte los afloramientos de roca que conforman el zócalo rocoso.

Los perfiles de refracción sísmica indicaron una velocidad de onda para esta unidad, que se sitúa entre 600 y 700 m/s.

A partir del resultado de los sondajes S-1 y S-3 ejecutados en ambas laderas, se observa que:

- En el sondaje S-1 de la ladera sur (derecha) del río, el depósito coluvial se encuentra sobreyaciendo al basamento rocoso y alcanza 6,50 m de potencia.

- En el sondaje S-3 de la ladera norte (izquierda) del río, esta unidad alcanza los 7,60 m de profundidad y sobreyace al basamento rocoso muy meteorizado.

UNIDADES DE ROCA.

- Intrusivos Dioríticos: Corresponden a rocas intrusivas constituidas principalmente por dioritas de hornablenda y biotita de color gris oscuro y granodioritas, escasamente alteradas, holocristalinas, densas, muy duras y competentes. Estas unidades litológicas conforman el basamento rocoso de la zona de la presa.

Los afloramientos de esta unidad se expresan con bastante claridad en la ladera sur del área de la presa. En ellos se aprecia un cuerpo rocoso de color gris verdoso muy oscuro, con un fracturamiento leve, con planos suaves y ondulados, sin rellenos ni alteraciones, cuya frecuencia varía entre 4 a 5 fracturas por metro y a partir del cual se calcula un RQD promedio de 70 a 80 %.

De acuerdo a las características propias de la roca, se estima una resistencia a la compresión uniaxial que varía entre 100 a 150 Mpa (dato estimado, a partir de la clasificación de Hoek, 1992).

Esta unidad presenta distintos grados de meteorización a distintas profundidades:

- La roca diorítica superficial se presenta muy fracturada, generando planos de fracturas abiertos y suaves, con abundantes óxidos. Los perfiles de refracción sísmica indican una velocidad de onda que oscila entre 1.670 a 2.800 m/s. y una disposición que sobreyace inmediatamente al basamento rocoso más sano.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- La roca diorítica más profunda se presenta más sana. La velocidad de onda registrada en estos materiales varía entre 3.500 a 5.000 m/s.

- Rocas Metamórficas Masivas**:** Corresponden principalmente a metareniscas, filitas y esquistos micáceos, parcialmente meteorizados. Constituyen rocas muy densas, duras y competentes.

En los afloramientos se observan juegos de diaclasas verticales y sub-horizontales que generan un fracturamiento en bloques.

CANAL MATRIZ

El ámbito geológico que compromete el trazado del canal, está dominado por rocas de origen intrusivo, principalmente granitos, granodioritas y tonalitas que presentan un alto grado de meteorización que se manifiesta en una potente capa de “maicillo” que cubre totalmente la roca basal.

La meteorización en este tipo de litologías da como resultado un suelo residual altamente arcilloso y plástico (debido a la alteración de minerales tales como feldespatos).

Se observa que los efectos de la meteorización penetran en la roca en forma irregular, generando espesores variables de roca meteorizada, que plantean una geometría difícil de definir con precisión.

Estas condiciones dificultan la alternativa de aducción en túnel.

c) Selección del Tipo de Presa

La presencia de la roca fundamental sana, que conforma un macizo rocoso in situ sólido y estable, establece condiciones de fundación en general adecuadas para un **muro de hormigón gravitacional**.

Será necesario eso sí, excavar un **diente de fundación** que asegure la presencia del lecho rocoso sano.

Aún así, dada las características geotécnicas de la roca encontradas en los sondajes, con la presencia de numerosas fracturas y juegos de diaclasas, será necesario realizar **cortinas de inyección** sistemáticas, con el fin de mejorar las condiciones naturales de permeabilidad de la roca in situ.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

GEOTECNIA

a) Objetivos del Estudio

Los objetivos del estudio son identificar y definir los materiales que intervendrán en la materialización del proyecto, tanto de la presa como del canal matriz

b) Descripción del Área

El río San Juan, en la zona de emplazamiento del muro, corre sobre un fondo compuesto por roca, la que en varios sectores se ve cubierta por estratos arenosos de espesor variable, pero, en general, de poca magnitud.

La ladera derecha presenta una pendiente de moderada a fuerte cuya altura alcanzan los 40 m y está compuesta por una cubierta vegetal de hasta 4 m en la que se encuentran estratos arcillosos que se superponen a estratos arenosos bajo los cuales aparece la roca, inicialmente muy fracturada para ir mejorando en profundidad hasta llegar a los 25 m a partir de donde la roca ya se encuentra sana y con muy poco fracturamiento.

La ladera izquierda por su parte, tiene un talud casi vertical, con una altura de unos 30 m. Está formada por una cubierta de suelo de hasta 10 m de espesor, en la que superficialmente (hasta los 6 m) se encuentran estratos arcillosos. Bajo estos y hasta los 10 m se encuentran suelos de tipo grava arenosa. Bajo la grava aparece la roca, inicialmente muy fracturada hasta llegar a los 15 m donde disminuye notoriamente el fracturamiento.

c) Prospecciones Efectuadas

Para el desarrollo del proyecto, se definió una campaña de prospecciones, con las siguientes características.

- Sondajes.

Se perforaron 3 sondajes geotécnicos de rotación en diámetro HQ. Los sondajes se ubicaron uno inmediatamente en la parte alta del talud derecho (sondaje 1), otro en la orilla derecha del río (sondaje 2) y el tercero en el borde de la meseta sobre el río en el estribo izquierdo (sondaje 3).

La profundidad de los sondajes fue de 38,5 m para el sondaje 1,30 m para el sondaje 2 y 36,8 m para el sondaje 3.

Durante la ejecución de los sondajes se efectuaron pruebas de permeabilidad (Lugeon mejorado), con un mínimo de dos por sondaje.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Pozos de Reconocimiento.

Para fines del estudio del canal matriz se excavaron 87 calicatas, 75 de ellas, correspondientes al trazado del canal con profundidades de hasta 2 m, una calicata en el estribo izquierdo del muro de 4 m y el resto en obras de arte y empréstitos de hasta 3,5 m de profundidad. En cada calicata se efectuó la descripción estratigráfica, y se tomó, al menos, una muestra para someterla a ensayes de granulometría, Límites de Atterberg, densidad de sólidos, humedad y clasificación USCS. A algunas muestras se les efectuaron ensayes de permeabilidad en laboratorio y ensayes de Compresión no Confinada.

- Ensayes geotécnicos.

A todas las muestras obtenidas se les efectuaron ensayes de granulometría, Límites de Atterberg, Densidad de Sólidos, humedad y clasificación USCS. A algunas muestras se les efectuaron ensayes de permeabilidad y Compresión no Confinada.

d) Caracterización del Material de Fundación del Muro

- **Material del Lecho**

Para caracterizar el material del lecho, se ha utilizado la información proporcionada por los perfiles.

El sondaje 2 (ubicado en la intersección de los perfiles 1 Norte y 4, muestra un primer estrato de arena limosa de 1 m de espesor, bajo el cual aparece la roca. Esta se encuentra fracturada hasta los 6 m de profundidad, para, a partir de allí cambiar a roca sana, con RQD mayores al 90%.

El Cuadro 2.2.2-1 muestra la estratigrafía propuesta para el material del lecho (considera el caso más desfavorable, correspondiente al costado izquierdo del lecho):

CUADRO 2.2.2-1
ESTRATIGRAFIA DEL LECHO

De [m]	A [m]	Descripción
0,0	3,0	Arena limosa, color marrón de grano grueso, compacidad media, humedad media a alta con finos de plasticidad baja, gravas aisladas de cantos redondeados y subangulares de tamaño máximo 2”.
3,0	9,0	Roca Ígnea, fracturada, color gris de dureza media a alta. Permeable
9,0	30,0	Roca Ígnea, bastante sana, color gris de dureza media a alta. Impermeable.

Fuente: Estudio de Factibilidad Embalse San Juan de Quirihue, DOH – 2008.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- **Material en Estribos**

Por ser los estribos del muro del embalse San Juan de distinta morfología se ha considerado adecuado separarlos a fin de destacar en forma apropiada sus diferencias.

- **Estribo Derecho**

En el estribo derecho de la presa se dispone de información geotécnica, proporcionada por el sondaje 1 y los perfiles 1 (estribo sur) y 5. La ubicación del sondaje 1 (ubicado en la parte alta del estribo derecho), coincide aproximadamente con el cruce de los perfiles sísmicos ya señalados.

Conforme a lo indicado por el sondaje 1 los materiales que se encuentran en este lugar son: Un primer estrato de unos 4 m de espesor, compuesto por suelos finos (hasta los 3,6 m) y por una arena media (hasta los 4 m). Bajo este primer estrato de suelos se encuentra una roca muy fracturada (RQD menor a 25 salvo dos excepciones) que llega hasta aproximadamente los 30 m de profundidad (espesor del estrato 21 m). Bajo esta roca muy fracturada se encuentra la roca sana (RQD 100).

En cuanto a los perfiles 1 sur y 5, los resultados obtenidos en el lugar del sondaje 1, muestran un primer estrato con velocidades relativamente bajas propias de suelos de densidad media (1100 m/s para el perfil 1 sur y 600 m/s para el perfil 5). El espesor de este estrato, es de unos 10 m en ambos perfiles. Bajo este primer estrato de bajas velocidades, se encuentra un estrato de velocidades medias, propias de rocas fracturadas (2800 m/s para el perfil 1 sur y 2760 para el perfil 5). El espesor de este estrato es de unos 18 m según el perfil 1 sur y de 17 m según el perfil 5. Bajo este estrato de roca fracturada se encuentra un estrato de roca sana (velocidades de onda de corte mayores a 5000 m/s).

- **Estribo Izquierdo**

En el estribo derecho de la presa se dispone de información geotécnica, proporcionada por el sondaje 3 y los perfiles 1 (estribo norte) y 2. La ubicación del sondaje 3 (ubicado en la parte alta del estribo izquierdo), coincide aproximadamente con el cruce de los perfiles sísmicos ya señalados.

Conforme a lo indicado por el sondaje 3 los materiales que se encuentran en este lugar son: Un primer estrato de unos 10 m de espesor, compuesto por suelos finos (hasta los 6 m) y por gravas arenosas (hasta los 10 m). Bajo este primer estrato de suelos se encuentra una roca muy fracturada (RQD 0) que llega hasta aproximadamente los 20 m de profundidad (espesor del estrato 10 m). Bajo esta roca muy fracturada y hasta los 28 m se encuentra la roca sana (RQD >80). A partir de los 28 m, la roca se comienza a descomponer gradualmente hasta llegar 33 m (comienza con RQD 34 y llega a RQD 0). A partir de los 33 m la roca mejora partiendo con RQD 77 y llegando a los 37 m con RQD siempre mayor a 80.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

En cuanto a los ensayes Lugeon, estos tienen valor 0 para cámaras entre los 21-26 m, y 17 para la cámara ente 34 y 37. Conforme a esto se estima que desde los 28 m y hasta los 37 (aproximadamente), la roca se deberá inyectar para asegurar la estanqueidad del vaso.

En cuanto a los perfiles 1 norte y 2, los resultados obtenidos en el lugar del sondaje 1, muestran un primer estrato con velocidades relativamente bajas propias de suelos de densidad media (1100 m/s para el perfil 1 sur y 650 m/s para el perfil 2). El espesor de este estrato, es de unos 7 m para el perfil 1 norte y de unos 9 m para el perfil 2. Bajo este primer estrato de bajas velocidades, se encuentra un estrato de velocidades medias, propias de rocas fracturadas (2500 m/s para el perfil 1 norte y 2400 para el perfil 2). El espesor de este estrato es de unos 20 m según el perfil 1 norte y de 15 m según el perfil 2.

Bajo este estrato de roca fracturada se encuentra un estrato de roca sana (velocidades de onda de corte de entre 4800 y 5000 m/s).

2.2.3. Antecedentes de Expropiación

Para realizar el estudio de expropiaciones se dispone de la siguiente información:

- Mapa de propiedades rurales de CIREN-SII, regiones del Maule y Bío Bío en los sectores abarcados por el área de estudio, escala 1:20.000, actualizado al 2007 en el caso de la Región del Maule y al 1999 en el caso de la Región del Bío Bío. Ambos mapas se encuentran en formato digital *shape* exportable a Autocad. La información contenida en el mapa corresponde al Rol del Servicio de Impuestos internos y superficie de la propiedad.

Conociendo la ubicación definitiva del embalse, la zona de inundación y el resto de las obras proyectadas, se podrán identificar los predios afectos a expropiación. Posteriormente, a través del sitio web del Servicio de Impuestos Internos, se accederá a la información vigente del propietario y avalúo fiscal, con fines de estimar costos de expropiación.

2.2.4. Antecedentes Ambientales

En el presente apartado se hace mención a los antecedentes disponibles (información secundaria) y que han sido recopilados por este consultor en materia ambiental (exclusivamente). La descripción detallada de las distintas temáticas se desarrollará en el marco del Estudio de Análisis Ambiental. Aquellos componentes ambientales que serán desarrollados o complementados a partir de campañas de terreno de especialistas e información primaria son: flora, vegetación y fauna terrestre, flora y fauna acuática, arqueología, calidad de agua.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

2.2.4.1. Calidad de Agua

Se cuenta con 2 fuentes de información principales: el estudio “Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca del Río Maule” (DGA, CADE IDEPE, 2004) y el estudio “Recopilación y Análisis de la información en apoyo a la elaboración del anteproyecto de la norma secundaria de calidad ambiental para la protección de las aguas de la cuenca del río Maule” (CONAMA, INGAM Ltda., 2008). Dichas fuentes de información cuentan con los siguientes antecedentes:

- Monitoreos de calidad de aguas superficiales (1982 a 2002) en el segmentos de río Cauquenes ubicado en el área de estudio, medido por la estación DGA “Río Cauquenes en Arrayán”, para los 32 parámetros de los cuales 20 están presentes en los instructivos para formulación de anteproyectos de normas (un total de 50 registros).
- Límites preliminares de distintos parámetros propuestos para la elaboración del anteproyecto de normas secundarias de calidad de aguas en la cuenca del Maule.

2.2.4.2. Vegetación Terrestre

Para la descripción de la vegetación terrestre, se dispone de los siguientes antecedentes recopilados:

- Cartografías y descripción de Uso de Suelo del Catastro y Evaluación de las Formaciones Vegetacionales Nativos de Chile (CONAF-CONAMA, 2009).
- Estudio y cartografías de Pisos Vegetacionales de Pliscoff y Luebert (2006).
- Estudio y cartografías de Formaciones Vegetacionales de Gajardo (1994).
- Descripción de vegetación de la Declaración de Impacto Ambiental del Plan Regulador Comunal de Cauquenes.

2.2.4.3. Biodiversidad y Zonas Protegidas

Para la descripción de la vegetación terrestre, se dispone de los siguientes antecedentes recopilados:

- Cartografías de los sitios del Sistema Nacional de Áreas Silvestres protegidas por el Estado (SNASPE).
- Estrategia y Plan de Acción para la Biodiversidad en la VII del Maule (CONAMA VII, 2002).
- Ubicación de Humedales protegidos por CONAMA.
- Sitios de interés ambiental descritos en la Declaración de Impacto Ambiental del Plan Regulador Comunal de Cauquenes.

2.2.4.4. Patrimonio Cultural y Arqueológico

La Declaración de Impacto Ambiental del Plan Regulador Comunal de Cauquenes, posee una completa descripción de aquellos sitios de valor patrimonial, referido principalmente a áreas, conjuntos e inmuebles de valor arquitectónico e histórico (barrios, edificaciones) en sectores urbanos. Respecto de patrimonio arqueológico no hay mención, no obstante esto será abordado mediante la visita a terreno del Arqueólogo especialista durante el desarrollo del Estudio de Análisis Ambiental.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

1. DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE LA ZONA DE RIEGO

1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL VALLE

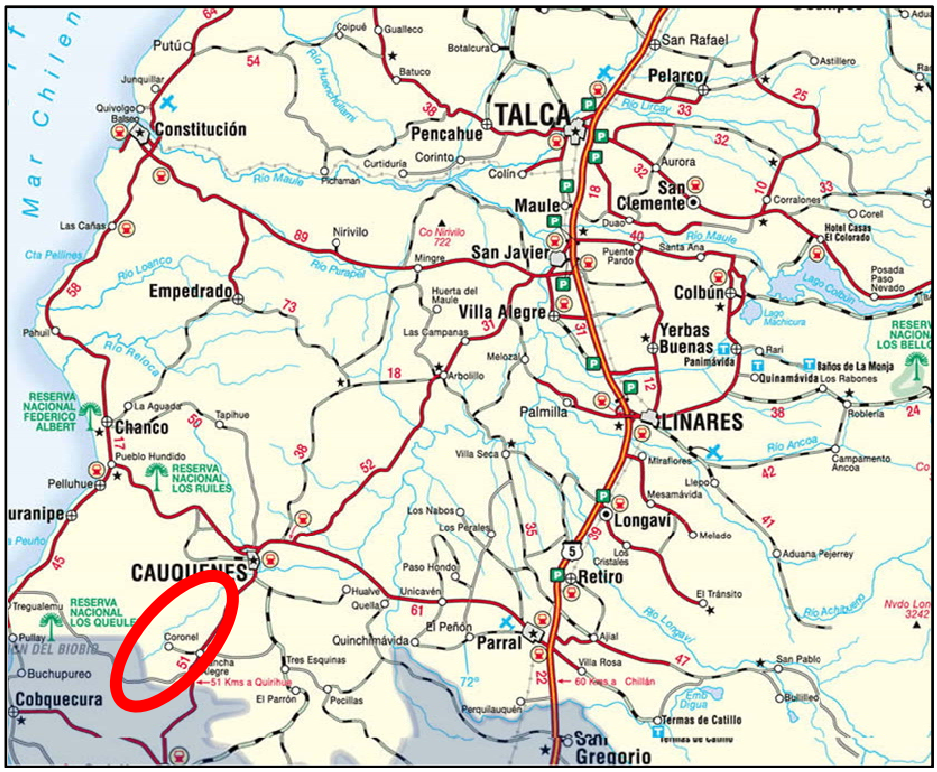
1.1.1. Localización Geográfica

La zona de estudio está ubicada al sur de la comuna de Cauquenes, provincia de Cauquenes, región del Maule. Esta área queda dividida por el límite administrativo con la octava región del Bío Bío, cerca del emplazamiento de la obra de acumulación. La zona de influencia del embalse pertenece mayoritariamente a la comuna de Cauquenes.

Esta comuna se ubica a 393,67 km de Santiago y limita al norte con las comunas de Empedrado y San Javier de Loncomilla, al sur con Cobquecura, Quirihue, Ninhue y San Carlos, al oeste con el Chanco y Pelluhue, y al este con Parral y Retiro. La Figura 1.1.1-1 muestra la comuna de cauquenes en el contexto regional.

Los sitios a evaluar para emplazar el futuro embalse se encuentran en el cauce de los ríos San Juan y Huedque, aguas arriba de su confluencia con el río Cauquenes.

FIGURA 1.1.1-1
UBICACIÓN ÁREA DE ESTUDIO



Fuente: Elaboración Propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

1.1.2. Superficie y Estructura Político– Administrativa

La Región del Maule está conformada por cuatro provincias: Curicó, Talca, Linares y Maule, siendo la ciudad de Talca la capital regional. La provincia de Cauquenes está subdividida en tres comunas: Cauquenes, Chanco y Pelluhue, la que posee una superficie de 2127.7 Km2, siendo la más extensa dentro de la provincia. La Figura 1.1.2-1 muestra las estructura política-administrativa de la comuna de Cauquenes.

FIGURA 1.1.2-1
CONTEXTO POLÍTICO-ADMINISTRATIVO
COMUNA DE CAUQUENES



Fuente: Biblioteca del Congreso Nacional (2007)

1.1.3. Antecedentes Demográficos

Según el Censo de 2002 la Comuna de Cauquenes posee una población total de 41.217 habitantes, lo que representa el 72,2% de los habitantes de la provincia de Cauquenes (la más poblada) 4,5% de la población regional. La población regional de 908.097 personas representa un 6% aproximadamente de la población nacional.

El 74,66 % de la población comunal habita en el sector urbano y un 25,34 % en el sector rural (Cuadro 1.1.3-1). En cuanto a distribución por sexo hay un ligero predominio de la población femenina, tendencia similar a la región y al país. (Cuadro 1.1.3-2).

CUADRO 1.1.3-1
POBLACIÓN URBANO – RURAL

Tipo de Población	Región del Maule		Provincia Cauquenes		Comuna de Cauquenes	
	Habitantes	%	Habitantes	%	Habitantes	%
Urbano	603.020	66,4	38.660	67,7	30.771	74,7
Rural	305.077	33,6	18.428	32,3	10.446	25,3
Total	908.097	100,0	57.088	100,0	41.217	100,0

Fuente: Censo 2002 (INE)

CUADRO 1.1.3-2
DISTRIBUCIÓN POBLACIÓN SEGÚN SEXO

Tipo de Población	Región del Maule		Provincia Cauquenes		Comuna de Cauquenes	
	Habitantes	%	Habitantes	%	Habitantes	%
Hombres	452.988	49,9	28.356	49,7	20.092	48,7
Mujeres	455.109	50,1	28.732	50,3	21.125	51,3
Total	908.097	100,0	57.088	100,0	41.217	

Fuente: Censo 2002 (INE)

La zona urbana de la comuna por la ciudad de Cauquenes, que también incorpora a la localidad aledaña de Santa Sofía. En su parte rural destacan las localidades de Coronel de Maule, Sauzal, Quella y Pocillas. El Cuadro 1.1.3-3 muestra la distribución de la población por ciudades y caseríos.

CUADRO 1.1.3-3
DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN POR CIUDADES, ALDEAS Y CASERÍOS

Nombre	Tipo	Población Censo 2002		
		Total	Hombres	Mujeres
Cauquenes	Ciudad	30.771	14.483	16.288
Sauzal	Aldea	521	253	268
Quella	Aldea	346	171	175
Santa Sofía	Aldea	612	346	266
La Posada	Caserío	195	96	99
Población Loyola	Caserío	122	59	63

CUADRO 1.1.3-3
DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN POR CIUDADES, ALDEAS Y CASERÍOS

Nombre	Tipo	Población Censo 2002		
		Total	Hombres	Mujeres
Cruce Sauzal	Caserío	104	56	48
La Patagua	Caserío	59	32	27
Pocillas	Caserío	232	110	122
Tres Esquinas	Caserío	56	31	25
Coronel del Maule	Caserío	280	136	144
Esquina Mocha	Caserío	205	109	96
Porongo	Caserío	54	27	27
San Miguel	Caserío	86	49	37
Pilén Bajo	Caserío	83	41	42
Quinta Rodríguez	Caserío	62	31	31
Unihue	Caserío	15	13	2

Fuente: Censo 2002 (INE)

La Comuna de Cauquenes en general, en los últimos 30 años ha tenido un aumento discreto de su población, la tasa media se mantiene muy por debajo de los niveles regionales. De acuerdo al Cuadro 1.1.3-4, el mayor crecimiento corresponde al período 1970-1982, con un aumento de 1.444 habitantes (3,65%) para la comuna y de 2.336 habitantes (4,38%) en la provincia.

CUADRO 1.1.3-4
EVOLUCIÓN DE LA POBLACIÓN ENTRE LOS AÑOS 1970-2002

Año Censo	Región del Maule	Provincia Cauquenes	Comuna de Cauquenes
1970	617.477	51.030	38.074
1982	730.907	53.366	39.518
1992	836.141	55.242	40.279
2002	908.097	57.088	41.217

Fuente: Censos 1970, 1982, 1992 y 2002 (INE)

El reducido porcentaje en las tasas de crecimiento de la comuna, es similar al que presenta la provincia, donde en el período de 1992 al 2002, la comuna aporto con el 50% en el crecimiento de la población de la provincia.

El Cuadro 1.1.3-5 muestra la proyección de la población de la comuna de Cauquenes hasta el año 2012 a partir de las tasas de crecimiento para hombres y mujeres estimadas por el INE en el año 2002. La característica más importante es la paulatina disminución de las tasas de crecimiento, fenómeno que se intensifica en el caso de los hombres.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 1.1.3-5

PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN HASTA EL AÑO 2012

AÑO	Total comuna		Hombres		Mujeres	
	Habitantes	% Crecimiento	Habitantes	% Crecimiento	Habitantes	% Crecimiento
2002	41.217	0,32%	20.092	0,27%	21.125	0,36%
2003	41.338	0,29%	20.140	0,24%	21.198	0,34%
2004	41.467	0,31%	20.194	0,27%	21.274	0,36%
2005	41.593	0,30%	20.246	0,26%	21.347	0,35%
2006	41.683	0,21%	20.280	0,17%	21.402	0,26%
2007	41.768	0,21%	20.314	0,17%	21.454	0,24%
2008	41.857	0,21%	20.352	0,18%	21.506	0,24%
2009	41.953	0,23%	20.385	0,16%	21.568	0,29%
2010	42.036	0,20%	20.415	0,15%	21.621	0,25%
2011	42.115	0,19%	20.439	0,12%	21.676	0,26%
2012	42.190	0,18%	20.467	0,14%	21.723	0,22%

Fuente: Elaboración propia a partir de tasas de crecimiento de INE (2002)

Según la encuesta CASEN 2006 el porcentaje de población pobre en la Provincia de Cauquenes es mayor a la realidad regional, característica influenciada principalmente por la comuna de Cauquenes con un 26,7% de población bajo línea de pobreza.

Esta situación se acentúa al analizar el nivel de indigencia, que en la comuna de Cauquenes llega al 8,4 %, exactamente la mitad del valor de la región (4,2 %). En el Plan de Desarrollo Comunal (PLADECO 2008-2012) afirma que la comuna se encuentra en una situación crítica sobre todo en la población Indigente y Pobre No Indigente.

CUADRO 1.1.3-6

POBREZA EN LA COMUNA DE CAUQUENES

Condición	Proporción de la población (%)		
	Región del Maule	Provincia Cauquenes	Comuna de Cauquenes
Indigentes	4,2	7,6	8,4
Pobres no Indigentes	13,5	25,8	18,3
Total Pobres	17,7	25,8	26,7
No Pobres	82,3	74,2	73,3

Fuente: Encuesta CASEN (2006)

Otro aspecto a destacar es el índice de Desarrollo Humano (IDH), el cual muestra la relación de que tan lejos se encuentra la población de una meta ideal de satisfacción y bienestar, este índice agrupa múltiples factores, tales como educación, salud e ingresos.

Al año 2003, la región del Maule presentaba un IDH de 0,675, la que la posiciona como el último lugar del ranking regional. Por su parte, la Comuna de Cauquenes se encuentra en el lugar número 15 de 30 comunas a nivel regional, pero en términos comparativos a nivel nacional ésta se encuentra en el lugar número 228.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Tal como se mencionó anteriormente, el IDH agrupa tres grandes factores, como lo son: Salud (Años de Vida Potencialmente Perdidos), Educación (Tasa de Alfabetismo, Años de Escolaridad y Cobertura Educacional) e Ingresos (Pobreza, Ingreso Per-Cápita.). Dentro de estas tres variables se aprecia que la comuna se encuentra en el lugar número 6 a nivel regional en la variable de salud, mientras que en el nivel de educación se encuentra en el lugar número 24 y en la variable de ingresos la comuna se ubica en el lugar número 12. El Cuadro 1.1.3-7 detalla los valores de IDH para la comuna.

CUADRO 1.1.3-7
ÍNDICE DE DESARROLLO HUMANO
COMUNA DE CAUQUENES

IDH	Salud	Educación	Ingreso	Ranking Regional	Ranking Nacional
0,656	0,707	0,694	0,568	15	228

Fuente: Informe Sobre Desarrollo Humano en Chile, (PNUD, 2004)

1.1.4. Principales Actividades Económicas en la Zona

Según el PLADECO 2008-2012 la zona destaca por su producción de arroz, remolacha y porotos. El aporte de la región al PIB nacional el año 2002 fue de 3,4%. La estructura regional del PIB para 2002, en lo fundamental, está representada por el aporte de 20,5% del sector Industria Manufacturera; 17,3% de Silvoagrícola; y 13,2% de Electricidad, Gas y Agua. Los sectores Servicios Personales y Comercio aportan 10,8% y 8,4%, respectivamente.

Según esta fuente En la región del Maule la actividad económica se caracteriza por un significativo desarrollo del sector silvoagropecuario. Este las ha evolucionado en los últimos años, incrementando la producción de madera y sus derivados. También por su parte el sector frutícola ha experimentado un significativo crecimiento, debido principalmente a las exportaciones.

La comuna de Cauquenes, según el Pladeco 2008-2012, durante los últimos años ha experimentado un desarrollo sostenido de su agricultura y comercio cercano al 60% del aporte al desarrollo económico en la comuna. Ambos sectores se perfilan como los más desarrollados. A su vez los sectores turismo y servicios componen el 25% aproximadamente de las actividades desarrolladas a nivel comunal, restando solamente un 15% que se distribuye entre los sectores industrial, construcción y otros.

Los rubros económicos más desarrollados según el Pladeco 2008-2012 para la comuna de Cauquenes son el sector forestal e industria secundaria de la madera, la viticultura / fruticultura y el sector comercial. A continuación se realiza una descripción de la situación de cada sector en la comuna:

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

a) Forestal / Industria secundaria de la Madera: En el área forestal destacan las empresas Termac, Forestal León y Celco. Ambas concentran una parte importante de la fuerza laboral en la comuna. Dentro de este rubro se consideran además las barracas y cualquier otra empresa en cuya línea productiva se incluya la manufactura de la madera en alguna de sus formas.

b) Viticultura / Hortifruticultura: En esta área destacan la Cooperativa Lomas de Cauquenes y un gran número de pequeños productores de uva, de los cuales no todos pertenecen a dicha cooperativa. Este rubro ha tenido un sostenido crecimiento en los últimos años por lo que un área con grandes proyecciones económicas. Podemos destacar dos agricultores de vid Lomas de Bellavista e INIA. En este rubro se incorporan empresas o agricultores relacionados con la fruticultura, como los productores de olivos, frutillas y arándanos. Estos cultivos comparten la característica de estacionalidad y comercialización.

c) Comercial: En este rubro se consideran las Grandes tiendas y los supermercados además de las pequeñas tiendas y locales como librerías, panaderías, farmacias, fuentes de soda, botillerías, que pese a no tener gran cantidad de trabajadores, las que podemos denominar como comercio tradicional. Este sector se caracteriza por tener baja contratación de personal, sin embargo, la concentración de todos ellos pudiera representar un importante porcentaje de la fuerza de trabajo activa. Podemos observar además, la actividad en áreas tradicionales específicas, como la elaboración de ladrillos y tejas (característico de la zona) y la inserción de otros rubros de tipo artesanal representados por agrupaciones de micro empresarios de tejedoras, loceras y artesanos en madera y cerámica, entre los más destacados.

De acuerdo a los resultados del censo 2002, la fuerza de trabajo comunal a ese año era de 13.757 personas, llegando la tasa de participación al 44,9%. Dentro de este grupo, la tasa de desocupación alcanzaba 16,3%, siendo mayor en hombres que en mujeres. Esta información es posible de observar en forma resumida en el Cuadro 1.1.4-1.

CUADRO 1.1.4-1
POBLACIÓN SEGÚN TIPO Y CONDICIÓN DE ACTIVIDAD ECONÓMICA
COMUNA DE CAUQUENES
CENSO 2002 Y PROYECCIÓN 2012

Tipo de Condición Económica		2002			2012		
		Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres
Población de 15 años o más		30.608	14.742	15.866	31.331	15.017	16.314
ECONOMICAMENTE ACTIVA (FUERZA DE TRABAJO)	Total	13.757	9.508	4.249	14.054	9.686	4.369
	Ocupados	11.521	7.849	3.672	11.771	7.996	3.776
	Cesantes	1.776	1.392	384	1.813	1.418	395
	Buscando trabajo por primera vez	460	267	193	470	272	198
NO ECONOMICAMENTE ACTIVA (FUERA DE LA FUERZA DE TRABAJO)	Total	16.851	5.234	11.617	17.276	5.332	11.945
	En quehaceres de su hogar	8.702	569	8.133	8.942	580	8.362
	Estudiando	2.562	1.342	1.220	2.621	1.367	1.254
	Jubilado o rentista	3.249	1.895	1.354	3.323	1.930	1.392

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 1.1.4-1
POBLACIÓN SEGÚN TIPO Y CONDICIÓN DE ACTIVIDAD ECONÓMICA
COMUNA DE CAUQUENES
CENSO 2002 Y PROYECCIÓN 2012

Tipo de Condición Económica		2002			2012		
		Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres
	Incapacitado permanentemente para trabajar	442	286	156	452	291	160
	Otra situación	1.896	1.142	754	1.939	1.163	775
Tasa de Participación		44,9%	64,5%	26,8%	44,9%	64,5%	26,8%
Tasa de Ocupación		37,6%	53,2%	23,1%	37,6%	53,2%	23,1%
Tasa de Desocupación		16,3%	17,4%	13,6%	16,2%	17,4%	13,6%

Fuente: Elaboración propia a partir de Censo 2002

Por otra parte, de acuerdo con la encuesta CASEN 2006, la fuerza de trabajo comunal fue 48,4% y la tasa de desocupación un 5,1%, valor que muestra una mejoría importante con respecto a los registrados los años 2000 (10,3%) y 2003 (7,6%).

La visión más actualizada de la realidad laboral se puede encontrar en la Encuesta Nacional de Empleo del INE, cuya última publicación corresponde al trimestre Julio-Septiembre de 2011 para la provincia de Cauquenes, la que se ve influenciada en forma sustancial por la comuna en estudio. Para este periodo, la fuerza de trabajo alcanzó el 52,2%, de la cual el 61,6% corresponde a hombres y el 38,4% a mujeres.

Además, según la misma fuente, la tasa de desocupación de la Provincia alcanzó 7,2%, lo que se traduce en una variación negativa de 0,2 puntos porcentuales respecto del mismo trimestre del año 2010 y una disminución de 1,45% en comparación al trimestre móvil julio-septiembre de 2011. Además se encuentra 0,3 puntos porcentuales por debajo de la tasa regional que fue de 7,5% para el período.

Con respecto a la importancia de las diferentes ramas de la actividad económica, el Censo 2002 indicó que la comuna de Cauquenes se especializa en la labor agrícola/silvícola, con un 24,8% del total de los ocupados, seguida por el comercio (16,7%) y la industria manufacturera (12,8%). El Cuadro 1.1.4-2 muestra la población ocupada según rama de actividad económica según el Censo 2002 y su evolución hasta el año 2012, bajo el supuesto de que la composición porcentual se mantiene.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 1.1.4-2

POBLACIÓN OCUPADA POR RAMA DE ACTIVIDAD ECONÓMICA COMUNA DE CAUQUENES. CENSO 2002 Y PROYECCIÓN 2012

Rama Actividad Económica	2002			2012		
	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres
A Agricultura, ganadería, caza y silvicultura.	2.857	2.619	238	2.913	2.668	245
B Pesca.	5	5	0	5	5	0
C Explotación de minas y canteras.	12	11	1	12	11	1
D Industrias manufactureras.	1.480	1.267	213	1.510	1.291	219
E Suministro de electricidad, gas y agua.	49	46	3	50	47	3
F Construcción.	788	774	14	803	788	14
G Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos automotores, motocicletas, efectos personales y enseres domésticos.	1.925	1.272	653	1.967	1.296	671
H Hoteles y restaurantes.	194	49	145	199	50	149
I Transporte, almacenamiento y comunicaciones.	648	582	66	661	593	68
J Intermediación financiera.	111	49	62	114	50	64
K Actividades inmobiliarias, empresariales y de alquiler.	376	240	136	384	244	140
L Administración pública y defensa; planes de seguridad social de afiliación obligatoria.	600	377	223	613	384	229
M Enseñanza	886	267	619	908	272	636
N Servicios sociales y de salud.	457	134	323	469	137	332
O Otras actividades de servicios comunitarias, sociales y personales.	476	130	346	488	132	356
P Hogares privados con servicio doméstico.	656	26	630	674	26	648
Q Organizaciones y órganos extraterritoriales.	1	1	0	1	1	0
Ignorado	0	0	0	0	0	0
Total Ocupados	**11.521**	**7.849**	**3.672**	**11.771**	**7.996**	**3.776**

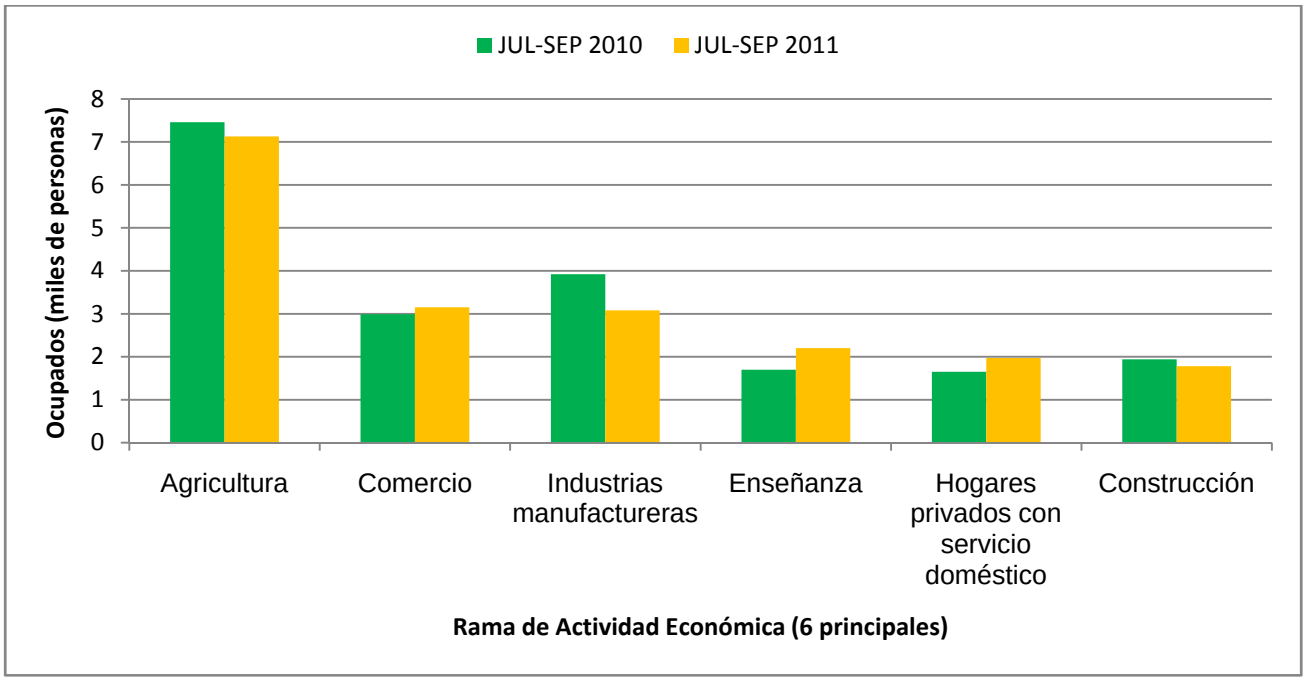
Fuente: Elaboración propia a partir de Censo 2002

Si se comparan las estadísticas de la mano de obra en la comuna entre los censos de 1992 y 2002 se identifica una disminución del sector agrícola/silvícola cercano a un 4%, independiente del hecho de ser uno de los sectores que más aporta al PIB comunal. Por otro lado existe un aumento en el rubro de comercio de 7,4%.

Finalmente, la Encuesta Nacional de Empleo muestra que para la Provincia de Cauquenes los ocupados en la agricultura y silvicultura en el trimestre Julio-Septiembre de 2011 han disminuido con respecto al mismo periodo del año 2010, pero siguen siendo claramente la actividad predominante de la zona (Figura 1.1.4-1).

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 1.1.4-1
POBLACIÓN OCUPADA POR RAMA DE ACTIVIDAD ECONÓMICA
TRIMESTRE JULIO-SEPTIEMBRE 2010 Y 2011



Fuente: Encuesta Nacional de Empleo INE, 2011.

1.1.5. Condiciones de Vida de la Población

Con respecto al área de la salud, antecedentes recopilados por el Pladeco 2008-2012 para la comuna de Cauquenes, indican que solamente se brinda atención de nivel primario y de un Hospital pequeño de tipo 3, lo que obliga a que la atención de nivel secundario un poco más especializada y la de nivel terciario deba ser prestada por centros asistenciales de mayor porte como el Hospital Regional del Maule, o bien de otras comunas de la región, lo que depende de la cercanía del centro hospitalario con la asistencia o urgencia requerida.

Algunas fuentes de información base para los datos presentados son el plan comunal de salud 2007, datos del Ministerio de Salud, del Instituto Nacional de Estadísticas, INE, de MIDEPLAN y entrevistas a autoridades del sector en la comuna.

La tasa de natalidad según estas fuentes llega a 14,5 por mil habitantes, muy parecida a la tasa que presenta el país y la región. La tasa de mortalidad general fue de 8,3 por mil habitantes, contra 5,3 por mil habitantes a nivel del país. La de mortalidad infantil es extremadamente baja, 3,3 por mil nacidos vivos contra 7,9 a nivel de país. Dicha tasa debe ser tratada con mucho cuidado, pues las tasas anuales para poblaciones tan pequeñas como la de Cauquenes son muy volátiles y cambian bruscamente, fluctuando de un año al otro.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Las enfermedades con mayor incidencia son ampliamente las correspondientes al sistema respiratorio, que tienen que ver principalmente con las problemáticas medioambientales, climáticas y de polución intradomiciliaria que existen en la comuna. Esta información asegura que la mayor causa de consulta por morbilidad la constituyen las patologías respiratorias, representando un 44% del total en los establecimientos de salud de la comuna entre los años 2004-2005, seguidos de las cardiovasculares con un 24%, 11 y 2% para osteoartritis y trauma respectivamente. No se han presentado casos de cáncer hasta el momento.

El 66% de la población en la comuna es adulta según el Pladeco 2008-2012, por lo que las principales causas de enfermedad, muerte y discapacidad tenderán a estar dadas por las llamadas enfermedades no transmisibles (ENT), entre las que se encuentran las enfermedades cardiovasculares, que corresponden efectivamente a la segunda causa con demanda por consulta médica durante el año 2007, a la primera causa con mayor prevalencia en Cauquenes y a la segunda como causa de mortalidad.

El sistema público de salud de la provincia consta de un Hospital de tipo 3, con las cuatro especialidades básicas y 144 camas, más un servicio de urgencia, SAMU, que atiende a toda la provincia. Además, este hospital presta servicios de atención primaria a través de un Consultorio Adosado.

Con respecto al área de educación, se realiza a continuación una descripción del sector en la comuna de Cauquenes realizada por el Pladeco 2008-2012 a partir de datos e informaciones proporcionados por documentos de diferentes fuentes, principalmente las proporcionadas por la municipalidad y el Ministerio de Educación.

La gestión de los establecimientos municipalizados está a cargo del Departamento Administrativo de Educación Municipal a cargo de proveer de recursos humanos, financieros y materiales necesarios para el normal desarrollo de las actividades educativas.

Este ha llevado a cabo un plan de perfeccionamiento que ha cubierto a todos los funcionarios de su población objetivo. Se consiguió terminar con la deuda histórica. Hoy la situación financiera está prácticamente saneada.

En la comuna de Cauquenes existen 46 establecimientos educacionales con distintos sostenedores, públicos o privados, localizados en la zona urbana y en la rural, que imparten educación pre-básica, básica, media, especial, de adultos, y profesional. Entre ellos, se encuentran 35 municipalizados y 11 privados subvencionados. El total de docentes contratados para desarrollar los distintos niveles de enseñanza alcanza a 478, siendo 344 en el sector municipalizado y 134 en el privado subvencionado.

Los datos del MINEDUC no coinciden con los que trabaja el DAEM en el caso de las cifras referidas a la enseñanza Científica Humanista y la Técnico Profesional. La cifra total de la enseñanza media es la misma. El total de niños matriculados en todos los establecimientos de la zona urbana fue de 9.440 niños y 376 adultos., La Comuna de

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Cauquenes cuenta con una filial del Centro de Formación Técnica “San Agustín”, en el cual se imparten carreras del área técnica, y una Sede de la Universidad Bolivariana, que imparte carreras profesionales.

En la zona rural sólo existen establecimientos municipalizados que imparten enseñanza básica y en tres de ellos también educación pre básica. Esto debido a una tendencia a la disminución de la población rural, así como la población en edad de asistir a la educación formal en la comuna en general. Esto lleva a cuestionar el sistema de educación comunal para que tome debida cuenta de estas variables.

Respecto al tema de vivienda, según información contenida en del Censo 2002 recopilada por el Pladeco 2008-2012, en la comuna de Cauquenes hay en total 13.558 viviendas de las cuales 9.602 corresponden a zona urbana y 3.956 a zona rural, hay 11.933 viviendas ocupadas y 1.625 desocupadas.

Entre los tipos de vivienda en la comuna existe un total de 12.646 casas; 308 departamentos; 189 piezas en casa antigua o conventillo; 205 mejora, mediagua; 100 rancho o choza; 7 móvil (carpa, vagón, conteiner, bote o lancha); 61 otro tipo de vivienda particular y 42 viviendas colectivas.

En relación a los servicios básicos, la energía eléctrica es proporcionada a la provincia de Cauquenes por la empresa EMELECTRIC S.A. que pertenece al grupo EMEL S.A. En todos los sectores existe tendido eléctrico y suministro en forma permanente todo el año. La cobertura domiciliaria de la red pública en la Comuna de Cauquenes es de 95.4%, siendo 98.9% para la población urbana de la Comuna y 85.4% la cobertura rural.

El agua potable es abastecida por la concesión de la empresa Aguas Nuevo Sur, el cual aborda un 79.8% a nivel comunal. En el Cuadro 1.1.5-1 se presenta el detalle de esta información, en el cual queda de manifiesto que a nivel rural existe un déficit de abastecimiento por la red pública haciéndose más fuerte el uso de pozos o norias.

CUADRO 1.1.5-1
PORCENTAJE DE VIVIENDAS SEGÚN ORIGEN DE AGUA.
POR ZONAS URBANA Y RURAL

Tipo	Total	Urbana	Rural
Red Pública	**79,8**	**99,3**	**23,6**
Pozo o Noria	**14,0**	**0,4**	**53,2**
Río o Vertiente	**6,2**	**0,3**	**23,2**

Fuente: Censo de Población y Vivienda 2002

La calidad del servicio y su confiabilidad son normales, puesto que se tiene un suministro obtenido de captaciones subterráneas con buen estado de calidad, por lo que la planta de tratamiento de agua potable, actúa de refuerzo para el mejoramiento de la calidad.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

La cobertura de alcantarillado se expresa a través de colectores públicos localizados en zonas urbanas, correspondiendo su recolección a la empresa Aguas Nuevo Sur Maule S.A. La cobertura del servicio a nivel comunal corresponde al 80,3% de la población. En el Cuadro 1.1.5-2 se aprecia la cobertura de este servicio, dejando de manifiesto que existe un déficit importante de red de alcantarillado en el área rural, utilizando en mayor medida el sistema de pozos negros.

CUADRO 1.1.5-2
PORCENTAJE DE VIVIENDAS SEGÚN SISTEMA DE ELIMINACIÓN DE EXCRETAS. POR ZONAS URBANA Y RURAL

Tipo	Total	Urbana	Rural
Alcantarillado	**80,3**	**98,4**	**28,7**
Fosa Séptica	**0,2**	**0,0**	**0,7**
Pozo Negro	**17,6**	**1,4**	**64,6**
Sin Servicio	**1,9**	**0,2**	**6,1**

Fuente: Censo de Población y Vivienda 2002

Con respecto a comunicaciones y según información recogida por Pladeco 2008-2012, la comuna tiene acceso a la señal de televisión abierta de los principales canales nacionales y al servicio particular de cable, excepto en algunas zonas dada la aislación geográfica producida por el relieve.

Además cuenta con radioemisoras locales instaladas en Cauquenes que cumplen con una misión comunitaria de servicio a las localidades rurales que es ampliamente reconocida y que viene a suplir su aislamiento en materia de comunicaciones.

En cuanto a la telefonía de red fija de la comuna esta fuente dice que en el sector urbano existe el sistema de comunicación otorgado por la empresa Telefónica CTC Chile, con un total de 6.026 líneas telefónicas, lo que representaría una cobertura de 52 por ciento de las viviendas, mientras que la telefonía de red fija rural, territorio cuenta con presencia de la empresa CTR, con sede en la comuna de Linares.

La telefonía celular en la actualidad puede ser utilizada en gran parte de la comuna a excepción de algunos sectores que por orografía y número reducido de población, no tienen una buena señal o no poseen antenas. Tal como en el resto del país, en la comuna están presentes los diversos servicios de telefonía móvil.

1.1.6. Infraestructura Vial

. La zona cuenta con vías de comunicación vial de distintos estándares, jerarquías y categorías de servicio. Esta red es la que une las localidades urbanas y rurales a nivel interprovincial y regional. Según el Plan Regulador Comunal se identifican dos niveles jerárquicos:

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

a) Conexión Cauquenes con nivel Provincial y Regional

- **Ruta 128:** Orientación transversal, emplazada al oriente de Cauquenes, permite la conexión directa de Cauquenes con Parral; y con Ruta 5 Sur, para acceder en dirección norte a Linares, Talca y por el sur a Chillán. En su trayecto a Parral permite la conexión con ruta 126 Los conquistadores. Su estado de conservación es bueno, presentando una carpeta pavimentada.

- **Ruta M-50:** Orientación norponiente respecto de Cauquenes. Posibilita la conexión directa de Cauquenes Pueblo Hundido, Chanco y al norte con Constitución. De Pueblo Hundido al sur permita el acceso a Curanipe. Presenta un buen estado de conservación y una carpeta de pavimento.

- **Ruta 126.** Corredor longitudinal conocida con Ruta Los Conquistadores. Desde el norte se conecta a Ruta 128 permitiendo el flujo San Javier- Cauquenes. Desde Cauquenes continua al sur permitiendo conexión con Quirihue, Coelemu, Concepción en la VIII Región. Su estado es bueno y presenta una carpeta de pavimento.

La importancia de este sistema vial y de las conexiones que posibilita, radican en las siguientes características:

Convierte a la ciudad de Cauquenes en un nodo de paso desde Talca hacia el sistema costero (posibilita un desarrollo del turismo y la industrial de celulosa en Constitución), como elemento gravitante del sistema costero interior- valle central, en base a la Ruta Los Conquistadores. Asimismo, Cauquenes es paso obligado hacia la octava región donde el destino sería Talcahuano en su condición de Puerto o la Celulosa que se encuentra en la misma comuna (del subsistema integrado con Talca y San Javier, del sistema costero interior- valle central).

Cauquenes, un nodo vial y de servicios del sistema de centros poblados del secano interior y secano costero (pre cordillera de la costa-Valle Central). Hacia el poniente por la ruta M-50, se comunica con el sector costero y las comunas de Pelluhue y Chanco, hacia el Oriente por la ruta 128 se comunica con la comuna de Parral y al sur por la ruta 126 (Los conquistadores) con la comuna de Quirihue de la Octava Región. del subsistema integrado con Talca y San Javier, del sistema costero interior- valle central.

b) Conexión Cauquenes – localidades comunales menores

- **Ruta M-500**. Orientación norte respecto a Cauquenes. Permite los flujos Cauquenes – Chanco. Presenta un tramo en tierra y otro en ripio.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- **Ruta M-26-L**. Orientación nororiente respecto a Cauquenes. Se conecta con ruta 128 y permite la conexión Cauquenes- Sauzal y Cauquenes - Empedrado. Presenta una superficie de ripio.

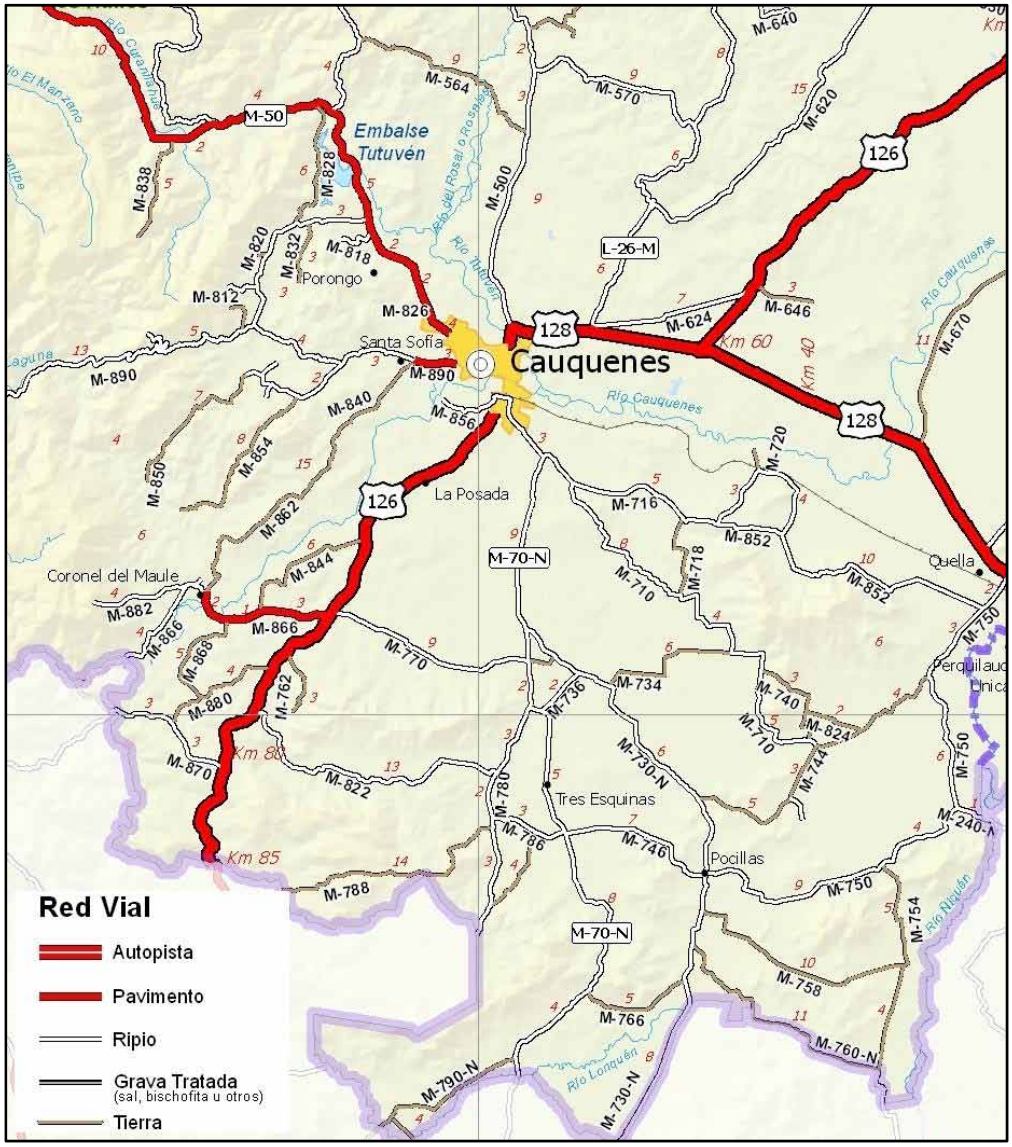
- **Ruta M-830.** Orientación transversal, emplazada al poniente de Cauquenes permitiendo la conexión con Santa Sofía y de esta a ruta M-50, a través de una superficie de ripio.

- **Ruta M-870.** De orientación transversal, proyectándose desde ruta Los Libertadores al sur de Cauquenes hacia el poniente donde permite el flujo hacia el borde costero a través de una superficie de ripio.

Se estima que solo un 12,3% de las vías comunales presenta carpeta pavimentada. Esta presenta un buen estado de conservación y principalmente corresponde al sistema vial que posibilita la comunicación interprovincial con las restantes áreas de la región. El 87,7% de vialidad presenta una carpeta defectuosa principalmente en ripio y en menor medida en tierra, correspondiendo principalmente al sistema vial que posibilita el desarrollo de flujos entre entidades rurales y entre estás y los centros principales de la Provincia de Cauquenes. La Figura 1.1.6-1 muestra la red vial de la comuna de Cauquenes.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 1.1.6-1
RED VIAL COMUNA DE CAUQUENES



Fuente: Dirección de Vialidad, 2011.

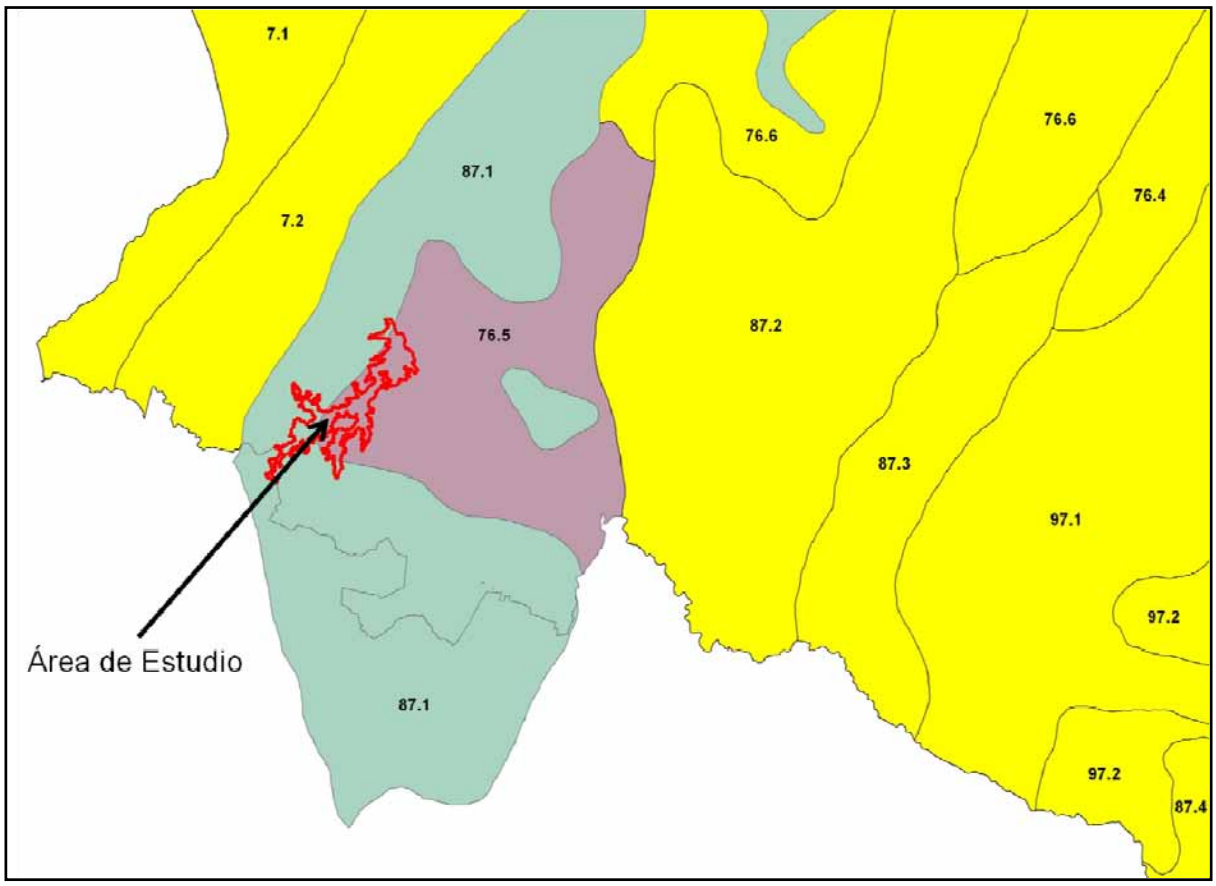
1.2. SITUACIÓN AGROPECUARIA ACTUAL

1.2.1. Descripción Agroclimática General

Existen varias fuentes bibliográficas que describen el clima del área de estudio y definen Distritos Agroclimáticos. Para este estudio se tomarán como base los distritos definidos en el Atlas Agroclimático de Chile, elaborado por la Universidad de Chile en 1993, el que determina la existencia de dos distritos agroclimáticos. Estos se muestran gráficamente en la Figura 1.2.1-1.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 1.2.1-1
DISTRITOS AGROCLIMÁTICOS 76.5 Y 87.1



Fuente: Universidad de Chile, 1993

Se trata de los Distritos Agroclimáticos 76.5 y 87.1 ambos denominados por esta fuente como “clima templado mesotermal inferior estenotérmico mediterráneo semiárido”. El primero se encuentra en cuencas y valles costeros, y el secano interior; el segundo, en serranías interiores de la costa.

El Distrito 76.5 se caracteriza por un régimen térmico con temperaturas que varían, en promedio, entre una máxima de enero de 29ºC y una mínima de julio de 4,9ºC. El período libre de heladas es de 259 días, con un promedio de seis heladas por año. Registra anualmente 1.762 días-grado y 950 horas frío. El régimen hídrico presenta una precipitación media anual de 696 mm, un déficit hídrico de 931 mm y un período seco de siete meses.

La menor influencia oceánica favorece la amplitud térmica, mayor que los distritos vecinos, con inviernos relativamente fríos y veranos calurosos.

Por otro lado, el Distrito Agroclimático 87.1 posee un régimen térmico que se caracteriza por temperaturas que varían, en promedio, entre una máxima de enero de 28,5ºC y una mínima de julio de 5,4ºC. El período libre de heladas es de 279 días, con un promedio de dos heladas por año. Registra anualmente 1.712 días-grado y 681 horas de frío. El

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

régimen hídrico observa una precipitación media anual de 780 mm, un déficit hídrico de 884 mm y un periodo seco de siete meses.

Las temperaturas invernales son moderadas, con baja incidencia de heladas. Los veranos son calurosos y secos, lo que pone de manifiesto el efecto de abrigo de la costa.

El área de estudio, desde el punto de vista agroclimático, presenta relativamente buenas condiciones para el cultivo de gran variedad de especies anuales y frutales.

1.2.2. Descripción Agrológica General

En el Cuadro 1.2.2-1 se presenta el resumen de superficies de las serie de suelos presentes en el área de estudio según CIREN, 1997, ordenadas en orden de importancia.

El cálculo de superficies de las diferentes series y fases de suelos, se efectuó a partir de la información cartográfica disponible mediante herramientas de SIG.

Es posible observar a partir de esta información, que si bien están descritas ocho series de suelos para el área de estudio, son la asociación Cauquenes y las series Ninhue y Maule las que representan el 93,3% de la superficie del área de estudio.

Según Ciren 1997, la Asociación Cauquenes (42,3% superficie del área) posee suelos de textura arcillosa y profundos, formados "in situ" a partir de rocas graníticas, bien evolucionados, de texturas arcillosas en todo el perfil. Descansan sobre un substrato constituido por roca granítica muy meteorizada y rica en cuarzo y feldespatos. Ocupan una posición topográfica de cerros y lomajes. Estos suelos han sido históricamente muy cultivados por cereales lo que ha ocasionado diversos y avanzados grados de erosión.

Por otro lado los suelos de la serie Ninhue (36,6% superficie del área) según la misma fuente, son de textura franca y de origen aluvial, profundos, de drenaje imperfecto, formados bajo condiciones de humedad excesiva a partir de materiales graníticos depositados en las planicies de inundación. La topografía es plana aunque los sectores próximos a las terrazas altas o a los cerros son ligeramente inclinados.

Los suelos de la serie Maule (14,4% superficie del área) son sedimentarios, ligeramente profundos, de textura superficial franco arcillo arenosa de color pardo rojizo oscuro y arcillosa e igual color en profundidad. Descansan sobre un substrato aluvial antiguo, caracterizado por presentar gravas redondeadas de composición petrográfica mixta y altamente meteorizadas y con buena matriz arcillosa que permite el desarrollo de las raíces en profundidad. Ocupan una posición de terraza aluvial remanente y de topografía plana a suavemente ondulada. Presentan permeabilidad moderada y buen drenaje.

De acuerdo a los estudios desarrollados por CIREN un 45% de los suelos presentan limitaciones de uso definidas como moderadas y leves (capacidad de uso de III y II), lo que se asociado a características agroclimáticas apropiadas para la agricultura podría traducirse en el desarrollo de diversas especies frutales y hortícolas bajo un escenario de riego.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 1.2.2-1
SUPERFICIE TOTAL POR SERIE DE SUELOS (HA)

SERIE	SIGLA	HA	%
Asoc. Cauquenes	CQ	2384,2	42,3
Ninhue	NNH	2064,9	36,6
Maule	MLE	814,3	14,4
Totoral	TOT	122,6	2,2
Asoc. Treguaco	TG	104,5	1,9
Asoc. Pocillas	PO	72,1	1,3
Asoc. Constitución	KT	46,3	0,8
Urbano	UR	31,3	0,6
TOTAL		5640,3	100,0

Fuente: CIREN, 1997.

CUADRO 1.2.2-2
SUPERFICIE TOTAL POR CAPACIDAD DE USO (HA)

Capacidad de Uso	Superficie	%
II	396,1	7,0
III	2141,9	38,0
IV	1244,9	22,1
N.C.	31,3	0,6
VI	957,9	17,0
VII	868,2	15,4
Total	5640,3	100

Fuente: CIREN, 1997.

1.2.3. Propiedad Agrícola y Uso del Suelo

1.2.3.1. Tamaño de la Propiedad Agrícola

Al respecto se presenta en el Cuadro 1.2.3.1-1 información a nivel comunal categorizada por el INE 2007 en 11 rangos de tamaño de propiedades con tierra. Esta permite establecer que el 68% de los predios con tierra tienen un tamaño entre 1 y 50 hectáreas, un 5% tiene menos de 1 hectárea y un 2,3% tiene más de 500 hectáreas. También se deduce que un 53% de los predios solo abarca el 5% de la superficie, lo que indica que la mayor cantidad de predios son de un tamaño máximo de 10 ha. Por otro lado un 8% de los predios posee casi el 60% de la superficie total de predios de la comuna. A su vez los predios de un tamaño mediano (20 a 100 ha) ocupan un 22,5% de la superficie y son un 45% de los predios.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 1.2.3.1-1
EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS CON TIERRA
COMUNA DE CAUQUENES 2007

Rango de tamaño (ha)	Nº de Explotaciones con tierra	Sup. (ha)
Menores de 1	90	51,9
De 1 a menos de 5	366	904,1
De 5 a menos de 10	238	1.700,3
De 10 a menos de 20	262	3.725,6
De 20 a menos de 50	358	11.838,1
De 50 a menos de 100	194	13.248,2
De 100 a menos de 200	152	21.277,8
De 200 a menos de 500	105	30.358,1
De 500 a menos de 1000	24	15.873,2
De 1000 a menos de 2000	15	18.915,7
De 2000 y más	3	10.127,3
Total Superficie	1.807	128.020,3

Fuente: Censo Agropecuario y Forestal INE, 2007.

1.2.3.2. Estructura Productiva

Se presentan a continuación antecedentes generales que permiten establecer el contexto agropecuario en el cual se encuentra inserta el área de estudio. Es importante indicar que la información productiva detallada del área de estudio será generada una vez sea aplicada la encuesta simple.

Según INE (2007), en la comuna de Cauquenes existen 2.181 explotaciones silvoagropecuarias con y sin tierra, las que abarcan una superficie total de 200.881,1 ha. De estas, el 83% tienen actividad agropecuaria y suelo agrícola.

Se destaca que un 16% de las explotaciones son forestales pero abarcan sobre el 36% de la superficie de las explotaciones de la comuna. Al respecto se debe señalar que el área de estudio en particular incluye un porcentaje bajo de superficie destinada a la explotación forestal, a pesar que mayoritariamente la superficie corresponde a suelos agrícolas de secano. No obstante existe superficie de riego remitida al agua disponible en la temporada primavera verano.

De acuerdo a los datos entregados por la misma fuente, los suelos de cultivo alcanzan a 9.540,2 ha en la comuna, siendo estos el 7,5% de la superficie agrícola de los predios, mientras que el 92,5% está categorizado como otros suelos, donde la superficie ocupada por praderas naturales constituye el 70% de la superficie agropecuaria, lo que lleva a confirmar la condición de secano predominante en la comuna.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 1.2.3.2-1
RESUMEN INFORMACIÓN PREDIAL
COMUNA DE CAUQUENES AÑO 2007

Tipo Explotaciones	Nº	Sup. (ha)
1. Total Censadas	2.181	200.881,1
1.1 Agropecuarias	1.813	128.020,3
1.1.1 Con Tierra	1.807	128.020,3
1.1.1.1 Con Actividad	1.806	128.017,9
1.1.1.2 Temporalmente sin Actividad	1	2,4
1.1.2 Sin tierra	6	-
1.2 Explotaciones Forestales	368	72.860,8

Fuente: Censo Agropecuario y Forestal INE, 2007.

La información contenida en el Cuadro 1.2.3.2-2 detalla la distribución de la superficie agropecuaria con tierra y con actividad para la comuna de Cauquenes. Es posible deducir a partir de esta información que solo un 7,5% corresponde a suelos de cultivo en la comuna, mientras la mayor cantidad de superficie se clasifica como otros suelos, principalmente praderas naturales y suelos forestales. La superficie agropecuaria a nivel regional es en cambio un 17% del total, lo que lleva a suponer que la baja disponibilidad de agua de riego en la comuna genera esta diferencia.

Cabe señalar que la información específica de tamaño predial se extraerá del Rol de Extracto Agrícola (REA) proporcionado por el Servicio de impuestos internos, labor que se realizará en la Etapa II del presente estudio.

Se debe mencionar que la superficie forestal descrita aquí está estrictamente remitida a la superficie agropecuaria. Posteriormente debe sumarse a la superficie forestal categorizada como tal y que se describe más adelante.

A nivel regional se observa que la superficie de praderas naturales y mejoradas constituye un 43% del total agropecuario, mientras que a nivel comunal representa el 71,3% lo que confirma la condición de superficie mayoritariamente de secano en la comuna.

CUADRO 1.2.3.2-2
SUPERFICIE AGROPECUARIA
COMUNA DE CAUQUENES AÑO 2007

Superficie agropecuaria según uso del suelo	Sup. (ha)	Sup. (ha) Región del Maule
Total Explotaciones Agropecuarias	128.020	1.893.965
Total suelos de cultivo	9.540	317.570
Cultivos anuales y permanentes	7.490	228.766
Forrajeras permanentes y de rotación	210	35.664
En barbecho y descanso	1.840	53.139
Total otros suelos	118.480	1.576.394
Praderas mejoradas	2.448	98.497
Praderas naturales	88.845	812.063
Plantaciones forestales	19.000	174.252
Bosque nativo	2.531	172.154

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 1.2.3.2-2
SUPERFICIE AGROPECUARIA
COMUNA DE CAUQUENES AÑO 2007

Superficie agropecuaria según uso del suelo	Sup. (ha)	Sup. (ha) Región del Maule
Matorrales	4.515	121.585
Infraestructura	868	24.618
Terrenos estériles	274	173.227

Fuente: Censo Agropecuario y Forestal INE, 2007.

En el Cuadro 1.2.3.2-3 se presenta la estructura de frutales, cultivos anuales y forrajeras de la comuna de Cauquenes, superficie clasificada como suelos de cultivo. Se puede apreciar el dominio de viñas y parronales viníferos como principal cultivo en la zona, seguido por cereales. Esto es explicable, en cuanto a las viñas, por la zona de riego generada en la comuna a partir del impacto de embalses de riego como el Tutuvén, donde se explota el recurso agua con tecnología de goteo y se consiguen buenos resultados en este frutal. Sin embargo según esta fuente 1.713,5 ha de viñas viníferas son de secano en la comuna.

Con respecto a los suelos de cultivo la superficie de vides constituye un 50% en la comuna de Cauquenes, mientras que a nivel regional solo un 14,3%, debido a la mayor diversidad de rubros agrícolas a nivel regional dada la mayor superficie bajo riego.

Es importante mencionar que la superficie asignada a viñas y parronales viníferos por el INE 2007, difiere de lo indicado en el Catastro Vitícola Nacional (SAG, 2009). En este último, se registran 4.244,37 ha de cultivo de especies viníferas a nivel comunal, posiblemente asociado a la fluctuación de la demanda de vino en el mercado internacional o al reemplazo de variedades como la "País" de autoconsumo por otros cultivos.

Según este catastro existen en la comuna 1.069,59 ha de uva vinífera de variedades blancas, siendo las más cultivadas la Chardonnay y la Sauvignon Blanc, mientras que en variedades tintas existen 3.174,78 ha, siendo las más cultivadas las variedades Cavernet Sauvignon y la variedad país.

Con respecto a los suelos de cultivo la superficie de cereales en la comuna constituye un 18,8% en la comuna de Cauquenes, mientras que a nivel regional la superficie de cereales constituye un 23,2%, confirmando que la comuna sigue la tendencia regional en este rubro.

La superioridad en superficie de los cereales respecto a otras especies se asocia a la condición de secano de la comuna antes mencionada. Ejemplo característico de esto es el cultivo de trigo generalizado en el secano interior de la zona, pero se destaca la predominante superficie de viñas y parronales de riego y de secano, que constituyen la alternativa económica actual más rentable para la zona y se transforma en un patrón a considerar para una eventual situación con proyecto junto a otros frutales de relativamente reciente entrada como el arándano, que demuestran buenos resultados bajo riego en la zona.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 1.2.3.2-3
ESTRUCTURA DE CULTIVOS
COMUNA DE CAUQUENES AÑO 2007

Cultivo	Superficie (ha)	Estructura (%)
Cereales	1.790,8	23,2
Leguminosas y tubérculos	133,0	1,7
Cultivos industriales	0,0	0,0
Hortalizas	57,3	0,7
Flores	0,7	0,01
Plantas forrajeras	535,7	6,9
Frutales	427,0	5,5
Viñas y parronales viníferos	4.766,4	61,8
Viveros	1,0	0,01
Semilleros	2,5	0,03
TOTAL	7.714,4	100

Fuente: Censo Agropecuario y Forestal INE, 2007.

En el Cuadro 1.2.3.2-4 se presenta la distribución de la superficie destinada a frutales, ordenada por especie según INE (2007). Hasta este año los frutales más relevantes en cuanto a superficie son el olivo y el arándano, con el detalle que gran porcentaje de ésta se encuentra en formación, lo que significa que son especies en franco crecimiento en la zona al igual que el nogal, frutal que comienza a entrar dado su buen resultado económico en otras partes del país.

CUADRO 1.2.3.2-4
SUPERFICIE PLANTADA CON ESPECIES FRUTALES
COMUNA DE CAUQUENES AÑO 2007

Frutales	Superficie Plantada con Frutales (ha)			
	En Formación		En Producción	TOTAL
	Plantada en el Año Agrícola 2006/2007	Total		
Almendro	0	0,0	1,6	1,6
Arándano	11	61,1	53,5	114,6
Cerezo	0	0,0	11,1	11,1
Frutilla	0	0,0	1,3	1,3
Huerto casero	0	0,0	4,0	4,0
Limonero	0	0,0	0,4	0,4
Nogal	2	26,8	0,0	26,8
Olivo	23	141,2	60,8	202,0
Otros frutales	5	13,9	46,9	60,8
Palto	0	0,0	4,4	4,4

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 1.2.3.2-4
SUPERFICIE PLANTADA CON ESPECIES FRUTALES
COMUNA DE CAUQUENES AÑO 2007

Frutales	Superficie Plantada con Frutales (ha)			
	En Formación		En Producción	TOTAL
	Plantada en el Año Agrícola 2006/2007	Total		
TOTAL	0,0	243,0	184,0	427,0

Fuente: Censo Agropecuario y Forestal INE, 2007.

El Catastro Frutícola realizado por CIREN, 2007 para la VII Región, cuya información se consigna en el Cuadro 1.2.3.2-5, indica que a este año la superficie de frutales en la comuna de Cauquenes es de 342,9 ha e incluye en sus estadísticas al manzano con 42,92 ha. Ambas fuentes difieren en sus resultados posiblemente por la fecha del año en que fue realizado el levantamiento de la información, dado el carácter dinámico del sector en lo referente a plantación y arranca de especies frutales.

CUADRO 1.2.3.2-5
SUPERFICIE PLANTADA CON ESPECIES FRUTALES
COMUNA DE CAUQUENES AÑO 2007

Especie	Sup. (ha)
Olivo	157,7
Arándano americano	94,5
Manzano rojo	42,9
Nogal	19,0
Almendro	9,0
Cerezo	8,6
Frambuesa	4,0
Vid de mesa	2,6
Pistacho	2,0
Palto	1,7
Mandarino	1,0
TOTAL	342,9

Fuente: CIREN, 2007

Se debe mencionar que según esta fuente, la región del Maule figura con la máxima superficie nacional en cerezas, manzano rojo y verde y kiwi, tendencia que no se ve reflejada en los datos de la comuna en estudio, donde no figura el kiwi, y la manzana y el cerezo lo hacen con baja superficie.

En cuanto al rubro hortícola, se consigna en el Cuadro 1.2.3.2-6 la superficie de cada especie sembrada en la comuna. Es patente la poca importancia de este rubro en la zona, dada la cantidad de superficie que ocupa respecto del total agropecuario, y la escasa diversidad de especies que se cultivan, destacándose solamente el maíz choclero como especie y el huerto casero en superficie. Lo anterior no guarda relación a lo que sucede en el

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

contexto regional, donde al año 2007 existían 11.708 ha de diversas hortalizas, destacándose la sandía, el melón, los espárragos y la cebolla aparte de los ya mencionados choclo y huerto casero.

El contraste se produce principalmente debido a la disponibilidad de agua de riego (zona de secano predominante) y a las características agroclimatológicas de la comuna, además de otros factores como la distancia a mercados de distribución y a la desventaja comparativa con otros lugares de la región con mejores suelos y clima para las especies hortícolas tradicionales.

Información del INE 2007 indica que el 19% de los predios que informan tener cultivos anuales poseen cultivo de hortalizas, pero estas solo ocupan un 2,9% de la superficie total destinada a cultivos anuales, debido principalmente a la presencia de huertos caseros, que generalmente no son de gran tamaño.

La información contenida en el Cuadro 1.2.3.2-7 corrobora la tendencia del 2007 en cuanto a presencia de hortalizas en la comuna de Cauquenes, dada la baja superficie y las especies más representativas.

CUADRO 1.2.3.2-6
SUPERFICIE CULTIVADA CON HORTALIZAS
COMUNA DE CAUQUENES 2006/2007

Hortalizas	Expl. informantes 2007	
	Número	Total (ha)
Choclo	40	23,6
Huerta casera	89	27,9
Otras hortalizas	8	2,1
Poroto granado	4	2,4
Poroto verde	3	0,5
Tomate consumo fresco	9	0,8
TOTAL	**153**	**57,3**

Fuente: Censo Agropecuario y Forestal INE, 2007.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Se observa que la superficie total es similar pero el detalle de especies es más específico en el censo 1997, posiblemente debido al criterio de separación de lo que son huertos caseros de superficies pequeñas de hortalizas.

CUADRO 1.2.3.2-7
SUPERFICIE CULTIVADA CON HORTALIZAS
COMUNA DE CAUQUENES 1996/1997

Hortalizas	Sup. (ha)
Ají	0,5
Ajo	0,1
Arveja Verde	1,5
Cebolla de Guarda	3,6
Cebolla Temprana	0,1
Choclo	13,0
Haba	1,3
Huerta Casera	33,8
Lechuga	1,6
Melón	1,2
Orégano	0,5
Poroto Granado	1,5
Poroto Verde	2,0
Repollo	0,1
Sandía	0,8
Tomate Consumo Fresco	6,0
Tomate Industrial	0,5
Zanahoria	0,1

Fuente: Censo Agropecuario y Forestal INE, 1997.

En relación a la clasificación de cereales, leguminosas y tubérculos, se presenta en el Cuadro 1.2.3.2-8 la superficie de estos cultivos para la temporada 2006/2007.

Se destaca la superficie de cereales, predominando el trigo en secano seguido por el maíz grano y el arroz en riego. Llama la atención el bajo rendimiento promedio en trigo, debido a que gran parte de la superficie triguera es de un nivel tecnológico bajo, sin uso de semilla certificada, fertilizantes ni mecanización, con un objetivo preferente de autoconsumo. Es característico también para esta zona el cultivo de garbanzo como alternativa de secano al coincidir su periodo de cultivo con el aporte de humedad de las precipitaciones al suelo.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 1.2.3.2-8
SUPERFICIE DE CEREALES, LEGUMINOSAS Y PAPA
COMUNA DE CAUQUENES 2006/2007

Cultivo	Superficie (ha)			Rend. Promedio (qqm/ha)
	Total	En riego	En secano	
Arroz (con cáscara)	146	146	0	42,74
Avena (grano seco)	87,3	0	87,3	17,02
Chícharo	2,7	0	2,7	5,56
Garbanzo	109,5	0	109,5	11,26
Maíz (grano seco)	243,4	213,2	30,2	132,7
Otras chacras	2,5	0	2,5	0
Otros cereales	2	0	2	0
Papa	11,7	4,1	7,6	30,26
Poroto consumo interno	6,6	0	6,6	8,94
Trigo blanco	1312,1	4,4	1307,7	14,49
TOTAL	**1.923,8**	**367,7**	**1.556,1**	

Fuente: Censo Agropecuario y Forestal INE, 2007.

Si bien la mayor parte de la superficie de maíz grano y de papa se realiza bajo riego, existen siembras de secano principalmente manejando fechas y variedades en el caso de la papa y con el uso de suelos de napa alta y texturas arcillosas presentes en la zona en el caso del maíz. Estos retienen humedad hasta los meses de enero y febrero lo que permite salir con el cultivo, obviamente en un contexto de bajos rendimientos.

En relación al cultivo de praderas artificiales anuales y perennes la superficie censada por el INE en el año 2007 fue de 210 ha, equivalente al 2,2% de la superficie categorizada como suelos de cultivo en la comuna, mientras que las praderas naturales y mejoradas (otros suelos) suman 91.292,7 ha. Esto habla de que la ganadería de la zona se sustenta básicamente de las áreas de secano con suministro de pasto en invierno y primavera y que el recurso agua de riego se prioriza en cultivos más rentables como la uva vinífera. No obstante existe superficie de praderas mejoradas en la comuna regada por aguas del embalse Tutuvén.

La superficie de forrajeras censada el año 1997 por el INE en la comuna fue de 393,4 ha de especies anuales y 426,5 ha de especies perennes, lo que hace suponer que la actividad ganadera de la zona ha ido en descenso en la década entre censos, dando pie a la implementación de cultivos de otros rubros.

En el Cuadro 1.2.3.2-9 se observa en cuanto a especies forestales plantadas en la comuna de Cauquenes que al 2007 la superficie se mantiene casi igual, levemente inferior al año 1997, con algunos cambios como la introducción del Eucaliptus globulus, pero la base productiva en la zona sigue manteniendo al Pino radiata como protagonista principal.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Se debe destacar que estas cifras consideran las plantaciones forestales de la superficie categorizada como Forestal por el INE, sin embargo dentro de la superficie definida como suelos de cultivo también existe superficie forestal.

A nivel regional la comuna posee un 16% de la superficie de plantaciones forestales. En la Región del Maule la superficie de plantaciones representa el 40% de la superficie de las explotaciones forestales censadas, mientras que en la comuna representa un 71,5%. Esto hace suponer un uso más intensivo del suelo forestal a nivel comunal.

Respecto al total de superficie censada la superficie de explotaciones forestales de la Región del Maule representa un 29,7%, mientras que a nivel comunal representa un 36,3%, lo que refleja una connotación más forestal en la comuna que en el global regional.

Si bien se mantiene a nivel comunal la superficie total forestal entre los dos últimos censos la composición de especies ha cambiado fundamentalmente por la entrada del Eucaliptus globulus al escenario productivo, reemplazando especies como el álamo y el aromo.

CUADRO 1.2.3.2-9
SUPERFICIE FORESTAL COMUNA DE CAUQUENES
PARALELO 2007 - 1997

Especies Forestales	Sup. 2007 (ha)	Sup. 1997 (ha)	Variación (%)
Álamo	0,0	10,6	
Aromo	5,0	41,9	-738
Eucaliptus nitens	1.834,7	2.190,0	-19,4
Eucaliptus globulus	5.893,0	0	
Pino radiata (insigne)	44.283,0	52.066,3	-17,6
Pino oregón	42,1	106,9	-153,9
Roble	66,0	109,3	-65,6
Plantaciones mixtas	3,5	0	
Otras especies	0,3	22,5	-7400
TOTAL	52.127,6	54.547,5	-4,6

Fuente: Censo Agropecuario y Forestal INE, 2007.

1.2.4. Actividad Ganadera

El detalle de especies ganaderas a nivel comunal solo está especificado para el censo 2007 ya que el de 1997 solo llega a especificar masa ganadera a nivel de provincia. La provincia de Cauquenes tenía a ese año 30.436 cabezas de ganado bovino, mientras que al censo del 2007 existían 17.943, lo que refleja un paulatino reemplazo de esta actividad por otros rubros. Esta tendencia no solo es a nivel provincial sino también a nivel regional, ya que el 97 existían en la región 367.447 cabezas de ganado vacuno mientras que el 2007 bajó a 265.780 el número de estas.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Independiente de las tendencias antes comentadas las existencias ganaderas son de importancia en la comuna para la explotación de la gran cantidad de superficie con praderas naturales y mejoradas de secano.

CUADRO 1.2.4-1
EXISTENCIAS PECUARIAS POR ESPECIE
COMUNA DE CAUQUENES AL AÑO 2007

Especie	Cabezas	%
Bovinos	12.925	27,2
Ovinos	27.028	56,9
Cerdos	1.319	2,8
Equinos	2.651	5,6
Caprinos	3.589	7,6

Fuente: Censo Agropecuario y Forestal INE, 2007.

1.2.5. Sistemas de Riego Intrapredial

Se puede observar en el Cuadro 1.2.5-1 que de un total de 2.807,9 ha de riego, 77,5% son regadas por métodos tecnificados (goteo y cintas), lo que guarda relación con la superficie de frutales en la zona; mientras que un 18% de la superficie censada se riega por tendido; asociado principalmente al cultivo de praderas y cereales.

CUADRO 1.2.5-1
SISTEMAS DE RIEGO UTILIZADOS EN
COMUNA DE CAUQUENES 2007

Metodo de Riego	Sup. (Ha)	%
Surco	27,7	1,0
Tendido	504,6	18,0
goteo y cinta	2177,4	77,5
Microaspersión y microjet	1,2	0,0
Carrete o pivote	2,2	0,1
Aspersión tradicional	5,0	0,2
Otro tradicional	89,8	3,2
Total Superficie Regada	2807,9	100,0

Fuente: INE, 2007

1.2.6. Nivel Tecnológico de la Agricultura

En esta etapa se recurre a varias fuentes, en especial al estudio del FIA, 2009, Agenda de Innovación Agraria Territorial, Región del Maule (información regional), para dar una visión general de la estructura productiva del área de estudio en el aspecto tecnológico de su agricultura.

Existen numerosas especies y rubros agrícolas explotados en la región, no obstante se debe tener presente que el área de estudio, a diferencia de las zonas de riego en

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

la región (de mayor importancia agrícola), es mayoritariamente de secano, por lo que ésta descripción se aborda diferenciando la situación actual del área de una eventual situación futura, donde los cambios productivos serían radicales en la estructura productiva (mayor semejanza a las áreas de riego de la región).

Según el Mapa Agroclimático de Chile del INIA, 1989, en esta zona son posibles desarrollar cultivos de secano como trigo, cebada, avena, arveja, habas, trébol subterráneo, falaris, medicagos anuales, lupino, raps, etc. Bajo riego es apto para lino, raps, arroz, maíz, frejol, ajo, cebolla, tomate, tabaco, melón, sandía, zanahoria, zapallo, papas, remolacha, frutilla, lechuga, maní, maravilla, sorgo, soya, alfalfa, trébol rosado y blanco, ballica perenne, lupino, vicia, festuca, pasto ovillo, vid y cerezo, ciruelo, damasco, membrillo y otros.

Es importante destacar que si bien las características térmicas estivales, invernales, e hídricas invernales son razonablemente apropiadas, la mayoría de los cultivos y todos los frutales requieren del suministro necesario de agua de riego para satisfacer sus demandas y obtener el máximo potencial de producción, por lo que cultivos y frutales se verían favorecidos con condiciones de riego permanente.

Estudios relacionados en cuencas aledañas en la región sirven como buena referencia para acercar una descripción del uso actual del suelo y el nivel tecnológico usado en la agricultura del área de estudio. Tal es el caso del Estudio de Factibilidad Construcción de Sistema de Riego Embalse San Juan de Quirihue de 2008, cuya área de estudio guarda similitudes productivas y cercanía física con la del presente estudio. En éste se hace un diagnóstico de situación actual en base a un encuesta simple agropecuaria donde se concluye que el uso actual del suelo agrícola de los predios del área del proyecto está adaptado a las condiciones hidrológicas de la cuenca, es decir de secano. Los agricultores han adaptado su estructura de cultivos a la disponibilidad de agua de lluvia y, especialmente, a la variabilidad estacional de los niveles freáticos, para los terrenos húmedos, actualmente los más valiosos. Es así como los cultivos más relevantes son aquellos que les permite aprovechar la escasa disponibilidad de agua del verano, como el trigo, pastos y viñas de “rulo” con la cepa “país”.

El rubro preponderante en el área de dicho estudio es la ganadería que se alimenta de pastos naturales (48,2 %) y praderas artificiales (33,9 %), que ocupan el 82 % de la superficie agrícola. Las praderas naturales representan la base de la ganadería ovina y las praderas artificiales son la base de la ganadería bovina, junto con las praderas naturales durante los meses de Agosto a Noviembre.

Las viñas son, económicamente, el cultivo más importante en ese estudio y representan el 16% del área agrícola. Más de la mitad de ellos corresponden a viñas de secano. Finalmente el cultivo anual más importante en ese estudio es el trigo, ya que es el que mejor se adapta a la estacionalidad en la disponibilidad de agua de las lluvias, pero sólo ocupa el 1,4% de la tierra agrícola.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Se hace esta descripción para asociar luego el nivel tecnológico relacionado a estos cultivos, de carácter mayoritariamente extensivo, por lo general de nivel bajo, ya que se trata de cultivos de escasa rentabilidad y dependientes de la temporalidad de las precipitaciones, caracterizados también por escasa mecanización de labores y escaso uso de agroquímicos.

El nivel tecnológico específico de los sistemas productivos, al igual que su estructura productiva, será determinado a partir de la información recopilada en la encuesta simple, a desarrollarse en etapas posteriores del presente estudio.

El estudio del FIA 2009 hace un diagnóstico general de la agricultura de la Región del Maule y los rubros más importantes que la componen, detectando los problemas más relevantes que afectan el desarrollo agroeconómico; planteando a su vez a corto, mediano y largo plazo los lineamientos base en innovación para generar proyectos y medidas integrales de desarrollo para el sector.

Esta fuente identifica factores limitantes transversales de innovación para la región. En el caso del **Sector Frutal (Pomáceas, Berries, Vitivinícola y Olivícola)** estos son:

a) Baja eficiencia tecnológica en el uso y aplicación de pesticidas

La incorporación de tecnología es un factor clave para la obtención de buenos rendimientos y rentabilidad. Una parte importante de los medianos y pequeños productores frutícolas de los rubros analizados, carece de los conocimientos necesarios para realizar, de modo eficiente, un correcto uso y aplicación de los pesticidas, bajo un contexto de sustentabilidad ambiental e inocuidad alimentaria.

El desconocimiento se basa fundamentalmente en la falta de información adecuada y oportuna, que sustente una correcta decisión técnica a nivel predial. Al respecto, es necesario fortalecer la investigación en el manejo integrado de plagas, incentivar el desarrollo y uso de productos de origen natural, generar conocimiento sobre el uso de productos de última generación, y mejorar la tecnología en aplicación y detección de residuos.

b) Uso ineficiente de los recursos hídricos y nutricionales

La gestión eficiente de los recursos hídricos y nutricionales hace la diferencia entre un huerto altamente productivo y otro de condiciones dispares. La experiencia de los productores participantes, y de los demás agentes de las cadenas de valor, grafica la necesidad de contar con tecnología de punta que permita mejorar la eficiencia en la utilización del recurso hídrico y, al mismo tiempo, optimizar la aplicación de nutrientes a la planta y sus frutos. En este sentido, la maximización de la eficiencia del recurso hídrico y nutricional se debe buscar mediante la realización de investigación que apunte al diseño y desarrollo de modelos de

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

simulación productiva, el desarrollo de estándares nutricionales locales y la actualización de variables de riego asociadas a aspectos edafoclimáticos y condiciones propias de las plantas. Sólo así será posible compatibilizar los óptimos económicos y productivos, de acuerdo con las necesidades de cada especie.

c) Baja productividad por obsolescencia varietal

En la industria frutícola mundial el uso de variedades de óptima calidad es una condición sine qua non para desarrollar un negocio de alto impacto económico y productivo. Si a lo anterior se suma una correcta zonificación varietal, en función de las condiciones edafoclimáticas y de calidad de la fruta producida, se está en presencia de una fruticultura moderna.

En el caso chileno, es necesario promover el desarrollo de nuevas variedades de las especies analizadas, debido a que el potencial productivo de algunas variedades cultivadas, se ha reducido ostensiblemente, haciendo peligrar la rentabilidad del negocio. Del mismo modo, se hace imprescindible fortalecer el trabajo conjunto entre productores, viveristas y la institucionalidad pública, estandarizando los parámetros mínimos de calidad del material vegetal comercializable mediante una reglamentación por todos conocida. Un elemento de la mayor importancia es la promoción de la protección legal de nuevas variedades y clones, para ello es indispensable contar con los arreglos institucionales y normativos que aseguren el pago por del uso del material vegetal, sea este nacional o internacional.

d) Falta manejo y acceso a la información de mercado

La falta de manejo y acceso a la información, se convierte en el principal factor limitante en el ámbito del mercado y la comercialización.

Los distintos agentes de la cadena productiva enfatizan esta situación como un elemento que redunda negativamente en la competitividad del negocio y, sin duda, en la rentabilidad final. La información es un componente fundamental al momento de tomar decisiones de qué variedades son más demandadas por los mercados, cuáles son los precios y stocks existentes, cómo se comportan los competidores y cuáles son las proyecciones del mercado. Sin duda, el hecho de contar con conectividad, ampliar la cobertura de Internet, crear comunidades virtuales, sistematizar y difundir información procesada, y habilitar plataformas de vigilancia tecnológica y comercial, son algunos de los aspectos más relevantes a considerar al momento de cerrar la brecha de acceso y manejo a la información de los mercados.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

e) Falta de Encadenamiento Comercial

El éxito de los acuerdos de cooperación sectorial, tales como los encadenamientos y las alianzas productivas, requieren de relaciones contractuales transparentes y estables, como también de la generación de vínculos de confianza que logren una atmósfera propicia de gobernabilidad al interior de la articulación productiva.

La gobernabilidad es un factor determinante en el proceso de desarrollo de una base social sustentada en acciones de cooperación y respeto mutuo, que induzca relaciones de reciprocidad entre los distintos agentes de la cadena de valor. La calidad en la gobernancia al interior de la articulación productiva es un factor clave para la competitividad sectorial, ya que al existir relaciones transparentes y fluidas entre los miembros del encadenamiento se limitan, de manera notable, los esfuerzos de supervisión y control, costos y riesgos.

Para ello es primordial, en primer lugar, conocer y aprender de experiencias exitosas de modelos de encadenamientos en países competidores y potencias agroalimentarias, con la finalidad de generar experiencias pilotos reproducibles en la realidad nacional, bajo esquemas propios de mecanismos e instrumentos de fomento a la cooperación al interior de las cadenas productivas. En segundo término, es aconsejable estudiar y analizar los factores que afectan el traspaso eficiente de la información entre los distintos agentes de las cadenas, con el propósito de transparentar la información, aumentando progresivamente los niveles de confianza entre las partes.

La misma fuente indica los factores limitantes transversales de innovación del Sector Pecuario (Bovinos y Ovinos de Carne) para la región.

Por su cercanía a los mercados nacionales más importantes, la Región del Maule posee ventajas comparativas en su condición de productora ganadera de carne, tanto en el rubro bovino como ovino. No obstante, se observa en ambos rubros un conjunto de limitaciones técnico-productiva, comerciales y de gestión del negocio, que afecta la competitividad regional frente a otras zonas del territorio nacional.

f) Baja productividad de los sistemas productivos

Los sistemas productivos, por lo general, se caracterizan por una baja disponibilidad de forraje durante el invierno, en cantidad y/o calidad, de modo que resulta primordial recuperar el estado de los vientres al final del verano y en otoño, utilizando como momentos claves el período de destete y la oferta de pasto que aún está disponible durante esa temporada, ya que del buen manejo de esta etapa depende en gran medida el resultado del encaste o servicio siguiente. Un objetivo clave del manejo nutricional en el ganado bovino y ovino para carne, es que llegue con una buena condición corporal al parto, ya que iniciada la lactancia se torna muy difícil ganar peso. Por lo tanto, conocer la condición corporal algunos meses antes del

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

parto es muy importante, ya que permite tomar decisiones que influyen en el rendimiento posterior del ganado.

La productividad expresada en número de crías vivas y animales adultos saludables dependerá en gran medida del hecho de poder contar con praderas de calidad y un manejo reproductivo, alimentario y sanitario, acorde con la raza utilizada y las condiciones edafoclimáticas de las distintas zonas productivas.

Mejorar la productividad de los sistemas implica además el establecimiento de planes de mejoramiento genético, en función de zonas agroecológicas predefinidas y de los mercados de destino.

Los factores antes mencionados harán posible un incremento de la productividad de los sistemas, contribuyendo a la rentabilidad de los agricultores ganaderos y la competitividad del sector pecuario chileno.

g) Falta de una Estrategia de Marketing

Los consumidores de productos cárnicos optan, cada vez con mayor fuerza, por productos diferenciados bajo denominaciones de tipo natural, sellos territoriales o bien, orgánicos. Diversos estudios dan cuenta de las preferencias de los consumidores por productos de tales características, provocando profundas transformaciones en la industria cárnica de países de tradición pecuaria.

Dichas transformaciones se han plasmado en cada uno de los eslabones de la cadena de valor, desde el productor primario, pasando por los industriales, hasta los supermercados y restoranes, mejorando considerablemente las condiciones de producción, transformación y elaboración de los distintos productos y subproductos de origen animal. Los consumidores, conscientes de estos cambios, privilegian los métodos naturales por sobre aquellos sistemas tradicionales de producción, pagando incluso diferenciales de precios superiores hasta de un 25 por ciento. La industria cárnica de potencias agroalimentarias como Australia, Francia, Nueva Zelanda e Irlanda han desarrollado interesantes estrategias de marketing que privilegian los aspectos de origen y calidad del producto, y sistemas de producción.

En el caso chileno, salvo excepciones, la utilización de estrategias de diferenciación de productos cárnicos, según atributos tangibles e intangibles, no ha sido un elemento utilizado recurrentemente por la industria nacional. De allí que surja como un oportunidad el poder desarrollar una estrategia de marketing bajo las características expuestas, que conlleve acciones de identificación de atributos, difusión de los mismos, promoción de protocolos de calidad y generación de indicadores de evaluación de la calidad, los cuales orienten a los distintos agentes de la cadena en los aspectos productivos y comerciales.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

h) Falta de Información Técnico-Productivo y Comercial

Al igual que en el caso del sector frutícola, se evidencia en el sector pecuario regional una clara falencia en materia de información técnico-productivo y comercial al interior de la cadena de valor.

El acceso y manejo de información se convierte en un factor limitante muy relevante, dado que poder contar con información oportuna, permite tomar decisiones técnicas y comerciales de manera fundada, redundando positivamente en la competitividad del negocio y su rentabilidad. Las acciones sugeridas para reducir la brecha existente en materia de información apuntan en la dirección de ampliar, en calidad y cantidad, la información técnico-productiva y comercial, y del mismo modo, diseñar e implementar sistemas de información que hagan factible la generación, sistematización y difusión de información de mercado. La creación de plataformas de vigilancia tecnológica, disponibles de manera fácil y oportuna, constituye una buena opción en este sentido.

i) Escaso desarrollo de valor agregado de los productos

Esta limitante se asocia fundamentalmente a cuatro factores. Primero, la incapacidad asociativa que ha demostrado el sector pecuario a nivel regional de poder materializar proyectos conjuntos, orientados a la agregación de valor de la producción primaria; segundo, la marcada concentración en las funciones de los distintos agentes productivos al interior de la cadena pecuaria; tercero, la falta de capacidades de gestión técnica y comercial asociada a los emprendimientos agroindustriales de agregación de valor, y cuarto, la cercanía a otras regiones, netamente pecuarias, en las cuales existe la disponibilidad de plantas faenadoras y la infraestructura logística para realizar la comercialización de los productos.

No obstante lo anterior, y dada la importancia que ha ido adquiriendo la Región del Maule en materia de producción pecuaria, se hace necesario fomentar la agregación de valor mediante acciones de desarrollo asociativo y promoción de nuevas tecnologías. Para ello se debe avanzar en la generación de mecanismos de información para los distintos eslabones de la cadena de valor, la definición de planes de negocios para cada segmento de la cadena, la creación de protocolos de calidad, la prospección de nuevas formas de agregación de valor y el desarrollo de nuevos procesos industriales y tecnológicos, entre otros aspectos.

j) Escasa información sobre la gestión de sistemas productivos ambientalmente sustentables y aplicación de fuentes energéticas renovables

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

La producción pecuaria se asocia directamente a externalidades negativas para el medio ambiente. Los sistemas de producción pecuaria intensiva producen elevados volúmenes de desechos de nitrógeno y fósforo, así como descargas concentradas de materiales tóxicos. El ganado es responsable del 18% de las emisiones de gases que producen el efecto invernadero, un porcentaje mayor que el del transporte.

Bajo este escenario, la ganadería ovina y bovina nacional debe adaptarse rápidamente a los cambios tecnológicos necesarios para disminuir el efecto productivo sobre el medio ambiente. Con la finalidad de que los agentes de la cadena orienten sus decisiones en la búsqueda de nuevas alternativas productivas y de ahorro energético, se recomienda mejorar el grado de información disponible.

Para ello se proponen dos líneas de acción, la primera orientada a la prospección de nuevas alternativas productivas en la dirección de adoptar sistemas tecnológicos en el marco de una "producción pecuaria limpia y eficiente". En este caso será necesario desarrollar los estudios técnicos de las alternativas productivas y energéticas más adecuadas a las condiciones agroecológicas del país. La segunda línea de acción se circunscribe al ámbito de la difusión e implementación de alternativas energéticas y sistemas productivos pecuarios, económica y ambientalmente eficientes. Con esta finalidad, se propone el desarrollo de programas de formación y capacitación a recursos humanos; el incentivo a la inversión, mediante la creación y/o adaptación de instrumentos de fomento; el diseño e implementación de programas de difusión y transferencia de tecnologías, y el desarrollo de planteles pilotos siguiendo parámetros internacionales.

1.2.7. Potencialidades y Limitaciones del Desarrollo Productivo

Al inicio de este capítulo se realizó una descripción cuantitativa de la superficie de la comuna de Cauquenes, en la cual figuran según INE (2007) 128.020,3 ha de superficie con tierra, la que constituye la base para realizar este análisis.

CUADRO 1.2.7-1
SUPERFICIE CON TIERRA SEGUN USO DE SUELO
COMUNA DE CAUQUENES AÑO 2007

Superficie agropecuaria según uso del suelo	Sup (ha)
Total Explotaciones Agropecuarias	128.020,3
Total suelos de cultivo	9.540,2
Cultivos anuales y permanentes	7.490,3
Forrajeras permanentes y de rotación	209,9
En barbecho y descanso	1.840,0
Total otros suelos	118.480,1
Praderas mejoradas	2.447,9
Praderas naturales	88.844,8
Plantaciones forestales	18.999,8

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Bosque nativo	2.530,7
Matorrales	4.514,5
Infraestructura	868,1
Terrenos estériles	274,3

Fuente: INE, 2007

La superficie con praderas naturales y mejoradas según esta fuente, equivale a un 71,3% del total de suelos de uso agropecuario, lo que habla de un probable potencial, desde el punto de vista de la superficie, de incorporar suelos a sistemas de cultivo de mayor rentabilidad bajo el supuesto de construir obras de riego que permitan reconvertir este tipo de agricultura. En etapas posteriores se analizarán con mayor profundidad las características de los suelos de la zona para determinar potencial agrícola, en paralelo al análisis de la zona desde el punto de vista agroclimático.

En etapas posteriores de este estudio se realizarán análisis descriptivos detallados del suelo y agroclima asociando estas características al potencial agrícola de la zona, pero a modo de acercamiento se puede tomar como referencia importante el área de riego alimentada por el Embalse Tutuvén, obra que se encuentra en la comuna de Cauquenes y que producto de su funcionamiento desde la década del 50 ha proporcionado riego a una importante superficie en la comuna con el consiguiente desarrollo en la agricultura de la zona. El área regada por este embalse es un claro referente de lo que potencialmente podría lograr el embalse del río Huedque en su área de influencia y el desarrollo de su agricultura. Así se cita el estudio “Actualización Estudio de Diseño de Obras de Riego Sistema Embalse Tutuvén VII Región”, realizado por Arrau Ingeniería en 2005 para la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH)., el que tuvo como resultado de los trabajos de recolección de información de terreno (en relación a las áreas regadas por el embalse Tutuvén) que de un total de 6.875 ha totales del área de estudio 1.705 ha son las que regadas (riego permanente y eventual) y 5.163 ha son de secano que constituye el 75% del área estudiada.

Si al total regado en la comuna de Cauquenes 2.807,9 ha se le resta el área regada por el Tutuvén queda una diferencia de 1.102,9 ha regadas en el resto de la comuna, cifra que reafirma el supuesto que el área de influencia del presente estudio cercana a las 5.000 ha corresponde mayoritariamente a zonas de secano y cuyo potencial se debe afinar en base a los estudios agrológico y agroclimático.

Considerando además que, según la información agrológica y agroclimática disponible, un 45% de los suelos presentan limitaciones moderadas y leves (capacidad de uso de III y II), y que las características agroclimáticas de la zona son en general apropiadas para la agricultura, queda de manifiesto un evidente potencial de desarrollo para diversas especies frutales y hortícolas bajo un escenario de riego.

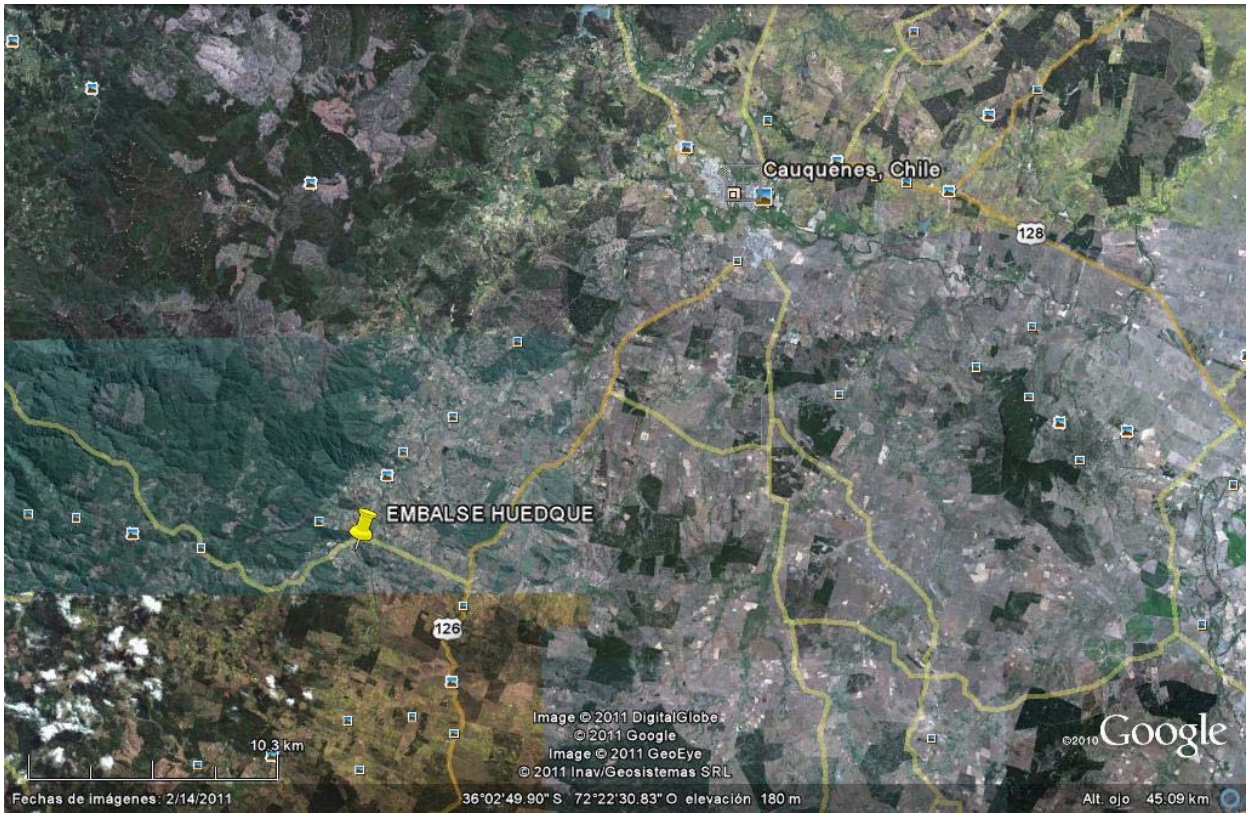
2. ANÁLISIS CONCEPTUAL

2.1. ANÁLISIS DEL PROBLEMA

La zona de estudio, que corresponde al valle del río Huedque y parte del río Cauquenes, tiene un área regable potencial estimada del orden de las 4.800 ha, actualmente en su mayoría de secano, sin infraestructura de regulación y de distribución del agua de riego.

En la Figura 2.1-1 se ilustra la ubicación general del embalse (alternativa identificada en estudios anteriores), en tanto que en la Figura 2.1-2 se ilustra la ubicación de dicha alternativa con más detalle del entorno.

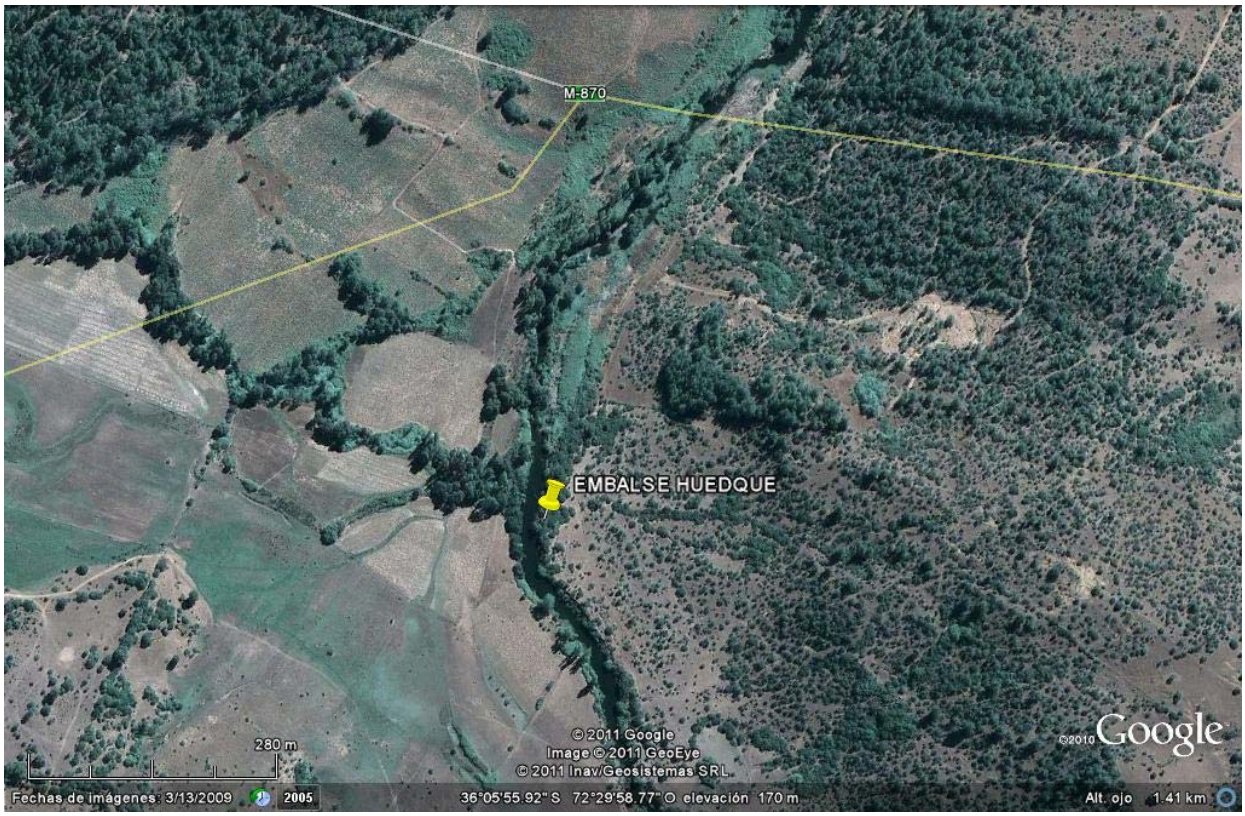
FIGURA 2.1-1
UBICACIÓN GENERAL DEL EMBALSE HUEDQUE



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 2.1-2
UBICACIÓN ESPECÍFICA DEL EMBALSE HUEDQUE

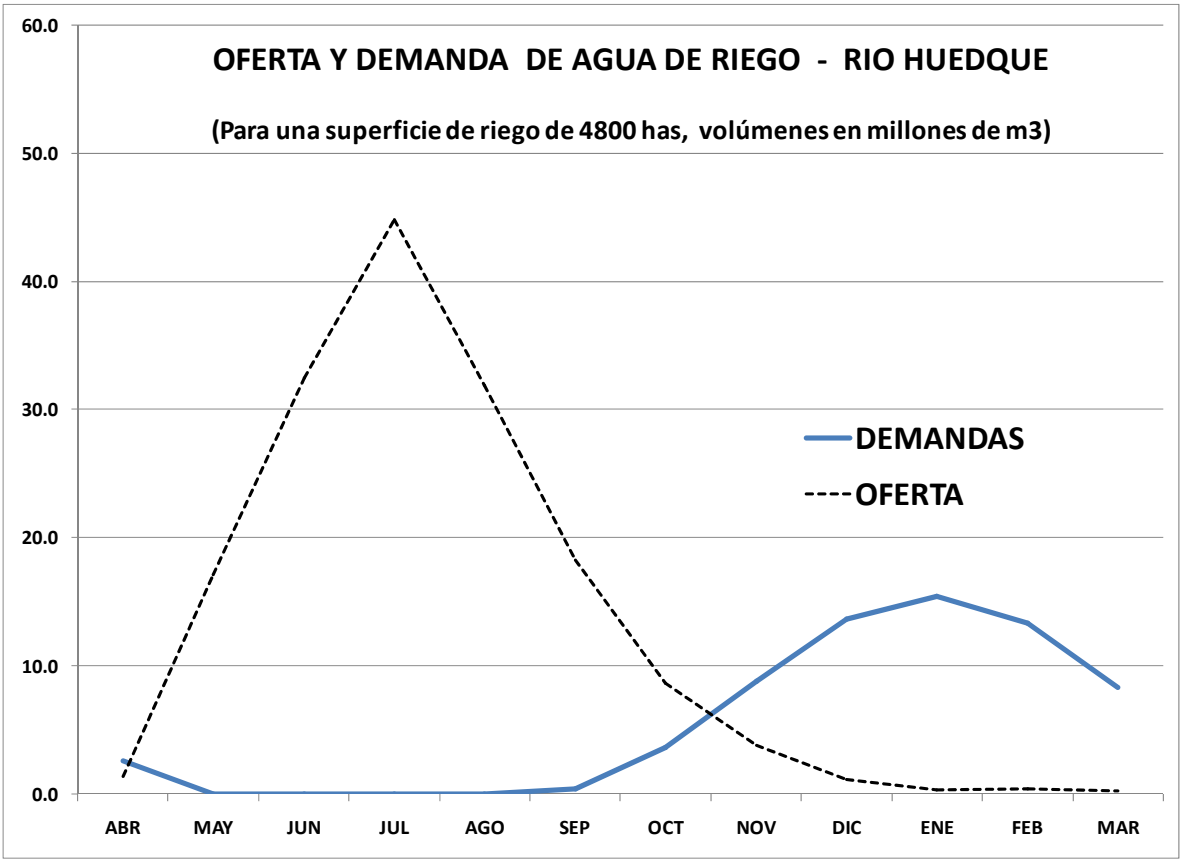


Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.

El primer problema a abordar, se refiere a la distribución de la oferta y demanda de agua actual de la zona de estudio, que corresponde a una cuenca de tipo pluvial. En la Figura 2.1-3 se puede observar que la oferta de agua, representada por los volúmenes promedio mensuales afluentes al río Huedque, está concentrada en un 90%, en los meses de mayo a septiembre Por su parte, la demanda de agua de riego, representada por la demanda promedio de una superficie de 4800 ha, tiene un 95 % concentrado en los meses de octubre a marzo. Esto demuestra que existen recursos de agua para satisfacer las demandas de una superficie estimada de 4800 ha, pero que se requiere de una obra de regulación para que estén disponibles en la oportunidad requerida por los cultivos.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 2.1-3
OFERTA Y DEMANDAS DE AGUA, RÍO HUEDQUE.



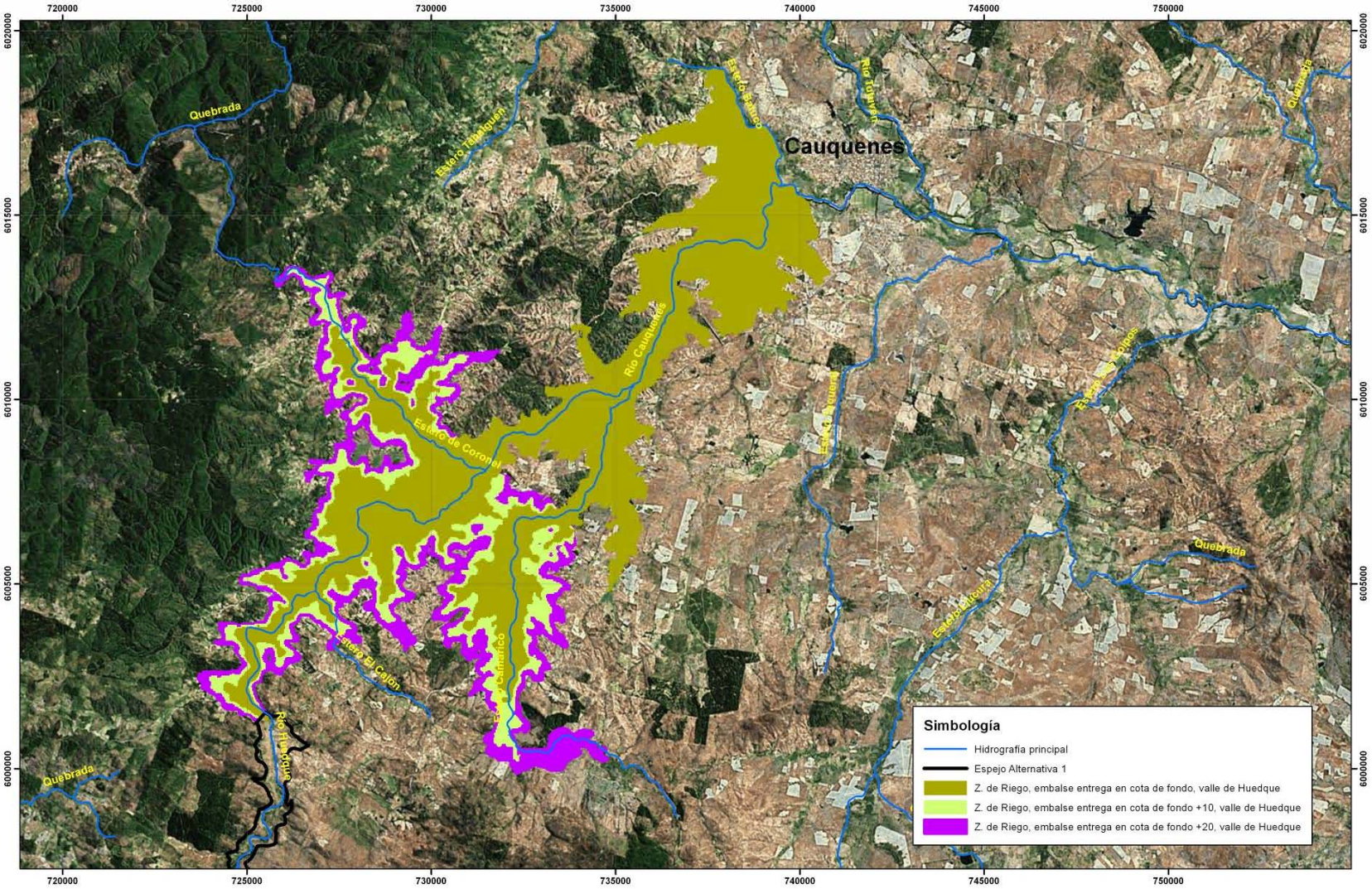
Fuente: Elaboración propia.

El segundo problema se refiere a que el área potencialmente regable, de 4800 ha aproximadas, tiene un potencial de producción dada las condiciones de clima y de suelo disponibles, pero depende de la disponibilidad del agua para desarrollarse. En efecto, en el valle vecino de Tutuvén, regado actualmente por el embalse del mismo nombre, se ha verificado que es posible logar un desarrollo de agricultura de riego, apoyada con embalse de regulación. En el escenario con embalse de regulación, el problema específico es plantear un proyecto de desarrollo agrícola futuro del valle del río Huedque, acorde a sus características, potencialidades y limitaciones. Para iniciar el análisis de la zona de riego beneficiada por el proyecto, se ha elaborado una cartografía a partir de fotos satelitales, en la cual se ha representado la ubicación de la zona que sería beneficiada por el proyecto, En la Figura 2.1-4 se ilustra las áreas potenciales de riego del proyecto Huedque, que corresponden a la cota de entrega del embalse que se proyecta hacia aguas abajo y deja bajo cota de canal a un área que es del orden de las 5.000 ha. Se observa en dicha figura que el área potencial bajo canal llegaría hasta la ciudad de Cauquenes, sin sobreponerse con el área regada por el embalse Tutuvén. Se destaca también en dicha figura un área potencial alternativa, que se podría lograr si se entrega el agua del embalse, a una cota 10 o 20 m mayor a la cota del río

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 2.1-4

DEFINICIÓN PRELIMINAR DE LAS ÁREAS POTENCIALES DE RIEGO BAJO EMBALSE



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

En la Figura 2.1-5 se ilustra el polígono que se plantea para realizar la restitución a escala 1.5000 del área de inundación de las alternativas de embalse, con una superficie de 1400 ha. (Polígono color verde). En la misma Figura 2.1-5, se destaca el área para realizar la restitución a escala 1.10000 de la superficie bajo cota de canal o potencialmente regable, de 7800 ha.

FIGURA 2.1-5
ÁREAS A RESTITUIR A ESCALA 1.5000 (1400 HA, POLÍGONO VERDE) Y A ESCALA 1:10000 DEL ÁREA REGABLE (7800 HA, POLÍGONO COLOR ROJO)



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.

El tercer problema, tiene relación con la no existencia de infraestructura de canales matrices y derivados para la distribución del agua regulada en la zona a regar, lo cual significa que esto debe ser considerado como parte del proyecto.

El cuarto problema tiene relación con el factor humano de la zona, que tiene principalmente conocimiento de la agricultura de secano y no necesariamente de riego. Esto hace necesario que el proyecto considere una serie de medidas para lograr las capacidades

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

requeridas en las diferentes actividades de la agricultura productiva de riego, tales como: capacitación, transferencia tecnológica, apoyo en la regularización de los derechos de agua y en la formación de organizaciones de usuarios, etc.

El quinto problema tiene que ver con los impactos ambientales negativos que puede producir el proyecto, ya sea durante la etapa de construcción o de operación. Los principales problemas de impactos ambientales que se visualizan, que son habituales que se presenten en proyectos de embalses, tiene relación con las interferencias del proyecto en caminos e infraestructura en general actual, las expropiaciones, efectos en el paisaje, en la flora y fauna local, entre otros. Estos posibles impactos ambientales serán identificados y analizados durante el estudio, de modo de definir posibles medidas de mitigación que procedan o consideraciones en los diseños.

El sexto problema de este proyecto tiene relación con temas de tipo legal y administrativo necesarios de definir. Por una parte, se debe definir las superficies a expropiar para las obras del embalse y canales, zona de inundación, empréstitos y accesos. Por otra parte, se debe definir cuáles derechos de aprovechamiento de agua serán regulados, su magnitud, dueño actual y otras características.

Un séptimo problema, inherente a todos los proyectos de desarrollo social, corresponde al apoyo y aceptación del proyecto por parte de los potenciales beneficiados con la operación de las obras y la estrategia para evitar conflictos durante la construcción y operación del proyecto. Esto se lleva a cabo a través de un proceso de Participación Ciudadana, que forma parte del presente estudio.

Finalmente, el proyecto debe considerar que se pueden producir otros beneficios y externalidades positivas, tales como la generación hidroeléctrica con una mini central a pie de embalse, la generación de actividades turísticas y recreativas, el aumento del nivel de empleo en la zona, el mejoramiento del paisaje, entre otras, todas las cuales requieren de un diseño y evaluación durante el presente estudio.

2.2. SITIOS DE EMBALSE

2.2.1. Sitios Potenciales y Limitaciones

Sobre la base de la revisión de los antecedentes disponibles y de una visita técnica a la zona de estudio, se determinó proponer tres alternativas de ubicación del embalse sobre el río Huedque que se describen a continuación.

Estas alternativas se definieron considerando los estrechamientos existentes en el río Huedque, en los cuales podría ser analizarse la construcción de un muro de embalse, de hasta 50 m de altura.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

2.2.1.1. Alternativa Nº1

La alternativa denominada como Nº 1, de más aguas arriba, corresponde a la ubicación identificada en los estudios anteriores. En la Figura 2.2.1.1-1 se ilustra una fotografía general de su emplazamiento, sobre la cual se ha estimado la geometría del posible muro de embalse. Por su parte, en la Figura 2.2.1.1-2 se ilustra el estribo derecho del eje del muro.

La ubicación del eje del muro corresponde a las coordenadas siguientes en el Cuadro 2.2.1.1-1

CUADRO 2.2.1.1-1
COORDENADAS ALTERNATIVA Nº1 EMBALSE HUEDQUE (UTM WSG84)

Dirección	Coordenada
Norte	7928800
Este	464730

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 2.2.1-1
VISTA GENERAL ALTERNATIVA N°1 DE EMBALSE HUEDQUE



Fuente: Elaboración propia.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 2.2.1.1-2
VISTA DE ESTRIBO DERECHO, ALTERNATIVA N°1 DE EMBALSE HUEDQUE



Fuente: Elaboración propia.

La zona de inundación corresponde a un sector de pocos cultivos, no poblada y perteneciente a un solo dueño. Se observa presencia de matorrales y arboles, zona abierta y despejada.

Se trataría de un embalse de tipo frontal al río. En la zona de inundación se observa lomas medianas, no se aprecia roca firme, solo algunas zonas roca meteorizada, suelo plano con pendientes suaves, principalmente de arrastre fluvial y sedimentos orgánicos.

Se observa la existencia de caminos de tierra en buen estado hasta el eje del muro.

En cuanto a las interferencias, se observa la existencia de un camino privado entre el camino público y el lugar del embalse y caminos prediales.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

El tipo de muro más probable, de acuerdo con los materiales disponibles cercanos, sería de tierra homogénea, o con capas de material granular y/o enrocado de protección.

2.2.1.2. Alternativa Nº2

La alternativa Nº 2 se ubica aguas abajo de la Nº 1, a unos 500 m aguas arriba del puente sobre el río Huedque. En la Figura 2.2.1.2-1 se aprecia una vista parcial de la zona del eje de esta alternativa.

FIGURA 2.2.1.2-1
VISTA PARCIAL DE ZONA DEL EJE DE ALTERNATIVA N° 2



Fuente: Elaboración propia.

La ubicación del eje del muro corresponde a las coordenadas siguientes en el Cuadro 2.2.1.2-1.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 2.2.1.2-1
COORDENADAS ALTERNATIVA Nº2 EMBALSE HUEDQUE (UTM WSG84)

Dirección	Coordenada
Norte	7927841
Este	462974

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la zona de inundación, se observa que es una zona de pocos cultivos, no poblada, perteneciente a un solo dueño. Hay presencia de matorrales y arboles, zona abierta y despejada. Las interferencias son sólo de caminos prediales.

Al igual que la alternativa N°1, el tipo de muro más probable, de acuerdo con los materiales disponibles cercanos, sería de tierra homogénea, o con capas de material granular y/o enrocado de protección.

2.2.1.3. Alternativa Nº3

Finalmente, la alternativa Nº 3 se ubica aguas abajo del puente sobre el río Huedque.

La ubicación del eje del muro corresponde a las coordenadas siguientes en el Cuadro 2.2.1.3-1.

CUADRO 2.2.1.3-1
COORDENADAS ALTERNATIVA Nº3 EMBALSE HUEDQUE (UTM WSG84)

Dirección	Coordenada
Norte	7925041
Este	459737

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 2.2.1.3-1 se ilustra una vista parcial de la alternativa 3 de ubicación del eje del muro del embalse.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 2.2.1.3-1
VISTA DE ESTRIBO DERECHO DE ALTERNATIVA 3



Fuente: Elaboración propia.

En el eje de la alternativa 3, se observa pocos cultivos, es una zona poblada (casas particulares), perteneciente a un varios dueños. Hay presencia de matorrales y arboles, zona abierta y despejada.

Las interferencias que se observan son caminos prediales, un puente sobre el río Huedque y algunas casas.

Al igual que la alternativa N°1, el tipo de muro más probable, de acuerdo con los materiales disponibles cercanos, sería de tierra homogénea, o con capas de material granular y/o enrocado de protección.

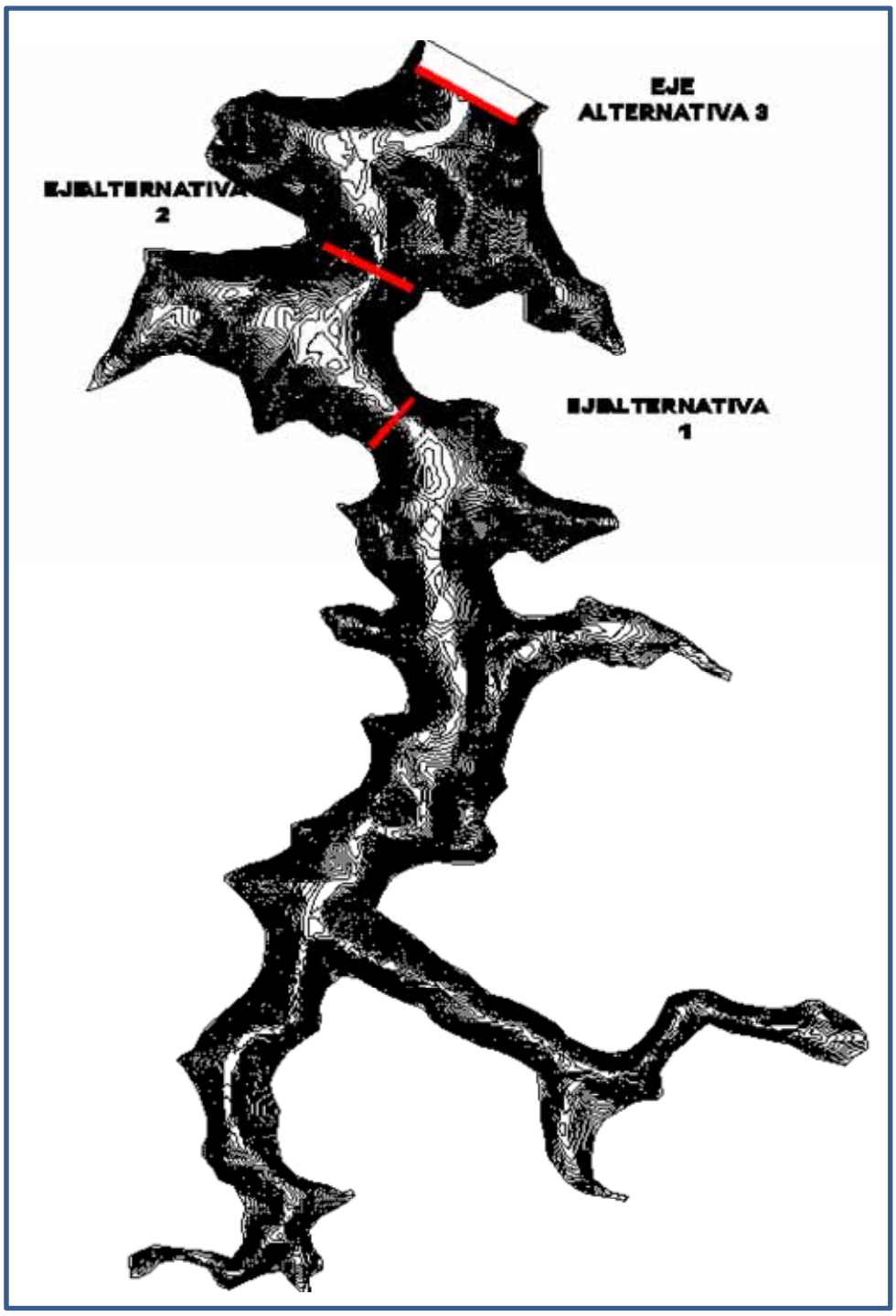
2.2.2. Capacidad Potencial del Vaso

Para determinar la capacidad de almacenamiento de cada alternativa, o capacidad potencial del vaso, se ha utilizado como base las fotografías de Google Earth del año 2009, aplicando el software Plex Earth Tools 2.5 para AutoCad, con una matriz de puntos cada 20 m en la zona de inundación.

En la Figura 2.2.2-1 se ilustra las superficies inundadas por cada alternativa de embalse, de acuerdo al proceso realizado.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 2.2.2-1
SUPERFICIES INUNDADAS POR CADA ALTERNATIVA DE EMBALSE



Fuente: Elaboración propia.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

En los Cuadros 2.2.2-1, 2.2.2-2 y 2.2.2-3 siguientes, se indica las curvas de capacidad y superficie inundada y el cálculo de la relación agua / muro de cada alternativa, para alturas de muro de hasta 60 m, para las alternativas N° 1, 2 y 3, respectivamente.

CUADRO 2.2.2-1

CURVA DE CAPACIDAD Y RELACION AGUA / MURO ALTERNATIVA N° 1

Cota Muro	Altura Muro m	Superficie m2	Volumen Acumulado m3	LARGO MURO m	Ancho Coronamiento m	Volumen Muro m3	Razon agua/muro
167	0	154,845	0	18	4		
168	1	241,381	198,113	42	4		
169	2	395,979	516,793	64	4	1,024	505
170	3	479,194	954,380	86	4	2,580	370
171	4	611,458	1,499,706	124	4	5,952	252
172	5	733,950	2,172,410	144	5	10,800	201
173	6	887,591	2,983,180	164	5	16,728	178
174	7	1,013,086	3,933,519	185	5	24,605	160
175	8	1,129,644	5,004,884	202	5	33,936	147
176	9	1,238,085	6,188,748	214	5	44,298	140
177	10	1,341,255	7,478,418	227	6	59,020	127
178	11	1,505,696	8,901,894	237	6	72,996	122
179	12	1,622,401	10,465,942	250	6	90,000	116
180	13	1,759,069	12,156,677	261	6	108,576	112
181	14	1,921,050	13,996,737	272	6	129,472	108
182	15	2,052,710	15,983,617	285	7	158,175	101
183	16	2,175,805	18,097,874	297	7	185,328	98
184	17	2,296,735	20,334,144	306	7	213,282	95
185	18	2,496,397	22,730,710	316	7	244,584	93
186	19	2,657,059	25,307,438	326	7	278,730	91
187	20	2,834,875	28,053,405	335	8	321,600	87
188	21	3,025,349	30,983,517	344	8	361,200	86
189	22	3,195,017	34,093,700	353	8	403,832	84
190	23	3,378,597	37,380,507	362	8	449,604	83
191	24	3,553,746	40,846,679	371	8	498,624	82
192	25	3,732,507	44,489,805	380	9	560,500	79
193	26	3,923,060	48,317,589	389	9	616,954	78
194	27	4,130,831	52,344,534	397	9	675,297	78
195	28	4,367,648	56,593,774	406	9	738,920	77
196	29	4,574,768	61,064,982	414	9	804,402	76
197	30	4,815,089	65,759,910	424	10	890,400	74
198	31	5,031,613	70,683,261	433	10	966,456	73
199	32	5,241,478	75,819,807	443	10	1,049,024	72
200	33	5,484,931	81,183,011	452	10	1,133,616	72
201	34	5,714,216	86,782,585	460	10	1,219,920	71
202	35	5,939,664	92,609,525	468	11	1,326,780	70
203	36	6,224,217	98,691,465	476	11	1,422,288	69
204	37	6,501,067	105,054,107	484	11	1,522,180	69
205	38	6,848,046	111,728,664	493	11	1,629,858	69

Fuente: Elaboración propia.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 2.2.2-2
CURVA DE CAPACIDAD Y RELACION AGUA / MURO ALTERNATIVA N° 2

Cota Muro	Altura Muro m	Superficie m2	Volumen Acumulado m3	LARGO MURO m	Ancho Coronamiento m	Volumen Muro m3	Razon agua/muro
165	0	244,626	0	6	4		
166	1	329,044	286,835	25	4		
167	2	401,181	651,948	78	4	1,248	522
168	3	719,481	1,212,279	106	4	3,180	381
169	4	947,159	2,045,599	130	4	6,240	328
170	5	1,096,715	3,067,536	150	5	11,250	273
171	6	1,286,538	4,259,162	171	5	17,442	244
172	7	1,460,097	5,632,480	190	5	25,270	223
173	8	1,660,414	7,192,735	206	5	34,608	208
174	9	1,828,924	8,937,404	224	5	46,368	193
175	10	1,985,974	10,844,853	241	6	62,660	173
176	11	2,133,034	12,904,357	259	6	79,772	162
177	12	2,274,017	15,107,883	274	6	98,640	153
178	13	2,476,078	17,482,930	291	6	121,056	144
179	14	2,656,691	20,049,315	311	6	148,036	135
180	15	2,847,836	22,801,578	329	7	182,595	125
181	16	3,062,420	25,756,706	355	7	221,520	116
182	17	3,246,142	28,910,987	395	7	275,315	105
183	18	3,418,413	32,243,265	428	7	331,272	97
184	19	3,578,652	35,741,797	456	7	389,880	92
185	20	3,816,377	39,439,312	477	8	457,920	86
186	21	4,014,491	43,354,746	498	8	522,900	83
187	22	4,229,358	47,476,670	519	8	593,736	80
188	23	4,456,937	51,819,818	534	8	663,228	78
189	24	4,662,917	56,379,745	552	8	741,888	76
190	25	4,882,237	61,152,322	570	9	840,750	73
191	26	5,092,319	66,139,600	583	9	924,638	72
192	27	5,305,161	71,338,340	598	9	1,017,198	70
193	28	5,530,025	76,755,933	614	9	1,117,480	69
194	29	5,774,695	82,408,293	629	9	1,222,147	67
195	30	6,052,505	88,321,893	644	10	1,352,400	65
196	31	6,320,930	94,508,610	657	10	1,466,424	64
197	32	6,623,151	100,980,651	673	10	1,593,664	63
198	33	6,896,151	107,740,302	687	10	1,722,996	63
199	34	7,159,840	114,768,297	702	10	1,861,704	62
200	35	7,454,176	122,075,305	715	11	2,027,025	60
201	36	7,732,534	129,668,660	728	11	2,175,264	60
202	37	8,004,409	137,537,132	741	11	2,330,445	59
203	38	8,333,289	145,705,981	752	11	2,486,112	59
204	39	8,653,325	154,199,288	766	11	2,658,786	58
205	40	9,042,674	163,047,287	777	12	2,859,360	57

Fuente: Elaboración propia.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 2.2.2-3
CURVA DE CAPACIDAD Y RELACION AGUA / MURO ALTERNATIVA N° 3

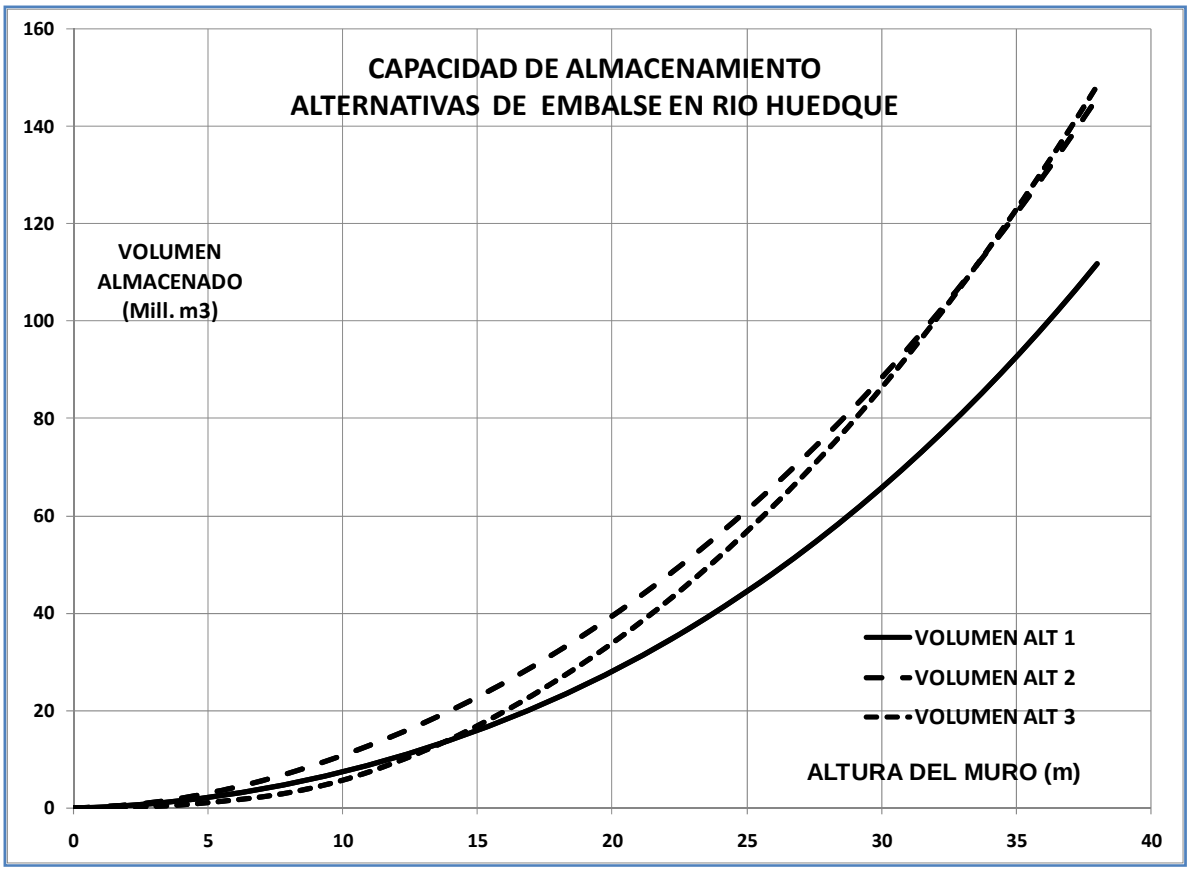
Cota Muro	Altura Muro m	Superficie m2	Volumen Acumulado m3	LARGO MURO m	Ancho Coronamiento m	Volumen Muro m3	Razon agua/muro
158	0	3,929	0	72	4		
159	1	102,262	53,096	152	4		
160	2	155,616	182,035	196	4	3,136	58
161	3	200,011	359,848	233	4	6,990	51
162	4	416,832	668,270	260	4	12,480	54
163	5	514,095	1,133,733	289	5	21,675	52
164	6	588,203	1,684,882	317	5	32,334	52
165	7	665,313	2,311,640	340	5	45,220	51
166	8	1,078,419	3,183,506	363	5	60,984	52
167	9	1,221,406	4,333,419	380	5	78,660	55
168	10	1,605,326	5,746,785	397	6	103,220	56
169	11	1,895,138	7,497,017	416	6	128,128	59
170	12	2,105,379	9,497,275	428	6	154,080	62
171	13	2,354,552	11,727,241	445	6	185,120	63
172	14	2,588,133	14,198,583	458	6	218,008	65
173	15	2,849,123	16,917,211	473	7	262,515	64
174	16	3,076,930	19,880,238	488	7	304,512	65
175	17	3,292,725	23,065,065	505	7	351,985	66
176	18	3,500,347	26,461,601	520	7	402,480	66
177	19	3,701,233	30,062,391	533	7	455,715	66
178	20	3,962,211	33,894,113	550	8	528,000	64
179	21	4,201,886	37,976,162	562	8	590,100	64
180	22	4,453,214	42,303,712	577	8	660,088	64
181	23	4,728,723	46,894,680	589	8	731,538	64
182	24	4,974,876	51,746,480	603	8	810,432	64
183	25	5,212,591	56,840,213	616	9	908,600	63
184	26	5,438,761	62,165,889	630	9	999,180	62
185	27	5,742,502	67,756,521	646	9	1,098,846	62
186	28	6,010,211	73,632,877	659	9	1,199,380	61
187	29	6,384,661	79,830,313	672	9	1,305,696	61
188	30	6,664,860	86,355,074	685	10	1,438,500	60
189	31	6,925,506	93,150,257	698	10	1,557,936	60
190	32	7,198,787	100,212,403	712	10	1,686,016	59
191	33	7,460,607	107,542,100	728	10	1,825,824	59
192	34	7,723,108	115,133,958	742	10	1,967,784	59
193	35	7,998,338	122,994,681	756	11	2,143,260	57
194	36	8,293,427	131,140,563	769	11	2,297,772	57
195	37	8,622,357	139,598,455	782	11	2,459,390	57
196	38	8,937,727	148,378,497	796	11	2,631,576	56
197	39	9,327,241	157,510,981	807	11	2,801,097	56
198	40	9,654,216	167,001,710	818	12	3,010,240	55
199	41	9,971,474	176,814,555	832	12	3,206,528	55
200	42	10,320,472	186,960,528	844	12	3,403,008	55
201	43	10,655,159	197,448,343	856	12	3,607,184	55
202	44	10,983,782	208,267,814	867	12	3,814,800	55
203	45	11,368,231	219,443,820	878	13	4,069,530	54
204	46	11,742,297	230,999,084	890	13	4,298,700	54
205	47	12,184,573	242,962,519	900	13	4,526,100	54

Fuente: Elaboración propia.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

En la Figura 2.2.2-2 se ilustra las capacidades de almacenamiento de las tres alternativas, en función de la altura de agua.

FIGURA 2.2.2-2
CAPACIDADES DE LAS ALTERNATIVAS, EN FUNCIÓN DE LA ALTURA DE AGUA.



Fuente: Elaboración propia.

2.2.3. Disponibilidad de Materiales

De acuerdo con los antecedentes analizados y según se ha observado en terreno, los materiales para la construcción de una presa de rellenos son escasos en el lugar. Los materiales permeables existen en cantidades limitadas en el lecho del río, mientras que los impermeables podrían traerse de unos 5 Km de distancia.

Tomando en cuenta la escasez de materiales permeables y la distancia a la cual se encontrarían los impermeables del sitio de emplazamiento del muro, en los estudios anteriores se adoptó para este lugar un diseño de presa con un núcleo ancho centrado y espaldones de materiales fluviales de poco espesor. Al respecto, se estima que el muro de la presa de embalse podría ser de tierra homogéneo o bien zonificado.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

1. INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVOS

El propósito de esta Parte del Informe Final es presentar la evaluación técnico-económica-ambiental simplificada de los sitios de embalse identificados, con el fin de determinar el emplazamiento más adecuado para las obras de regulación.

Esta evaluación se ha realizado sobre la base de la restitución escala 1.5.000 de la zona de inundación, 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 ha considerado la información disponible, los análisis y visitas técnicas de diversos especialistas tales como geólogo, mecánico de suelos, biólogos, arqueólogo, agrónomos, entre otros.

1.2. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE UBICACIÓN DEL EMBALSE

En el esquema que se indica en la Figura 1.2-1 se resume la metodología aplicada para la evaluación de alternativas de ubicación del embalse.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 1.2-1
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:

a) 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 ha con seguridad de 85%.

b) 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.

c) 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.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Para obtener los resultados indicados, se realizó los siguientes trabajos de terreno, para obtener la cartografía base adecuada, los cuales se detallan en Parte C Capítulo 2 de este Estudio:

- 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

Se realizó un reconocimiento y evaluación de emplazamientos para la presa, que se detalla en Parte C Capítulo 3. 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.

En la Parte C Capítulo 4, se detalla 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, lo cual se detalla en Parte C Capítulo 5. 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.

En Parte C Capítulo 6 se entrega los resultados de los trabajos específicos de análisis de flora y fauna terrestre, flora y fauna acuática, arqueología y calidad de aguas. Tambien se entrega el análisis ambiental de las alternativas, con mayor énfasis en los aspectos que se diferencian en cada alternativa, como las expropiaciones e interferencias.

Finalmente, en el Parte C Capítulo 7 se presenta el resultado de la evaluación de cada alternativa de sitio de embalse y la proposición de la más conveniente.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

2. RECONOCIMIENTO Y EVALUACIÓN DE EMPLAZAMIENTOS PARA LA PRESA

2.1. ANÁLISIS DE ASPECTOS GEOLÓGICOS

2.1.1. Introducción

El presente documento entrega los resultados de un estudio geológico de los terrenos comprometidos en un “Estudio de Prefactibilidad de Construcción Embalse de Riego Huedque”, (*en adelante;* PERH), ubicado en la comuna de Cauquenes, Región del Maule, En lo específico, el estudio se concentra en los terrenos que participan de tres sitios alternativos, para emplazamientos de sendos muros, seleccionados durante la realización de estudios previos, (***Dirección de Riego. Ministerio de Obras Públicas***, 1978). Preliminarmente, el Proyecto consideró un muro de tierra, con una atura media de 35 a 40 m de alto y 190 a 200 m de largo, suficiente para almacenar aproximadamente 40 a 45 millones de m^3,

Las actividades involucradas en el reconocimiento directo del terreno se efectuaron entre los días 28 y 29 de enero del año 2012, El acceso a cada uno de los sectores objeto de reconocimientos, se efectuó mediante un camino de tierra, M – 76 N, que une las ciudades de Cauquenes Quirihue.

El presente estudio cubre una superficie de aproximadamente 2,6 kms^2, comprometiendo una elongada franja E – O de terrenos que participan de la sección basal de un segmento de aproximadamente 3,3 km de largo del valle del río Huedque.

En las actuales condiciones, la mayor parte de las actividades económicas en torno al valle del río Huedque, giran en torno a trabajos agrícolas y ganaderos, en estrecha relación con el aprovechamiento del recurso hídrico. Mas, la variabilidad y escasez, estacional e interanual, han sido los elementos más influyentes en la limitación del desarrollo socio – económico del sector agrario en el valle. De acuerdo a ello, ha surgido la necesidad de realizar estudios destinados a determinar la posibilidad de generar un mejoramiento integral del regadío del valle, a nivel predial, de acuerdo a soluciones de óptimo aprovechamiento del recurso hídrico, sustentadas en la eventual materialización de efectivas estructuras de almacenamiento, embalses, destinados a acumular los volúmenes excedentarios de aguas en los períodos de abundancia, (mayo a agosto) para ser utilizados con los meses de mayor escasez, (diciembre a marzo) a través de efectivas redes de distribución (canales). Atendidas las consideraciones que anteceden, hacia el año 1978, un estudio previo realizado por la Dirección de Riego del Ministerio de Obras Públicas, identificó tres sitios alternativos para el emplazamiento preliminar de sendos muros de embalses de riesgo; las obras se disponen a lo largo de un segmento de aproximadamente, 3,3 km de largo del valle del río Huedque; identificados como “Alternativas “1”, “2” y “3”, *(en adelante:* “A-1”, “A-2” y “A-3”, respectivamente), corresponden a emplazamientos ubicados en los sectores conocidos como: El Pinar; Infiernillo – Cancha de Huevos y El Caro – El Roble, respectivamente.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

De acuerdo a las consideraciones que anteceden, el presente estudio tiene los alcances correspondientes a un reconocimiento geológico general de superficie para un proyecto de prefactibilidad de riego, con un aceptable grado de definición y efectiva disponibilidad de apoyo topográfico de referencia, con énfasis en las características y costos de las estructuras de almacenamiento (muros) y correspondientes obras de distribución (canales).

Consecuentemente, su objetivo fundamental se centró en la necesidad precisar las condiciones geológicas de los terrenos comprometidos por el Proyecto, hasta lograr, de modo confiable, la información básica requerida para una posterior evaluación a nivel de prefactibilidad y para la elección de las eventuales alternativas más recomendables finales, de cada uno de los sitios seleccionados para el emplazamiento final del muro del embalse de riesgo y las respectivas obras anexas e instalaciones, que se planteen en el Proyecto.

El estudio supone detectar o establecer los principales problemas de tipo geológicos que pueden presentarse en las soluciones recomendadas y lo mismo en relación con aquellas objetadas o no recomendadas, con indicación, además, de programas de futuras actividades de exploración, necesarias para una posterior y última etapa de diseño optimo, propio de la decisión de ponerlo en marcha.

El presente estudio pretende cubrir entre otros los siguientes objetivos:

- Identificar, delimitar y caracterizar geológicamente todas las unidades de suelos y rocas, que participan del territorio involucrado en las obras civiles del PERH; con énfasis en los terrenos de fundación directa del muro y sus respectivos apoyos o estribos.
- Caracterizar la situación tectónica del sector, en términos de la actitud dominante (rumbo e inclinaciones de estratos), grado de fracturamiento, fallamiento y plegamientos en todo lo que resulta relevante para el diseño definitivo de las obras.
- Examinar las condiciones hidrogeológicas locales de los materiales (suelos y rocas) en cuanto a sus implicancias respecto del proyecto.
- Identificar y discutir los riesgos geológicos en situación de comprometer las obras del Proyecto, tanto durante las futuras fases constructivas, como vida operacional, referidos a: remociones en masa y actividad sísmica.
- Confeccionar perfiles geológicos básicos que permitan evaluar las condiciones de superficie y subsuperficie, en los sectores de eventuales obras principales (muros – vertederos) y sus respectivas cubetas de inundación, como también proponer eventuales futuras actividades exploratorias.
- Generar información respecto de la existencia, a distancias económicas convenientes, de materiales de empréstito y/o enrocados, para satisfacer las futuras demandas vinculadas a las obras del Proyecto.
- Proponer programas de prospecciones destinadas a la generación de parámetros básicos a ser incluidos en el diseño final de las obras civiles del PERH.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

La representación cartográfica de toda la información obtenida durante los reconocimientos directos en el terreno se presenta, para las 3 alternativas objeto de análisis, en sendos planos a escala 1:2.000, provistos de curvas de nivel a intervalos de 5 m, correspondientes a los planos **GEO-HDQ-01, GEO-HDQ-02, GEO-HDQ-03**.

2.1.2. Hidrografía

Reúne las aguas colectadas por la cuenca de drenaje en la cual están insertas los tres sitios alternativos para el emplazamiento del muro del PERH y que es de aproximadamente 2,6 km^2.

El río Huedque, tras recibir por el Norte las aguas de los esteros El Cajón (sector de El Roble, ubicado 950 a 1.000 ms aguas abajo del muro de la A-3), Camarico por el Norte y las aguas del estero Coronel, (en torno al sector de El Aromo), por el Sur, configura parte de las cabeceras de la hoya hidrográfica del río Cauquenes; entrega sus aguas al río Perquilauquén y luego al río Loncomilla, el que a su vez, en torno a la localidad de Curtiduría, vierte sus aguas a la ribera Sur del río Maule. El régimen hidrológico del río es de tipo pluvial, concentrado durante la estación invernal; de acuerdo a ello, el río posee en dicha estación, su mayor nivel de escurrimiento.

Las señaladas características hidrológicas determinan una desincronización entre las disponibilidades de agua y su demanda para riego, lo que se traduce en un mal aprovechamiento de estos recursos por no existir aún obras de regulación de importancia, que permitan regular las aguas.

El río Huedque ocupa un sinuoso cauce, habitualmente estrecho, inserto en una antigua y amplia llanura aluvial, discontinuamente enmantada por una densa cobertura de pastos, hierbas, matorrales y arbustos.

Anualmente, durante la estación invernal, el estrecho cauce suele del río suele ampliarse con ocasión de importantes crecidas, extendiendo su ancho a 20 a 30 m, cuyos márgenes corresponden a verdaderos albardones o costados bajos, representados por elongados depósitos de arenas y gravas “limpias”, sueltas y permeables.

A lo largo del segmento del valle del río Huedque objeto del presente estudio, el cauce muestra bajas pendientes de escurrimiento, en el rango de 0,1 a 0,2%; valores algo más elevados se registran tanto en torno a las cabeceras de su hoya hidrográfica como de sus mayores tributarios, con baja potencia o aptitud erosiva. De acuerdo a este carácter, el eje hidráulico del actual cauce del valle del río Huedque, habría alcanzado una condición de equilibrio, expresada en el desarrollo de cursos lentos y bastantes claros, con muy baja carga de sólidos muy finos (fracciones arcillosas) en suspensión. Alcanzado el nivel base, el río Huedque no continúa sus procesos erosivos en profundidad. Mientras tanto la erosión lateral ensancharía su sección transversal, disminuyendo la profundidad relativa y reduciendo la eficacia de las corrientes, aún en situación de crecidas.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

A lo largo de sectores puntuales del valle del río Huedque, las normales escasas pendientes de su eje hidráulico, favorecen el desarrollo de pequeñas lagunas temporales, con aguas quietas, que suelen favorece la acumulación de importantes volúmenes de sedimentos finos limosos o limo arcillosos, propicios al desarrollo de densas coberturas con especies freatófitas, (cuyos sistemas radiculares están en permanente contacto con niveles o capas de aguas subterráneas: totora, junco, sauce).

2.1.3. Geomorfología

La superficie colectora de la hoya hidrográfica del río Huedque, está integrada por un sinuoso valle principal, acompañado por una densa red secundaria de tributarios menores, que en su conjunto participan y del complejo y “maduro” sistema de drenaje de la Cordillera de Costa en la Región del Maule; de acuerdo a ello, en torno a la zona objeto del estudio domina un modelado suavemente ondulado, en el cual destacan una serie de cerrillos aislados de escasa altura (240 a 280 m.s.n.m) y base circular, concordante con zonas donde la actividad erosiva de cueros graníticos, habría alcanzado menor grado de intensidad.

De acuerdo a ello, el cauce principal del valle del río Huedque, se habría desarrollado a lo largo de una amplia llanura aluvial, lateralmente enmarcadas por laderas de escasa altura y pendiente, que en sectores, torna irreconocible su condición natural de valle; mientras tanto, el normal escaso desarrollo de los esteros y/o arroyos tributarios, provistos de escurrimientos efímeros, concentrados durante la estación invernal, les resta valor como accidentes paisajísticos; conforme a ello, en la zona predomina terrenos inclinados hacia las corrientes que, en su conjunto configuran una desgastada, serranía peneplanizada baja, con suave inclinación general, levemente aterrazada que, a nivel local se encuentra discontinuamente enmantada por remanentes de materiales granulares, inalterados, muy resistentes que, superficialmente, conforman extensos “campos de bolones” sueltos, revelando la acción de rellenamiento aluvial cuaternario, mediante mecanismos depositacionales de gran energía o torrenciales; de acuerdo a ello, las señaladas estructuras que limitan periféricamente la hoya hidrográfica involucrada en la superficie de aporte e inundación del Proyecto, se disponen a alturas medias de sólo 100 a 125 ms.n.m sobre la llanura aluvial, que alberga el actual cauce del río Huedque.

En el entorno de la zona objeto del estudio, el valle del río Huedque presenta una continua cubierta granular compuesta por ripios y gravas bastante bien redondeadas, bien lavadas y de excelente calidad geotécnica, las cuales en sectores, están mezcladas con abundantes gravillas y arenas gruesas, con dominio de fracciones cuarcíferas, feldespáticas y micas, propias de suministros de a partir de rocas graníticas fuertemente meteorizadas.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

2.1.4. Geología

2.1.4.1. Consideraciones Previas

En relación con las actividades vinculadas al breve reconocimiento directo de los terrenos comprometidos en las 3 alternativas preexistentes para el emplazamiento de los respectivos muros del PERH, objeto de análisis, las favorables condiciones de accesibilidad, presencia de algunos afloramientos, bajo desarrollo de cobertura vegetacional y consiguiente mayor campo visual, determinaron que los mayores y mejores resultados se alcanzaron en torno sitio de la A-1; las limitaciones a los sitios correspondientes a las alternativas A-2 y A-3, tuvieron relación con el compromiso de terrenos con una general densa y tupida cobertura vegetacional, en torno al actual cauce del río Huedque, integrada por bosque nativo - forestal y arbustos – matorrales corrientemente espinosos, cuya entramada e impenetrable configuración, junto con limitar al paso en sectores carentes de senderos bien conservados, reducen el campo visual; esta adversa condición, se acentúa por la ausencia de afloramientos o puntos naturales de exposición de los materiales (suelos o rocas).

2.1.4.2. Basamento Rocoso

La categorización de “*basamento rocoso*” se aplicó a agregados o masas formadas naturalmente, densas, consolidadas, coherentes y compactas de partículas minerales con fuertes uniones cohesivas permanentes, habitualmente, se consideran sistemas continuos, en términos de sus propiedades, comportamientos geotécnicos y respuestas ante la acción de fuerzas aplicadas en sus respectivos entornos. De acuerdo a ello, se trata de materiales cuya resistencia o dureza y grado de fracturamiento y/o alteración superficial, determina que sus respectivas remociones sólo pueden ser realizadas recurriendo al empleo de procedimientos de perforación y tronaduras.

Batolito Costero, Pg, sin representación cartográfica en **GEO-HDQ-01, GEO-HDQ-02, GEO-HDQ-03.**

La revisión y análisis de documentos geológicos referenciales, complementados con los resultados del reciente reconocimientos directo efectuado en torno a los terrenos de cada uno de los 3 sitios alternativos seleccionados para el emplazamiento de los muros del PERH, permitieron establecer que el basamento rocoso está representado, dominantemente, por un complejo batolítico de alcance regional y edad Paleozóico Superior a Medio (360 a 410 millones de años). Incluye materiales intrusivos de origen magmáticos que, entre las regiones Quinta y Octava, participa de la conformación de extensos segmentos de la Cordillera de La Costa.

En torno al sector objeto del estudio, la intensa meteorización superficial que afecta al basamento rocoso granítico, se expresa en la presencia de un desgastado y maduro modelado, subyacente a una continua y potente cobertura de suelos residuales, que determina que las únicas exposiciones o puntos de afloramientos directos, se concentran en algunos cortes viales y fondo de profundas cárcavas de erosión.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Incluye, mayoritariamente, granodioritas y tonalitas, junto a granitos y diorita cuarcífera, con textura granular o fanerítica, con abundantes inclusiones dioríticas dispuestas paralelamente a la foliación magmática de la roca albergante; están integradas por feldespatos, piroxenas, anfíbolas y biotitas, en los términos más básicos.

A nivel regional, las rocas que participan del basamento rocoso local, se observan intensamente meteorizadas, adquiriendo el carácter y consistencia de un verdadero suelo residual, provisto de tonalidades amarillentas o anaranjadas; en esencia, se trata de suelos que en torno al flanco occidental de la Cordillera de la Costa, entre las regiones Quinta y Octava, adquieren la denominación de “*maicillos*”; cuya alta susceptibilidad a la simple desagregación manual, (friabilidad), resulta en fracciones granulares del tipo gravillas a gravillas arenosas, con algo de arcillas cohesivas, cuya composición química está directamente relacionada con el carácter petrográfico de la roca parental (granitos y granodioritasa).

A nivel local, los perfiles de los suelos maicillosos, se presentan son macizos (carentes de estratificación) blandos y desagregables friables, muy riapbles, alcanzando espesores medios en el rango de 6,5 a 8,0 m; sistemáticamente, en la medida de la profundización, gradan al basamento rocoso intacto, inalterado, denso, muy resistente, por tanto, geomecánicamente competente, con baja a nula ripabilidad.

De acuerdo a lo señalado, los suelos residuales del tipo maicillo cubrirían, con espesores muy variables, la totalidad de los terrenos que participan de los márgenes del valle del río Huedque, comprometidos en las 3 alternativas de embalses objeto de análisis.

Intrusivos Menores, ***KTi,*** en **GEO-HDQ-01**

Sólo en un punto de la zona objeto del reciente reconocimiento directo, se detectó la presencia de un afloramiento rocoso integrado por materiales distintos de los precedentemente descritos; su ubicación correspondió al lecho o cauce del río Huedque, inmediatamente aguas arriba del puente del camino M – 76 N que une las ciudades de Cauquenes con Quirihue. En ése sector, concordante con un sitio ubicado a aproximadamente, 490 m aguas abajo del eje del muro de la A-2, y tal cual se observa en las Figuras 2.1.4.2-1, 2.1.4.2-2, 2.1.4.2-3 y 2.1.4.2-4**,** en **GEO-HDQ-02,** se registró la presencia de discontinuos afloramientos de basamento rocoso, integrado por rocas afaníticas a microporfídicas y colores oscuros, negruzcas, del tipo andesítico; al momento, los señalados materiales rocosos petrográficamente muy homogéneos, densos, frágiles, inalterados, muy resistentes, sobresalían nítidamente sobre el nivel medio de las aguas en el río Huedque; en el sector, el inconfundible incremento en la velocidad del escurrimiento de las aguas, condiciona el desarrollo de incipientes “rápidos”, concordante con un leve quiebre en el eje hidráulico del río, controlado por la elevada resistencia a la erosión o desgaste fluvial de los señalados materiales rocosos.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Desde el punto de vista genético, se asume que las rocas andesíticas participarían de una estructura del tipo “stock” u apófisis, por tanto, con escaso alcance areal o volumen y probable edad Cretácico Superior – Terciario inferior (83 a 15 millones de años) que, en el sector, intruye a las rocas del basamento rocoso granítico; el continuo desarrollo de suelos fluviales a fluvioaluviales, junto a la presencia de una densa cobertura vegetacional impidió establecer la continuidad lateral del señalado cuerpo intrusivo; condición que sólo podrá ser resuelta mediante la oportuna realización de prospecciones mediante calicatas y/o perfiles geosísmicos.

FIGURA 2.1.4.2-1
VISTA GENERAL AGUAS ARRIBA RIO HUEDQUE EN GEO-HDQ-01



Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 2.1.4.2-1 muestra la vista general, mirando hacia aguas arriba por cauce del valle del río Huedque; corresponde a sitio ubicado 150 m aguas arriba del puente sobre el camino M – 76 N. Registra con claridad, discontinuos afloramientos de basamento rocoso del tipo andesitas afaníticas a microporfídicas, con tonalidades oscuras, inalteradas, muy resistentes; se trata de materiales que, en el sector, participarían de un cuerpo de escaso alcance areal (apófisis o “stock”) de edad Cretácico Superior – Terciario Inferior, ***KTi***, que, localmente, intruiría a las rocas del basamento granítico Paleozóico, ***Pg***, en **GEO-HDQ-02.**

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 2.1.4.2-2
MAYOR DETALLE DE LA FIGURA 2.1.4.2-1. GEO-HDQ-02



Fuente: Elaboración Propia.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 2.1.4.2-3
DETALLE ROCAS INTRUSIVAS



Detalle de rocas intrusivas andesiticas, ***KTi***, densas, inalteradas muy resistentes, geomecánicamente competentes en **GEO-HDQ-02**
Fuente: Elaboración Propia.

2.1.4.3. Suelos o Depósitos no Consolidados

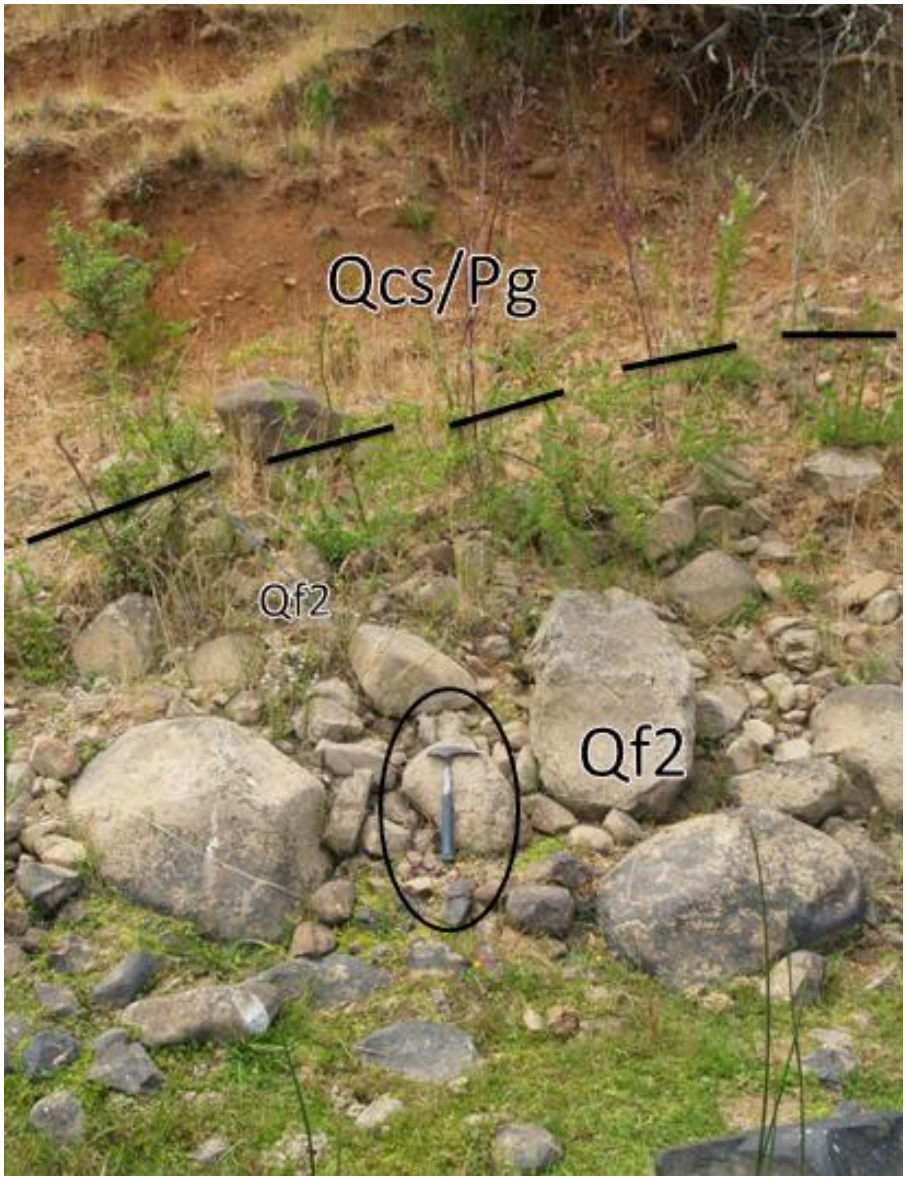
En esta categorización se incluyen todos los materiales granulares, sueltos, generados por mecanismos de erosión, transporte y depositación cuaternaria, (últimos 1.8 a 2.0 millones de años antes del presente) provenientes de macizos graníticos que participarían de las cabeceras de la hoya hidrográfica del río Huedque.

Depósitos fluviales afluvioaluviales del actual cauce del valle del río Huedque, *Qca*, en **GEO-HDQ-01, GEO-HDQ-02, GEO-HDQ-03.**

El actual relleno del cauce del río Huedque está tipificado por agregados sedimentarios sueltos, del tipo ripios, gravas, gravillas y arenas gruesas, con muy escasos finos cohesivos, francamente arcillosos.

Esencialmente, se trata de materiales bastante “bien lavados” y limpios”; gran parte de las fracciones granulares, bien redondeadas y desgastadas, correspondientes, dominantemente, a rocas graníticas (granitos, tonalitas y granodioritas), Figura 2.1.4.3-1 y Figura 2.1.4.3-2, en **GEO-HDQ-01**, son densas, inalteradas, muy resistentes; esta condición respondería a prolongadas trayectorias de transporte, activadas por recurrentes flujos torrenciales, holocénicos recientes (últimos 10 a 12 mil años antes del presente).

FIGURA 2.1.4.3-1
DETALLE DEPOSITOS FLUVIALES

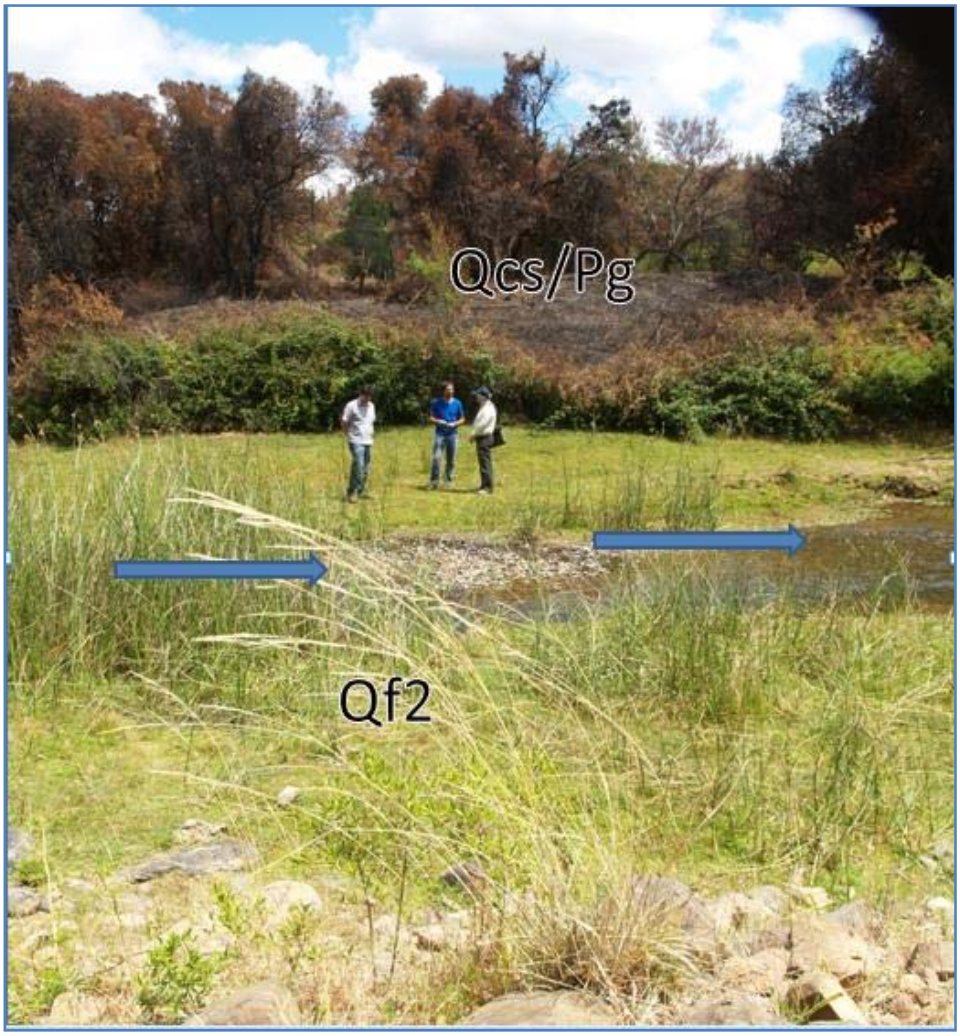


Fuente: Elaboración Propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

En la Figura 2.1.4.3-1 se aprecia el Detalle de depósitos fluviales a fluvio aluviales, ***Qfa***, en **GEO-HDQ-01**, que participarían del sitio de apoyo o estribo derecho del muro de la Alternativa 1, A-1, PERH, participan relleno del actual cauce del río Huedque. En el sector, los señalados depósitos sobreyacen a una secuencia de potente secuencia maciza de suelos residuales transportados, ***Qcs/Pg,*** “maicillos”. Los elementos clásticos subangulosos, incluyen rocas andesíticas, afaníticas a microporfidicas, inalteradas, muy duras, producto de erosión y transporte a partir de cuerpos intrusivos.

FIGURA 2.1.4.3-2
DETALLE DE SECCIÓN SUPERIOR DE LA SECUENCIA GRANULAR MACIZA



Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 2.1.4.3-2 se aprecia un mayor detalle de sección superior de la secuencia granular maciza, de tipo fluvial a fluvioaluvial, correspondiente al remanente mal conservado de una terraza marginal “antigua”, ***Qfa***, en **GEO-HDQ-01,** que participa del apoyo derecho del muro de la Alternativa 1, A -1, del PERH. Se trata de una secuencia de gravas y

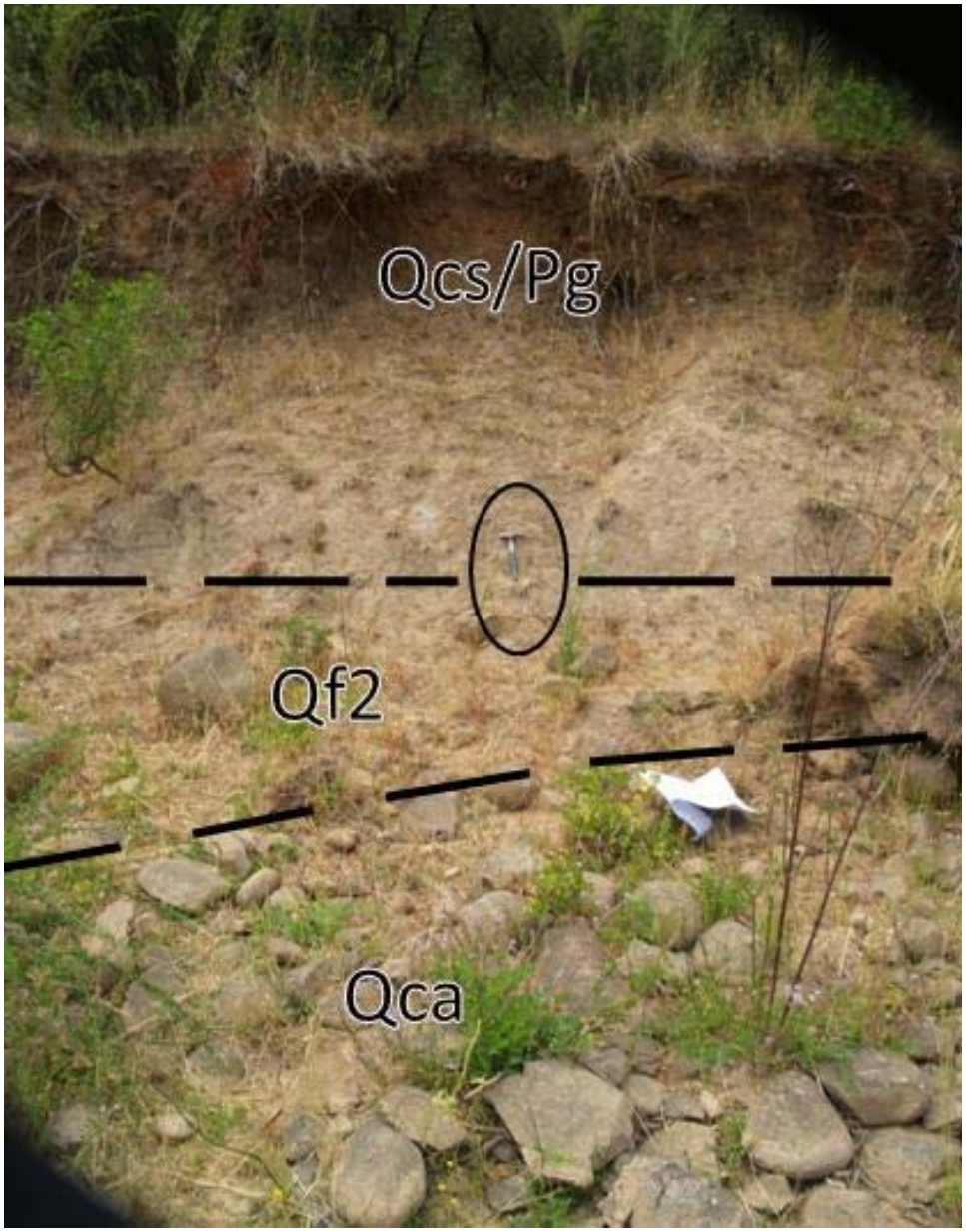
gravas arenosas, con tonalidades grises a gris claro, que en su conjunto demuestran un avanzado grado de meteorización, arcillización; de acuerdo ello, los elementos clásticos, subredondeados a subangulosos, con predominio de andesitas granodioritas son bastante desagregables, blandos; la matríz incluye materiales limosos o limo arcillosos, situación que le otorgaría al conjunto una moderada a baja permeabilidad. En extremo superior de registra remanente de terraza marginal integrada por depósitos de la unidad Qcs/Pg. Escala: martillo de 33 cm de largo.

Depósitos fluviales a fluvioaluviales de la llanura de inundación o terraza marginal baja o “nueva” del valle del río Huedque, *Qfa*, en **GEO-HDQ-01, GEO-HDQ-02, GEO-HDQ-03.**

Los sedimentos no consolidados que, mayoritariamente, participan del relleno de fondo del valle del río Huedque y que por tanto, configuran discontinuos remanentes mal conservados de terrazas marginales bajas de edad holocena, incluyen secuencias macizas a pobremente estratificadas de materiales granulares de tipo fluvial a fluvioaluvial a fluvioaluvial; corresponden a gravas, gravas arenosas y gravillas con escasos finos intersticiales, acompañadas por ocasionales bloques angulares, producto de flujos torrenciales; se estima que en sectores focalizados los perfiles sedimentarios, podrían incorporar algunos niveles o bancos lenticulares de limos y/o limos arcillosos, genéticamente atribuidos a episodios depositacionales seudolagunares, temporales, Figura 2.1.4.3-3, en **GEO-HDQ-02.**

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 2.1.4.3-3
DETALLE DE MATERIALES QUE PARTICIPAN DE LA SECCIÓN BASAL O APOYO DERECHO DE LA ALTERNATIVA 1, A-1



Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 2.1.4.3-3 se ve el detalle de materiales que participan de la sección basal o apoyo derecho de la alternativa 1, A-1; ***Qca***: depósitos del actual cauce del río Huedque; ***Qfa:*** depósitos granulares de la llanura de inundación del valle y ***Qcs/Pg,*** depósitos de la unidad Complejo Sedimentario, **GEO-HDQ-01.**

En su conjunto, se trataría de depósitos claramente asociados a la acción de antecesores geológicamente recientes y no muy diferentes del actual cauce del río Huedque.

Normalmente, materiales se presentan bastante sueltos y muy permeables, mientras que en los primeros 4,5 a 6,0 m de profundidad, presentarían altas permeabilidades y netas propiedades acuíferas.

A mayor hondura podrían incluir acumulaciones aluviales con probable mayor contenido de clastos rocosos angulosos a subangulosos, inalterados, muy resistentes, bastante bien trabados, con moderada a baja permeabilidad relativa, que en zonas podrían incorporar intercalaciones lenticulares arenosas, Figura 2.1.4.3-3, en **GEO-HDQ-01.**

Las secuencias sedimentarias precedentemente descritas, de acuerdo a espesores desconocidos, se apoyarían directamente sobre basamento rocoso granítico.

Complejo sedimentario de depósitos fluviales a fluvioaluviales - depósitos coluviales, escombreras de laderas de falda y suelos residuales del valle del río Huedque, *Qcs*, en GEO-HDQ-01, GEO-HDQ-02, GEO-HDQ-03.

Los recientes reconocimientos directos de los terrenos comprometidos en ambas márgenes o apoyos de los muros de las 3 alternativas objeto de análisis y sus respectivos entornos , permitieron establecer que los márgenes del valle del río Huedque, están integrados por una compleja secuencia maciza (carente de estratificación) de espesor desconocido, integrado en su sección basal por :

a) Depósitos fluviales a fluvioaluviales del tipo gravas, gravillas y gravillas arenosas, con abundantes finos cohesivos, asociados a mecanismos depositaciones de cursos antecesores del actual río Huedque;

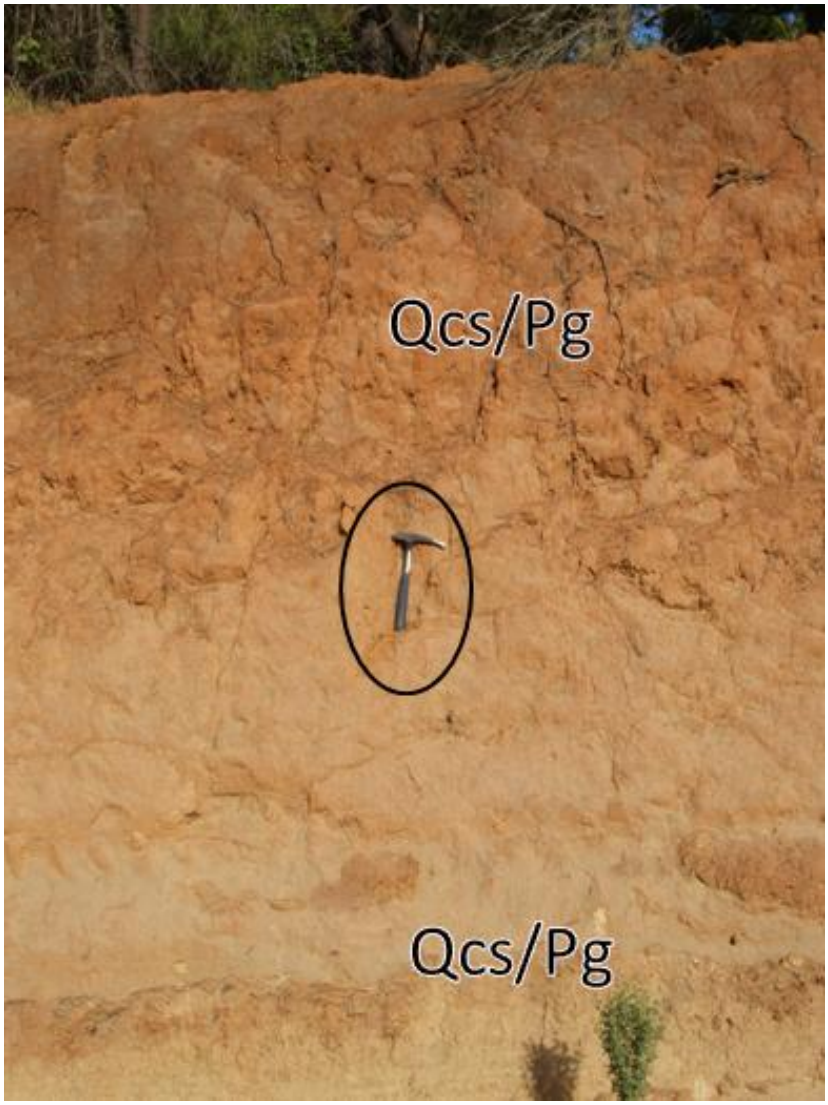
b) Depósitos coluviales y/o escombreras de laderas de cerro, integrados por gravillas y arenas gruesas con escasos finos cohesivos, poco litificados, sueltos, producto de sucesivos procesos de erosión, (“lavado”) transporte y depositación gravitacional de suelos residuales subyacentes, del tipo maicillo y,

c) Suelos residuales granulares, “maicillos”, desagregables a granulometrías del tipo gravillas y gravillas arenosas, que en profundidad gradan a basamento rocoso, inalterado, intacto, muy resistente, en **GEO-HDQ-03.**

En la Figura 2.1.4.3-4 se aprecia un corte en el camino de acceso a la zona del apoyo izquierdo de la Alternativa 3, A – 3, del PERH. Representa secuencia maciza, muy homogénea, de suelos areno limosos a areno limo – arcillosos, color castaño, “maicillo”, con moderado grado de compacidad, ***Qcs/Pg***, en **GEO-HDQ-03**. Sección superior con textura abierta y abundante desarrollo de materiales vegetales, raíces. Escala: martillo de 33 cm de largo.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 2.1.4.3-4
CORTE EN EL CAMINO DE ACCESO A LA ZONA DEL APOYO IZQUIERDO DE LA ALTERNATIVA 3



Fuente: Elaboración Propia

En su conjunto, con un espesor desconocido, la secuencia precedentemente descrita, responde a una morfología de alcance regional, en la cual las formas del terreno tienen un arreglo ordenado y regular, consistencia en las alturas y pendientes, uniformidad de desarrollo erosional y grado de alteración u obliteración, situación concordante con procesos formativos únicos y complejos, pero relacionados entre sí; se expresan en la presencia de continuos y elongados remanentes mal conservados de terrazas marginales altas o “antiguas”, que culminan 30 a 45 m sobre el fondo del valle del río Huedque;

Las fracciones granulares de estos depósitos se presentan bastante bien trabados, con moderada a baja permeabilidad, mientras que aquellas finas, más litificadas e impermeables.

De acuerdo a la complejidad litológica, variabilidad en espesor y desconocida continuidad zonal de esta unidad, sobreyacente al basamento granítico, ***Pg,*** se optó por representarla en los planos **GEO-HDQ-01, GEO-HDQ-02, GEO-HDQ-03,** con la clave ***Qcs / Pg***.

2.1.5. Hidrogeología

En el segmento del valle del río Huedque objeto del presente estudio, la presencia y desarrollo de importantes rellenos granulares, sueltos, bastante porosos y permeables, genéticamente asociados a procesos aluviales a fluvioaluviales de cauces antecesores del actual río, determina que la zona saturada con aguas subterráneas, en el sector que se considere, se localizaría por debajo del nivel de aguas de dicho cauce superficial; consiguientemente, por encima de dicho cauce, cabría esperar, solamente, acuíferos colgados con limitado potencial hidrogeológico, (caudal).

De acuerdo a ello, no cabría esperar la presencia de filtraciones durante las faenas excavaciones vinculadas a la preparación de las plataformas destinadas a albergar los canales del Proyecto.

De acuerdo a las consideraciones que anteceden, en cada uno de los sitios de emplazamientos alternativos para los muros del Proyecto, se debería esperar, a escasa profundidad, (1.5 a 2,5 m) la presencia de activos niveles de aguas subterráneas, libres a freáticas, cuya renovación estaría directamente relacionada con la cota del escurrimiento superficial en el actual cauce del río Huedque.

En términos generales, se estima, que en la medida del avance aguas abajo, el persistente ensanchamiento del fondo del valle del río Huedque, condicionará un gradual descenso en los niveles estáticos del sistema acuífero local; de acuerdo a ello, en la sección media de la A - 1, el nivel de aguas subterráneas albergadas en el fondo del valle del río Huedque, se situaría a escasos metros de la superficie, (1,0 a 1,5 m) mientras que en la A - 3, el mayor espesor de la secuencia sedimentaria, determinaría que el nivel de aguas subterráneas se ubique a mayores profundidades, 4,0 a 5,5 m.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

2.1.6. Riesgos Geológicos

En los terrenos ubicados inmediatamente sobre la cota de aguas máximas de la cubeta de inundación del Proyecto, no se registra de presencia de rasgos estructurales y morfológicos, (grietas, deformaciones, estrías, coronamientos, escarpes y lóbulos frontales) genéticamente atribuibles a procesos de remociones en masa (reptaciones lentas, solifluxión, deslizamientos), en situación de ser activados durante la vida operacional del Proyecto.

Conocido es el hecho de que la permanente oscilación en los niveles de saturación de los terrenos objeto de inundación, suelen desarrollar grandes variaciones en sus resistencias e inestabilidades, en condiciones de gatillar procesos de remociones en masa.

Sea como fuere, no debe ser desatendido el hecho de que, tal cual ocurre en gran parte de la Cordillera de la Costa de Chile Central, los suelos residuales del tipo maicillo, producto de la meteorización in situ de extensos macizos rocosos graníticos, que participan de los terrenos involucrados en el emplazamiento de las obras del Proyecto objeto de análisis, suelen incorporar profundas y elongadas incisiones, “cárcavas”, desarrolladas por el escurrimiento lineal de aguas lluvia, gatilladas por episodios pluviales de intensidad extrema; se trata de suelos que demuestran una particular sensibilidad al desarrollo de este tipo de actividad erosiva “remontante” (ladera arriba), expresada en verdaderos flujos detríticos o corrimientos lentos de masas granulares bien limitadas, cuyos productos finales son vertidos sobre los segmentos marginales de las respetivas llanuras de inundación que participan del fondo del valle del río Huedque.

2.1.7. Materiales de Empréstito

2.1.7.1. Enrocados

Preliminarmente, se asume que los materiales de enrocado para satisfacer las eventuales demandas asociadas tanto a la selección de un muro a base de enrocados, como de protección para estructuras alternativas convencionales (tierra), debería, esencialmente, cumplir con las siguientes especificaciones:

Rocas inalteradas, densas, resistentes a la acción combinada del agua y atmósfera; de acuerdo a ello, la prospección de los señalados materiales debería concentrarse tanto en los macizos rocosos de tipo granítico de gran alcance areal en torno a la zona objeto del Proyecto, como en pequeños cuerpos del tipo “stocks” que los instruyen, conformados por rocas andesíticas, petrográficamenrte muy homogéneas, densas, inalteradas, muy resistentes.

Las limitaciones impuestas por las primeras, se vinculan al hecho de que los señalados materiales, aún cuando poseen una gran distribución areal, demuestran importante grado de meteorización superficial, expresada en el desarrollo de potentes coberturas (7,5 a 8,0 m), de suelos residuales, “maicillos”, que dificultan las actividades de

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

prospección orientadas a la localización de lugares con rocas expuestas naturalmente, afloramientos, con atractivos potenciales de explotación, mediante la apertura de canteras.

La problemática que antecede se hace extensiva, de acuerdo a otros factores limitantes, a la confiable identificación de lugares en situación de satisfacer eventuales demandas de enrocados a partir de cuerpos intrusivos de tipo andesítico, afines a aquellos que, inmediatamente aguas arriba del puente sobre el camino M – 76 N, participan del actual cauce del río Huedque. A su normal excelente comportamiento geomecánico, se opondrían la irregularidad y/o continuidad en sentido lateral y profundidad de los cuerpos intrusivos y sus limitadas extensiones areales; las restricciones impuestas por las señaladas incertidumbres forzarían de realización de complejas actividades de prospecciones (calicatas, desmontes, zanjas) destinadas a comprobar el efectivo potencial de los sitios seleccionados. Al respecto, importa consignar, que las normales potentes coberturas de suelos residuales, “maicillos”, (considerados como verdaderos desmontes estériles) sobreyecentes al basamento granítico intacto, condicionan la realización de complejas y voluminosas excavaciones destinadas a la creación de efectivos potenciales “frentes explotables”; esta condición válida para caracterizaciones a nivel regional, se mantiene en prospecciones locales de mayor detalle.

Preliminarmente, deberán excluirse de las actividades prospectivas de enrocados, las rocas laminadas, pizarras, esquistos y filitas de naturaleza micácea, normalmente deformadas, fracturadas y meteorizadas, que en la zona participan de una amplia distribución areal; esencialmente, se trata de materiales con repetidos planos de foliación o esquistocidad, que permiten quebrarlas fácilmente, en placas paralelas, de acuerdo a lo cual reciben el nombre de “piedra laja”.

En todos los casos, las rocas objeto de explotación (graníticas y/o andesíticas) no deberán tener pesos específicos inferiores a 2,5 a 2, 7 ton/m^3

Los materiales rocosos objeto de explotación deberán ser angulosos, excluyéndose el aprovechamiento de cantos redondeados, bolones.

Finalmente, el coeficientes de forma deberá ser tal que la razón entre la dimensión mayor y las más pequeña de la roca sea inferior a 3.

En los planos **GEO-HDQ-01,** y **GEO-HDQ-02**, se indican potenciales sitios para la realización de futuras prospecciones de enrocados graníticos; en todos los casos, los sitios concuerdan con pequeños cerrillos locales de base circular que culminan a alturas de 250 a 280 ms.n.m; esta singularidad morfológica, permite suponer que en dichos sectores, la actividad erosiva al “eliminar” gran parte de la cobertura superficial de suelo residual “maicilloso”, habría determinado que el basamento rocoso granítico intacto, denso, resistente, se ubique a escasa profundidad.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

2.1.7.2. Áridos

Esta categorización consigna …”*materiales granulares, sólidos o de consistencia pétrea y de ocurrencia natural o bien artificial, cuya mezcla con una pasta de agua y otros aglomerantes, permite la fabricación de morteros u hormigones..”*.

Los materiales pétreos para el suministro de áridos deben tener buena a excelente calidad tanto física como química, carentes de materiales orgánicos; no deben reaccionar negativamente con el agua o el cemento de la pasta de morteros u hormigones y no deben incorporar películas adheridas o componentes blandos, (productos de alteración), susceptibles de descomposición o fácil desagregación.

Las formas de sílice perjudiciales, corresponden a la presencia de vidrio volcánico, ópalo y calcedonia, que demuestran tendencia a combinarse con los álcalis de los cementos, expresados como y K_2O y Na_2 O (“Reacción álcali – agregado”) que se traduce en agrietamientos que destruyen o afectan la resistencia final de los hormigones.

El árido no debe producir ningún tipo de reacción especial con la pasta a la cual se incorpora y tampoco inducir modificaciones en las reacciones propias de dicha pasta. Se clasifican de acuerdo a los respetivos tamaños o granulometrías de las partículas componentes.

En nuestro país, los áridos naturales comunes, se asocian a materiales pétreos con pesos específicos verdaderos comprendidos entre 2.6 y 2.0 gr / cm^3.

En general, los depósitos fluviales a fluvioaluviales, suelen proporcionar mezclas muy heterogéneas de gravas, gravillas, arenas, limos y arcillas, de las cuales se extraen, corrientemente, por simple cribado, (tamizado) las fracciones granulométricas correspondientes a los áridos finos o gruesos.

De acuerdo a ello, en primera instancia, en la zona objeto del estudio, serían potencialmente favorables los depósitos fluviales a fluvioaluviales recientes o modernos, constituidos por gravas, ripios, gravillas y arenas gruesas, “bien lavadas o limpias”, que participan tanto de terrazas marginales bajas o “nuevas”, adosadas a las riberas del río Huedque, como los propios depósitos granulares asociados a su actual cauce, Figura 2.1.4.3-1, en **GEO-HDQ-01.**

En ambientes geológicos exentos de este tipo de depósitos, los áridos pueden ser producidos a partir de la trituración de rocas, extraídas por faenas de tronaduras desde canteras. En estos casos, son potencialmente favorables, los materiales provenientes de canteras graníticas, de gran alcance en torno a la zona objeto del estudio.

Los áridos producidos a partir de materiales pétreos deben estar constituidos por fragmentos resistentes, densos, estables e indivisibles, no absorbentes ni permeables; de

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

acuerdo a ello, sus composiciones granulométricas pueden establecerse entre límites claramente invariables, durante todos los procesos de manejo de los áridos, hasta su incorporación en morteros u hormigones.

Atendidas las consideraciones que anteceden, en primera instancia, se estima con alta prioridad, la alternativa de prospectar mediante calicatas o zanjas, los siguientes ambientes potencialmente favorables:

- Sectores con depósitos fluviales, fluvioaluviales, que participan del actual fondo y márgenes del valle del río Huedque, Figura 2.1.4.3-1**,** en **GEO-HDQ-01**
- Terrazas marginales altas o “antiguas”y bajas o “nuevas, conformadas por depósitos granulares, en torno a ambos márgenes del valle del río Huedque, concordante con los 3 sitios alternativos para el emplazamiento de los muros del Proyecto, Figura 2.1.4.3-3 en **GEO-HDQ-01**
- Bancos o “playas” de ripios, gravas y gravas arenosas que en algunos discontinuos sectores del actual fondo del valle del río Huedque, participan de su activa llanura de inundación, recurrentemente sometida a voluminosos flujos torrenciales en situación de “renovar”, por erosión y depositación los materiales granulares.

2.1.7.3. Materiales Impermeables

Se estima que las eventuales demandas de materiales impermeables para la construcción de núcleo de un muro zonado y/o tratamiento de sello de fundaciones, incluyendo limos a limos arcillosos y arcillas francas, exigirían la realización de prospecciones específicas, puntuales, a lo largo de algunos segmento del fondo del valle del río Huedque, concordantes con su proximidad al sitio de la alterativa final seleccionada. En primera instancia, los sitios con mayor potencial, corresponderían a segmentos donde el valle del río Huedque, presenta anchos máximos, propicios al desarrollo, en el pasado geológico, de ambientes con circulación fluvial restringida, favorables a la depositación de sedimentos finos.

En los planos **GEO-HDQ-01, GEO-HDQ-02, GEO-HDQ-03**, se consignan potenciales sitios para la realización de prospecciones mediante calicatas.

2.1.8. Consideraciones Morfogeológicas y Geotecnicas: Análisis y Selección de Sitio y Tipología del Muro del PERH

2.1.8.1. Selección del Sitio Emplazamiento del Muro

En este acápite, sustentado en la revisión de la información referencial disponible de los terrenos objeto del presente estudio, referido a sus características morfológicas, geológicas, estructurales, hidrogeológicas, geotécnicas y de riesgos geológicos, complementados con el breve reciente reconocimiento directo del terreno, correspondiente al entorno a los 3 sitios alternativos preexistentes, surge el siguiente análisis, selección y proposición de sitio y tipología de muro que, de acuerdo al actual estado de avance del

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Proyecto, ofrecería los mayores potenciales el emplazamiento del muro del proyecto; condición que, producto de posteriores estudios a mayor detalle, deberá ser confirmada, modificada o reemplazada por una alternativa más conveniente.

En términos generales, de acuerdo a los alcances, objetivos y competencias técnicas del presente estudio, los criterios y factores que orientaron la proposición del tipo y selección final del sitio de emplazamiento del muro del PERH, corresponden a:

- Características morfogeológicas y geotécnicas de los materiales (suelos y rocas) que participan de los 3 sitios alternativos, objeto de análisis.
- Estanqueidad de los terrenos de apoyo o fundación del muro.
- Confiable disponibilidad, calidad y cantidad de materiales (suelos y rocas) para su construcción y,
- Favorables condiciones para el emplazamiento de ataguías, vertederos, obras de desviación y obras auxiliares.

El breve reconocimiento directo afectado a cada una de los 3 sitios predeterminados para el emplazamiento de la estructura de retención o muro, del PERH, comprometiendo un segmento de aproximadamente 3,3 km del valle del río Huedque, permitió establecer la existencia de un medio físico bastante homogéneo y común, en términos del régimen hidrológico y las respectivas características morfológicas, geológicas, estructurales, hidrogeológicas, geotécnicas y de riesgo geológicos de los terrenos que participan de su hoya hidrográfica. Conforme a ello, la selección del emplazamiento final de la señalada estructura estaría, quedaría supeditada, principalmente, tanto a las condiciones topográficas favorables para su emplazamiento, (compatible en altitud con la cota máxima de operación del embalse) como con favorables relaciones volumétricas muro / capacidad de almacenamiento. Se asume que la primera condición incidiría decisivamente en la eficiencia operacional del Proyecto, (conducción mediante canales, distribución, uso y administración del recurso agua), mientras que la segunda ejercería una determinante incidencia en los costos del muro del Proyecto objeto de análisis.

Atendidas las consideraciones que anteceden, en primera instancia, el sitio elegido para el emplazamiento del muro del PERH, concuerda con la “Alternativa 1”, o A-1, identificada en estudios previos. Involucra un segmento del valle del río Huedque, donde su sección o perfil transversal, propio de un modelado asimétrico, incorpora un incipiente favorable estrechamiento; conforme a ello, el apoyo o estribo derecho del muro del embalse, comprometería una ladera con moderada pendiente local, conformado por una compleja secuencia maciza de depósitos granulares de tipo fluvial a fluvial aluvial, coluvios y escombreras de ladera cerro, subyacentes a suelos residuales del tipo “maicillo”, ***Qcs***, Figura 2.1.4.3-1 y Figura 2.1.4.3-3, en plano **GEO-HDQ-01.** Esencialmente, en su conjunto, configuran un modelado propio del discontinuo remanente mal conservado de una elongada “antigua” terraza marginal pliopleistocena (1,6 millones a 10 a 12 mil años antes del presente) del valle del río Huedque; mientras tanto, el apoyo izquierdo involucraría un modelado bastante más tendido o suave, integrado por materiales sedimentarios afines.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

En el sector previsto para el emplazamiento del muro del Proyecto, los terrenos de fundación estarían integrados, exclusivamente, por materiales granulares fluviales que participan del relleno holocénico (últimos 10 a 12 mil años antes del presente) del fondo del valle del río Huedque, sobreyacentes a basamento rocoso granítico; en ausencia de valores confiables del espesor del relleno sedimentario del valle, a lo largo del eje del muro, se estima que podría fluctuar entre los 20 a 25 m.

2.1.8.2. Consideraciones Geotécnicas Generales

- Independiente del sitio final seleccionado para el emplazamiento del muro del Proyecto, los desarrollos o trazados preliminares propuestos para las estructuras de distribución de las aguas de riego del Proyecto, (canales de laderas) aparecen como plenamente factibles, en cuanto a la condición geológica y comportamiento geotécnico de los terrenos.
- Para las alternativas de emplazamientos de los muros objeto de análisis, las estructuras de evacuación de crecidas, ubicadas independiente del cuerpo del muro, podrían ser instaladas sobre terrenos naturales, con predominio de suelos residuales del tipo “maicillo”, que participarían de los respectivos apoyos derechos.
- Se estima que el bien establecido cauce y el bajo caudal del río Huedque durante los meses de noviembre a marzo – abril, garantizaría la seguridad y continuidad operacional de las faenas y procedimientos involucrados en la desviación de caudales y excavaciones para la preparación de las fundaciones del muro del embalse, en el sitio seleccionado.
- En el entorno a los terrenos comprometidos por el emplazamiento de las diversas obras del PERH, no se observan rasgos morfológicos en condiciones de imponer riesgos por reactivación de procesos de remociones en masa y reactivamiento de fallas o lineamientos de alcance regional, gatillados por actividad sísmica. Esta condición se hace extensiva al desarrollo de remociones en masa producidas en torno a la periferia de la cubeta de inundación del embalse, asociados a mecanismos alternantes de humectación – secado, provocados durante sus futuras fases operativas.
- Los terrenos comprometidos en los emplazamientos alternativos de las obras del PERH participan de una zona con reconocida actividad sísmica histórica, próxima a activos focos responsables de recientes sismos de gran intensidad; de acuerdo a ello, el diseño del muro deberá considerar la elevada frecuencia de ocurrencia de sismos de gran magnitud (> 7,5 a 8,0° en la Escala Richter).

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

2.1.9. Referencias

Dirección de Riego. Ministerio de Obras Públicas. 1978. Reconocimiento y estudio preliminar de las posibilidades de embalse seleccionado en la cuenca del río Maule; p. 51 – 56.

Gonzalez – Bonorino, F. 1970. Series Metamórficas del Basamento Cristalino de la Cordillera de La Costa. Chile Central. Departamento de Geología. Universidad de Chile; Publicación N°37; 80 p.

Escobar, T., F; Guzmán R., S., *y* ***Vieira, C***., ***G***. 1977. Avance geológico de las Hojas Rancagua – Curico; Talca – Linares; Chanco y Concepción – Chillán. Instituto de Investigaciones Geológicas; 48 p. Inédito.

SIGA, Ingeniería y Consultoría S.A. 2008. Estudio Factibilidad Construcción Embalse San Juan. Séptima Región. Tomo II de VI. Dirección de Obras Hidráulicas. Región del Maule.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

2.2. ANÁLISIS DE ASPECTOS GEOTÉCNICOS

2.2.1. Introducción

El presente informe se refiere a la visita realizada por los ingenieros Sres. Luis Arrau y Donaldo Astorga, a 3 alternativas de sitios de presa sobre el rio Huedque, en el marco del Estudio de Prefactibilidad Construcción de Embalse de Riego Huedque, Comuna de Cauquenes. La visita al terreno se realizó el día viernes 17 de febrero. Los sitios visitados fueron los denominados N°1, 2 y 3 sobre el río Huedque, desde aguas arriba hacia aguas abajo. Las coordenadas UTM (sistema WGS84) de cada sitio son las siguientes:

Sitio N°1	N : 725426
	E : 6001466
Sitio N°2	N : 725165
	E : 6002510
Sitio N°3	N : 726178
	E : 6004251

El objetivo de esta visita fue observar las características de las tres alternativas de sitios de presa anteriormente mencionados, para evaluarlos desde el punto de vista de la geotécnia. Durante la visita al terreno se tomaron algunas fotografías que se incluyen en este informe.

En el presente informe se recopilan las observaciones efectuadas en terreno y se mencionan las ventajas y desventajas de cada sitio potencial de presa.

2.2.2. Antecedentes de la Zona del Proyecto

La zona donde se emplaza el proyecto corresponde a la cuenca granítica de Cauquenes. Esta cuenca se encuentra prácticamente cerrada por el poniente, excepto por una estrecha comunicación a través del estero Tutuvén. Hacia el oriente, las acciones de aplanamiento y relleno de los ríos Cauquenes y Perquilauquén han facilitado las comunicaciones en esa dirección. Dentro de la cuenca, las depositaciones fluviales han generado un sistema de tres terrazas escalonadas, sobre las cuales se levanta la ciudad de Cauquenes. El antiguo relleno del granito se hace evidente en las potentes acumulaciones de “maicillo” que invaden la región.

Los episodios de rellenos alternantes han influido en el drenaje de la zona, lo que se ha complicado aún más por los arrastres fluviales provenientes de las quebradas litorales, que han predominado en la cabecera occidental de la cuenca. La más antigua sedimentación de esta cuenca es fluvio-glacio-volcánico y parece provenir del volcán Longaví. Invasiones de

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

cenizas cuaternarias llegan hasta la orilla oriental del río Cauquenes, sobre el camino de esta ciudad a Parral.

En el litoral, el bloque monoclinal de Pelluhue basculado al oeste ha comprometido en su movimiento de solevantamiento no sólo al tronco cordillerano costero, sino también a toda la cuenca de Cauquenes, lo cual ha provocado una desviación hacia el este de antiguos cursos de aguas, como es el caso del río Huedque. También ha influido en los ríos de procedencia andina, como el caso del Perquilauquén, que antiguamente ingresaba a la cuenca de Cauquenes hasta épocas recientes, hoy día el citado río escurre a 25 km al este de Cauquenes. Este hecho indicaría no solo una edad reciente para la tectónica costera, sino la fuerza y persistencia del solevantamiento hasta hoy día.

Como consecuencia de menor importancia, el accidente tectónico que se menciona ha sido causa de la formación de depresiones lacustres, vegas pantanosas en la actualidad y un drenaje de características caóticas.

2.2.3. Sitio de Presa N°1.

El sitio de presa N°1, corresponde al ubicado aguas arriba que el resto de los otros sitios. La presa se desarrollaría en el valle fluvial del río Huedque (planicie fluvial o caja del río Huedque con escasa pendiente) en una longitud de aproximadamente 190 m, para subir posteriormente en forma gradual por ambas laderas que conforman el valle. La ladera derecha presenta una pendiente de aproximadamente 30° c/r a la horizontal y es bastante más empinada que la ladera izquierda que tiene una pendiente de aproximadamente 10° en promedio. De hecho, en esta última ladera existe un camino de tierra casi recto para bajar hasta el fondo del valle, que se puede recorrer sin problemas en un vehículo de tracción simple en verano (sin lluvia). En esta angostura, el río Huedque escurre actualmente pegado al pie de la ladera derecha.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 2.2.3-1
LADERA DERECHA EN EL SITIO DE PRESA N°1



Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 2.2.3-1 se observa que la abrupta ladera derecha induce a considerar que la cubierta de suelo debe ser más bien delgada y que a poca profundidad se debe encontrar roca meteorizada. De hecho en la ribera noreste del río (al pie de la ladera derecha) se observa gran cantidad de trozos y bloques de roca, de cantos subangulosos y subredondeados, que parecen provenir mayoritariamente de la parte superior del cerro. En la ribera izquierda del rio se observa un pretil artificial de arena arcillosa, probablemente construido para encauzar el río, de manera que no inunde la planicie que existe hacia la ladera izquierda.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 2.2.3-2
RIO HUEDQUE AL PIE DE LADERA DERECHA EN SITIO N°1.



Fuente: Elaboración Propia

Se observa en la Figura 2.2.3-2 que la ladera derecha se encuentra completamente cubierta con vegetación y árboles autóctonos.

La suave ladera izquierda, por otra parte, lleva a concluir que la cubierta de suelo debe ser de mayor espesor y que la roca meteorizada debiera encontrarse más profunda que en la ladera derecha. Esta ladera se observa con restos de árboles y arbustos quemados debido a un incendio ocurrido hace pocas semanas atrás. Este despeje de vegetación permitió observar que el suelo superficial que cubre la ladera izquierda es una matriz de arena arcillosa, de color café claro, con abundantes gravas y bolones, de cantos angulosos y subangulosos. Asimismo se observa un suelo arcillo arenoso de color café claro, en el camino que existe en la ladera izquierda.

FIGURA 2.2.3-3
LADERA IZQUIERDA EN EL SITIO N°1



Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 2.2.3-3 se aprecia que la zona plana de este emplazamiento, que como se dijo anteriormente tiene un ancho de aproximadamente 190 m, corresponde a los sedimentos que ha depositado el río Huedque a lo largo de los años. Superficialmente en esta planicie se observa arena que es subyacida por grava arenosa, según se pudo apreciar en unas excavaciones antiguas tipo abrevadero para animales. En principio se estima que en profundidad la estratigrafía del suelo debiera corresponder a una secuencia de estratos de diferentes espesores, de gravas, bolones, arenas y limos, asociados a los arrastres propios del río y su interdigitación con los materiales provenientes de los cerros cercanos. Esta característica de la zona central del sitio N°1 genera una incógnita de importancia relacionada con la profundidad de impermeabilización que se requeriría bajo la presa (profundidad de la pared moldeada), para evitar pérdidas de agua desde el futuro embalse. En principio, en la zona central plana del sitio N°1, para fines de estimación de costos preliminares, se debe considerar como mínimo una pared moldeada de unos 30 m de profundidad y 190 m de longitud, para el caso que se proyecte una presa de altura máxima 30 m. Se estima que la napa subterránea se encuentra relativamente superficial en este sector (2 a 3 m de profundidad).

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 2.2.3-4
CAMINO DE TIERRA EXISTENTE EN LA LADERA IZQUIERDA DEL SITIO N°1



Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 2.2.3-4 se aprecia uno de los caminos construidos. Aguas arriba del eje de presa propuesto para la ubicación N°1 se observa que existen muy pocos terrenos cultivados, apreciándose más bien como de uso forestal y existencia de vegetación propia de la zona. Habría poca interferencia del embalse que se genera con terreno cultivables, lo cual es un aspecto muy favorable del sitio N°1.

Aguas abajo del sitio de presa N°1 el río Huedque se curva notoriamente hacia la derecha, razón por la cual el vertedero de crecidas debiera proyectarse por la ladera derecha, en donde se encontraría roca meteorizada a poca profundidad. Esta característica de este sitio de emplazamiento es favorable, ya que permite fundar el vertedero sobre material de buena calidad, disminuir la longitud del canal de evacuación y lograr taludes de corte de mayor pendiente, todos aspectos que inciden en un menor costo de la obra.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

2.2.4. Sitio de Presa N°2.

El sitio de presa N°2 está ubicado sobre el río Huedque, a unos 500 m aguas arriba del puente del camino M-870. En este sector la caja del río es de menor ancho que el sitio N°1 estimándose en 100 m. Ambas laderas presentan una pendiente relativamente suave de inclinación comprendida entre 10° y 15° c/r a la horizontal. Se estima que en ambas laderas existe una cubierta de suelo de espesor importante, la que es subyacida por roca. Debido a la baja pendiente de las laderas, la alternativa de presa en el sitio N°2 resulta de mayor longitud que la N°1. El suelo que se observa superficialmente en ambas laderas es arcilla arenosa de color café rojizo.

En la Figura 2.2.4-1 se aprecia que en la ladera izquierda se observan plantaciones de parras de secano principalmente, con sectores de vegetación autóctona de la zona, mientras que en la ladera derecha el uso es principalmente forestal y/o vegetación autóctona, que se quemó durante el incendio antes mencionado.

FIGURA 2.2.4-1
LADERA IZQUIERDA EN PRIMER PLANO Y LADERA DERECHA AL FONDO, SITIO N°2



Fuente: Elaboración Propia

Si bien en el sitio mismo de emplazamiento de la alternativa N°2 no se observa roca en el lecho del río, se estima que ella debe estar relativamente superficial (entre 5 a 10 m) ya que a unos 200 m aguas abajo se observan numerosos afloramientos de roca en el lecho del río, como lo demuestra la Figura 2.2.4-2. La roca es de color gris oscuro y se

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

observa poco fracturada y con escasa meteorización. En la parte superior de estos afloramientos se observan restos de una roca de color claro (granito).

FIGURA 2.2.4-2
AFLORAMIENTO DE ROCA EN EL RIO HUEDQUE A UNOS 200 M AGUAS ABAJO DEL SITIO N°2



Fuente: Elaboración Propia

El futuro muro de presa en el estribo izquierdo alcanzará a interceptar el camino M-870, por lo que se debe considerar la reubicación de dicho camino.

Aguas abajo del sitio N°2 el río Huedque se curva hacia la izquierda, por lo que se estima que el vertedero más económico debe emplazarse en la ladera izquierda. De todas manera debe analizarse si esta ubicación interfiere con el puente de la ruta M-870.

En la Figura 2.2.4-3 se puede observar que el suelo superficial que se observa en los taludes de corte del camino y en los sectores despejados por el incendio, corresponde a arena arcillosa, de color café claro, con gravas y bolones aislados.

FIGURA 2.2.4-3
LADERA IZQUIERDA DEL SITIO N°2 EN COTA SUPERIOR AL CAMINO.



Fuente: Elaboración Propia

2.2.5. Sitio de Presa N°3.

El sitio de presa N°3 se ubica a unos 2.000 m del puente de la ruta M-870, en un sector relativamente plano, con gran ancho de la planicie fluvial, en donde se observa la existencia de plantaciones y cultivos. En general se puede afirmar que la alternativa de sitio N°3 compromete zonas de cultivos tanto en la zona del muro de presa como en el embalse que se genera, Figura 2.2.5-1. También se observan varias casas en la zona de inundación potencial del embalse. Otra interferencia importante en la zona de embalse ocurre con el puente de la ruta M-870.

Ambas laderas del valle tienen poca pendiente (se estima entre 5° y 10°) lo que resulta en un muro de presa muy largo. Se estima que en ambas laderas existe una gruesa capa de suelo sobre la base rocosa.

Similar al Sitio N°1, la alternativa de Sitio N°3 se emplaza en una zona ancha de la planicie fluvial, lo que permite afirmar que la pared moldeada que se diseñe para impermeabilizar el suelo de fundación será profunda y de gran longitud. En este caso, el suelo de fundación podría estar constituido por estratos alternados de arenas arcillosas y gravas arenosas. No se descarta que existan estratos de arcilla en el suelo de fundación de la presa, debido a depositaciones de tipo lagunar. Se estima que la napa subterránea debe estar a poca profundidad en la planicie fluvial (entre 1 y 3 m).

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 2.2.5-1
LADERA DERECHA Y PARTE DE PLANICIE FLUVIAL EN EL SITIO N°3



Fuente: Elaboración Propia

Aguas abajo del eje de la presa en el sitio N°3, el río se curva levemente hacia la izquierda, por lo que se estima que el vertedero más económico se debería ubicar en la ladera izquierda, Figura 2.2.5-2

En un corte del camino de acceso al sitio N°3 se observó que el suelo superficial corresponde a arcilla arenosa, de color café rojizo, sin presencia de gravas, Figura 2.2.5-3.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 2.2.5-2
LADERA IZQUIERDA Y PARTE DE LA PLANICIE FLUVIAL EN EL SITIO N°3



Fuente: Elaboración Propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 2.2.5-3
ESTRATO DE SUELO ARCILLO ARENOSO SUPERFICIAL EN ZONA DE SITIO N°3.



Fuente: Elaboración Propia

2.2.6. Conclusiones.

De la visita realizada a la zona del proyecto para observar los potenciales sitios de emplazamiento de la presa, se concluye lo siguiente:

De los tres sitios visitados, se estima que el sitio N°2 es el que presenta el suelo de fundación más favorable, debido a la existencia de roca superficial en el lecho del río. En este aspecto, los sitios N°1 y N°3 son menos favorables y relativamente similares.

En relación con la calidad de las laderas, se estima que el sitio N°1 es el más favorable, ya que la ladera derecha debería presentar roca a poca profundidad. Los sitios N°2 y N°3 son similares en este aspecto, en el sentido que es poco probable que exista roca a poca profundidad, estimando que es levemente mejor el sitio N°2.

En relación con las interferencias que provocaría el proyecto, el más favorable es el sitio N°1 ya que tanto la zona de la presa como la del embalse utiliza terrenos no cultivados, escasamente poblado, y el camino de la ladera izquierda requiere poca longitud de modificación. Cabe señalar que el sitio N°1 por ubicarse a una mayor cota del terreno, permite cubrir una mayor cantidad de terreno bajo cota de canal (mayor superficie de riego). En aptitud de interferencias le sigue el sitio N°2, que interfiere con algunos terrenos cultivados, con el camino público que existe en la ladera izquierda, algunas casas y,

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

eventualmente, con el puente existente aguas abajo del eje de presa. El sitio N°3 es el mas desfavorable desde el punto de vista de las interferencias puesto que afecta muchos terrenos cultivados, caminos, casas y el puente de la ruta M-870.

En relación con el vertedero de crecidas, en lo que dice relación con la calidad del suelo de fundación y longitud del canal de evacuación, el sitio más favorable es el N°1, siguiéndole en orden los sitios N°2 y N°3.

Finalmente, en lo relativo a calidad y disponibilidad de material para construir la presa, no existe claramente una preferencia en ninguno de los sitios reconocidos, no obstante podemos mencionar que es muy probable que los suelos más arcillosos, se ubiquen preferentemente desde el puente de la ruta M-870 hacia aguas abajo.

De acuerdo con lo expuesto, se estima que las alternativas de sitio de presa más favorables son la N°1 y la N°2.

2.3. TIPO DE PRESA EN CADA EMPLAZAMIENTO.

Con los antecedentes que se tiene a la fecha, se recomienda que se considere una presa de tierra de sección homogénea, para fines de diseño preliminar y para la evaluación de alternativas. El material para este tipo de presa existe en las cercanías de los sitios visitados, según se pudo apreciar en algunos taludes de cortes de caminos. Es probable que el suelo de empréstitos ubicados en laderas de cerro sea areno arcilloso en los alrededores del sitio N°1 y probablemente arcillo arenoso aguas abajo del sitio N°2. Estos suelos son compatibles con la geomorfología de la zona, ya que se trata de una cuenca granítica.

Considerando presa de sección homogénea, una altura máxima del orden de 30 m y la cercanía a la costa (donde se generan los mayores sismos), se estima que la sección de la presa para diseño preliminar y evaluación de alternativas, debiera ser con talud de aguas arriba H:V=3:1, ancho de coronamiento 9 m y talud de aguas abajo H:V=2.5:1.

2.3.1. Tipología del Muro.

Independiente de la aprobación final del sitio de emplazamiento del muro del PREH, conforme a consideraciones vinculadas a factores y/o condiciones propias de la competencia del presente documento, se estima que la tipología del muro debería sustentarse en el diseño de una estructura de tierra a base de suelos residuales del tipo “maicillo”, de amplio desarrollo en torno a la zona objeto del estudio. Se trataría de una estructura cuya superficie basal y nivel de flexibilidad, transmitirían bajas cargas sobre el terreno de cimentación.

En torno al sitio propuesto para el emplazamiento de muro del PERH, correspondiente a la alternativa preexistente “A-1”, los suelos residuales del tipo “maicillo”,

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

demuestran reconocida continuidad en sentido lateral y profundidad, gran regularidad u homogeneidad o constancia granulométrica, confiable disponibilidad, fácil extracción, cortas distancias de transporte y comprobada respuesta a la compactación mecanizada; este último carácter se expresa en una efectiva capacidad para desarrollar estructuras impermeables, con alta resistencia y baja a nula deformabilidad, compatibles con las normales exigencias de estanqueidad y estabilidad para los muros de proyectos de embalses para riego. Esencialmente, se trata de materiales química y físicamente estables, insolubes, carentes de elementos orgánicos, con bajo a nulo grado de expansibilidad y colapsibilidad. Se trata de materiales cuyas buenas respuestas a la compactación mecanizada, permitirían la configuración de un muro con baja permeabilidad y alta resistencia para soportar solicitaciones impuestas por episodios sísmicos de gran magnitud, con alta probabilidad de ocurrencia en la zona.

Al respecto, se podrían considerar dos diseños alternativos: muro homogéneo y muro por zonas con un núcleo central impermeable, suficientemente ancho y resistente frente a recurrentes movimientos sísmicos de gran magnitud y alcance regional; ambas estructuras se apoyarían sobre depósitos granulares fluviales a fluvioaluviales, cuaternarios, que participan del relleno del fondo del valle del río Huedque.

De acuerdo al actual estado del conocimiento geológico de la zona, se estima que un diseño alternativo de muro a base de enrocado, estaría condicionado a los resultados de una rigurosa prospección del basamento rocoso local, (sondajes, geosísmica) destinada a la confiable localización y caracterización en calidad y cantidad (volumen) de materiales para su efectiva materialización; ello, sin desatender los consiguientes costos asociados a la apertura y explotación de una cantera y transporte a la obra. Importa consignar que aún cuando las rocas graníticas que participan del basamento rocoso local, alcanzan una gran continuidad, en torno al valle del río Huedque, la potente cobertura de suelos residuales del tipo “maicillo”, (que para los fines de una explotación se constituirían en verdaderos “desmontes o estériles”), impondrían la forzada realización de voluminosas faenas previas de escarpe o remoción; de acuerdo a ello, la configuración geométrica del “yacimiento” o cantera a rajo abierto, debería incluir numerosos bancos de gran altura comprometiendo una potente cobertura de suelos residuales maicillosos, de dudoso comportamiento a la estabilidad; en este tipo de ambiente, la seguridad de las faenas extractivas de enrocado, estará condicionada a la necesaria incorporación de costosos procedimientos de estabilización de taludes.

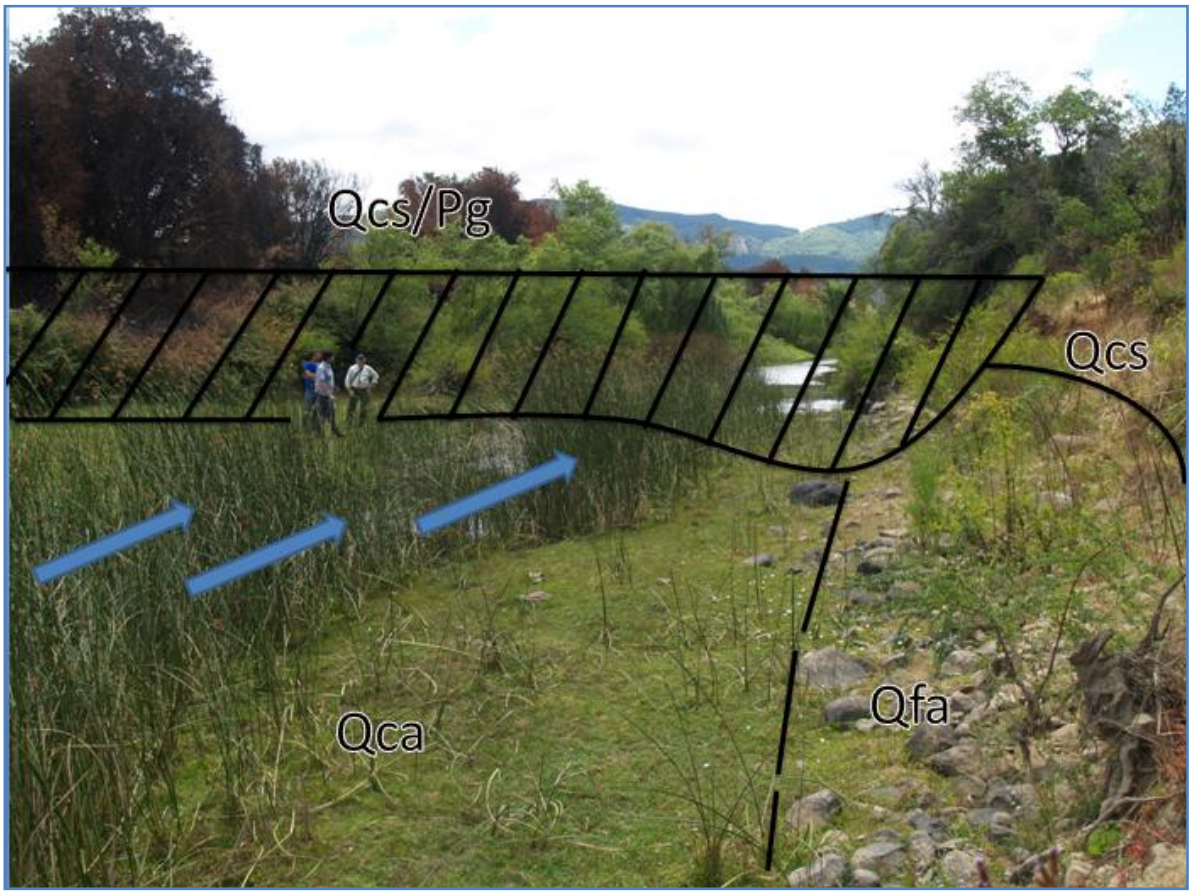
El necesario confiable conocimiento del perfil del conjunto de los suelos de fundación del muro del Proyecto y sus respectivas continuidades (sentido lateral y profundidad), espesores, características granulométricas, parámetros y comportamientos geotécnicos e hidráulicos, (permeabilidad), situación de niveles estáticos y geometría del basamento rocoso subyacente, entre otras, estará supeditado a antecedentes obtenidos a partir de futuras prospecciones de subsuperficie, mediante sondajes y/o perfiles geosísmicos. Se trata de información vital para la formulación conceptual de la tipología y diseño básico del muro del Proyecto y confiable determinación de los procedimientos de sello o

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

impermeabilización de sus fundaciones (cortinas a base de arcillas, pantallas de inyecciones, paredes moldeadas) y respectivos sistemas de drenajes.

Para el sitio de muro correspondiente a la “A-1” seleccionada, se estima que, tanto las condiciones morfológicas del terreno local, como el carácter, espesor y comportamiento geotécnico de la cobertura de suelos, favorecerían el emplazamiento de la estructura de vertedero en torno al apoyo derecho del muro del PREH. En la Figura 2.3.1-1 mirando hacia aguas abajo por el cauce del valle del río Huedque, en torno al segmento del apoyo derecho del muro de la Alternativa 1, A-1, del PERH; ***Qca***: depósitos granulares del actual cauce del río Huedque; ***Qfa***: depósitos de llanura de inundación y ***Qcs***: depósitos de Complejo sedimentario, en **GEO-HDQ-01.**

FIGURA 2.3.1-1
AGUAS ABAJO POR EL CAUCE DEL VALLE DEL RÍO HUEDQUE



Fuente: Elaboración Propia.

De la complementación y análisis tanto de la información referencial disponible, como de aquella obtenida durante la reciente breve visita de reconocimiento directo de los terrenos comprometidos en los sitios de emplazamiento de las 3 alternativas vigentes para

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

los muros del PREH**,** surge el convencimiento de que, desde el punto de vista de su factibilidad geológica, geotécnica y de riesgos geológicos, no existiría en la ubicación propuesta de la A-1, de un muro homogéneo o zonado de tierra a base de suelos del tipo maicillo, limitaciones serias que dificulten su diseño final, construcción, puesta en marcha y fase operativa. Conforme a ello, no se visualiza la necesidad de ajustar ubicaciones y trazados de obras a terrenos alternativos disponibles en las inmediaciones del valle del río Huedque.

En el actual nivel de desarrollo del Proyecto, la escasa información geológica, geotécnica e hidrogeológica de cada uno de los sitios alternativos para el emplazamiento preliminar del muro, es posible asignar un segundo nivel de prioridad a un sitio ubicado a aproximadamente 180 a 200 m aguas abajo de la primitiva “Alternativa 2” o “A-2”; conforme a ello, concordante con un segmento del cauce del río Huedque, ubicado inmediatamente aguas arriba del puente sobre el camino M - 76 N, que conecta las ciudades de Cauquenes con Quirihue.

Una de las principales ventajas de este nuevo emplazamiento, se vincularía con la posibilidad de optimizar importantemente, las condiciones de fundabilidad del muro; este carácter responde a la comprobada presencia en el lugar de basamento rocoso, intrusivo, (andesítico), petrográficamente muy homogéneo, inalterado, rígido, muy resistente, con muy buen comportamiento geomecánico; las rocas se observan recorridas por un sistemático patrón de fracturas rectas, cerradas, dispuestas diagonalmente al eje del río a intervalos de 40 a 55 cm. En primera instancia, se estima que la extensión expuesta del basamento rocoso a lo largo y ancho del actual cauce del río Huedque, Figuras 2.1.4.2-1, 2.1.4.2-2, 2.1.4.2-3 en **GEO-HDQ-02** cubriría la totalidad de la superficie basal o fundación del muro. La efectiva continuidad lateral (a partir de ambas riberas) del basamento rocoso andesítico, estará supeditada a la ejecución de algunas actividades prospectivas de subsuperficie, mediante calicatas y sondajes de escasa profundidad y/o perfiles geosísmicos.

La elevada capacidad de soporte del basamento rocoso local, unido a su nula deformabilidad, contribuirían decisivamente a otorgarle un excelente comportamiento geotécnico; el señalado favorable ambiente geológico – geotécnico supondría mínimas demandas de tratamiento de sello o impermeabilización previa de las fundaciones del muro, sin desatender los bajos costos involucrados en pequeñas excavaciones en roca, involucradas en la eliminación previa de zonas irregulares, (verdadero perfilado del terreno de cimentación del muro). Interesa establecer que, de acuerdo a la actual disposición del eje de la A- 2, el extremo NO o apoyo izquierdo del muro coincide con el eje de descarga de un activo cauce de la red local de drenaje.

Finalmente, la tercera prioridad para el emplazamiento del muro del PREH correspondería a la denominada “Alternativa 3” o “A-3”, ubicada a aproximadamente 1,4 a 1,5 km aguas debajo de la anterior; correspondería a la menos conveniente o atractiva; este carácter responde a la existencia en el sector de remanentes muy mal conservados de discontinuas terrazas marginales, granulares, que culminarían a cotas muy próximas al coronamiento del muro del Proyecto; se asume que esta singularidad morfológica, provocaría

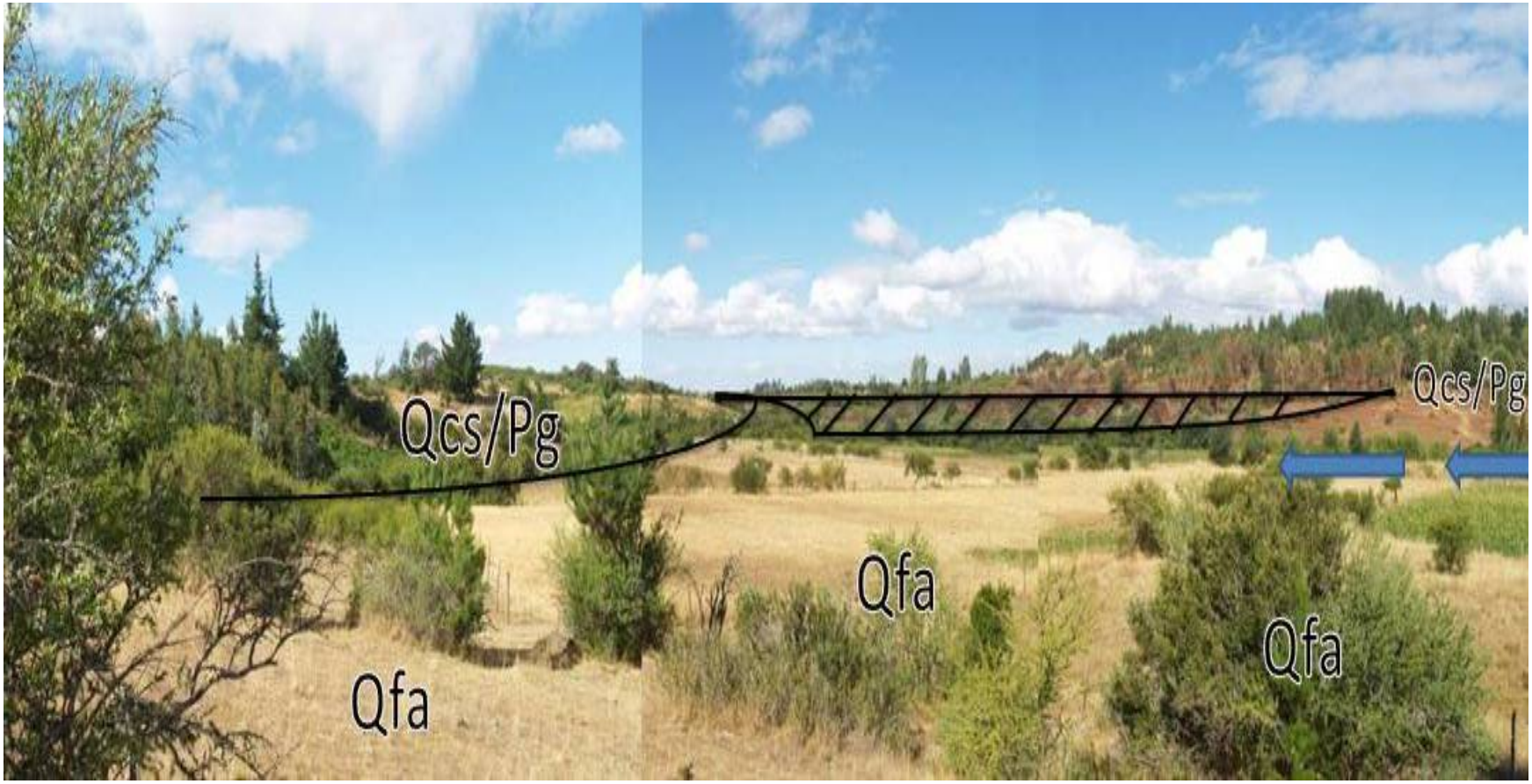
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

importantes incrementos adicionales en los volúmenes del muro de esta alternativa. Ver Figura 2.3.1-2, en plano **GEO-HDQ-03.**

Finalmente, y no por ello menos importante, importa establecer que, a similares cotas de coronamientos, los sitios asignados a los emplazamientos de los muros de las alternativas preexistentes A- 2 y A-3, al comprometer segmentos del valle del río Huedque situados aguas abajo de la alternativa A -1 seleccionada, incrementarían la superficie de captura de aguas lluvia y terrenos con aptitud de riesgo.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 2.3.1-2
VALLE DEL RÍO HUEDQUE, MIRANDO HACIA AGUAS ABAJO



Fuente: Elaboración Propia.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

En la Figura 2.3.1-2 se observa el Valle del río Huedque, mirando hacia aguas abajo, en zona de emplazamiento del muro de la Alternativa 3, A-3. Se observa importante ancho de la antigua llanura de inundación, Qfa, cuyos materiales sedimentarios participarían de las fundaciones del muro de esta alternativa. Ambos apoyos, involucran materiales de la unidad Complejo Sedimentario, Qcs/Pg

2.4. DEFINICIÓN DE CURVAS CARACTERÍSTICAS

Sobre la base de la cartografía escala 1:5.000 obtenida de la restitución aerofotogramétrica de las zonas de inundación de cada alternativa de embalse, se elaboró las correspondientes curvas de capacidad y superficie inundada, en función de la altura, con intervalos de 1 m, según se detalla en el Cuadro 2.4-1.

CUADRO 2.4-1
CURVAS DE CAPACIDAD ALTERNATIVAS DE EMBALSE HUEDQUE

Altura Muro ((m)	ALTERNATIVA N° 1		ALTERNATIVA N° 2		ALTERNATIVA N° 3	
	Superficie (ha)	Volumen (hm^3)	Superficie (ha)	Volumen (hm^3)	Superficie (ha)	Volumen (hm^3)
0.0	0.79	0.00	0.53	0.00	14.20	0.00
1.0	5.20	0.03	2.60	0.02	25.12	0.20
2.0	10.49	0.11	9.27	0.08	36.11	0.50
3.0	13.65	0.23	18.56	0.21	48.98	0.93
4.0	30.32	0.45	38.58	0.50	59.14	1.47
5.0	40.56	0.80	52.10	0.95	84.24	2.19
6.0	49.25	1.25	63.16	1.53	98.55	3.10
7.0	58.36	1.79	89.85	2.29	123.49	4.21
8.0	70.50	2.43	106.62	3.28	142.31	5.54
9.0	98.89	3.28	120.73	4.41	159.43	7.05
10.0	109.57	4.32	135.08	5.69	194.80	8.82
11.0	119.61	5.47	152.97	7.13	216.60	10.88
12.0	130.16	6.72	190.66	8.85	235.73	13.14
13.0	141.32	8.08	206.72	10.84	255.25	15.59
14.0	165.31	9.61	221.90	12.98	278.48	18.26
15.0	176.70	11.32	237.35	15.28	323.38	21.27
16.0	188.64	13.15	253.91	17.73	344.79	24.61
17.0	201.22	15.10	285.42	20.43	365.48	28.16
18.0	214.86	17.18	301.33	23.36	386.30	31.92
19.0	240.73	19.45	317.63	26.46	408.32	35.89
20.0	254.31	21.93	334.51	29.72	446.63	40.17
21.0	267.31	24.54	352.40	33.15	468.69	44.75
22.0	280.25	27.27	383.45	36.83	491.16	49.54
23.0	293.65	30.14	400.87	40.76	514.25	54.57

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 2.4-1
CURVAS DE CAPACIDAD ALTERNATIVAS DE EMBALSE HUEDQUE

Altura Muro ((m)	ALTERNATIVA N° 1		ALTERNATIVA N° 2		ALTERNATIVA N° 3	
	Superficie (ha)	Volumen (hm^3)	Superficie (ha)	Volumen (hm^3)	Superficie (ha)	Volumen (hm^3)
24.0	327.35	33.25	417.65	44.85	538.53	59.84
25.0	342.26	36.60	434.22	49.11	594.01	65.50
26.0	357.52	40.10	451.17	53.53	617.02	71.55
27.0	373.34	43.75	489.17	58.24	639.14	77.83
28.0	390.05	47.57	507.81	63.22	660.89	84.33
29.0	420.75	51.62	526.85	68.39	683.04	91.05
30.0	438.41	55.92	546.52	73.76	726.86	98.10
31.0	456.26	60.39	567.25	79.33	749.95	105.49
32.0	474.58	65.04	602.90	85.18	773.35	113.10
33.0	494.00	69.89	625.13	91.32	797.28	120.96
34.0	530.69	75.01	647.55	97.68	822.21	129.05
35.0	550.99	80.42	670.50	104.27	862.00	137.48
36.0	571.50	86.03	694.84	111.10	888.74	146.23
37.0	596.66	91.87	737.33	118.26	915.56	155.25
38.0	617.72	97.94	763.04	125.76	942.94	164.54
39.0	650.95	104.29	788.39	133.52	972.56	174.12
40.0	675.96	110.92	818.39	141.55	1,019.15	184.08
41.0	701.09	117.81	844.39	149.87	1,049.40	194.42
42.0	726.62	124.95	883.83	158.51	1,079.43	205.07
43.0	753.05	132.34	913.50	167.50	1,114.26	216.03

Fuente: Elaboración Propia

2.5. ESTUDIO DE CRECIDAS Y SEDIMENTACIÓN

Según el estudio hidrológico realizado, se definió los valores de caudales máximos de crecidas para diferentes períodos de retorno. Estos caudales se utilizan para el dimensionamiento preliminar de las obras de evacuación, período de retorno de 1.000 años (1211 m^3/s) y del túnel by pass que se utiliza durante la construcción, período de retorno de 10 años (257 m^3/s)

En el Cuadro 2.5-1 se resume los caudales máximos calculados que se utilizan en los diseños preliminares.

CUADRO 2.5-1

CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS REPRESENTATIVOS DE LA ZONA DE UBICACIÓN DE EMBALSE

T	Racional	V.K.	DGA-AC	Análisis Frecuencia	HUS	Adoptado
año	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s
2	193	106	126	188	243	126
5	304	181	205	373	400	205
10	384	240	257	504	502	257
15	422	269	283	579	565	283
20	448	290	305	632	610	305
25	468	306	323	673	641	323
50	532	358	372	798	742	372
100	621	430	421	922	849	421
200	-	-	-	1044	956	956
500	-	-	-	1205	1099	1099
1000	-	-	-	1326	1211	1211
10000	-	-	-	1724	1600	1600

Fuente: Elaboración Propia

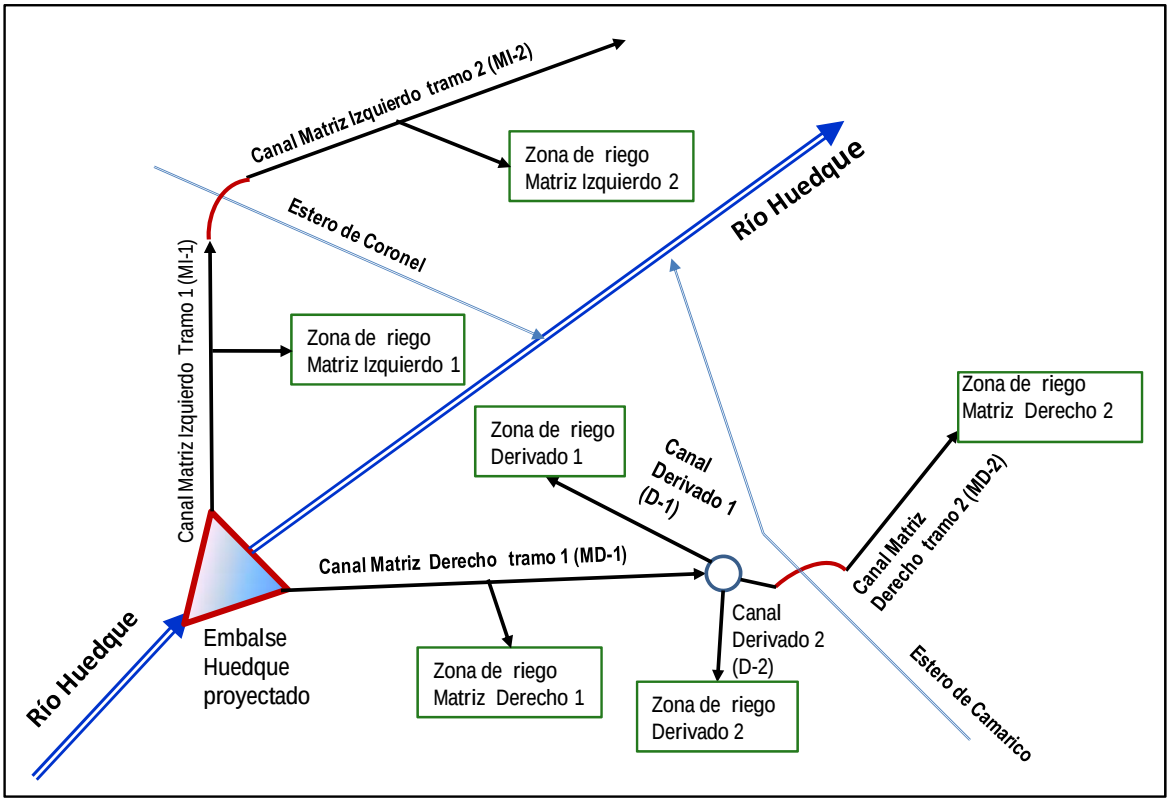
2.6. CAPACIDAD DE LOS EMBALSES

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

En la Figura 2.6-1 se ilustra el esquema general del modelo de simulación que se ha desarrollado.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 2.6-1
ESQUEMA GENERAL DEL MODELO DE SIMULACIÓN



Fuente: Elaboración Propia

En el Cuadro 3.6-1 se resume los resultados obtenidos con el modelo de simulación.

CUADRO 3.6-1
RESUMEN DE RESULTADOS MODELO DE SIMULACIÓN

Variable	SIN PROYECTO		CON PROYECTO		
	SUP. 85%	SUP TOTAL	ALT. 1	ALT. 2	ALT. 3
Superficie bajo riego (ha)	12	3000	3000	3000	3000
Volumen de regulación (hm3)	0	0	42	42	42
Seguridad de riego (%)	85	0	85	85	85
Evaporación promedio del embalse (hm3)	0	0	0.28	0,31	0,35
Promedio de la demanda de A.P. suplida (%)			99,2	99,0	100,0
Operación Minicentral Hidroeléctrica					
Altura de agua promedio del embalse (m)			19.26	16.25	18.26
Caudal de generación promedio (m3/s)			1.59	1.59	1.58
Potencia Instalada (MW)			0.38	0.38	0.38
Energía generada promedio anual (GWh)			2.20	1.86	2.09
Factor de Planta			0.67	0.56	0.63

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 12 ha. Además, se verifica que en la situación actual no hay seguridad de riego para la superficie potencial del proyecto de 3000 ha.

En el escenario con proyecto, se determinó que los volúmenes de regulación requeridos con cada alternativa son similares, del orden de los 42 hm^3. Se verifica que las diferencias se producen principalmente por la mayor superficie inundada, la cual produce mayor evaporación, siendo la alternativa 3 la de mayor evaporación, seguido por la alternativa 2 y luego la alternativa 1. Las diferencias de cada alternativa en cuanto a los caudales medios mensuales aportantes es muy poca y no se refleja en los resultados comparativos de las alternativas.

De los resultados obtenidos, se puede indicar que, en forma preliminar, se visualiza que existen los recursos hídricos suficientes como para regar la superficie de 3000 con 85% de seguridad y que el volumen útil de embalse requerido es del orden de los 42 hm^3.

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 mayor a 0,50, es necesario tener una potencia instalada de 0,38 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.

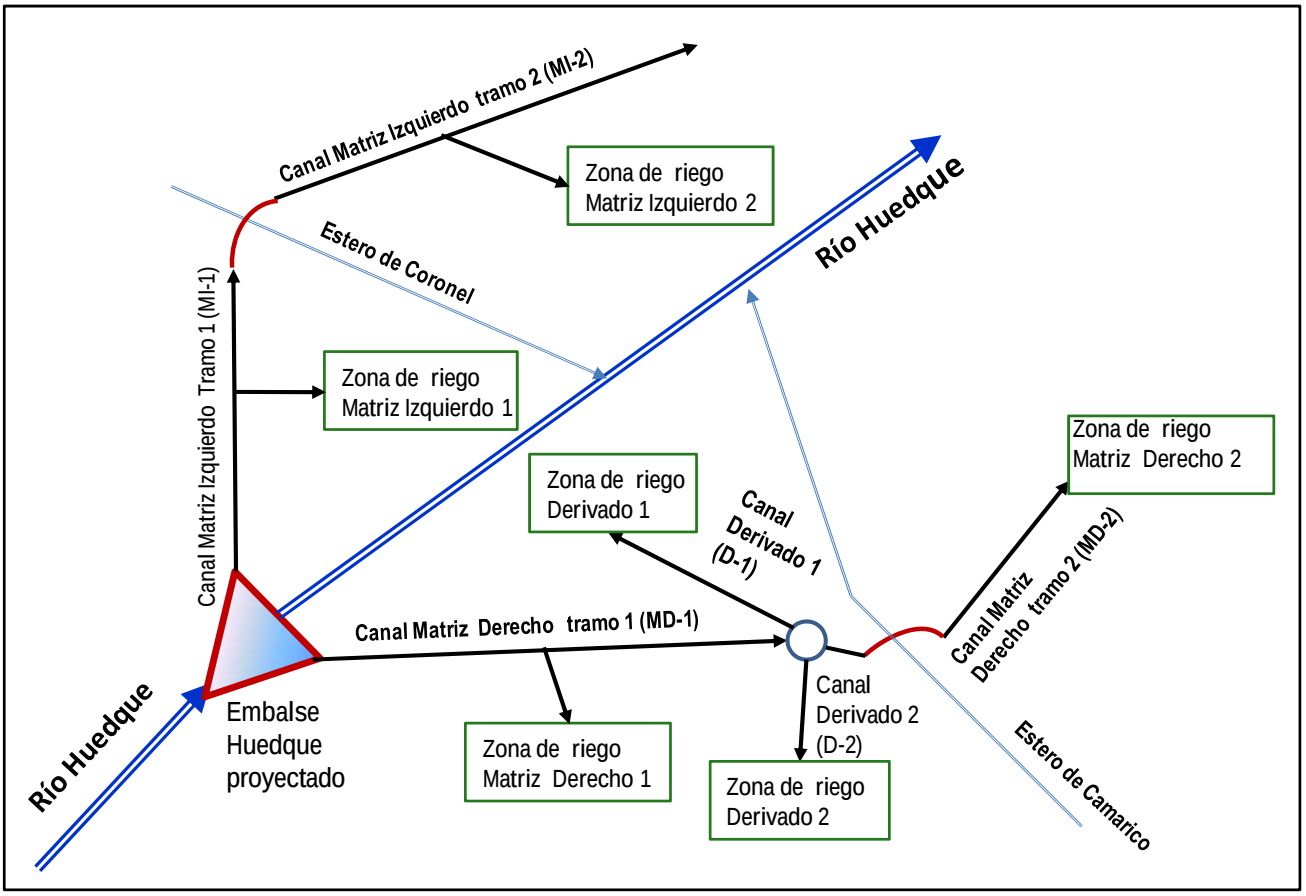
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

3. EVALUACION PARA RED DE CANALES

3.1. PLANTEAMIENTO GENERAL DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA

Se plantea una red de distribución del agua desde el embalse, consistente en un canal matriz por la ribera derecha y otro canal matriz por la ribera izquierda, según se puede apreciar en el esquema general de la Figura 3.1-1.

FIGURA 3.1-1
ESQUEMA DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL AGUA DESDE EL EMBALSE.



Fuente: Elaboración propia.

Ambos canales tiene su inicio a una cota que corresponde aproximadamente un metro más baja que la torre de toma del embalse, con lo cual la cota de radier inicial del cada canal está varios metros sobre el nivel del río a pie de embalse.

En el canal matriz que se traza por la ribera derecha, se riega una primera zona de riego denominada Matriz Derecho 1 (MD-1), tramo 1, después de lo cual el canal matriz tiene una triple bifurcación, antes del cruce del camino, sector Miraflores, a saber:

Canal derivado 1 (D-1), que riega hacia la zona del río Huedque denominada Santa Lucía.

Canal derivado 2 (D-2), que riega la zona que bordea el estero Camarico

Canal Matriz Derecho, tramo 2, que rcomienza después de cruzar el estero Camarico y llega hasta el final de la zona posible de regar por la ribera derecha, denominada Las Margaritas.

En el canal matriz por la ribera izquierda se plantea un primer tramo desde la salida del embalse hasta antes del cruce del estero de Coronel (MI-1). Luego del cruce del estero Coronel, se inicia el segundo tramo del canal matriz por la ribera izquierda (MI-2), que concluye en el sector de San Javier.

En el Cuadro 3.1-1 se resume la red de canales y sectores de riego propuesta.

CUADRO 3.1-1
RED DE CANALES Y SECTORES DE RIEGO PROPUESTA

Canal	Tramo	Desde	hasta
Matriz Ribera Izquierda	1	Salida embalse	Antes del cruce estero Coronel
Matriz Ribera Izquierda	2	Despues del cruce estero Coronel	Fin del canal, sector San Javier
Matriz Ribera Derecha	1	Salida embalse	Antes de cruce de camino, sector Miraflores
Derivado 1		obra de distribución	Sector Santa Lucia
Derivado 2		obra de distribución	Bordea estero Camarico, hasta antes cruce camino
Matriz Ribera Derecha	2	obra de distribución	Fin adel canal, sector las Margaritas

Fuente: Elaboración propia.

3.2. ESTIMACIÓN PRELIMINAR DEL CAUDAL A TRANSPORTAR

La definición de la capacidad de cada uno de los canales de la red de distribución se realizó considerando el caudal en el mes de máxima demanda. Para esto, se evaluó con el modelo de simulación de la operación mensual del embalse las entregas de agua en cada mes, para las condiciones de diseño preliminar de cada alternativa.

De esta forma, se consideró una superficie bajo riego: 3000 hectáreas, con las tasas de riego mensuales, según se detallan en el Cuadro 3.2-1.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.2-1
TASA DE RIEGO MENSUALES (M3/HA/MES)

Zona de riego	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	TOTAL	Superficies
MI-1	437					76	612	1476	2275	2567	2223	1391	**11057**	616.5
MI-2	437					76	612	1476	2275	2567	2223	1391	**11057**	366.9
MD-1	437					76	612	1476	2275	2567	2223	1391	**11057**	375.2
MD.2	437					76	612	1476	2275	2567	2223	1391	**11057**	999.3
D-1	437					76	612	1476	2275	2567	2223	1391	**11057**	290.2
D-2	437					76	612	1476	2275	2567	2223	1391	**11057**	351.9
													TOTAL	3000.0

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se calculó las demandas de agua de riego a nivel predial, considerado una eficiencia de conducción de un 25%, obteniéndose los valores de caudales de demanda indicados en el Cuadro 3.2-2.

CUADRO 3.2-2
CAUDALES DE DEMANDA MENSUALES DE CADA ZONA DE RIEGO (M3/S)

Zona de riego	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	PROM	Q Max (m3/s)
MI-1	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.19	0.47	0.70	0.79	0.76	0.43	**0.29**	0.79
MI-2	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.11	0.28	0.42	0.47	0.45	0.25	**0.17**	0.47
MD-1	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.11	0.28	0.42	0.48	0.46	0.26	**0.18**	0.48
MD.2	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.30	0.76	1.13	1.28	1.22	0.69	**0.47**	1.28
D-1	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.09	0.22	0.33	0.37	0.36	0.20	**0.14**	0.37
D-2	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.11	0.27	0.40	0.45	0.43	0.24	**0.17**	0.45

Fuente: Elaboración propia.

Para determinar el caudal que debe transportar cada tramo de canal, se debe considerar que algunos tramos conducen el agua de la zona que abastece directamente más el agua de los canales que están aguas abajo. Por esto, la capacidad de conducción de algunos canales debe ser igual a la suma de todos los tramos o zonas que se abastezca.

De acuerdo con lo anterior y con el esquema de los canales, se calcula la capacidad de cada tramo según se detalla en el Cuadro 3.2-3.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.2-3
CAUDALES MÁXIMOS EN CADA TRAMO DE CANAL

CANAL	Zonas que abastece	Caudales tramos (m³/s)	Caudal Total adoptado (m3/s)
MI-1	MI-1 + MI-2	0.79 + 0,47	1.3
MI-2	MI-2	0,47	0.5
MD-1	MD-1 + MD-2 + D1 + D2	0,48 + 1,28 + 0,37 + 0,45	2.6
MD.2	MD-2	1,28	1.3
D-1	D-1	0,37	0.4
D-2	D-2	0,45	0.5

Fuente: Elaboración propia.

3.3. DESARROLLO DE LOS TRAZADOS

Sobre la base de la restitución aerofotogramétrica a escala 1:10.000 de la zona de riego, se elaboró los trazados de los canales matrices y derivados planteados.

Para esto, se consideró lo siguientes criterios:

- Canal en tierra
- Sección trapecial
- Rugosidad (n de Manning) de 0,025
- Riego de un total de 3000 hectáreas en cada alternativa de ubicación de embalse.
- Pendiente longitudinal de 0,0005 (m/m)

Condición inicial del trazado de los canales matrices

Para dejar bajo cota de canal un total de 3000 hectáreas productivas en cada alternativa de ubicación de embalse (descontando del área un 5% no productivo, por construcciones, caminos y otros), fue necesario realizar varias iteraciones de la cota inicial de los canales matrices.

En efecto, la cota inicial de los canales matrices depende de la cota de la torre de toma del embalse, de la cual nace la tubería que entrega al canal matriz derecho e izquierdo. De esta forma, se fue variando la cota de la torre de toma y determinando la cota inicial de los canales matrices, desarrollando los trazados correspondientes de todos los canales y midiendo las superficies que quedan bajo canal, para verificar que sean 3000 ha.

En el Cuadro 3.3-1 se indica las cotas correspondientes a cada alternativa de embalse, que resultó necesaria para asegurar que queda bajo cota de canales 3000 ha productivas.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.3-1
COTAS RELEVANTES DE CADA ALTERNATIVA DE EMBALSE

ALT. DE EMBALSE	COTA PIE DE EMBALSE	COTA TORRE DE TOMA	COTA UMBRAL VERTEDERO	COTA DEL CORONA-MIENTO	ALTURA TOTAL MURO	COTA INICIAL DEL RADIER CANAL MATRIZ
1	156.00	171.00	187.80	192.80	36.80	170.00
2	153.00	167.00	180.80	185.80	32.80	166.00
3	150.00	162.20	174.50	179.50	29.50	161.20

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la cota de la torre de toma, se agregó un volumen de 42 Hm3, que es el necesario para obtener una seguridad de riego de 85%. De acuerdo con la curva de capacidad de cada alternativa, se determinó la cota que corresponde al umbral del vertedero en cada caso. La cota del coronamiento se fijó en forma aproximada como la cota del umbral del vertedero más 5 m. de revanchas. A su vez, la cota inicial del canal matriz se fijó un metro más bajo que la cota de la torre de toma, para asegurar un caudal mínimo con el embalse a baja altura.

El criterio de trazado fue, en primer lugar, hacer varias iteraciones con la alternativa N° 3, de más aguas abajo, hasta obtener un trazado que dejara 3000 ha productivas bajo canal. A continuación, se realizó el trazado de la alternativa N° 2 utilizando como base el trazado de la alternativa N° 3 y agregando el tramo entre los ejes de la alternativa 2 y 3. Con esto, en la alternativa 2 resulta una superficie mayor a 3000 ha, por lo cual se acortó la longitud final del canal matriz derecho, hasta ajustar las 3000 ha. En forma análoga, se procedió con el trazado de la alternativa N°1.

Aplicando los criterios indicados, se elaboró el plano de trazados de los canales matrices y derivados, obteniéndose finalmente las superficies abastecidas y longitudes de cada canal que se indican en el Cuadro 3.3-1.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.3-1
SUPERFICIES ABASTECIDAS Y LONGITUDES DE CADA CANAL

Canal	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3	
	Superficie	Longitud	Superficie	Longitud	Superficie	Longitud
	Bajo Canal (ha)	Canal (km)	Bajo Canal (ha)	Canal (km)	Bajo Canal (ha)	Canal (km)
Matriz Ribera Izquierda tramo 1	891.0	32.7	775.7	27.6	700.4	23.1
Matriz Ribera Izquierda tramo 2	449.5	25.3	522.9	28.3	522.9	28.3
Matriz Ribera Derecha tramo 1	784.4	28.9	764.1	27.6	667.8	22.2
Derivado 1	301.2	14.2	301.2	14.2	301.2	14.2
Derivado 2	380.0	20.2	380.0	20.2	380.0	20.2
Matriz Ribera Derecha tramo 2	202.3	17.7	286.5	24.0	444.3	28.2
TOTALES	3008.4	139.0	3030.3	141.9	3016.5	136.2

Fuente: Elaboración propia.

3.4. SECTORIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS TRAZADOS

Sobre la base de un análisis de la cartografía en escala 1:10.000 de la zona de riego que se utilizó en el trazado de los canales, se estimó los sectores que podrían presentar condiciones de suelo tipo común o tipo "duro", desde el punto de vista de la dificultad y del costo de las excavaciones para la construcción de los canales. Los resultados se indican en los Cuadros 3.4-1, 3.4-2 y 3.4-3 para los trazados de las alternativas 1, 2 y 3, respectivamente.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.4-1
SECTORES DE TRAZADO DE CANALES CON TERRENO TIPO DURO
ALTERNATIVA DE EMBALSE N° 1

NOMBRE TRAMO CANAL	KM INICIO	KM FIN	DISTANCIA (m)
M. izquierdo T1	800	3,600	2,800
	4,200	4,600	400
	5,800	6,400	600
	12,000	13,200	1,200
	14,300	16,200	1,900
	19,600	20,200	600
	20,400	20,700	300
	21,500	21,900	400
	22,000	23,100	1,100
Longitud canal			**9,300**
M. derecho T1	2,000	4,400	2,400
	16,200	17,600	1,400
Longitud canal			**3,800**
Derivado 1	1,600	5,600	4,000
	10,800	14,200	3,400
Longitud canal			**7,400**
M. izquierdo T2	0	2,000	2,000
	2,300	3,300	1,000
	3,900	4,100	200
	12,300	13,000	700
	14,000	15,000	1,000
	17,800	19,100	1,300
	20,600	21,000	400
	22,100	25,400	3,300
Longitud canal			**9,900**
M. derecho T2	0	3,600	3,600
	10,900	11,200	300
	12,200	13,000	800
	14,000	14,600	600
	18,600	19,600	1,000
	24,400	25,200	800
Longitud canal			**7,100**
TOTAL			**37,500**

Fuente: Elaboración propia.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.4-2
SECTORES DE TRAZADO DE CANALES CON TERRENO TIPO DURO
ALTERNATIVA DE EMBALSE N° 2

NOMBRE TRAMO CANAL	KM INICIO	KM FIN	DISTANCIA (m)
M. izquierdo T1	800	3,600	2,800
	4,200	4,600	400
	5,800	6,400	600
	12,000	13,200	1,200
	14,300	16,200	1,900
	19,600	20,200	600
	20,400	20,700	300
	21,500	21,900	400
	22,000	23,100	1,100
Longitud canal			**9,300**
M. derecho T1	2,000	4,400	2,400
	16,200	17,600	1,400
Longitud canal			**3,800**
Derivado 1	1,600	5,600	4,000
	10,800	14,200	3,400
Longitud canal			**7,400**
Derivado 2	6,600	7,400	800
	14,600	14,800	200
	15,600	19,600	4,000
Longitud canal			**5,000**
M. izquierdo T2	0	2,000	2,000
	2,300	3,300	1,000
	3,900	4,100	200
	12,300	13,000	700
	14,000	15,000	1,000
	17,800	19,100	1,300
	20,600	21,000	400
	22,100	25,400	3,300
Longitud canal			**9,900**
M. derecho T2	0	3,600	3,600
	10,900	11,200	300
	12,200	13,000	800
	14,000	14,600	600
	18,600	19,600	1,000
	24,400	25,200	800
Longitud canal			**7,100**
TOTAL			**42,500**

Fuente: Elaboración propia.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.4-3
SECTORES DE TRAZADO DE CANALES CON TERRENO TIPO DURO
ALTERNATIVA DE EMBALSE N° 3

NOMBRE TRAMO CANAL	KM INICIO	KM FIN	DISTANCIA (m)
M. izquierdo T1	800	3,600	2,800
	4,200	4,600	400
	5,800	6,400	600
	12,000	13,200	1,200
	14,300	16,200	1,900
	19,600	20,200	600
	20,400	20,700	300
	21,500	21,900	400
	22,000	23,100	1,100
Longitud canal			**9,300**
M. derecho T1	2,000	4,400	2,400
	16,200	17,600	1,400
Longitud canal			**3,800**
Derivado 1	1,600	5,600	4,000
	10,800	14,200	3,400
Longitud canal			**7,400**
Derivado 2	6,600	7,400	800
	14,600	14,800	200
	15,600	19,600	4,000
Longitud canal			**5,000**
M. izquierdo T2	0	2,000	2,000
	2,300	3,300	1,000
	3,900	4,100	200
	12,300	13,000	700
	14,000	15,000	1,000
	17,800	19,100	1,300
	20,600	21,000	400
	22,100	25,400	3,300
Longitud canal			**9,900**
M. derecho T2	0	3,600	3,600
	10,900	11,200	300
	12,200	13,000	800
	14,000	14,600	600
	18,600	19,600	1,000
	24,400	25,200	800
Longitud canal			**7,100**
TOTAL			**42,500**

Fuente: Elaboración propia.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

En el Cuadro 3.4-4 se resume las longitudes totales de los canales, desglosadas según tipo de material de excavación (común o duro). Se observa que la longitud en terreno duro representa entre un 27 % y 31 % de la longitud total.

CUADRO 3.4-4
LONGITUDES TOTALES DE LOS CANALES,
SEGÚN TIPO DE MATERIAL DE EXCAVACIÓN (KM)

ALTERNATIVA	LONGITUD TERRENO COMUN	LONGITUD TERRENO DURO	LONGITUD TOTAL
1	101.5	37.5	139.0
2	99.4	42.5	141.9
3	93.7	42.5	136.2

Fuente: Elaboración propia.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

4. DISEÑO SIMPLIFICADO E INVERSIONES TOTALES DE CADA EMBALSE Y REDES DE CANALES

4.1. DISEÑOS PRELIMINARES DE CADA MURO DE EMBALSE

Sobre la base de los antecedentes disponibles y de las visitas técnicas a terreno de especialistas, se definieron los siguientes criterios para los diseños preliminares del muro de embalse:

Tipo de presa: de tierra de sección homogénea, con enrocado de protección.

Taludes: talud de aguas arriba H:V=3:1, y talud de aguas abajo H:V=2.5:1.

Ancho de coronamiento: 9 m.

Pared moldeada: En alternativas 1 y 3, la profundidad sería del orden de la altura del vertedero más un 20%, lo que resulta una altura similar a la altura total del muro, esto es, de unos 30 m. En la alternativa N° 2 no se requiere pared moldeada (Se considera un diente de fundación de 10 m de profundidad)

Ubicación del vertedero: En la ribera derecha, en las tres alternativas.

Distancia promedio del empréstito para material de la presa: 5 km.

El Cuadro 4.1-1 muestra las características principales del muro por alternativa.

CUADRO 4.1-1
CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL MURO

Alternativa Nº	Cota de Fondo	Cota Torre de Toma	Cota Umbral de Vertedero	Cota Coronamiento	Altura total del Muro	Cota Radier Canal Matriz
1	156.00	171.00	187.80	192.80	36.80	170.00
2	153.00	167.00	180.80	185.80	32.80	166.00
3	150.00	162.20	174.50	179.50	29.50	161.20

Fuente: Elaboración propia.

4.2. ESTIMACIÓN DE DIMENSIONES DE OBRAS ANEXAS

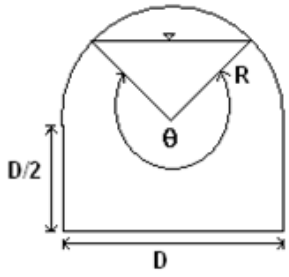
4.2.1. Túnel de Desvío

Caudal de diseño, período de retorno de 10 años = 257 m3/s

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Se considera un túnel con revestimiento de hormigón, sección medio punto, según Figura 4.2.1-1:

FIGURA 4.2.1-1
CARACTERÍSTICAS DE LA SECCIÓN DE MEDIO PUNTO.



- Si h > D/2
Área de Escurrimiento:

$$A = \frac{D^2}{2} + \frac{1}{8}(\theta - seno(\theta))D^2 - \frac{\pi \cdot D^2}{8}$$

Perímetro Mojado: $\chi = 2 \cdot D + D \cdot aseno(\frac{\theta - \pi}{2})$

- Si h < D/2Área de Escurrimiento: $A = \frac{D^2}{2}$

Perímetro Mojado: $\chi = 2 \cdot D$

Fuente: Elaboración propia.

Se considera una rugosidad n = 0,015 de hormigón, y pendiente de fondo de 0,005 (m/m).

Se adopta el criterio habitual de diseño hidráulico, en este tipo de obras, que es de escurrimiento en acueducto, con una relación h/D = 0,82, de máxima eficiencia.

Con estos criterios de cálculo, se obtiene D= 8,00 m y una altura de agua h = 6,56 m. La sección de escurrimiento es de 38 m2 y la velocidad es de 6,8 m/s

Se adopta un revestimiento de espesor 0,20 m, con lo cual el volumen de hormigón armado por metro lineal es de 5,7 m^3/m y el volumen de excavación es de 63 m^3/ml.

4.2.2. Vertedero

El vertedero adoptado corresponde a uno libre, es decir, sin compuertas de regulación, de ubicación lateral y recto.

La altura de agua sobre el umbral se determina a partir de la ecuación de gasto del vertedero:

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

$$Q = C \cdot L \cdot He^{3/2} \cdot$$

Donde:
Q : Caudal de entrada al vertedero (m^3/s)
Hd : Altura sobre umbral del vertedero (m)
L : Longitud del vertedero (m)
C : Coeficiente de gasto ($m^{0,5}/s$)

El caudal de Diseño asociado a un periodo de retorno de 1.000 años es de 1211 m3/s.

En el diseño de la forma del vertedero se han utilizado los gráficos recomendados por el USBR. En el Cuadro 4.2.2-1 se detalla el cálculo realizado, con el cual se obtiene una altura sobre el vertedero de 3,6 m y velocidad de aproximadamente 6 m/s.

CUADRO 4.2.2-1
CÁLCULO PRELIMINAR VERTEDERO

Caudal	1211	[m3/s]	Caudal de Diseño asociado a un periodo de retorno de 1.000 años.
Altura Vertedero P	2	[m]	Altura asignada por diseñador.
Longitud Vertedero L	80	[m]	Longitud adoptada por diseñador.
Talud Agua Arriba	3:1	V:H	Talud típico de muro del vertedero aguas arriba.
Co	2.181	[$m^{0,5}/s$]	Coeficiente de gasto inicial
Ho	3.639	[m]	Carga del perfil vertiente. Si el caudal es igual al de diseño, Ho=He
P/Ho	0.55		Relación entre carga y altura del muro vertedero
Co'	2.181	[$m^{0,5}/s$]	Corrección del coeficiente de gasto según Fig 189 - Bureau of Reclamation
Ho'	3.639	[m]	
P/Ho'	0.55		
Co"	2.183	[$m^{0,5}/s$]	Corrección por inclinación del Talud Aguas Arriba, según Fig 191 - Bureau of Reclamation
Ho"	3.636	[m]	
Hd	0.544	[m]	Altura de agua sobre Nivel Umbral
Área	203.5	[m2]	Área transversal del canal de entrada
Velocidad	5.95	[m/s]	Velocidad en el canal de entrada

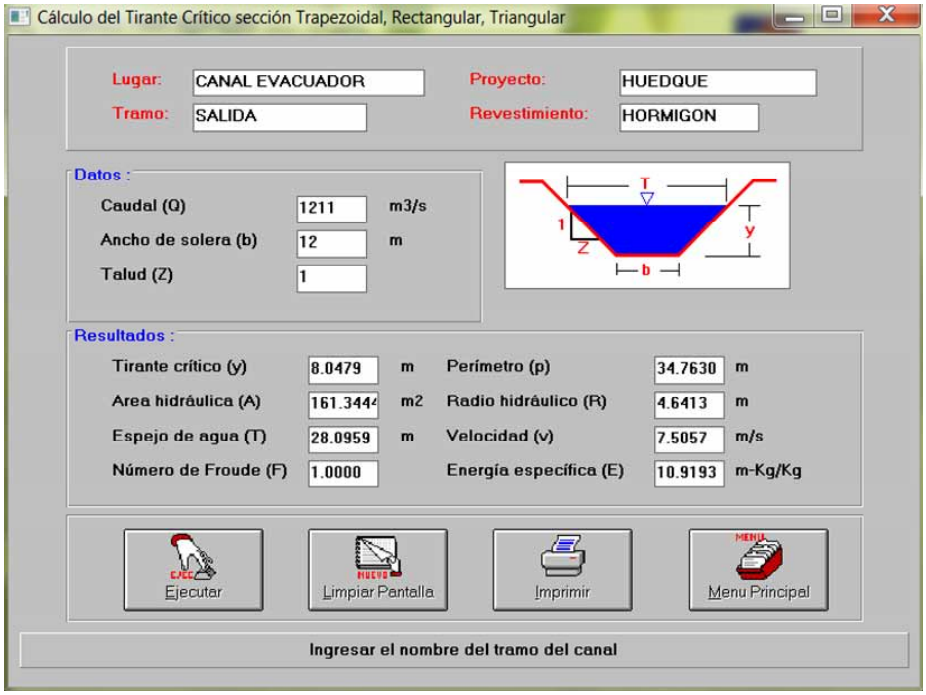
Fuente: Elaboración propia.

A continuación del vertedero frontal se considera que las aguas caen a un canal colector de ancho variable, entre 6 y 12 m, taludes 1:1, de pendiente fuerte (1,0 %), rugosidad de hormigón, n = 0,015.

A la salida de este canal, se produce altura crítica, Hc = 8 m, velocidad de 7,5 m/s, con la cual se inicia el tramo de pendiente fuerte en el canal de evacuación que termina en un colchón de amortiguación. En la Figura 4.2.2-1 se detalla el cálculo de la altura crítica al final del canal de evacuación.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 4.2.2-1
CÁLCULO DE LA ALTURA CRÍTICA AL FINAL DEL CANAL DE EVACUACIÓN.



Fuente: Elaboración propia por medio de Software HCanales.

Por lo tanto, se considera la sección de este canal con una altura de 9,0 m, incluyendo una revancha de 1,00 m.

4.3. DISEÑO PRELIMINAR DE LA RED DE CANALES

4.3.1. Aspectos de Diseño a Considerar

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 rio. La pendiente del rio es muy baja, lo que implica que la pendiente del canal será aun más baja. Los diseños se han realizado verificando los siguientes criterios hidráulicos:

- la velocidad del canal debe ser mayor que $v = 0.4\ m/s$para evitar embancamientos.
- la energía normal (En) debe ser 10% mayor que la energía crítica(Ec) del flujo. Esto es $\frac{En}{Ec} > 1{,}10$.
- La pendiente de diseño de los canales se ha considerado de $i = 0.5/1000$
- La rugosidad del canal, al ser estos de tierra, se ha considerado de $n = 0.025$

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Se ha considerado una sección trapezoidal con un talud z, en donde $\frac{H}{V} = \frac{z}{1}$, y que depende del siguiente criterio:
  - Se ha definido para alturas normales entre $0{,}1 \leq h_n < 1{,}0$ un talud $z = 0{,}5\ m$
  - $1{,}0\ m \leq h_n < 2{,}0\ m$; $z = 1{,}0$
  - $h_n \geq 2{,}0\ m$; $z = 2{,}0$

  Esto se ha dispuesto como criterio preliminar debido a la geografía y tipo de material de los canales antes de hacer el estudio correspondiente.
- Se ha considerado el ancho basal de $b = 1{,}0\ m$ de la sección trapezoidal.
- Se ha verificado que el número de Froude sea $F < 1{,}0$ para un régimen sub-crítico.

Además para cada alternativa las longitudes y cotas de los canales son distintas, pues la geografía del sitio obliga a realizar los trazados con longitudes diferentes, ya que de lo contrario los canales se acercarían al cauce del rio inmediatamente, impidiendo regar mayor cantidad de hectáreas.

En el 4.3.1-1 al 4.3.1-3 se muestran los canales diseñados con sus respectivos caudales, longitudes y superficies de riego, para las distintas alternativas.

CUADRO 4.3.1-1
CANALES DE RIEGO HUEDQUE ALTERNATIVA 1

Canal	Tramo	Superficie bajo canal (ha)	L (km)	Caudal (m³/s)
Matriz Ribera izquierda	1	301,2	32.7	1.30
Matriz Ribera izquierda	2	380,0	25.3	0.50
Matriz Ribera derecha	1	784,4	28.9	2.60
Matriz Ribera derecha	2	202,3	17.7	1.30
Derivado 2		891,0	20.2	0.40
Derivado 1		449,5	14.2	0.40
	TOTAL	**3008,37**	**139.0**	

Fuente: Elaboración propia.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 4.3.1-2
CANALES DE RIEGO HUEDQUE ALTERNATIVA 2

Canal	Tramo	Superficie bajo canal (ha)	L (km)	Caudal (m³/s)
Matriz Ribera izquierda	1	301,2	27.6	1.30
Matriz Ribera izquierda	2	380,0	28.3	0.50
Matriz Ribera derecha	1	764,1	27.6	2.60
Matriz Ribera derecha	2	286,5	24.0	1.30
Derivado 2		775,7	20.2	0.40
Derivado 1		522,9	14.2	0.40
	TOTAL	**3030,31**	**141.9**	

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 4.3.1-3
CANALES DE RIEGO HUEDQUE ALTERNATIVA 3

Canal	Tramo	Superficie bajo canal (ha)	L (km)	Caudal (m³/s)
Matriz Ribera izquierda	1	301,2	23.1	1.30
Matriz Ribera izquierda	2	380,0	28.3	0.50
Matriz Ribera derecha	1	667,8	22.2	2.60
Matriz Ribera derecha	2	444,3	28.2	1.30
Derivado 2		700,4	20.2	0.40
Derivado 1		522,9	14.2	0.40
	TOTAL	**3016,54**	**136.2**	

Fuente: Elaboración propia.

El respaldo de los cálculos y verificaciones hidráulicas se encuentra en el Anexo D.4-1 digital de este informe.

4.4. INTERFERENCIAS

4.4.1. Interferencias de Red de Caminos

El proyecto se encuentra en una zona donde existen caminos primarios, secundarios y de accesos a predios, por lo que debe realizarse para las distintas alternativas, desplazar el camino a una cota más alta, realizar un nuevo camino por otro sector, etc. En el Cuadro 4.4.1-1 se muestra cada una de las variantes de caminos, con sus longitudes y observaciones más importantes.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Se ha considerado en las partidas de construcción de camino el tratado estructural correspondiente a caminos secundarios ya que por este transitarían camiones madereros altamente cargados.

CUADRO 4.4.1-1
VARIANTE DE CAMINOS

Tramo	Longitud (km)	Acumulada(km)	Obs
Alternativa 1	11,243	11,243	Trazado camino y desarrollo. El camino debe construirse en una cota más alta ya que el anterior queda sumergido en la zona de inundación. Calzada de 5m de ancho. Un solo tramo a construir.
Alternativa 2	5,007	16,25	Trazado camino y desarrollo. El camino debe construirse en una cota más alta ya que el anterior queda sumergido en la zona de inundación. Calzada de 5m de ancho. Dos tramos a construir.
Alternativa 3	7,74	23,99	Mejoramiento de canal existente. Calzada de 5m de ancho. Tres tramos a construir.

Fuente: Elaboración propia.

Además se han considerado los distintos atraviesos de quebradas que están en el trazado de estos nuevos caminos, en el Cuadro 4.4.1-1 se muestran la totalidad de ellos, por tramos.

CUADRO 4.4.1-2
CRUCES DE QUEBRADAS PARA CAMINOS

Cruce de quebradas	Cantidad (un)			
	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Total
Alternativa 1	14	-	-	14
Alternativa 2	14	9		23
Alternativa 3	14	9	5	28

Fuente: Elaboración propia.

En estos cruces de quebradas se ha dispuesto una obra tipo que consta de una tubería por donde pasará el agua de la quebrada, por debajo del camino, según como lo establece el manual de carreteras.

4.4.2. Interferencias de la Red de Canales

En el trazado de los canales se han encontrado grandes quebradas en las cuales conviene atravesarlas directamente, ya que recorrerla completa para mantener la cota es prácticamente imposible. Se ha dispuesto para estos atraviesos una obra tipo con sifón, en presión, para continuar el trazado del canal.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

En el Cuadro 4.4.2-1 se muestran los sifones dispuestos.

CUADRO 4.4.2-1
CRUCES DE QUEBRADAS PARA CANALES

Sifones	Longitud (m)	Q m³/s	pendiente (i)	Diámetro tubería (mm)
Matriz izq. tramo 1 ---> Matriz izq. tramo 2	127	0.5	0.0005	600
Matriz der. tramo 1 ---> Matriz der. tramo 2	500	1.3	0.0005	900

Fuente: Elaboración propia.

Debido a que existe una zona del canal matriz derecho tramo 1, el cual debe alimentar al matriz derecho tramo 2 y al derivado numero 2, en donde se debe atravesar un cerro para llevar el agua al otro lado se ha dispuesto la construcción de un túnel, excavado en roca para el transporte del agua.

El cálculo hidráulico del túnel se muestra en el Cuadro 4.4.2-2

CUADRO 4.4.2-2
PROPIEDADES TÚNEL CANAL MATRIZ DERECHO

Túnel	Longitud (m)	Q m³/s	pendiente (i)	ancho sección(mm)
	300	1.7	0.0005	2000

Fuente: Elaboración propia.

El túnel tendría una longitud de 300 m con una sección de medio punto de 2,0 m de ancho por 2,0 m de alto. El cálculo hidráulico arroja que el tirante normal sería de 1,3 m.

4.5. CUBICACIONES Y PRESUPUESTO

4.5.1. Precios Unitarios

Los precios unitarios, en adelante PU, que se utilizaron para el proyecto Embalse Rio Huedque, se preparó a partir de información disponible en la base de datos del Consultor, en proyectos ejecutados en diciembre de 2003. Cada uno de los precios de referencia, conservaron indicadores y variaciones económicas actualizadas a Marzo de 2012, que se presentan en el Cuadro 4.5.1-1.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 4.5.1-1
VARIACIÓN INDICADORES ECONÓMICOS

	Diciembre de 2003 pesos Chilenos	Marzo de 2012 pesos Chilenos
Valor Dólar	621	476
Valor UF	16.920	22.463

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se muestran los PU de las principales partidas de las obras de arte del embalse, actualizados a Marzo de 2012 y adaptados a la zona geográfica de ubicación del proyecto. El análisis de los precios unitarios se establece solo para las partidas principales, cuyo resultado en pesos chilenos se presenta en el Anexo 4.1

Se presenta en el Cuadro 4.5.1-2 la lista de precios unitarios adoptados, en que dichos precios son costos directos, es decir, no incluyen gastos generales, utilidades ni tampoco IVA.

CUADRO 4.5.1-2
PRECIOS UNITARIOS ($)

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRIVADO
0001	Instalación de Faenas para Construcción de Embalse y Red de Riego	Gl	$ 484.000.000
0002	Limpieza / Despeje	m²	$ 1.794
0003	Excavaciones en material común	m³	$ 2.952
0004	Relleno presa	m³	$ 5.892
0005	Pared moldeada	m³	$ 301.828
0006	Enrocado de protección e=0,50 m	m²	$ 25.004
0007	Excavaciones abiertas en roca	m³	$ 15.085
0008	Hormigón H-30	m³	$ 142.918
0009	Metros Túnel con refuerzo	ml	$ 4.761.659
00010	Metros Túnel sin refuerzo	ml	$ 4.710.543
00011	Excavaciones en material fluvial	m³	$ 3.835
00012	Cruce de Quebradas Tipo para caminos	un	$ 5.000.000
00013	Puente cruce Rio Huedque	un	$ 46.000.000
00014	Relleno Terraplén	m³	$ 5.422
00015	Hormigón H-10	m³	$ 94.371
00016	Armadura Refuerzo	kg	$ 1.369
00017	Excavación Subterránea en Roca	m³	$ 82.459
00018	Tubería Spiropecc DN 600	m	$ 39.428
00019	Tubería Spiropecc DN 900	m	$ 61.720

Fuente: Elaboración propia.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

El precio unitario de relleno presa es uno de los precios que más incide en el valor final de la presa, por lo que se ha refinado su cálculo y se ha incluido en el también un transporte de unos 3 km a la zona de empréstito.

4.5.2. Escenarios de Presupuestos

Se ha determinado el presupuesto para cada alternativa, incluyendo las partidas más relevantes. Sin embargo se ha notado que uno de los aspectos más influyentes en el precio final es la construcción de la pared moldeada en las alternativas 1 y 3, de modo que se han establecido 3 escenarios de proyecto. El 1er escenario contempla la construcción de la pared moldeada completa, considerando el caso más desfavorable. El 2do escenario contempla la construcción de la pared moldeada pero sólo hasta la mitad de la altura, y el 3er escenario considera la construcción de un diente de fundación para las tres alternativas. De este modo tenemos tres presupuestos de cada una de las alternativas para cada escenario. En los siguientes acápites se muestra el resumen de estos presupuestos. El presupuesto completo se encuentra en el Anexo 4.1 de este informe.

4.5.3. Resumen Presupuesto Escenario 1

CUADRO 4.5.3-1
RESUMEN PRESUPUESTO ESCENARIO 1

Item	Descripción	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
		P.Total	P.Total	P.Total
1	Instalaciones Temporales	$ 484.000.000	$ 484.000.000	$ 484.000.000
2	Preparación del terreno	$ 405.750.964	$ 528.359.196	$ 675.653.122
3	Construcción de Presa homogénea	$ 6.743.270.268	$ 6.340.999.860	$ 9.090.731.448
4	Pared Moldeada	$ 2.585.740.986	$ -	$ 3.764.990.842
5	Excavación para diente de fundación	$ -	$ 1.402.020.599	$ -
6	Enrocado de Protección muro aguas arriba	$ 1.331.282.971	$ 1.574.801.928	$ 1.865.518.435
7	Vertedero y colchón	$ 5.237.346.756	$ 3.607.915.063	$ 3.098.146.581
8	Túnel de Desvío	$ 1.471.656.007	$ 2.415.052.020	$ 2.809.560.433
9	Construcción de caminos	$ 553.442.297	$ 799.914.375	$ 1.036.910.853
10	Obras de Cruce	$ 70.000.000	$ 115.000.000	$ 186.000.000
11	Red de Canales	$ 2.772.219.805	$ 2.692.969.927	$ 2.370.249.921
12	**Total Costo Directo**	**$ 21.654.710.053**	**$ 19.961.032.968**	**$ 25.381.761.635**
13	Gastos Generales y Utilidades e Imprevistos (45%)	9.744.619.524	8.982.464.836	11.421.792.736
14	Contingencia (15%)	3.248.206.508	2.994.154.945	3.807.264.245
15	Sub-Total Neto	$ 34.647.536.085	$ 31.937.652.749	$ 40.610.818.616
16	Expropiaciones	$ 610.388.296	$ 775.011.558	$ 1.044.005.088
17	**TOTALES NETO ($)**	**$ 35.257.924.381**	**$ 32.712.664.306**	**$ 41.654.823.704**
18	NOTA : Valores Netos no consideran IVA	**74,03 MM. US**	**68,69 MM. US**	**87,46 MM. US**

Fuente: Elaboración propia.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

4.5.4. Resumen Presupuesto Escenario 2

CUADRO 4.5.4-1
RESUMEN PRESUPUESTO ESCENARIO 2

Item	Descripción	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
		P.Total	P.Total	P.Total
1	Instalaciones Temporales	$ 484.000.000	$ 484.000.000	$ 484.000.000
2	Preparación del terreno	$ 405.750.964	$ 528.359.196	$ 675.653.122
3	Construcción de Presa homogénea	$ 6.743.270.268	$ 6.340.999.860	$ 9.090.731.448
4	Pared Moldeada	$ 1.294.521.985	$ -	$ 1.885.435.078
5	Excavación para diente de fundación	$ -	$ 1.402.020.599	$ -
6	Enrocado de Protección muro aguas arriba	$ 1.331.282.971	$ 1.574.801.928	$ 1.865.518.435
7	Vertedero y colchón	$ 5.237.346.756	$ 3.607.915.063	$ 3.098.146.581
8	Túnel de Desvío	$ 1.471.656.007	$ 2.415.052.020	$ 2.809.560.433
9	Construcción de caminos	$ 553.442.297	$ 799.914.375	$ 1.036.910.853
10	Obras de Cruce	$ 70.000.000	$ 115.000.000	$ 186.000.000
11	Red de Canales	$ 2.772.219.805	$ 2.692.969.927	$ 2.370.249.921
12	**Total Costo Directo**	**$ 20.363.491.053**	**$ 19.961.032.968**	**$ 23.502.205.871**
13	Gastos Generales y Utilidades e Imprevistos (45%)	9.163.570.974	8.982.464.836	10.575.992.642
14	Contingencia (15%)	3.054.523.658	2.994.154.945	3.525.330.881
15	Sub-Total Neto	$ 32.581.585.684	$ 31.937.652.749	$ 37.603.529.393
16	Expropiaciones	$ 610.388.296	$ 775.011.558	$ 1.044.005.088
17	**TOTALES NETO ($)**	**$ 33.191.973.980**	**$ 32.712.664.306**	**$ 38.647.534.481**
18	NOTA : Valores Netos no consideran IVA	69,69 MM. US	68,69 MM. US	81,15 MM. US

Fuente: Elaboración propia.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

4.5.5. Resumen Presupuesto Escenario 3

CUADRO 4.5.5-1
RESUMEN PRESUPUESTO ESCENARIO 3

Item	Descripción	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
		P.Total	P.Total	P.Total
1	Instalaciones Temporales	$ 484.000.000	$ 484.000.000	$ 484.000.000
2	Preparación del terreno	$ 405.750.964	$ 528.359.196	$ 675.653.122
3	Construcción de Presa homogénea	$ 6.743.270.268	$ 6.340.999.860	$ 9.090.731.448
4	Pared Moldeada	$ -	$ -	$ -
5	Excavación para diente de fundación	$ 789.151.510	$ 1.402.020.599	$ 1.192.043.850
6	Enrocado de Protección muro aguas arriba	$ 1.331.282.971	$ 1.574.801.928	$ 1.865.518.435
7	Vertedero y colchón	$ 5.237.346.756	$ 3.607.915.063	$ 3.098.146.581
8	Túnel de Desvío	$ 1.471.656.007	$ 2.415.052.020	$ 2.809.560.433
9	Construcción de caminos	$ 553.442.297	$ 799.914.375	$ 1.036.910.853
10	Obras de Cruce	$ 70.000.000	$ 115.000.000	$ 186.000.000
11	Red de Canales	$ 2.772.219.805	$ 2.692.969.927	$ 2.370.249.921
12	Total Costo Directo	$ 19.858.120.577	$ 19.961.032.968	$ 22.808.814.643
13	Gastos Generales y Utilidades e Imprevistos (45%)	8.936.154.260	8.982.464.836	10.263.966.589
14	Contingencia (15%)	2.978.718.087	2.994.154.945	3.421.322.196
15	Sub-Total Neto	$ 31.772.992.924	$ 31.937.652.749	$ 36.494.103.429
16	Expropiaciones	$ 610.388.296	$ 775.011.558	$ 1.044.005.088
17	TOTALES NETO	$ 32.383.381.220	$ 32.712.664.306	$ 37.538.108.516
18	NOTA : Valores Netos no consideran IVA	67,99 MM. US	68,69 MM. US	78,82 MM. US

Fuente: Elaboración propia.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

4.5.6. Resumen de los Tres Escenarios

En el Cuadro 4.5.6-1 se muestran los costos netos presupuestados para los distintos escenarios y alternativas de embalse.

CUADRO 4.5.6-1
RESUMEN FINAL PRESUPUESTOS

Resumen Presupuestos	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Escenario 1	$ 35.257.924.381	$ 32.712.664.306	$ 41.654.823.704
	74,03 MM. US	68,69 MM. US	87,46 MM. US
Escenario 2	$ 33.191.973.980	$ 32.712.664.306	$ 38.647.534.481
	69,69 MM. US	68,69 MM. US	81,15 MM. US
Escenario 3	$ 32.383.381.220	$ 32.712.664.306	$ 37.538.108.516
	67,99 MM. US	68,69 MM. US	78,82 MM. US

Fuente: Elaboración propia.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

5. ANÁLISIS AMBIENTAL DE LAS ALTERNATIVAS

El presente Capítulo explica en forma resumida, los resultados principales del primer avance del Estudio de Análisis Ambiental (EAA), correspondiente al Análisis de Alternativas. Los contenidos detallados de este EAA se encuentran disponibles en el documento extenso que se adjunta como un Volumen independiente al presente informe.

El objetivo general de este primer avance del EAA fue el de jerarquizar las distintas alternativas estudiadas para poder recomendar aquella más sustentable desde la perspectiva ambiental destacando sus aspectos más relevantes, y del mismo modo realizar un análisis de pertinencia de ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental preliminar.

La jerarquización de las Alternativas fue llevada a cabo mediante el cálculo de un índice de Sensibilidad Ambiental para cada una de ellas, todos atributos que fueron obtenidos a partir de la caracterización de la línea base en los distintos componentes analizados. La Figura 5-1 muestra un esquema que resume el método empleado.

FIGURA 5-1
ESQUEMA MÉTODO EMPLEADO PARA DETERMINACIÓN DE SENSIBILIDAD AMBIENTAL

Fuente: Elaboración propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Debe tenerse en cuenta que las 3 alternativas analizadas se encuentran muy cercanas la una de la otra, con una importante zona de traslape entre los 3 espejos de agua, habiendo pocas diferencias desde la perspectiva de la caracterización de los componentes ambientales. Es por ello, que varios componentes poseen iguales indicadores. El resultado de este proceso se muestra en el Cuadro 5-1, en el que se indica la Jerarquización final de las Alternativas.

CUADRO 5-1
SENSIBILIDAD FINAL Y JERARQUIZACIÓN DE ALTERNATIVAS

Componente	Función Ecológica			Naturalidad			Importancia ecológica			Vulnerabilidad			Sensibilidad Ambiental		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Hidrografía e Hidrología	5.0	5.0	5.0	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0	4.0	3.0	3.0	3.0	3.5	3.5	3.5
Calidad de aguas	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	5.0	3.0	3.5	4.0	5.0	4.0	3.0	4.0	3.8	3.5
Vegetación y flora terrestre	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Fauna terrestre	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Flora y Fauna Acuática	5.0	5.0	5.0	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0	4.0	5.0	5.0	5.0	4.5	4.5	4.5
Biodiversidad	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Asentamientos humanos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0	2.0	5.0	1.0	2.0	5.0
Patrimonio Arqueológico y cultural	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.0	4.0	4.0	2.0	4.0	4.0
Sensibilidad final por Alternativa													2.3	2.6	2.9
Jerarquización/Preferencia													1°	2°	3°

Fuente: Elaboración propia

Tal como se ve en el Cuadro 5-1, como resultado de este análisis se concluye que la Alternativa 1 es la que obtuvo el menor valor en su índice de Sensibilidad Ambiental, por lo que es considerada como la más recomendable para la instalación del Embalse desde la perspectiva ambiental, seguida de la Alternativa 2 y finalmente la 3. Las mayores diferencias entre cada Alternativa vienen dadas principalmente por los componentes del medio social y cultural.

Por otro lado, se determinó que el proyecto deberá someterse al SEIA como un Estudio de Impacto Ambiental (EIA), por cuanto el emplazamiento de las alternativaspropuestas generaría impactos ambientales relevantes y que determinan el modo de ingreso como un EIA de acuerdo a la legislación. Si bien los impactos aún no han sido identificados ni valorados, se puede adelantar que estos implican los efectos descritos por la legislación, ya que es habitual en este tipo de proyectos (embalses de riego de grandes dimensiones) que el sometimiento sea vía EIA por cuanto la sola naturaleza del proyecto ya implica transformaciones significativas en el medio ambiente.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

6. EVALUACIÓN DE CADA SITIO Y SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA DE SISTEMA DE RIEGO

6.1. OBJETIVO

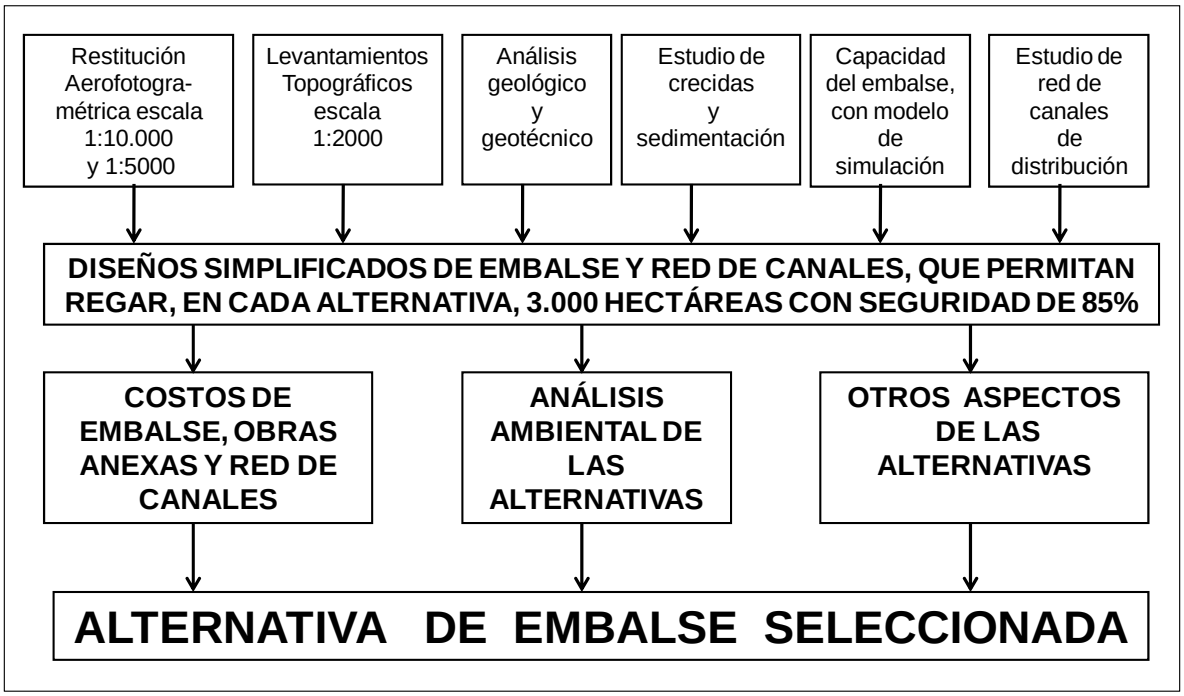
Realizar una evaluación técnico-económica-ambiental simplificada de los sitios de embalse identificados, con el fin de determinar el emplazamiento más adecuado para las obras de regulación.

Esta evaluación se basa en la restitución escala 1.5.000 de la zona de inundación, 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 considerará la información disponible y las observaciones de las visitas técnicas de diversos especialistas tales como geólogo, mecánico de suelos, biólogos, arqueólogo, entre otros.

6.2. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE UBICACIÓN DEL EMBALSE

En el esquema que se indica en la Figura 6.2-1, se resume la metodología aplicada para la evaluación de alternativas de ubicación del embalse.

FIGURA 6.2-1
METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE UBICACIÓN DEL EMBALSE



Fuente: Elaboración propia.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

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 ha 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

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

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.

6.3. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

En el Cuadro 6.3-1 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.

Dado que, a la fecha del presente informe, no se tiene información de sondajes ni de calicatas para determinar las características de la fundación en cada alternativa, en los 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 alt. 1 y 3

Escenario II: Se requiere pared moldeada mínima en alt. 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 unos300 m aguas abajo del eje del muro, lo que hace suponer que es esta alternativa no sería necesario una fundación con pared moldeada.

CUADRO 6.3-1

RESUMEN ASPECTOS CONSIDERADOS EN LA EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE UBICACIÓN DE EMBALSE

ÍTEM		ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
Aspectos Técnicos	Superficie regada con seguridad de 85% (ha)	3.000	3.000	3.000
	Relación agua / Muro.	45	37	51

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 6.3-1
RESUMEN ASPECTOS CONSIDERADOS EN LA EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE UBICACIÓN DE EMBALSE

ÍTEM		ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
	Altura Muro (m)	36,8	32,8	29,5
	Volumen de Regulación para regar 3.000 ha 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
Expropiaciones e interferencias	Superficie de expropiación zona de inundación y obras (ha)	621	663	762
	Superficie de expropiación faja canales (ha)	209	213	204
	Interferencias del proyecto	Se requiere una variante de camino secundariode un privado, 11 km	Se requiere variante de Camino público 5 km	Se requiere variante de Camino público, 7,7 km y nuevopuente sobre río Huedque
	Complejidad de las expropiaciones	Mínima. Hay 1 ó 2 casas No hay terrenos en producción.	Compleja. Hay 10 a 15 casas y varios terrenos en producción.	Muy compleja, Hay 30 a 40 casas y muchos terrenos en producción.
Aspectos Ambientales y sociales	General	No hay diferencias en los componentes ambientales analizados (agua, suelo, aire, flora, fauna, arqueología,)		
	Indicador ambiental (*)	Preferencia 1	Preferencia 2	Preferencia 3
Aspectos Económicos Escenario I Se requiere pared moldeada máxima en alt. 1 y 3	Costo total de las obras, incluidas expropiaciones, (Millones de US$, neto) Costo total de las obras, incluidas expropiaciones, por hectárea (US$ / ha)	74.4 24800	68.7 22900	87.5 29,167
Aspectos Económicos Escenario II	Costo total de las obras, incluidas expropiaciones, (Millones de US$, neto)	70.1	68.7	81.2

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 6.3-1
RESUMEN ASPECTOS CONSIDERADOS EN LA EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE UBICACIÓN DE EMBALSE

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

(*) Jerarquización según cinco criterios ambientales
Fuente: Elaboración propia.

Del Cuadro 6.3-1, se puede observar lo que:

La alternativa N° 3 (la de más aguas abajo) presenta las peores características, ya que en los tres escenarios 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, en principio se deja esta alternativa como la de menor prioridad.

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.

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,

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 11 km y de uso eventual. En cambio, la alternativa 2 requiere construir una variante delcamino público, actualmente con alto tránsito de vehículos de todo tipo, en una longitud de 5 km.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

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.

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.

6.4. RECOMENDACIÓN

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

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

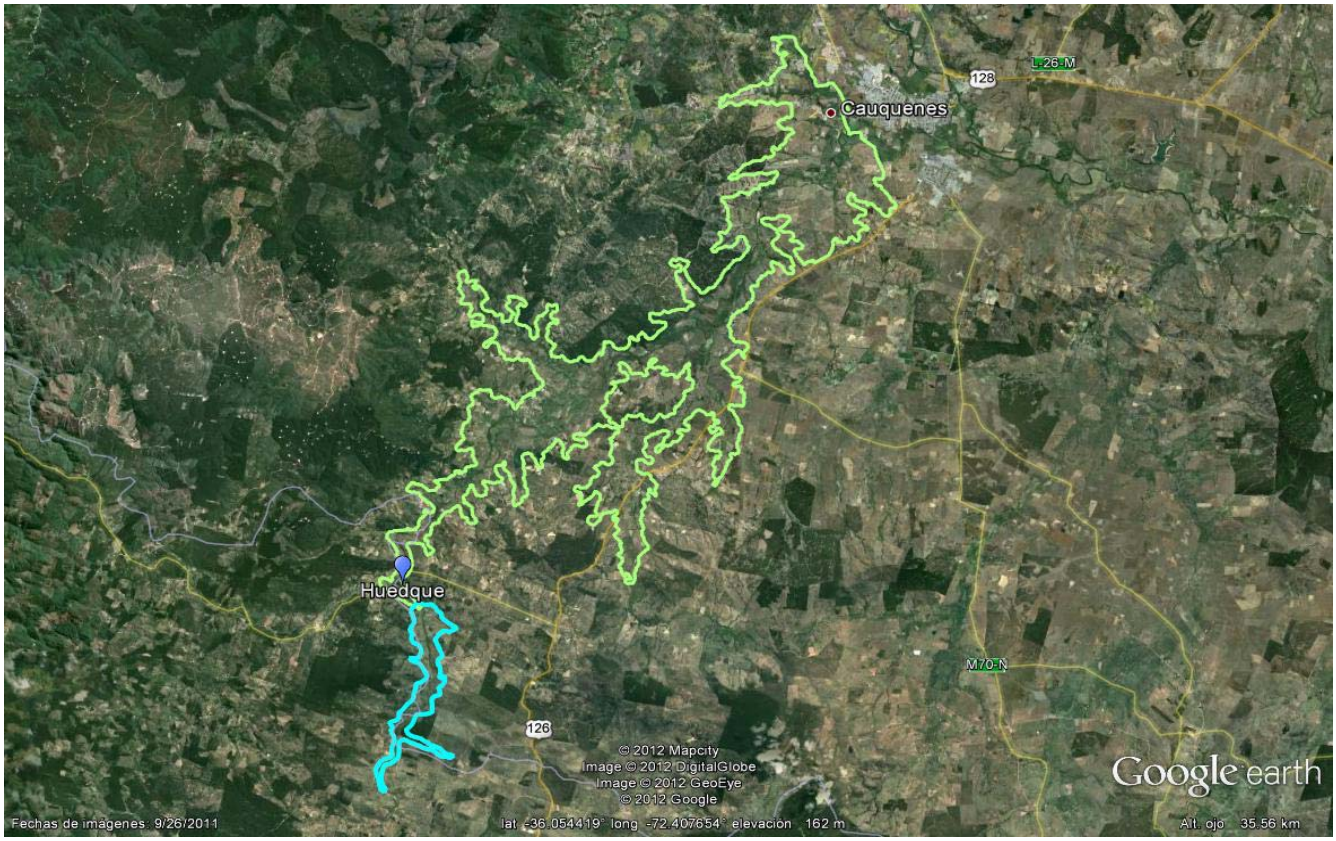
1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio de Prefactibilidad del Proyecto “Construcción de Embalse de Riego Huedque” contempla efectuar estudios en terreno tales como levantamientos topográficos en la zona del muro y canales existentes, así como también prospecciones en zona de muro, zona de inundación y yacimientos, para la alternativa de ubicación de embalse N° 1, que fue seleccionada por resultar más conveniente. Este informe presenta un resumen de todas estas actividades, exponiendo los resultados más importantes.

El sistema de coordenadas utilizado fue un sistema plano UTM es decir referido al nivel medio del mar, con origen en un vértice con coordenadas UTM, ligado a la red Nacional de coordenadas del IGM Datum WGS 84.

La ubicación de las actividades en terreno corresponde a la zona de Huedque, al sur de Cauquenes. En la Figura 1-1 se presenta la ubicación del área de estudio.

FIGURA 1-1
UBICACIÓN ÁREA DE ESTUDIO



En azul, la zona de inundación; en verde, la zona de riego abarcada por el embalse.
Fuente: Google Earth.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

1.1. RESUMEN PROSPECCIONES Y ENSAYES REALIZADOS

Para determinar características geotécnicas de la zona se realizaron las siguientes actividades resumidas en el Cuadro 1.1-1.

CUADRO 1.1-1
RESUMEN DE PROSPECCIONES Y ENSAYOS REALIZADOS

Prospecciones en Fundación de la Presa y Obras Anexas	
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 m	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/cm² con un ciclo de descarga recarga a los 4 kg/cm²	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
Prospecciones en Zona de Inundación	
Calicatas en zona de inundación	3
Prospecciones en Zona de Yacimientos	
Calicatas en zona de yacimientos	6
Ensayes triaxiales tipo CIU en muestras recompacatadas al 92% del Proctor Modificado	3
Ensayes de permeabilidad en muestras recompactadas al 92% del proctor modificado	3
Ensayes Proctor Modificado	4
Ensayes de medición de contenido de materia orgánica	3
Muestra de árido para hormigones	
Ensaye de desgaste de los ángeles	3
Ensayes de reacción alcálisis agregado	3
Prospecciones en Canales	
Calicatas en trazados de canales, con descripción estratigráfica, fotografía del fondo y clasificación USCS	32

Fuente: Elaboración propia

1.2. RESUMEN TOPOGRAFÍA REALIZADA

Los trabajos realizados corresponden a los siguientes:

- Construcción de PRs en la zona de las tres alternativas de muros.
- Poligonal Geodésica de PRs dentro de la zona de las tres alternativas de muros.
- Nivelación de PRs de la zona de las tres alternativas de muros.
- Levantamientos topográficos de los sectores de las tres alternativas de muros.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

En el Cuadro 1.2-1 se presenta un resumen de los trabajos realizados

CUADRO 1.2-1
RESUMEN TRABAJOS TOPOGRÁFICOS

#	Trabajos realizados
1	Construcción de PRs en la zona de las tres alternativas de muros.
2	Poligonal Secundaria de PRs dentro de la zona de las tres alternativas de muros.
3	Nivelación de PRs de la zona de las tres alternativas de muros.
4	Levantamiento de sitio de presa seleccionado, escala 1:500
5	Levantamiento perfiles transversales de canales
6	Levantamiento de singularidades de canales
7	Levantamiento de perfiles transversales del cauce, rio Huedque

Fuente: Elaboración propia.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

2. PROSPECCIONES

2.1. PROSPECCIONES EN FUNDACIÓN DE LA PRESA Y OBRA ANEXA

2.1.1. Sondajes en Zona de Muro de la Alternativa Seleccionada

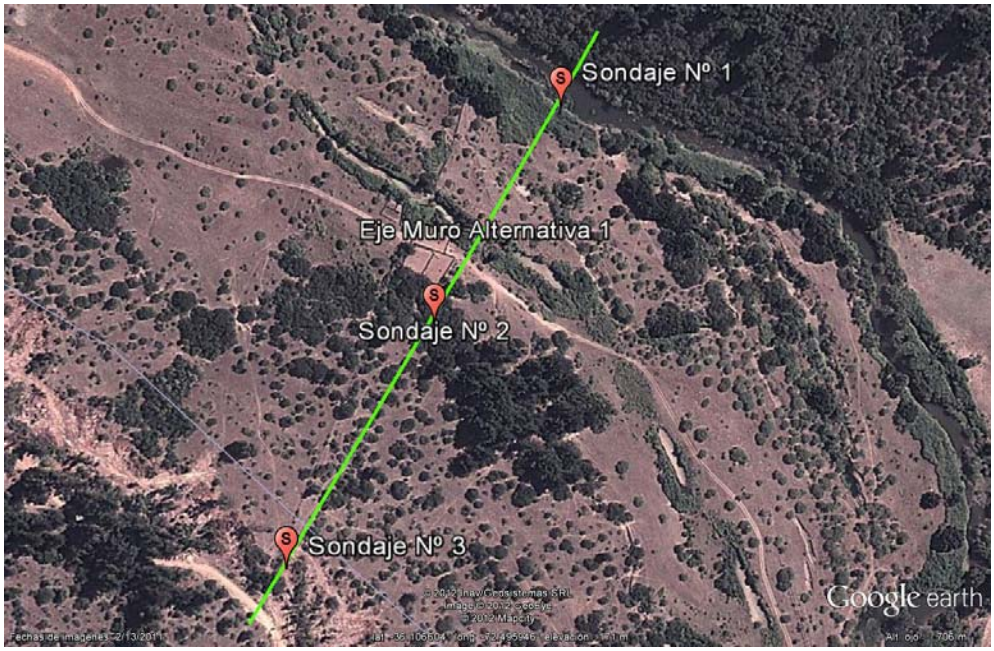
Con el fin de sustentar geotécnicamente la viabilidad del sitio elegido para la implantación de una presa se han realizado tres sondajes a rotación en la zona de muro de la alternativa seleccionada. Los sondajes se realizaron uno en cada estribo del muro y uno al medio. Se realizaron ensayes tipo Lefranc para infiltración cada 5 m de profundidad y SPT en estratos de suelos finos. En el Cuadro 2.1.1-1 se presentan las principales características de los sondajes, y en la Figura 2.1.1-2 se muestra la ubicación de estos sondajes. Los sondajes se pueden apreciar también en el **Plano CAL-HDQ-02.**

CUADRO 2.1.1-1
COORDENADAS Y CARACTERÍSTICAS DE LOS SONDAJES.

Sondaje	C. Norte (m)	C. Este (m)	Total perforado (m)	Perforado en roca (m)
S1	6.001.455	725.458	25,20	11,00 – 25,20
S2	6.001.330	725.363	30,05	11,45 – 30,05
S3	6.001.195	725.259	25,05	15,82 – 25,05

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 2.1.1-1
UBICACIÓN DE LOS SONDAJES.



En verde, el eje del muro de la alternativa seleccionada.
Fuente: Google Earth.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

2.1.1.1. Ensayes en Terreno

A estos sondajes se le realizaron ensayes Lefranc y SPT en terreno los cuales son enumerados en el Cuadro 2.1.1.1-1

CUADRO 2.1.1.1-1
CANTIDAD DE ENSAYES REALIZADOS EN TERRENO

Sondaje	Lefranc	SPT
S1	5	1
S2	5	1
S3	4	2
Total	**14**	**4**

Fuente: Elaboración propia.

En total se realizaron 14 ensayes Lefranc y 4 SPT. Los resultados de estos ensayes pueden ser encontrados con mayor detalle en el Anexo D.2-1 de este informe.

2.1.1.2. Estratigrafía de Sondajes

Se realizo la completa estratigrafía de los sondajes expuesta en el Anexo D.2-2

2.1.1.3. Clasificación y Densidades de Sondajes

En el Anexo D.2-3 se puede apreciar las fotografías de las cajas de los sondajes.

En el Anexo D.2-4 se encuentra la clasificación de los suelos de los sondajes y en el Anexo 2-5 el informe de densidades en terreno.

En el Anexo D.2-14 se encuentra Ensayes de compresión no confinada en testigos de sondajes. Los ensayes se resumen en el Cuadro 2.1.1.3-1:

CUADRO 2.1.1.3-1
ENSAYES DE COMPRESIÓN NO CONFINADA DE SONDAJES

Sondaje	Ensaye 1 (m)	Ensaye 2 (m)
S1	3,0 - 4,5	8,2 - 8,7
S2	4,0 - 4,5	5,5 - 6,0
S3	2,7 - 3,0	8,5 - 9,0

Fuente: Elaboración propia.

Se incluyen fotografías en terreno de los sondajes. El álbum completo de fotografías se encuentra en el Anexo D.2-6 de este informe.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 2.1.1.3-1
FOTOGRAFÍA DEL SONDAJE 1



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 2.1.1.3-2
FOTOGRAFÍA DEL SONDAJE NUMERO 2.



Fuente: Elaboración propia.

2.1.2. Perfiles Geosísimicos en Zona de Muro

Se realizaron 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. Se realizaron en total 5 perfiles, mostrados en el Cuadro 2.1.2-1 y ubicados en la Figura 2.1.2-1. Los perfiles geosísimicos se pueden encontrar en el **Plano CAL-HDQ-02**. Detalles de estos perfiles se encuentran en el Anexo D.2-7 de este informe.

CUADRO 2.1.2-1
COORDENADAS DE UBICACIÓN PERFILES GEOSÍSIMICOS REALIZADOS

Perfil Nº	Punto Inicial		Punto Final	
	Coordenada Norte (m)	Coordenada Este (m)	Coordenada Norte (m)	Coordenada Este (m)
P1	6001445	725416	6001381	725494
P2	6001380	725367	6001316	725445
P3	6001307	725313	6001244	725391
P4	6001247	725266	6001184	725344
P5	6001149	725161	6001086	725239

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 2.1.2-1
UBICACIÓN DE LOS PERFILES GEOSÍSIMICOS



En verde, el eje del muro de la alternativa seleccionada.
Fuente: Google Earth.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Los resultados de la interpretación de los perfiles sísmicos de refracción se pueden observar en las Figuras 3 a 7 del Anexo D.2-7**.** En estas figuras se muestran 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 2.1.2-2 muestra un resumen de estos resultados.

CUADRO 2.1.2-2
RESULTADOS DEL PERFIL SÍSMICO DE REFRACCIÓN

	E~1erest.	Veloc.	E~2doest.	Veloc.	Prof~3erest.	Veloc.	Prof~4toest	Veloc.
Perfil	m	m/seg	m	m/seg	m	m/seg	m	m/seg
1, Fig 3	3 - 4	600	6 - 8	2410	> 10 - 11	3410		
2, Fig 4	1 - 3	250	9 - 10	500	7 - 15	1780	>20 - 22	3270
3, Fig 5	8	300	6 - 14	1330	>14 - 22	2800		
4,Fig 6	7 - 12	465	6 - 16	970	>18 - 23	3560		
5, Fig 7	7 - 8	375	12 - 14	890	> 19 - 22	3450		

E = espesor est= estrato Veloc = velocidad Prof= profundidad

Fuente: Elaboración propia.

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 2.1.2-3

CUADRO 2.1.2-3
CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES DEL SUELO.

V_p m/seg	Tipo de Material
250 - 700	Suelo superficial, finos, arcillas y otros
800 – 1500	Suelos consolidación media, arcillas, rocas muy fracturadas
2000 – 3600	Rocas fracturadas a rocas sanas
----------	Límite de penetración de la onda sísmica de acuerdo a la longitud del perfil sísmico

Fuente: Elaboración propia.

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.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

2.1.3. Sondajes Eléctricos Verticales

Se realizaron sondajes de resistividadeléctrica 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. Usando el método eléctrico en su modalidad sondajes eléctricos verticales se realizaron 4 sondajes (SEV) expuestos en el Cuadro 2.1.3-1 y en la Figura 2.1.3-1. El detalle de estos sondajes se encuentra en el Anexo D.2-7 de este informe. Estos sondajes también se pueden encontrar en el **Plano CAL-HDQ-02.**

CUADRO 2.1.3-1
COORDENADAS Y CARACTERÍSTICAS DE LOS SONDAJES.

Sondaje	Coordenada Norte (m)	Coordenada Este (m)
SEV1	6.001.515	725.292
SEV2	6.001.452	725.374
SEV3	6.001.373	725.479
SEV4	6.001.314	725.557

Fuente: Elaboración propia.

Los sondajes definidos por SEV 1, 2, 3 y 4 con separación de 100 m aproximadamente y cuya distribución tiene una orientación NE – SO identificaron tres estratos principales.

El estrato superficial correspondería a un suelo de resistividad de 170 Ωm y un espesor de 3 m - 4 m. Este estrato fue identificado en los cuatro SEV.

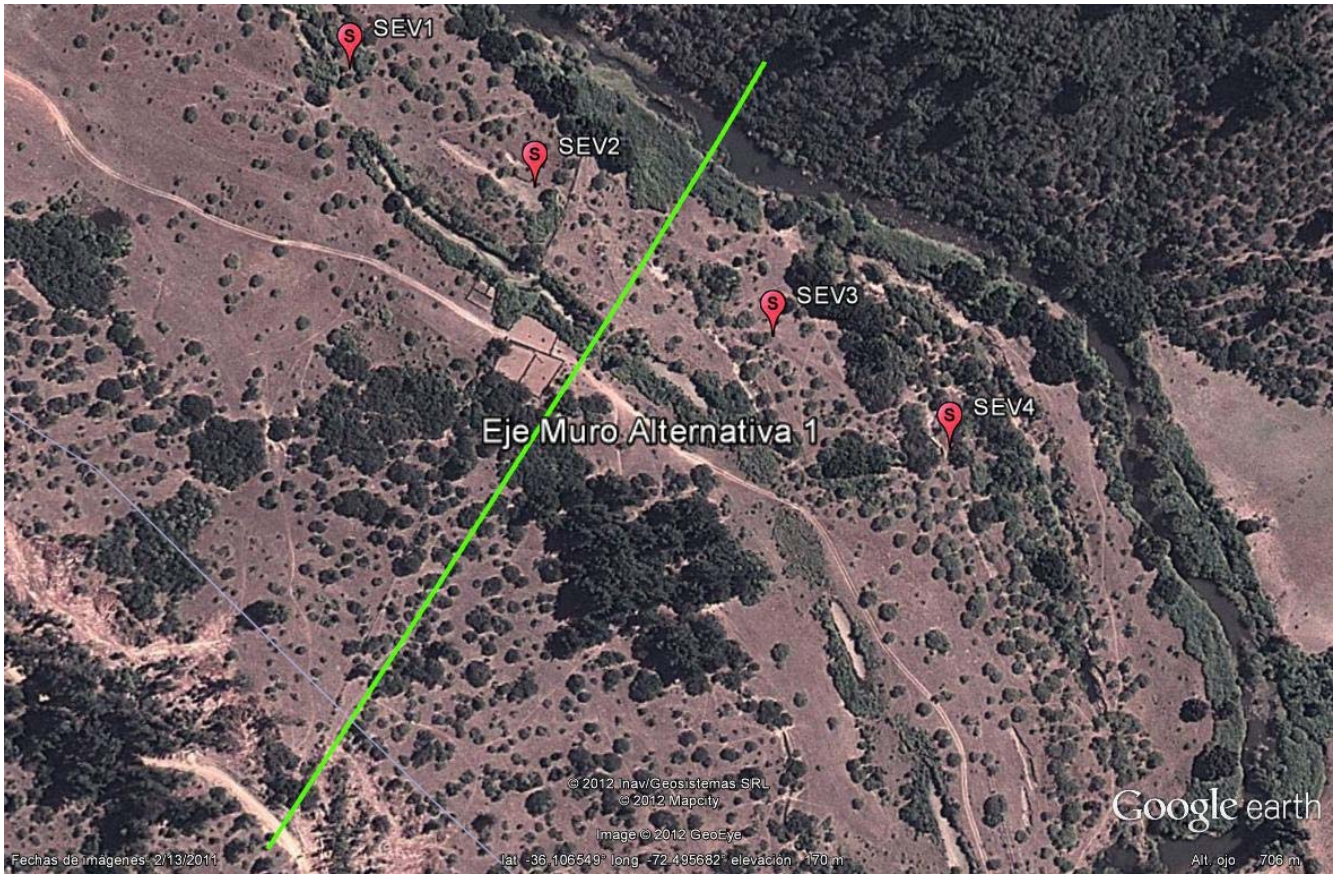
Estrato con resistividad de 100 a 160 Ωm y espesor de 10 m como promedio fue observado en los 4 SEV, probablemente correspondería a arcillas saturadas.

Estrato con resistividad de 1000 a 1500 Ωm y espesor indefinido, correspondería a rocas con diferentes grados de consolidación. Este estrato comenzaría a partir de los 15 m de profundidad aproximadamente.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 2.1.3-1

UBICACIÓN DE LOS SONDAJES ELÉCTRICOS



En verde, el eje del muro de la alternativa seleccionada.
Fuente: Google Earth.

2.1.4. Calicatas en Zona de Construcción del Vertedero

Como la construcción del vertedero es un ítem que influye fuertemente en el presupuesto del embalse se han realizado 6 calicatas en la zona de su posible instalación. Tres calicatas en la zona del estribo derecho del muro y tres más en el estribo izquierdo. En la Figura 2.1.4-1 se muestra la ubicación y en el Cuadro 2.1.4-1 las coordenadas de ejecución.

CUADRO 2.1.4-1

COORDENADAS UBICACIÓN CALICATAS PARA VERTEDERO.

Nombre	Coordenada Norte (m)	Coordenada Este (m)	Profundidad excavada (m)
P4-1	6.001.443	725.621	2.50
P4-2	6.001.573	725.422	4.00
P4-3	6.001.567	725.540	2.50
P6-1	6.001.055	725.257	6.00
P6-2	6.001.111	725.195	6.00
P6-3	6.001.279	725.109	5.00

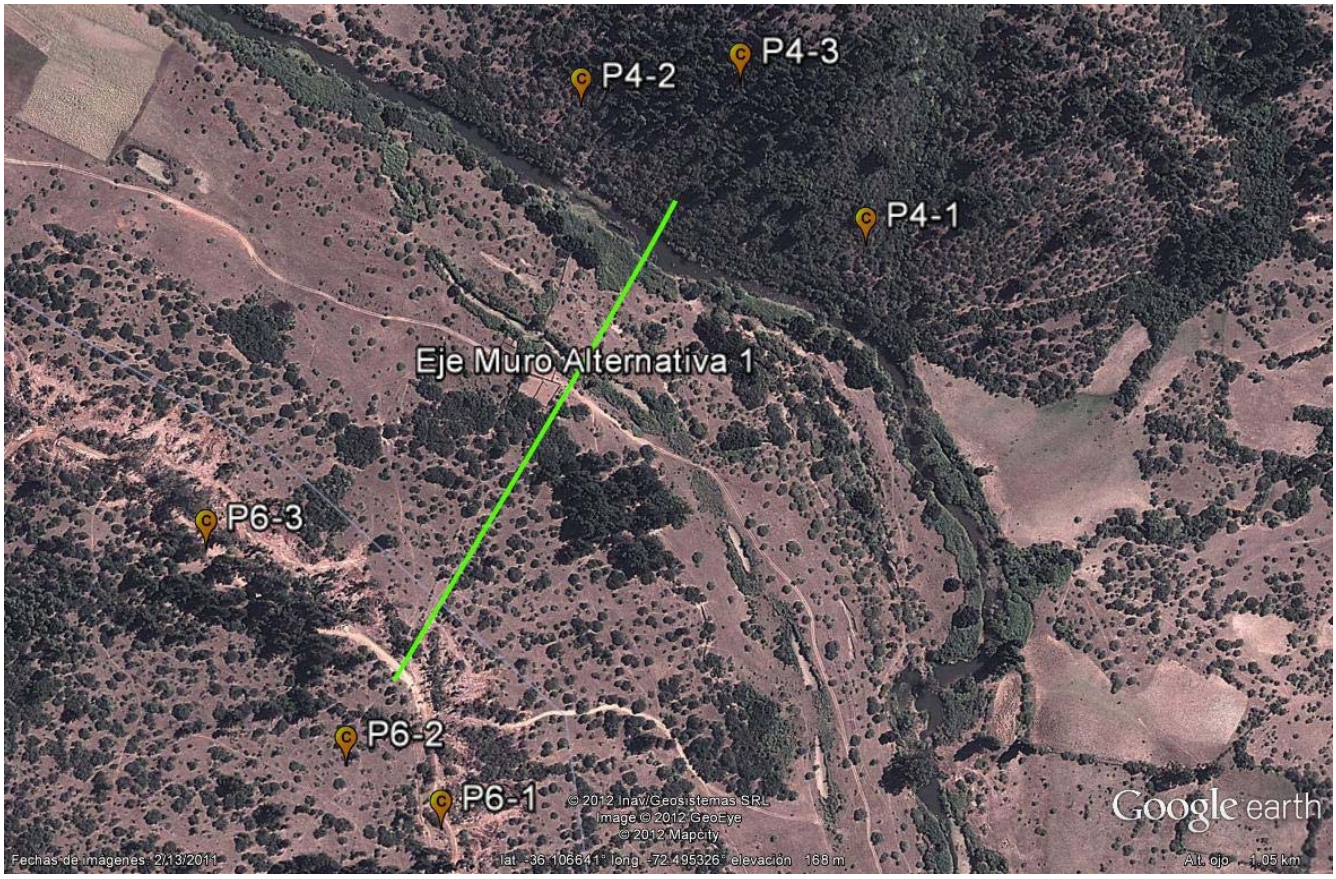
Fuente: Elaboración propia.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Todos los pozos excavados deberían de ser entre 4 m - 6 m, sin embargo en algunos pozos no fue posible excavar más de la cantidad indicada en la tabla anterior debido a que se alcanzó la roca. La estratigrafía de estas calicatas se encuentra en el Anexo D.2-8 y clasificaciones USCS en Anexo D.2-9 de este informe. Las calicatas también se encuentran en **Plano CAL-HDQ-02**.

FIGURA 2.1.4-1

UBICACIÓN DE LAS CALICATAS PARA EL VERTEDERO.



En verde, el eje del muro de la alternativa seleccionada.
Fuente: Google Earth.

En el Anexo D.2-14 se encuentran los ensayes de compresión no confinada a los pozos P4-2 y P6-2

El álbum completo de fotografías se encuentra en el Anexo D.2-10 de este informe.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

2.2. PROSPECCIONES EN ZONA DE INUNDACIÓN

2.2.1. Calicatas en Zona de Inundación

Se han excavado tres calicatas en la zona de inundación para saber las propiedades geotécnicas del suelo en donde se llenará el vaso de la presa. En la Figura 2.2.1-1 se muestra la ubicación y en el Cuadro 2.2.1-1 las coordenadas de ejecución. El detalle de estratigrafías se encuentra en el Anexo D.2-8 y clasificación USCS en Anexo D.2-9. Estas calicatas también se pueden encontrar en **Plano CAL-HDQ-03**. Los pozos que llegaron a menos de 6 m de profundidad se debe a que no se pudo excavar más debido a la presencia de roca.

CUADRO 2.2.1-1

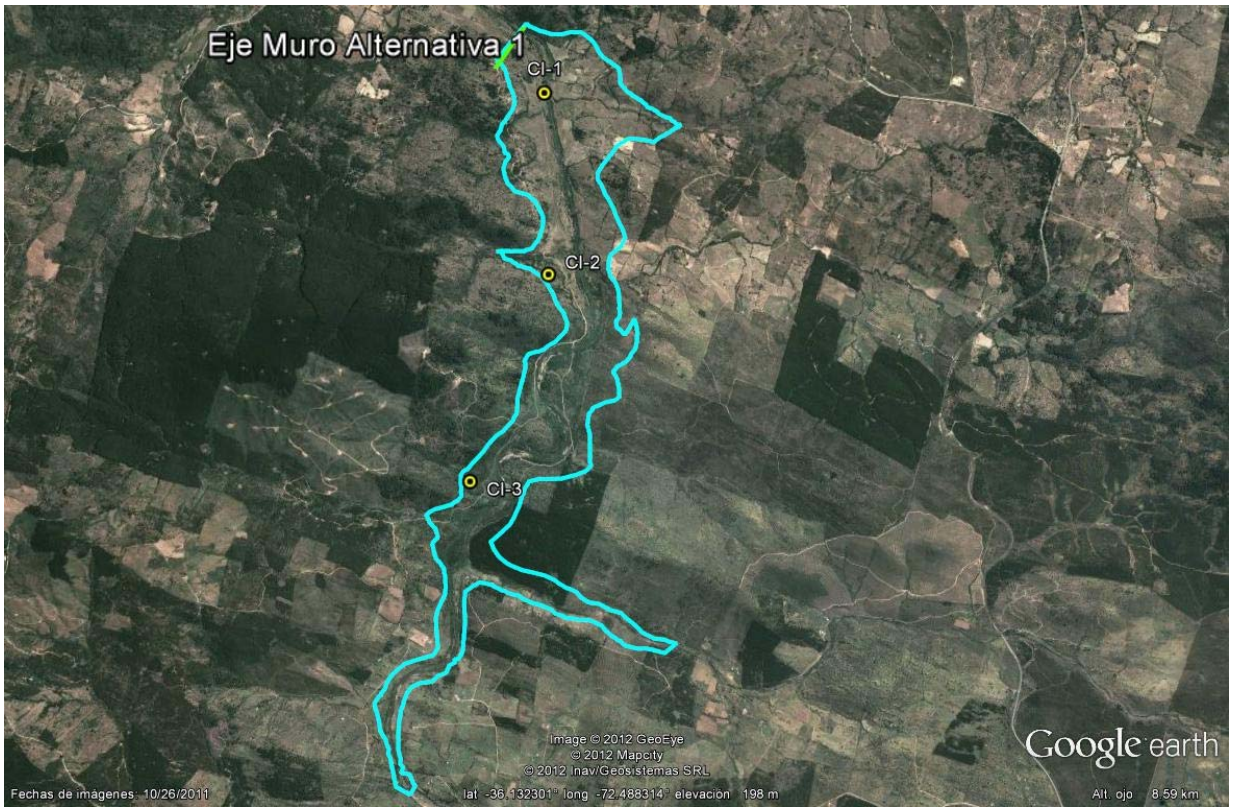
COORDENADAS UBICACIÓN CALICATAS ZONA DE INUNDACIÓN

Nombre	Coordenada Norte (m)	Coordenada Este (m)	Profundidad excavada (m)
CI-1	6000967,000	726033,2	6
CI-2	5999536,730	725551,9	4,9
CI-3	5997950,796	724823,9	3

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 2.2.1-1

UBICACIÓN DE LAS CALICATAS ZONA DE INUNDACIÓN.



En azul, la zona de inundación del embalse
Fuente: Google Earth.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

2.3. PROSPECCIONES EN ZONA DE YACIMIENTOS

2.3.1. Calicatas en Zona de Yacimientos

Se han realizado calicatas en las posibles zonas de yacimiento para extraer el material de construcción del muro. Estas calicatas se excavaron hasta un total de 6 m de profundidad, sin embargo en algunas zonas no fue posible excavar más por la presencia de roca. En la Figura 2.3.1-1 se muestra la ubicación y en el Cuadro 2.3.1-1 las coordenadas de ejecución y profundidad excavada. El álbum de las fotografías se encuentra en el Anexo D.2-10. Las características estratigráficas de estas calicatas se encuentran en el Anexo D.2-8 y calcificación según USCS en Anexo D.2-9.

Adicionalmente se realizó una mezcla de las calicatas CY-1; CY-2; CY-3 y el resultado de la granulometría y clasificación USCS se encuentra en el Anexo D.2-11. Las calicatas también se encuentran en Plano **CAL-HDQ-03.**

CUADRO 2.3.1-1
COORDENADAS UBICACIÓN CALICATAS PARA YACIMIENTO

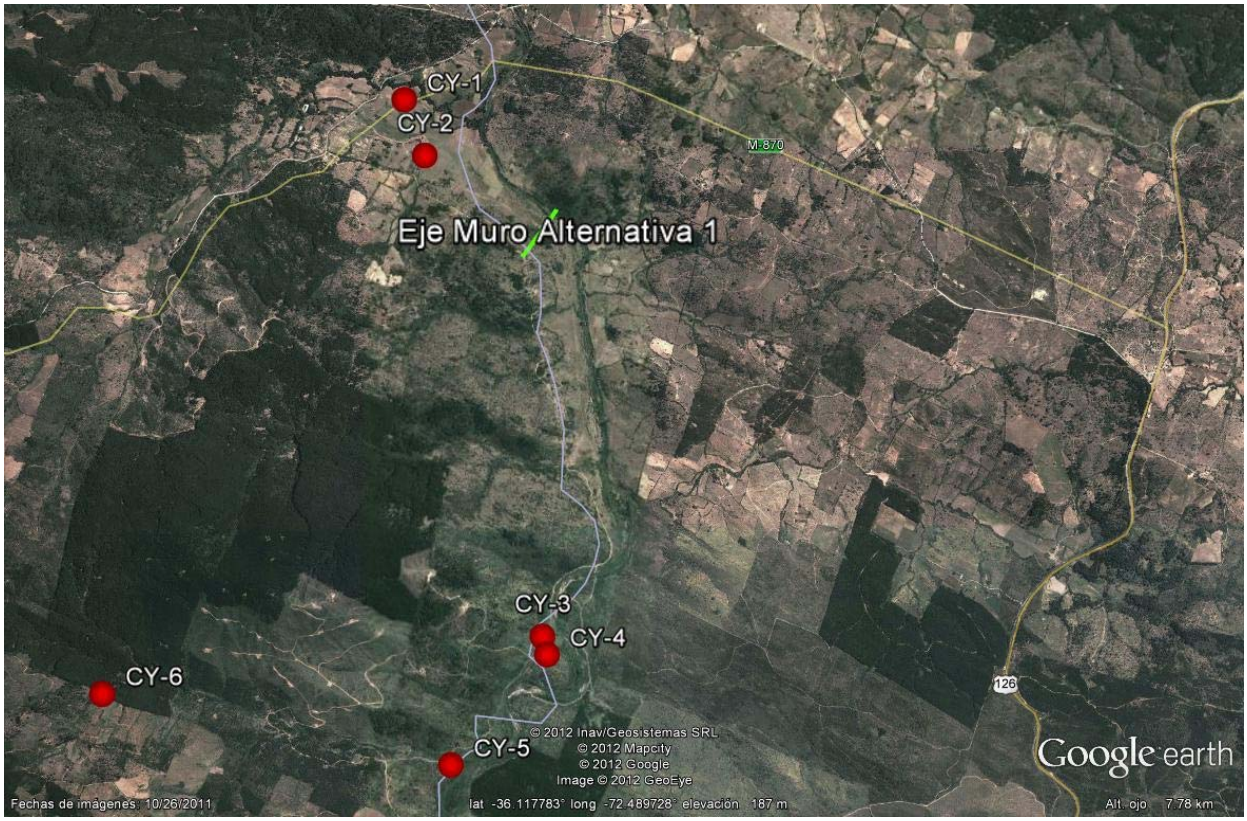
Nombre	Coordenada Norte (m)	Coordenada Este (m)	Cota (m)	Pozo excavado (m)
CY-1	6002298,611	724426,908	170	6,00
CY-2	6001902,973	724562,858	167	6,00
CY-3	5998503,000	725316,000	177	1,70
CY-4	5998374,000	725345,000	182	4,80
CY-5	5997620,000	724648,000	183	1,10
CY-6	5998217,000	722272,000	338	1,60

Fuente: Elaboración propia.

En el Anexo D.2-14, se encuentran los resultados del ensaye de prueba estándar para impurezas orgánicas, los resultados del ensaye de desgaste de los ángeles para áridos de hormigones y reacción de alcálisis agregado.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 2.3.1-1
UBICACIÓN DE LAS CALICATAS PARA YACIMIENTOS.



Fuente: Google Earth.

2.4. PROSPECCIONES EN TRAZADOS DE CANALES

2.4.1. Calicatas en Trazados de Canales

Se han realizado calicatas en los trazados de los canales, cada 2 km entre ellas, para verificar la calidad del terreno y establecer las condiciones que tendrán estos canales, tramos a revestir, tramos en tuberías, sección transversal, velocidad del flujo etc. Algunas zonas no fue posible excavar más por la presencia de roca. En el Cuadro 2.4.1-1 las coordenadas de ejecución y profundidad excavada. El álbum de fotografías se encuentra en el Anexo D.2-10. La estratigrafía se encuentra en el Anexo D.2-8 y clasificación USCS en Anexo D.2-12 y Anexo D.2-13.

CUADRO 2.4.1-1
COORDENADAS UBICACIÓN CALICATAS TRAZADOS DE CANALES

Nombre	Coordenada Norte (m)	Coordenada Este (m)	Pozo excavado (m)
CMI-1	6001240,067	725293,055	2
CMI-2	6002005,000	723871,000	2
CMI-3	6002585,686	724227,648	2

CUADRO 2.4.1-1
COORDENADAS UBICACIÓN CALICATAS TRAZADOS DE CANALES

Nombre	Coordenada Norte (m)	Coordenada Este (m)	Pozo excavado (m)
CMI-4	6003233,000	724869,030	2
CMI-5	6003882,543	724609,638	2
CMI-6	6004392,959	725723,802	2
CMI-7	6005163,420	724777,417	2
CMI-8	6005045,830	726069,318	2
CMI-9	6005386,692	726645,968	2
CMI-10	6006099,893	727293,632	2
CMI-11	6006877,426	727036,992	2
CMI-12	6008065,839	727305,652	2
CMI-13	6008415,472	727748,395	2
CMI-14	6007771,955	728658,020	2
CMI-15	6008114,967	729432,943	2
CMI-16	6009054,726	729052,370	2
CMI-17	6010081,496	728270,319	2
CMD-1	6001502,380	725492,351	2
CMD-2	6002958,000	725462,000	2
CMD-3	6002817,099	726051,749	2
CMD-4	6003416,450	726241,984	2
CMD-5	6003960,010	726992,868	2
CMD-6	6003742,671	727857,308	2
CMD-7	6004707,000	727111,000	2
CMD-8	6005138,964	727930,388	2
CMD-9	6005062,241	728551,936	2
CMD-10	6004831,625	729092,439	2
CMD-11	6005735,288	729183,190	2
CMD-12	6005614,745	729643,432	2
CMD-13	6006402,094	730007,337	2
CMD-14	6006238,888	730690,418	2
CMD-15	6006766,912	731308,830	1,7

Fuente: Elaboración propia.

Las calicatas se pueden encontrar en el **Plano CAL-HDQ-01**.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

1. ESTUDIO SÍSMICO

1.1. INTRODUCCIÓN

El presente informe presenta la metodología y los antecedentes geológicos y sismológicos utilizados para la estimación del Peligro Sísmico en el Embalse Huedque, comuna de Cauquenes; esto es, la estimación de la aceleración máxima horizontal para un cierto período de retorno, utilizando las metodologías probabilística y determinística.

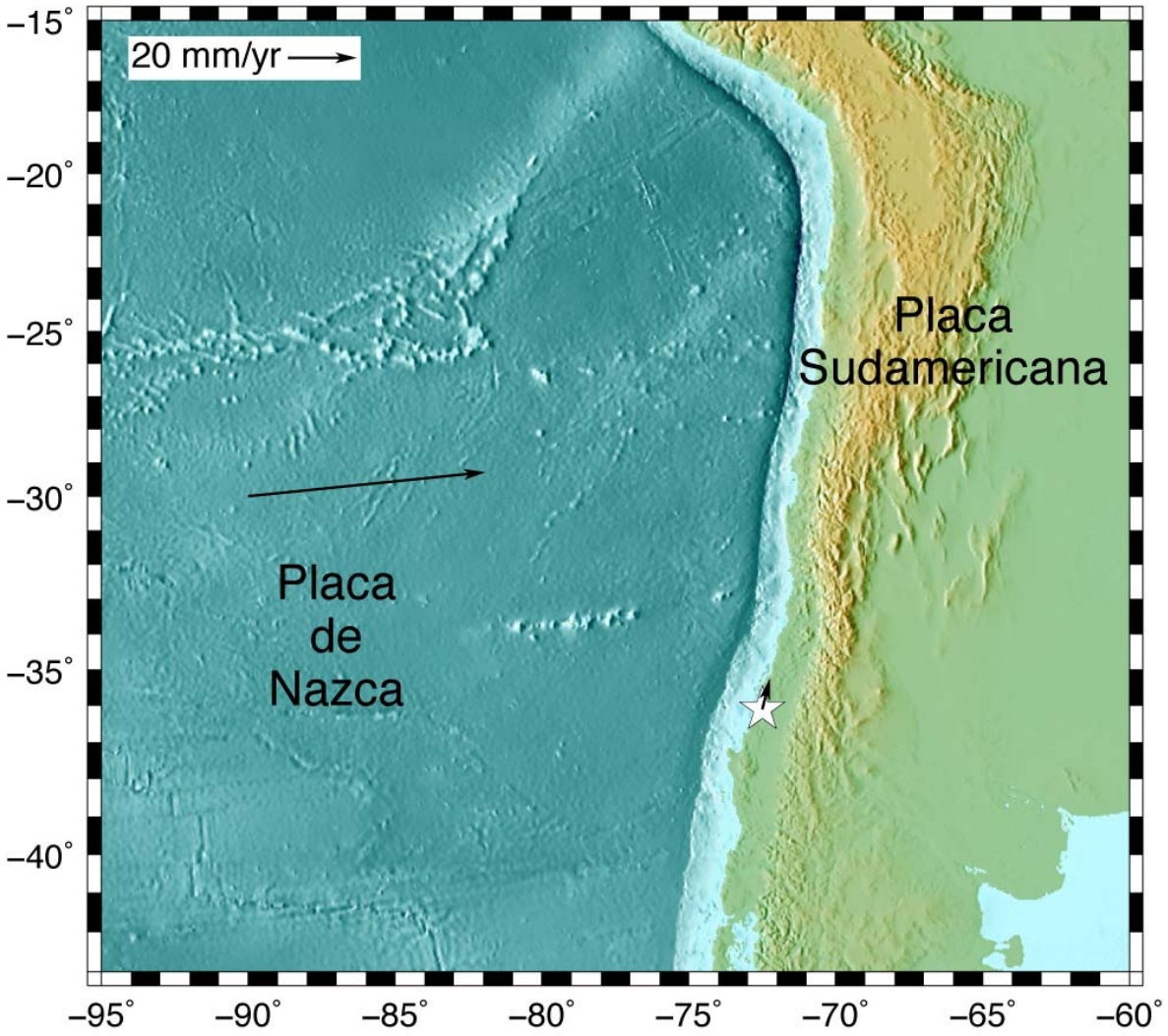
Para ello, se consideran las principales fuentes sismogénicas presentes en la zona (terremotos interplaca tipo thrust y intraplaca de profundidad intermedia), describiéndose cada una de ellas por separado. Posteriormente, y a partir de un análisis detallado de las fuentes, se obtienen los parámetros solicitados para el terremoto máximo creíble (MCE por sus siglas en inglés, *Maximum Credible Earthquake*) de cada fuente sísmica descrita.

1.1.1. Ubicación

El Embalse Huedque, comuna de Cauquenes, se encuentra localizado en 36.10°S, 72.50°W; indicado con una estrella blanca en la Figura 1.1.1-1. En dicha Figura también se presentan las placas tectónicas más importantes de la zona de estudio: placas de Nazca (de origen oceánico) y Sudamericana (de origen continental); las flechas indican el movimiento de las placas de acuerdo al modelo indicado en texto de la Figura. Actualmente, se estima la velocidad de convergencia en 63.0 mm/yr (Khazaradze & Klotz, 2003) produciendo la colisión entre las placas de Nazca y Sudamericana, y luego la subducción de la primera bajo la segunda. La Figura 1.1.1-2 presenta las estimaciones de la velocidad de la corteza, restringida a no tener rotación neta (Kreemer y otros, 2000, 2003); las flechas son proporcionales a la velocidad (ver escala en borde inferior izquierdo), las cuales reafirman la convergencia de las placas. Este proceso es el principal causante de la alta sismicidad observada en casi todo el oeste del continente Sudamericano.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 1.1.1-1
UBICACIÓN DEL EMBALSE HUEDQUE

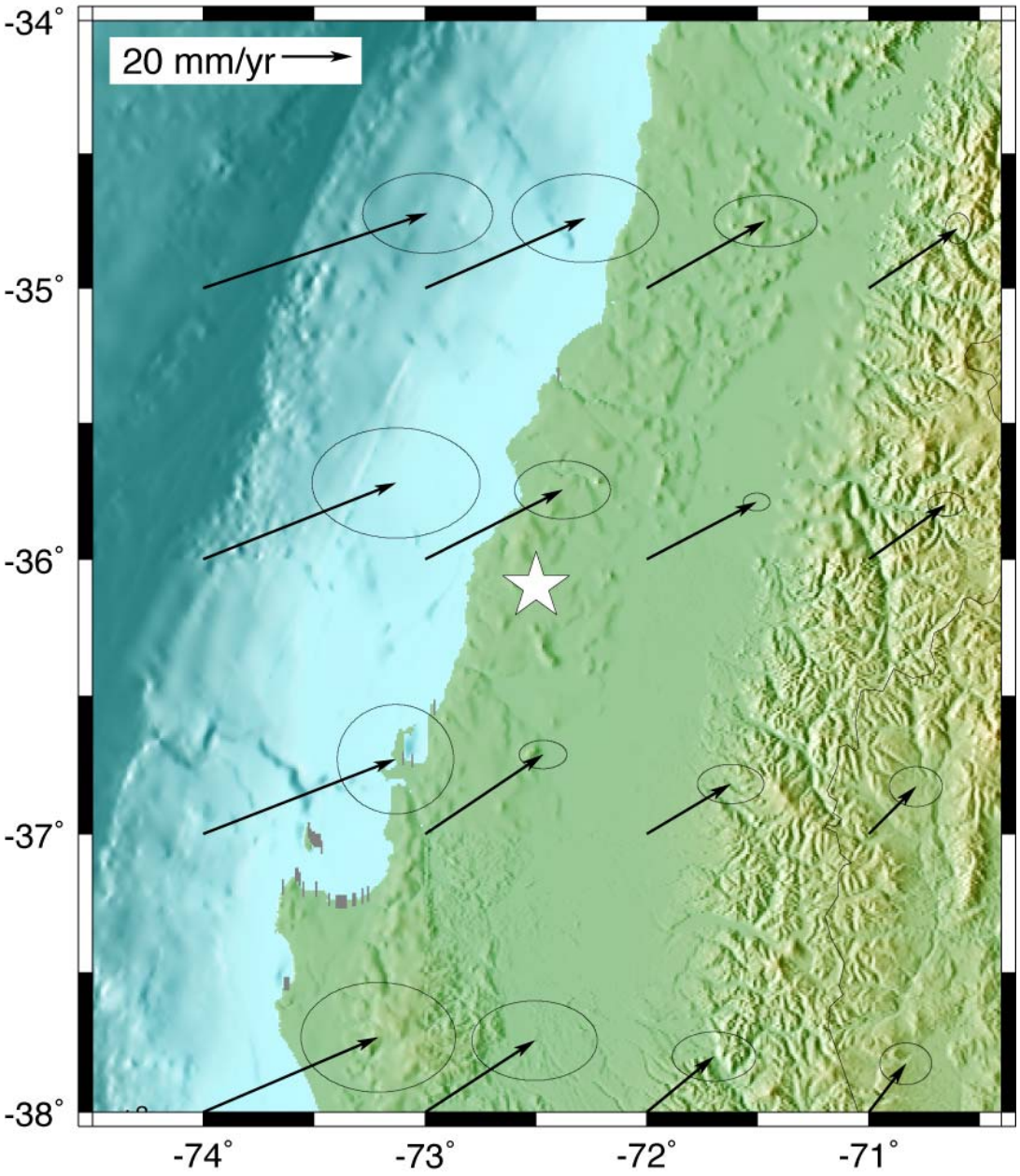


Fuente: http://sps.unavco.org/crustal_motion/dxdt/gpsvel

La Figura 1.1.1-1 muestra el mapa topográfico con la localización del Embalse Huedque, comuna de Cauquenes (resaltado con una estrella blanca), al igual que las principales placas tectónicas presentes en la zona de estudio. Las flechas indican el movimiento de las placas (http://sps.unavco.org/crustal_motion/dxdt/gpsvel); la escala se encuentra en el borde superior izquierdo.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 1.1.1-2
MAPA TOPOGRÁFICO REGIONAL



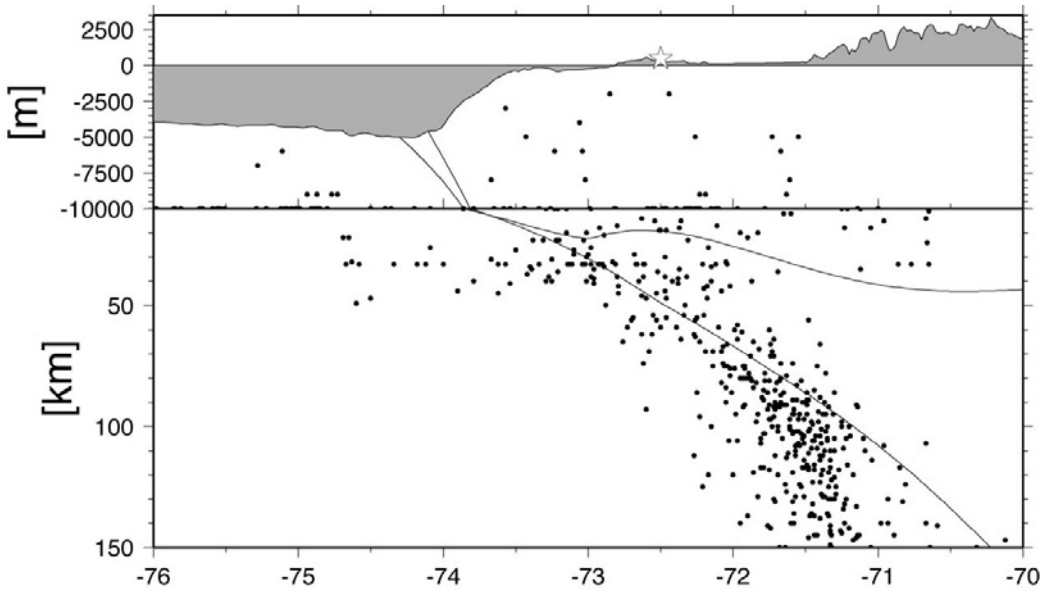
Fuente: Kreemer y otros, 2000 - 2003

La Figura 1.1.1-2 anterior muestra el mapa de la velocidad de movimiento de la corteza (flechas) y el error de la estimación (elipses) (Kreemer y otros, 2000, 2003); la escala se presenta en el borde superior izquierdo. La localización delalocalidad en estudio se indica con una estrella blanca.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Un corte Este-Oeste de las Figuras 1.1.1-1 y 1.1.1-2, a la altura de la localidad en estudio, se presenta en la Figura 1.1.1-3 donde se observa la interacción entre las placas de Nazca y Sudamericana. En ella también se han graficado los sismos registrados en la zona de estudio: en el contacto entre ellas se encuentran los terremotos interplaca tipo thrust (falla inversa de bajo ángulo), los cuales se caracterizan por ocurrir en la zona costera,en el interior de la placa de Nazca ocurren terremotos de tipo intraplaca de profundidad intermedia, con epicentros bajo el continente, mientras que los sismos más superficiales ocurren dentro de la placa Sudamericana (corticales, con profundidades < 25 km). Es posible observar a partir de la Figura 1.1.1-3 que los terremotos corticales registrados son escasos, hecho que no permite su apropiada caracterización para estudios probabilísticos.

FIGURA 1.1.1-3
CORTE DE LA SUBDUCCIÓN CHILENA



Fuente: Tassara y otros, 2006

La Figura 1.1.1-3 anterior indica un corte de la subducción chilena en el paralelo 36.10°S donde se ha marcado la posición del borde superior de la placa subductante (Nazca) y la inferior de la placa Sudamericana (Tassara y otros, 2006); la estrella marca la posición de la localidad en estudio.

1.1.2. Antecedentes

A continuación se presentan los antecedentes con que se contaba al momento de la elaboración de este informe. Ellos consisten en estimaciones previas del peligro sísmico hechas para la zona y datos de importantes terremotos históricos.

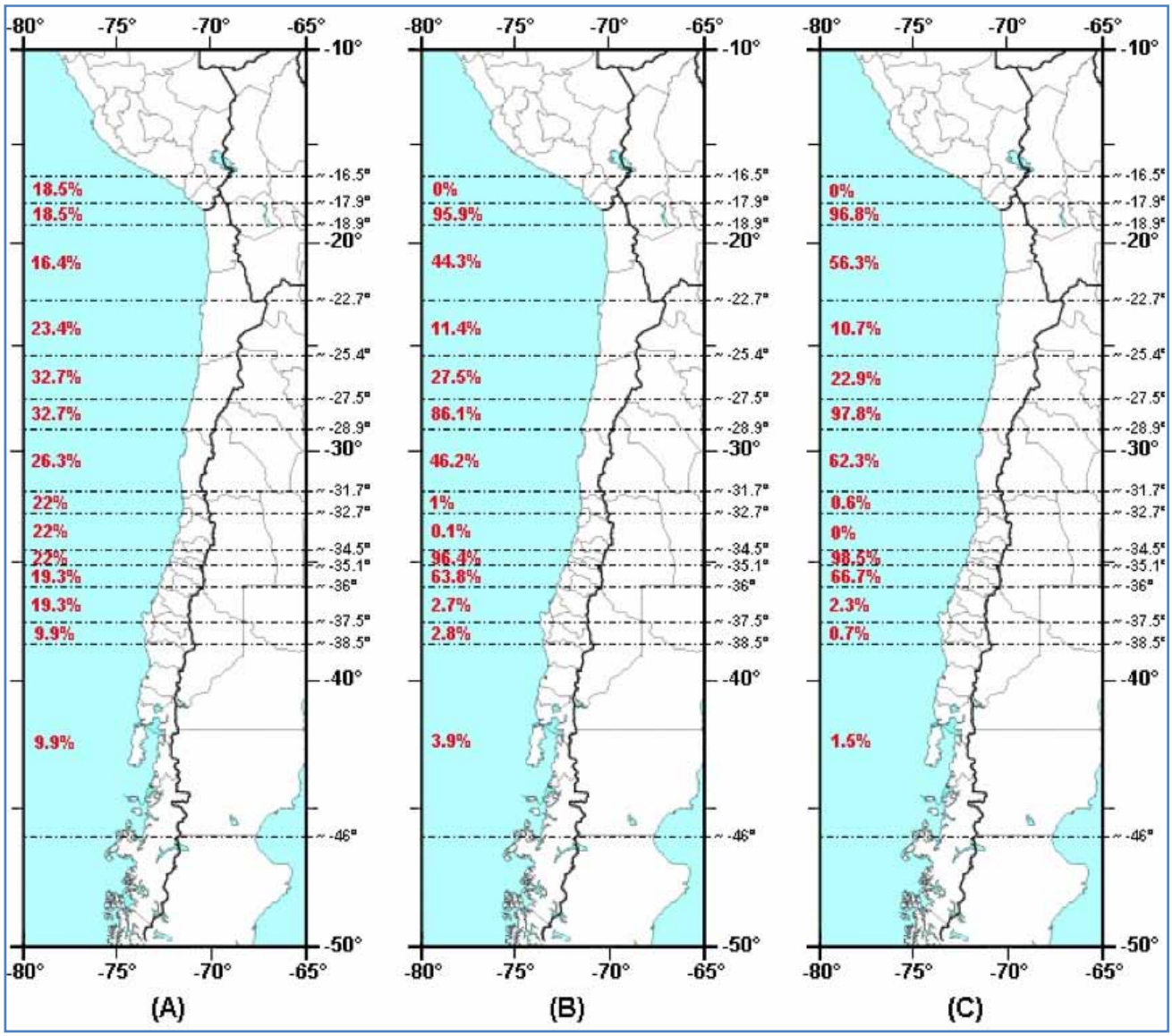
ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Trabajos Previos

En Chile se han desarrollado varias investigaciones que estiman el peligro sísmico a diversas escalas. En primer lugar se muestran los resultados obtenidos por Susa (2004) en los cuales se estimó la probabilidad de ocurrencia de un terremoto de magnitud importante (sobre 7.0-7.5) en diversas regiones de nuestro país (ver Figura 1.1.2-1) dentro de un determinado rango de tiempo. Para la zona en estudio se tiene un rango entre 19% al 67% dependiendo del modelo probabilístico considerado. Cabe resaltar que los dos modelos que entregan mayores probabilidades (B y C en la Figura 1.1.2-1) son aquellos en los cuales se toma en cuenta el tiempo transcurrido desde el último gran terremoto, reflejando de mejor manera el ciclo sísmico. Al momento de realización de dicho estudio (año 2004), en la zona de estudio, el último gran terremoto considerado fue el de Concepción de 1835 (M=8.4), por lo tanto Susa estima que existe una probabilidad muy alta que se vuelva a producir un terremoto importante (sobre 7.0-7.5) en la zona, para el rango de tiempo entre 2004-2024. Esta ventana sísmica fue llenada recientemente con la ocurrencia del terremoto del 27 de febrero de 2010 (terremoto del Maule 2010), el cual será discutido más adelante.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 1.1.2-1
PROBABILIDADES DE QUE OCURRA UN TERREMOTO



Fuente: Susa, 2004

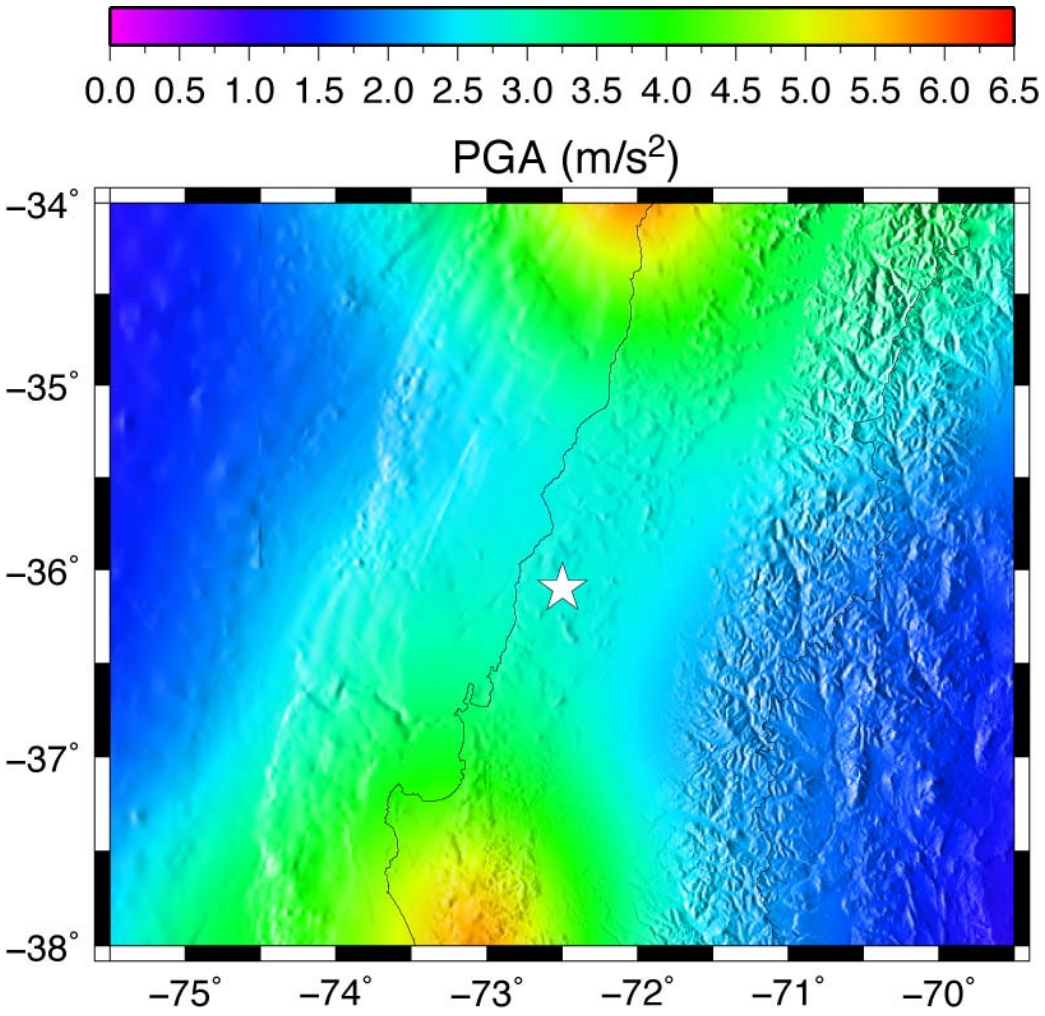
La 1.1.2-1 indica las probabilidades de que ocurra un terremoto de magnitud superior a 7.0-7.5 para el período comprendido entre 2004-2024. Para su determinación, se consideraron las siguientes distribuciones: (A) Poisson, (B) Weibull, determinada mediante mínimos cuadrados, y (C) Weibull, determinada mediante máxima verosimilitud (Susa, 2004).

Por otro lado, el proyecto *Global Seismic Hazard Assessment Program* (GSHAP) (Giardini y otros, 1992) desarrollado entre 1992 y 1999, tuvo como objetivo elaborar un mapa a escala global del peligro sísmico. Por ello, se estimó la aceleración máxima en la horizontal para un plazo de vida útil de 50 años considerando un 10% de probabilidad de excedencia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

(equivalente a un período de retorno de 475 años). Los resultados obtenidos para el área en estudio se presentan en la Figura 1.1.2-2.

FIGURA 1.1.2-2
ESTIMACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO



Fuente: Giardini y otros, 1992

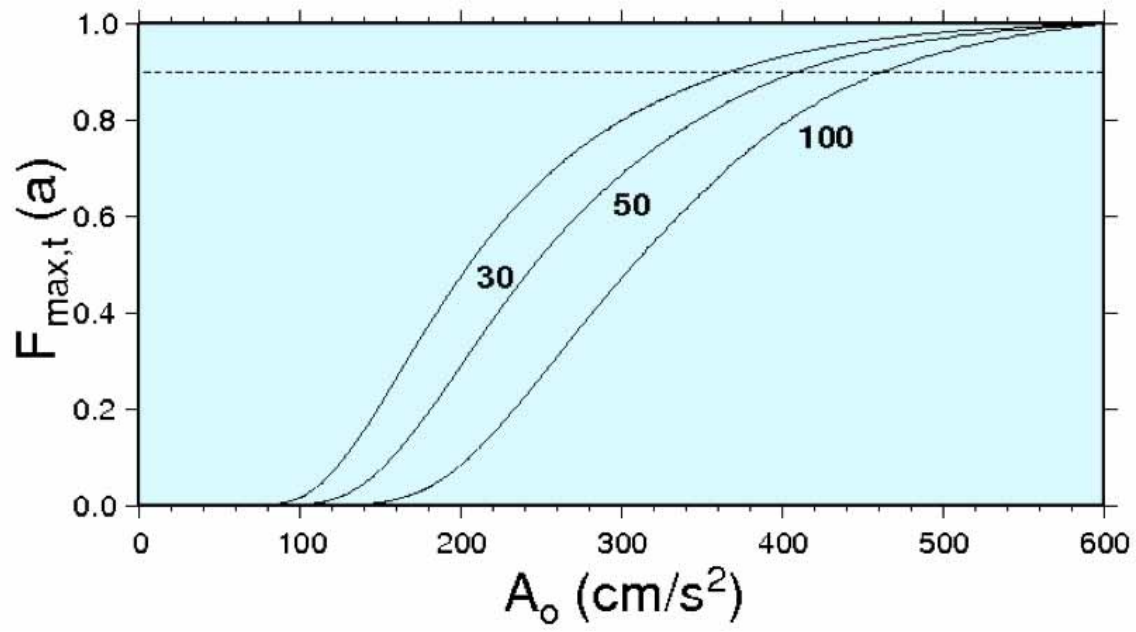
La Figura 1.1.2-2 indica la estimación del peligro sísmico elaborado por el programa GSHAP (Giardini y otros, 1992). El color presenta la aceleración máxima (en m/s^2) en la componente horizontal que tiene un 10% de probabilidad de ser excedido en 50 años (ver escala en el borde superior). Las estrellas marcan la posición de las localidades en estudio.

Para la zona de estudio se tiene una aceleración máxima en la horizontal de 2.728 m/s^2 (27.8% g) para el período de retorno de 475 años. En el trabajo desarrollado por Giardini y otros (1992) no se mencionan estimaciones del error que este valor posee.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Durante la recopilación de antecedentes para este estudio se encontró el “Estudio de Factibilidad de Construcción del Embalse San Juan – Quirihue”, realizado por SIGA Ingeniería Consultora el año 2008. En dicho trabajo se presenta la estimación del peligro sísmico mediante las metodologías probabilísticas y determinísticos en un sitio muy cercanos al lugar de emplazamiento del proyecto (en 36.1691^{o}S – 72.61852^{o}W). De este estudio se obtienen valores de 370 gal, 415 gal y 460 gal para periodos de vida útil de 30, 50 y 100 años, respectivamente, con una probabilidad de un 90% de no ser excedida (ver Figura 1.1.2-3). Los resultados determinísticos alcanzan valores de 0.61 g y 0.48 g para las fuentes interplaca tipo thrust e intraplaca de profundidad intermedia. Estos valores representan una buena aproximación al peligro sísmico esperado en la zona de estudio.

FIGURA 1.1.2-3
PROBABILIDAD DE NO EXCEDER LAS ACELERACIÓN MÁXIMAS



Fuente: SIGA Ingeniería Consultora, 2008

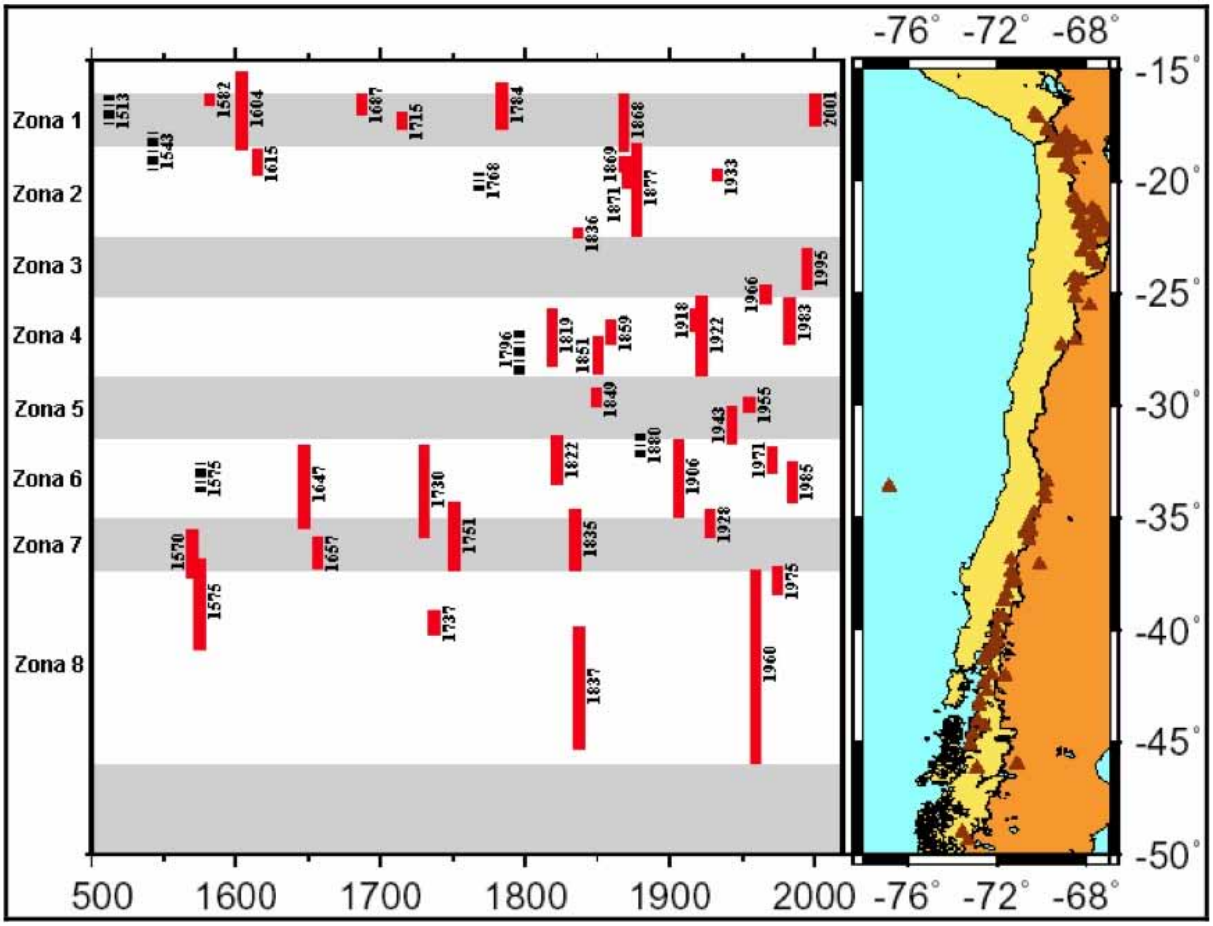
La Figura 1.1.2-3 indica la probabilidad de no exceder las aceleración máximas Ao para los periodos de 30, 50 y 100 años de vida útil para el embalse San Juan – Quirihue (SIGA Ingeniería Consultora, 2008).

Sismos históricos en la zona de estudio

La zona donde se ubica el proyecto posee antecedentes históricos de grandes terremotos interplaca tipo thrust (terremotos de 1570,1657, 1751, 1835, 1928), los cuales se muestran en la Figura 1.1.2-4 (Zona 7). Además, el año 1939 ocurrió un gran evento intraplaca de profundidad intermedia el cual afectó fuertemente la ciudad de Chillán, tal como se muestra posteriormente. Estos antecedentes son complementados con registros de grandes eventos de este tipo ocurridos en otras zonas del país.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 1.1.2-4
GRANDES TERREMOTOS INTERPLACA TIPO THRUST



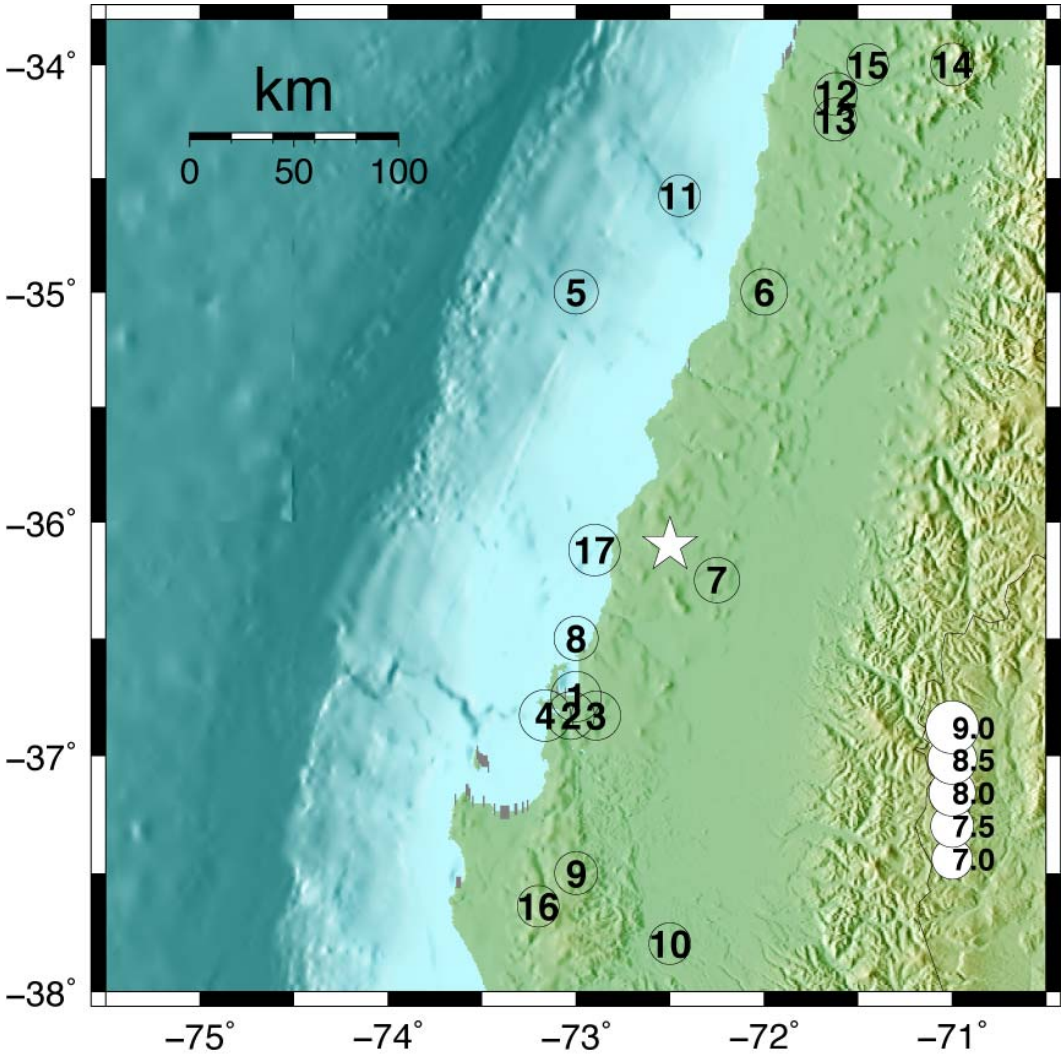
Fuente: Susa, 2004

La Figura 1.1.2-4 muestra los grandes terremotos interplaca tipo thrust (falla inversa de bajo ángulo), observados a lo largo de la costa de Chile y sur del Perú (tomada de Susa, 2004), donde destacan la secuencia de eventos del lugar en estudio (Zona 7): 1570-1657-1751-1835-1928. Las barras representan la estimación del largo de ruptura de cada evento, en color negro se marcan aquellas con mayor grado de incerteza (ver detalles en Susa, 2004).

Históricamente en la zona Central-Sur de Chile han ocurrido grandes terremotos, los cuales se muestran en la Figura 1.1.2-5 y sus datos en el Cuadro 1.1.2-1; en caso de no disponer de información de la profundidad, se ha omitido este valor.

FIGURA 1.1.2-5

MAPA TOPOGRÁFICO CON LOS EVENTOS HISTÓRICOS DE MAGNITUD SUPERIOR A 7.0



Fuente: Kreemer y otros, 2000 - 2003

La Figura 1.1.2-5 muestra el mapa topográfico con los eventos históricos de magnitud superior a 7.0 ocurridos en la zona. El tamaño es proporcional a la magnitud y el número corresponde al terremoto indicado en el Cuadro 1.1.2-1; las estrellas marcan la posición de las localidades en estudio.

CUADRO 1.1.2-1

DATOS DE TERREMOTOS DE MAGNITUD SUPERIOR A 7.0 OCURRIDOS EN LA ZONA.

Evento	Latitud (°S)	Longitud (°W)	Profundidad (km)	Magnitud	Año	Mes	Día
1	-73.00	-36.75	-	8.6	1570	2	8
2	-73.03	-36.83	-	8.3	1657	3	15

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 1.1.2-1

DATOS DE TERREMOTOS DE MAGNITUD SUPERIOR A 7.0 OCURRIDOS EN LA ZONA.

Evento	Latitud (°S)	Longitud (°W)	Profundidad (km)	Magnitud	Año	Mes	Día
3	-73.03	-36.83	-	8.9	1751	5	25
4	-73.03	-36.83	-	8.4	1835	2	20
5	-73.00	-35.00	35.0	7.6	1914	1	30
6	-72.00	-35.00	35.0	8.0	1928	12	1
7	-72.25	-36.25	55.0	7.8	1939	1	25
8	-73.00	-36.50	60.0	7.6	1953	5	6
9	-73.00	-37.50	-	7.4	1960	5	22
10	-72.50	-37.80	45.0	7.3	1962	2	14
11	-72.45	-34.58	33.0	7.2	1985	4	9
12	-71.62	-34.13	38.0	7.5	1985	4	9
13	-71.62	-34.13	37.0	7.5	1985	4	9
14	-71.00	-34.00	33.0	7.4	1985	4	9
15	-71.45	-34.00	60.0	7.2	1985	4	9
16	-73.20	-37.64	1.6	7.2	2004	5	3
17	-72.90	-36.12	22.0	8.8	2010	2	27

Fuente: Servicio Sismológico, Universidad de Chile.

De los principales eventos se tienen relatos históricos que dan cuenta del impacto que provocan en la población, los cuales se muestran resumidamente a continuación:

- **1570**: El 8 de febrero, a las 9 de la mañana, una gran terremoto destruyó la ciudad de La Concepción, fundada por los españoles en la bahía de Talcahuano donde hoy se encuentra puerto de Penco. Al terremoto le siguió un maremoto que terminó por arrasar los restos de los edificios. Felizmente no hubo desgracias personales, puesto que hubo tiempo para que la población huyera a los cerros vecinos. El historiador Góngora Marmolejo, al relatar la catástrofe, dice que “en varias partes se abrió la tierra, saliendo el agua a grandes borbotones y un hedor de azufre pésimo y malo que parecía cosa del infierno”.
- **1657**: El 15 de marzo, a las 19:30 hrs, 87 años después de la última catastrofe ocurrida en 1570, el puerto de La Concepción, ubicado donde hoy está Penco, fue arrasado por un terremoto de gran intensidad y su posterior tsunami. En la historia de Góngora Marmolejo se lee la leyenda de un muchacho Manuel Brantes, hijo de portugués, al ser mandado a buscar leña al monte, se encontró con un personaje venerable, vestido de morado que le ordenó volverse a la ciudad para avisar que pronto habría un terremoto e inundación. Alarmado el vecindario por la noticia, se acercó al padre y éste, irritado con el hijo, lo trató de visionario y al castigarlo, comenzó el terremoto. La ola marina que produjo el temblor fue tan grande que un barco quedó en uno de los patios de don Miguel Barriga.
- **1751**: El 25 de mayo, entre la 1 y 2 de la madrugada, un terremoto de gran intensidad, seguido de una salida del mar, arruinaron los edificios del puerto de La Concepción y se produjeron daños de consideración en la zona comprendida entre Curicó y Arauco. La ola marina llegó a la isla de Juan Fernández. En la noche del 23 de Mayo se sintió

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

el primer remezón que la población consideró como un anuncio recordando la catástrofe de hace sólo 21 años, en 1730 (ocurrencia de gran sismo que afectó la zona Central de Chile, produciendo un tsunami que afectó Concepción), creyó prudente pernoctar en los cerros. El 25 de Mayo se sintió primero una sacudida a la cual pronto le siguió un terremoto y lo poco que quedó en pie, lo arrasó la ola marina. El terror a la ola marina fue tal que se resolvió trasladar la ciudad más al interior y en la ubicación que tiene hoy día. La nueva ciudad fue fundada el 8 de diciembre de 1754 y recibió el título de ciudad en 1764. En el centro del país, las ciudades de Talca, Arauco y otras sufrieron daños de consideración y la ciudad de Chillán, ubicada en esa fecha en el punto en que hoy día está Chillán Viejo, sufrió tales destrozos que el pueblo reunido en cabildo abierto el día 8 de agosto, acordó el traslado de la ciudad al punto donde está hoy.

- **1835**: EL 20 de febrero, a las 11:40 horas, un terremoto y ola marina producen la ruina en Concepción y Talcahuano, siendo el área afectada muy extensa (ver Figura 1.2.2-4), llegando por el norte hasta Curicó. En la bahía de Cumberland de la isla Juan Fernández se produjo una erupción volcánica submarina y una ola marina arrasó la población en la isla. Esta ola se sintió en Valdivia y Castro. El naturalista Darwin llegó a Talcahuano 12 días después del evento y en sus memorias describe el resultado de importantes estudios efectuados en la isla Quiriquina y alrededores. Comprobó que la costa había sufrido un levantamiento ya que encontró en la orilla una faja con moluscos y algas marinas muertas y mal olientes que habían quedado fuera del agua de mar. Además pudo comprobar que de algunos pozos de agua brotaban gases mal olientes. También, Darwin refiere que en Talcahuano la ola marina fue tan alta que lanzó un cañón de 4 toneladas a 5 m fuera de la fortificación. Fitz-Roy presenció el maremoto y en sus memorias dice que el mar se retiró media hora después de sentirse el terremoto, dejando ver el fondo en partes que habían tenido 7 brazadas de profundidad y al volver la ola marina pasó 30 pies sobre las señales de alta marea.
- **1928**: El 1ero de diciembre, a las 0 horas con 6 minutos, un gran terremoto produjo el derrumbe del tranque de relave del mineral el Teniente. La zona más afectada fue la ciudad de Talca. Gutenberg y Richter fijan el epicentro en 35º S y 72º W y estiman su magnitud en 8.0.
- **1939**: El 24 de enero, a las 23:34 hrs, se produjo un gran terremoto conocido como el de Chillán. Gutenberg y Richter fijan el epicentro a 36.25º S y 72.25º W, alcanzando una magnitud de 7¾ y una profundidad de 60 km. La parte más afectada fue la ciudad de Chillán, Bulnes, San Carlos, entre las latitudes 36º a 37º S, con una menor intensidad en la ciudad de Concepción.

1.1.3. Reseña de Metodología

La metodología que se empleará en este trabajo considera un análisis del marco sismogénico general de la zona en estudio, incluyendo información histórica sobre la localización, magnitud y mecanismo focal de la sismicidad. Ello permitirá definir las principales fuentes sismogénicas presentes en el lugar, al igual que la caracterización de cada una de ellas. También se presentan datos instrumentales registrados, permitiendo su análisis y descripción de modo de poder comparar con los registros sintéticos a generar.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Parte importante de la descripción de las fuentes sismogénicas es la caracterización de su productividad sísmica mediante la ley de Gutenberg-Richter (Gutenberg & Richter, 1944). Otro aspecto relevante es determinar el máximo terremoto creíble MCE mediante el análisis de la sismicidad histórica.

A través del estudio de los registros de terremotos en la zona de interés se podrá definir una ley de atenuación que ligue una cierta magnitud con una aceleración horizontal máxima a observar, considerando la pérdida de energía con la distancia. Estas relaciones se denominan leyes de atenuación.

Utilizando estos antecedentes se procederá a la estimación del peligro sísmico mediante el uso de las técnicas probabilística y determinística. La primera se basa en el trabajo de Cornell (1968), mediante las aproximaciones hechas por Algermissen & Perkins (1976) y Algermissen y otros (1982), al igual que Anderson & Trifunac (1978). En general, las fuentes sismogénicas serán consideradas homogéneas, teniendo cada una de las subfuentes que la componen las mismas propiedades, supuesto usual en este tipo de estudios (Barrientos, 1980; Algermissen y otros, 1982; Leyton y otros, 2009, 2010).

Acto seguido, se prosigue con la metodología determinística considerando el escenario más extremo para cada tipo de fuente, permitiendo determinar la aceleración horizontal máxima producto de él.

1.2. MARCO SISMOGÉNICO GENERAL

A continuación se presenta el marco sismogénico general, típico del contacto de la placa de Nazca (de origen oceánico) con la placa Sudamericana (de origen continental), donde la primera subducta bajo la segunda. Este análisis permitirá definir conjuntos de eventos con características comunes, denominados como fuentes sismogénicas. Posteriormente, se procederá a analizar la sismicidad histórica, de manera poder definir aquellos parámetros necesarios en la estimación del peligro sísmico probabilístico, tales como la productividad sísmica, terremoto máximo creíble y las leyes de atenuación.

1.2.1. Ambiente Sismogénico

En la Figura 1.1.1-3 se presentó un corte con la sismicidad registrada por la red internacional, con magnitudes superiores a 3,0. Como se mencionó anteriormente, este perfil de sismicidad es característico de las zonas de subducción, generando los tres tipos de fuentes sismogénicas principales a detallar más adelante. La subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana posee dos características distintivas: una alta velocidad de convergencia (alrededor de 6-7 cm/año) y una joven placa subductada (del orden de 35 Ma en la zona central). Estos aspectos producen un alto nivel de acoplamiento mecánico en la zona de contacto, permitiendo la acumulación de grandes niveles de energía que ocasionan grandes terremotos. En la zona de estudio, el contacto entre ambas placas se extiende hasta alrededor de los 50 km de profundidad (Tichelaar & Ruff, 1993; Suárez & Comte, 1993; Belmonte-Pool, 1997; Khazaradze & Klotz, 2003; Tassara et al, 2006).

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

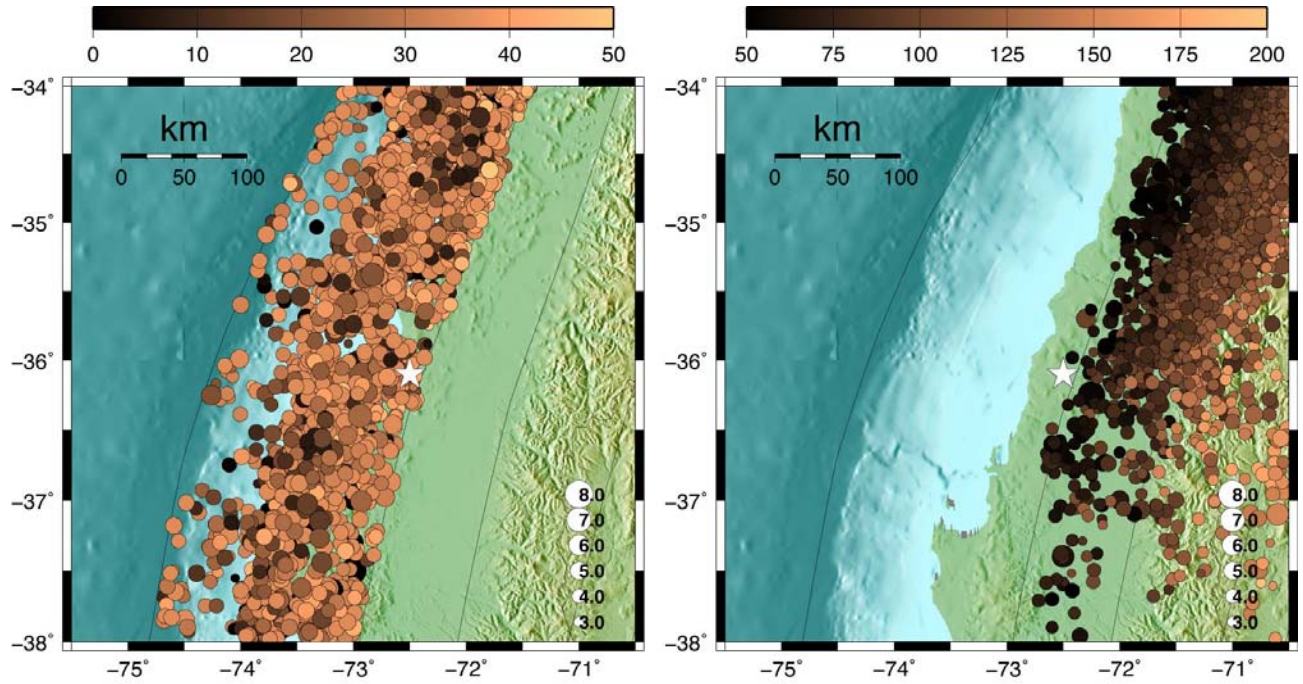
El movimiento convergente de las placas de Nazca y Sudamericana produce una acumulación de esfuerzos en la zona de contacto los cuales son liberados en forma de terremotos. Es posible ver en la Figura 1.1.1-3 como un grupo importante de eventos se localizan en el contacto entre las dos placas; estos eventos sísmicos son denominados como interplaca o thrust. Además, se aprecia una gran cantidad de eventos que ocurren al interior de la placa de Nazca, lejos del contacto, a profundidades superiores a 50 km; a este conjunto de eventos se les conoce como intraplaca de profundidad intermedia. En la Figura 1.1.1-3 también es posible observar, en mucho menor medida, sismos superficiales en la placa Sudamericana, cerca de la Cordillera de Los Andes, correspondiendo a sismos corticales. Cabe destacar que no hay un registro suficiente de este último tipo de sismicidad para proceder a estimar los parámetros del modelo con el objeto de efectuar estudios probabilísticos.

1.2.2. Determinación de las Fuentes Sísmicas

De la sección anterior se infiere que existen tres fuentes sismogénicas, las cuales poseen características comunes; ellos son: interplaca tipo thrust, intraplaca de profundidad intermedia y cortical. Tal como se mencionó, esta última fuente sismogénica no cuenta con información suficiente como para incluirla en el estudio probabilístico (ya sea mediante sismicidad reportada o estimaciones de la tasa de deformación que permitan estimar el periodo de retorno del terremoto característico). Considerando esta división, es posible clasificar cada uno de los eventos que ocurren en la zona, mostrados en la Figura 1.2.2-1. El área de influencia en la zona se determinó como dos grados al Norte y al Sur del lugar de estudio, extendiéndose en la dirección Oeste un ancho necesario de manera de incluir todos los eventos del tipo interplaca y hacia el Este los eventos intraplaca de profundidad intermedia (ambos en longitud).

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 1.2.2-1
SISMICIDAD DE LA ZONA DE ESTUDIO



Fuente: Lavenu, 2005

La Figura 1.2.2-1 muestra la sismicidad de la zona de estudio, cada punto representa un sismo, siendo el tamaño proporcional a su magnitud (ver escala en el borde inferior derecho); el color es proporcional a la profundidad, en km, del evento según la escala del borde superior. Las estrellas marcan la posición de las localidades estudiadas y las líneas representan la posición del borde superior la placa de Nazca a 0, 50, 100, 150 y 200 km de profundidad, de izquierda a derecha, respectivamente.

Cabe destacar que esta base de datos debe ser limpiada para eliminar los eventos que son réplicas de sismos mayores. Ello permite cumplir con el principio de independencia de los eventos, supuesto básico en un modelo de Poisson, requerimiento esencial del análisis de peligro probabilístico desarrollado por Cornell (1968), Algermissen y Perkins (1976) y Anderson y Trifunac (1978). Para ello se siguió la metodología definida por Reasenberg (1985), debidamente adaptada al caso Chileno (Leyton et al., 2009). Ello cobra especial relevancia en el cálculo de las leyes de productividad sísmica, como se verá más adelante.

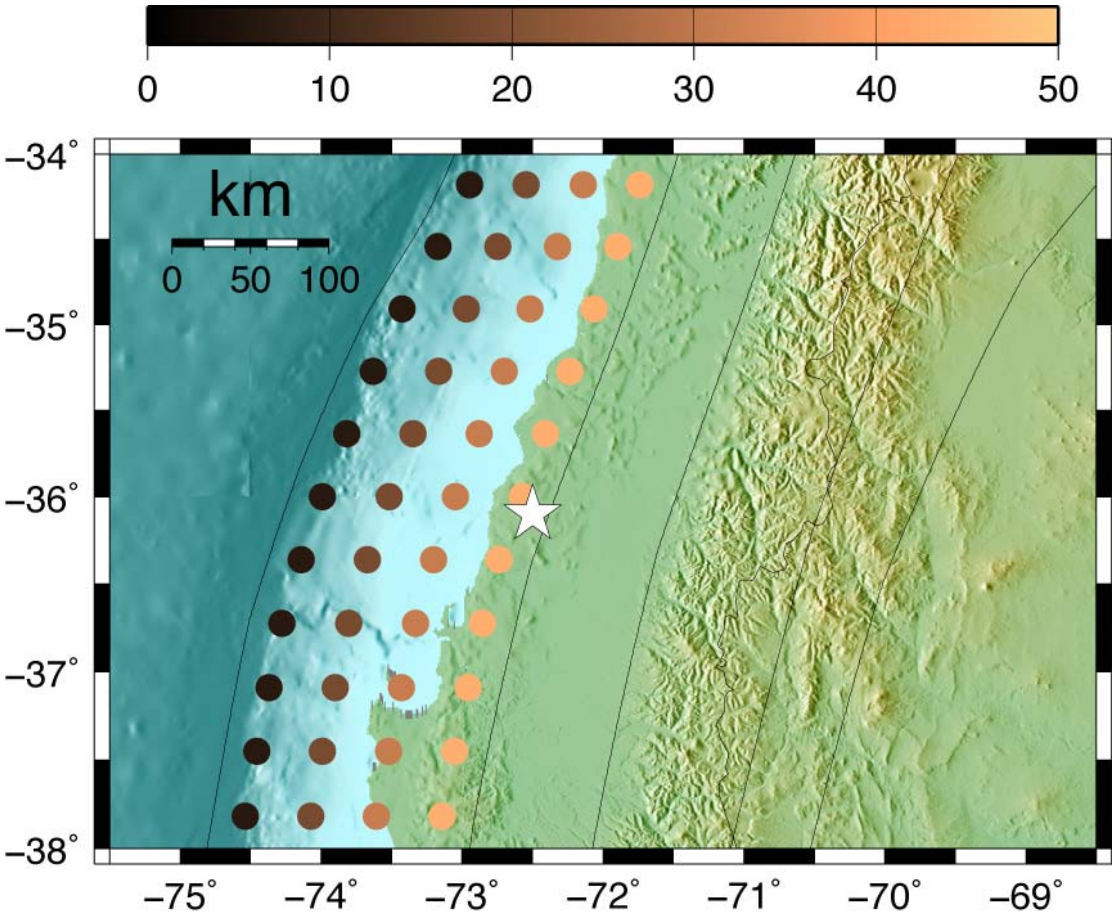
A continuación se presenta la definición de los dos tipos de fuentes sismogénicas antes mencionados. Ellas serán descritas mediante subfuentes puntuales, que al ser sumadas, generan el efecto del total de cada una de las fuentes sismogénicas; de esta manera, es posible describir cualquier tipo de geometría, por muy complejas que éstas sean.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Sismos Interplaca o Thrust

Corresponden a aquellos eventos que se producen en el contacto entre las placas de Nazca y Sudamericana (ver Figura 1.1.1-3). Se extienden desde la fosa hasta unos 50 km de profundidad, límite máximo del contacto en la zona de estudio (Tichelaar & Ruff, 1993; Suárez & Comte, 1993; Belmonte-Pool, 1997; Kharadzade & Klotz, 2003). Este tipo de eventos alcanzan grandes magnitudes, usualmente usándose la máxima magnitud creíble de 8.5(Martin, 1990; Romanoff, 1999; Leyton y otros, 2010), pero, considerando la ocurrencia del gran terremoto del 27 de febrero de 2010, en el presente estudio se decidió aumentar la magnitud máxima a M_S=8.8. En la Figura 1.2.2-2 se presenta un mapa con las subfuentes puntuales que la componen la fuente interplaca tipo thrust.

FIGURA 1.2.2-2
FUENTE SISMOGÉNICA DE TIPO INTERPLACA O THRUST



Fuente: Lavenu, 2005

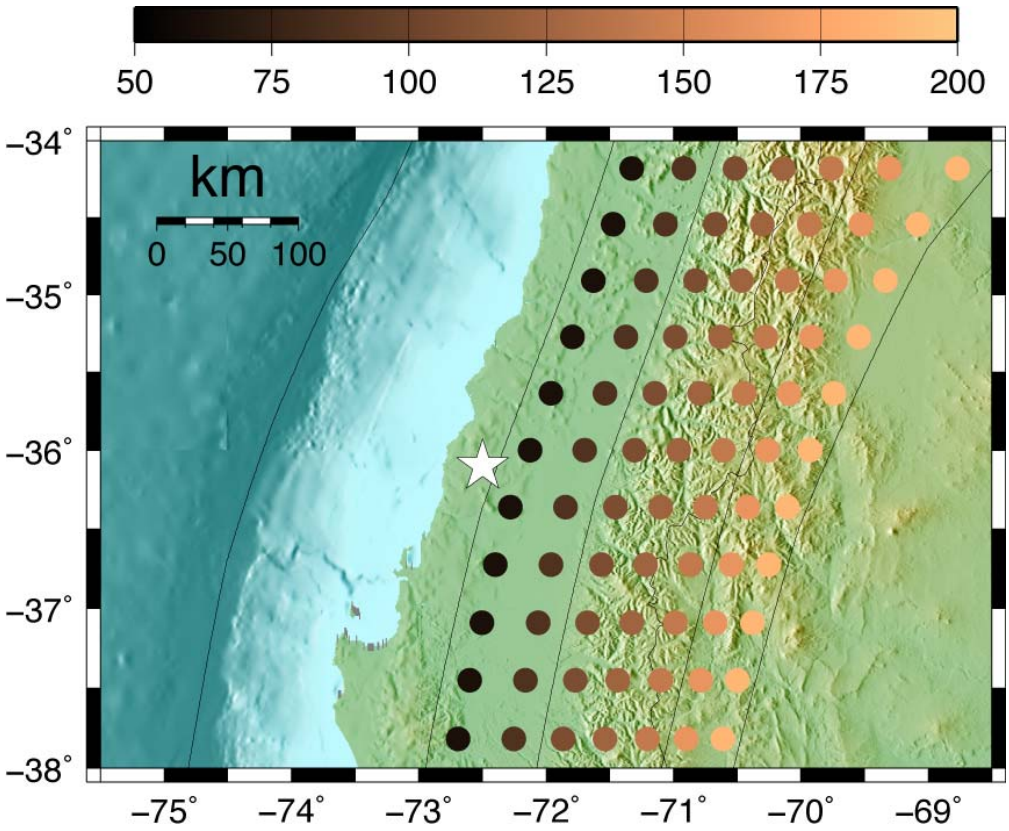
La Figura 1.2.2-2 indica el mapa topográfico con localización de las subfuentes (círculos) que componen la fuente sismogénica de tipo interplaca o thrust. El color es proporcional a la profundidad, en km, según la escala que se muestra en el borde superior; la estrella blanca marca la posición de la localidad estudiada.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Sismos Intraplaca de Profundidad Intermedia

Esta fuente está compuesta por sismos que ocurren dentro de la placa de Nazca, después de la zona de contacto; ellos poseen profundidades mayores de 50 km y llegan hasta los 150-200 km. Recientemente, se ha puesto en evidencia que este tipo de eventos poseen notorias diferencias con los de tipo thrust en las características de la fuente (Leyton, 2001; Leyton y otros, 2008b), reflejándose en mayores daños producidos en la zona epicentral (Astroza y otros, 2002) y altas aceleraciones máxima reportadas (Ruiz & Saragoni, 2005). Este tipo de fuente se caracteriza por tener una magnitud máxima creíble de M_S=8.0 (Martin, 1990; Romanoff, 1999; Leyton y otros, 2010); la Figura 1.2.2-3 muestra las subfuentes que componen esta fuente.

FIGURA 1.2.2-3
FUENTE SISMOGÉNICA DE TIPO INTRAPLACA DE PROFUNDIDAD INTERMEDIA



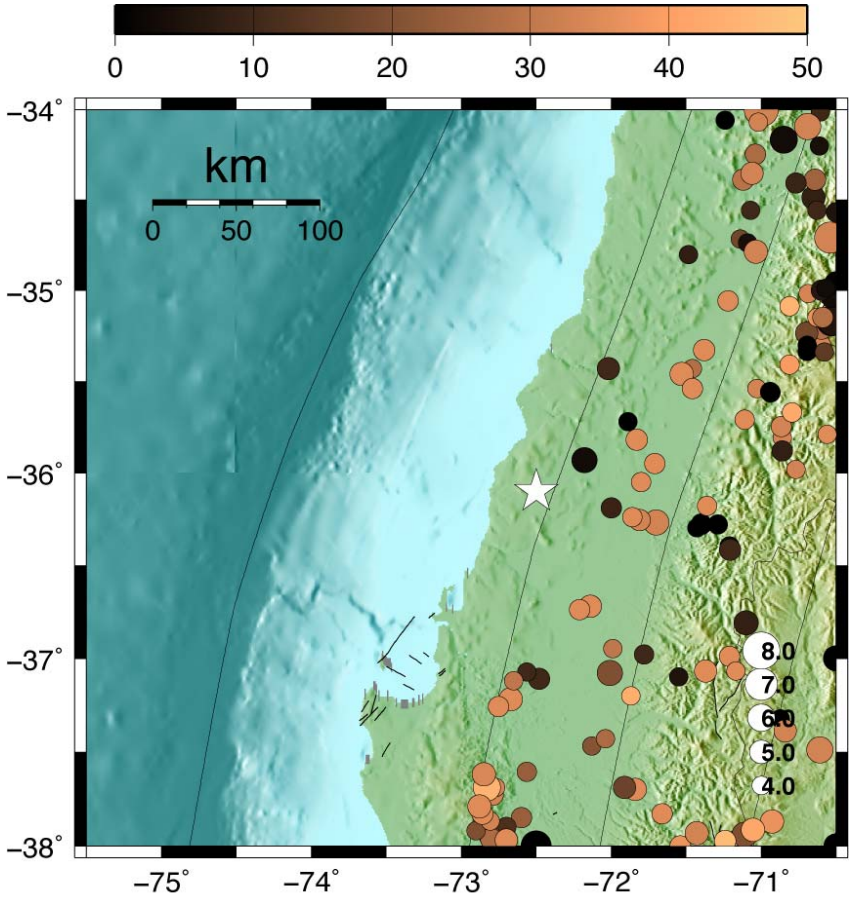
Fuente: Lavenu, 2005

La Figura 1.2.2-3 indica el mapa topográfico con localización de las subfuentes (círculos) que componen la fuente sismogénica de tipo interplaca de profundidad intermedia. El color es proporcional a la profundidad, en km, según la escala que se muestra en el borde superior; la estrella blanca marca la posición de la localidad estudiada.

Sismos Corticales y Fallas Activas

En la Figura 1.2.2-4 se presenta la sismicidad superficial (profundidades menores a 50 km) que se encuentra en la zona del proyecto. En la misma Figura 1.2.2-4 se han graficado las fallas corticales activas (actividad en el Holoceno) que se han reconocido en terreno (Lavenu, 2005). De esta Figura es posible verificar que existe una actividad sísmica superficial difusa entorno al proyecto, pero no lo suficiente para permitir una análisis probabilístico. Esto se debe a que, considerando los datos disponibles, no es posible estimar la productividad sísmica que permita definir el período de retorno de dicha fuente. Por otro lado, es posible ver que no existen fallas corticales activas en las cercanías del proyecto, por lo que no será necesario considerarlas el análisis determinístico.

FIGURA 1.2.2-4
SISMICIDAD SUPERFICIAL QUE SE ENCUENTRA EN LA ZONA DEL PROYECTO



Fuente: Lavenu, 2005

Mapa topográfico con la sismicidad superficial región (profundidades menores a 50 km, ver escala en borde superior, en km) y magnitud superior a 4.0; cada círculo representa un sismo con tamaño proporcional a su magnitud. Además, se han dibujado las trazas de las fallas activas (Lavenu, 2005); las estrellas marcan la posición de las localidades estudiadas.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

1.2.3. Sismicidad Histórica y Registros Instrumentales

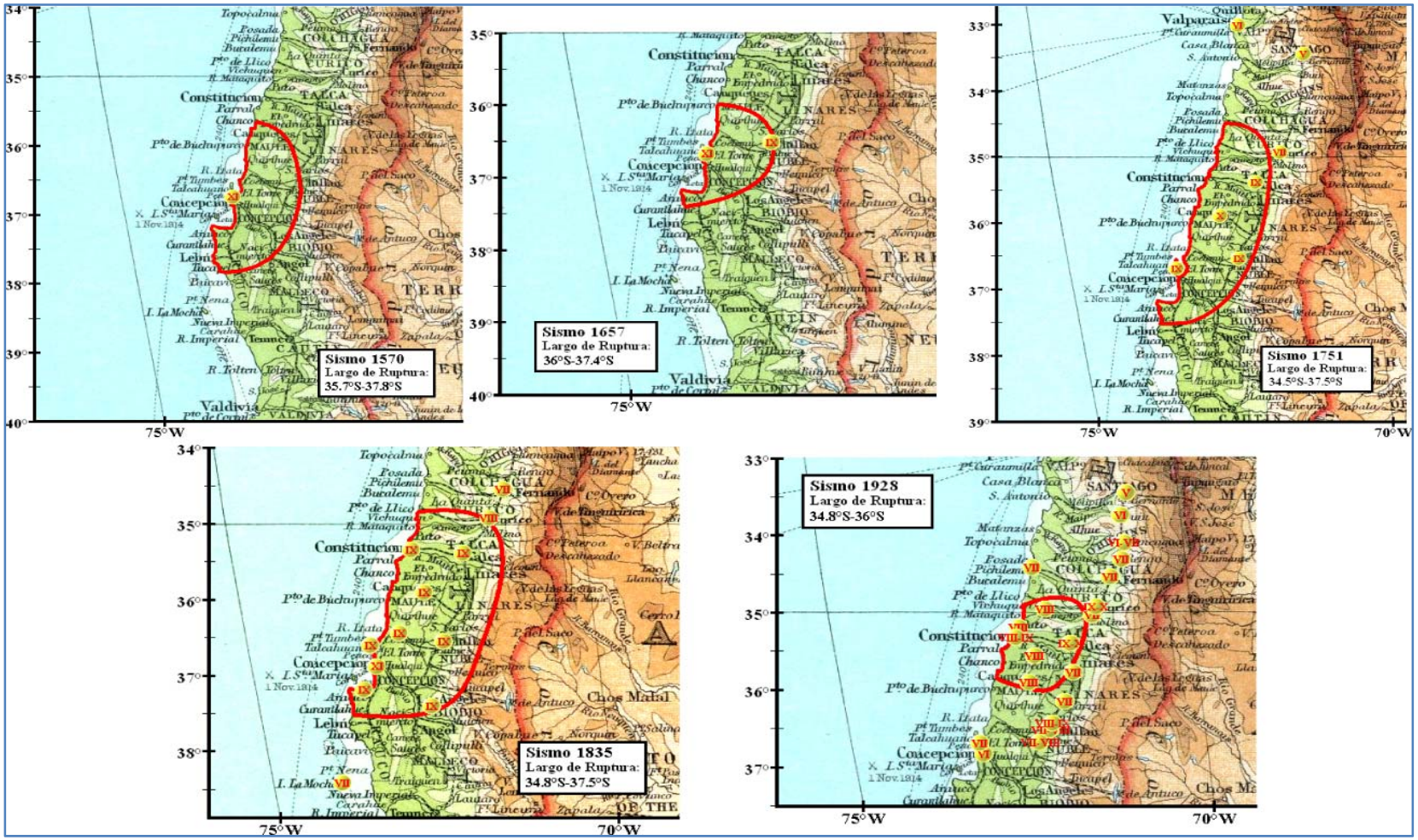
A continuación se presenta una breve reseña histórica de los terremotos más importantes que se han registrado para cada una de las fuentes sismogénicas antes descritas, en torno al sitio estudiado o, en caso de no tenerse registro cercanos, se incluyen datos de los sismos más significativos de otras regiones del país. Estos datos son complementados con datos instrumentales, en caso de disponer de ellos.

Sismos Interplaca Tipo Thrust

Este tipo de terremotos ocurre en el contacto de las placas de Nazca y Sudamericana, caracterizándose por producir terremotos de gran magnitud y presentar ubicación costera produciendo, en general, maremotos significativos. De la gran mayoría de ellos no se tiene información instrumental que permita determinar sus carácterísticas, por lo que, utilizando datos de intensidad de daño, se estiman las áreas de ruptura de estos terremotos (Kausel & Ramirez, 1992). Como se aprecia en la Figura 1.2.3-1, el área de ruptura de los terremotos interplaca tipo thrust corresponde a la zona costera, estando lejos del lugar de estudio. La ubicación de estos terremotos históricos y la distancia a la que se encuentran de la zona del proyecto, es considerada en la definición del terremoto de diseño.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 1.2.3-1
ÁREA DE RUPTURA E INTENSIDAD DE DAÑO OBSERVADA



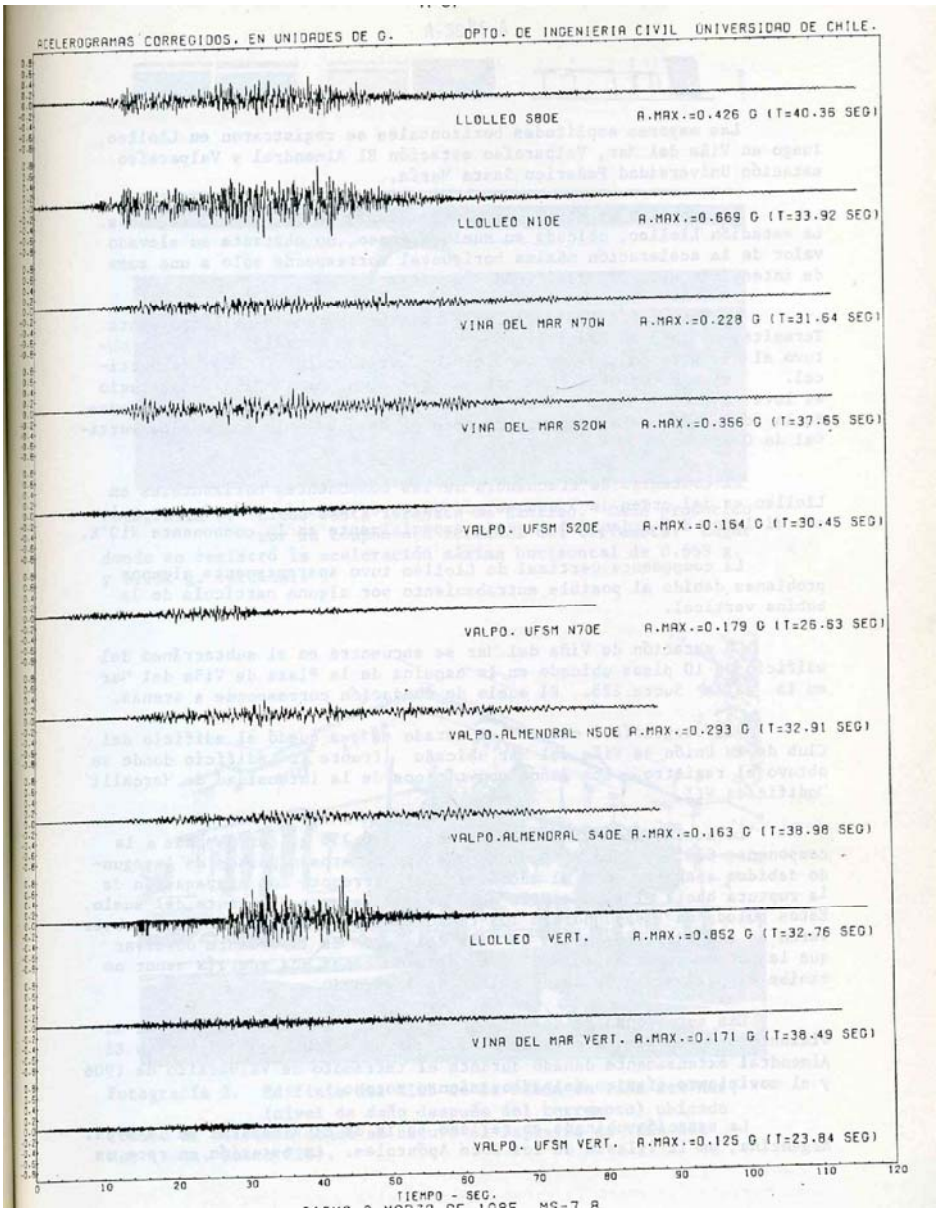
Fuente: Kausel & Ramirez, 1992

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

La Figura 1.2.3-1 indica el área de ruptura (encerrado en elipse roja) e intensidad de daño observada para los terremotos de: 1570 (M 8.6), 1657 (M 8.3), 1751 (M 8.9), 1835 (M 8.4) y1928 (M 8.0) (Susa, 2004).

A continuación se presentan los acelerogramas de algunos terremotos de los cuales se tienen registros; uno de los mejores registrados y estudiados corresponde al terremoto de Valparaíso de 1985 (Figura 1.2.3-2) y los reportados para Maule 2010 (Figura 1.2.3-3), ambos son presentados en términos de la aceleración de gravedad (g).

FIGURA 1.2.3-2
TERREMOTO DE VALPARAÍSO DE 1985

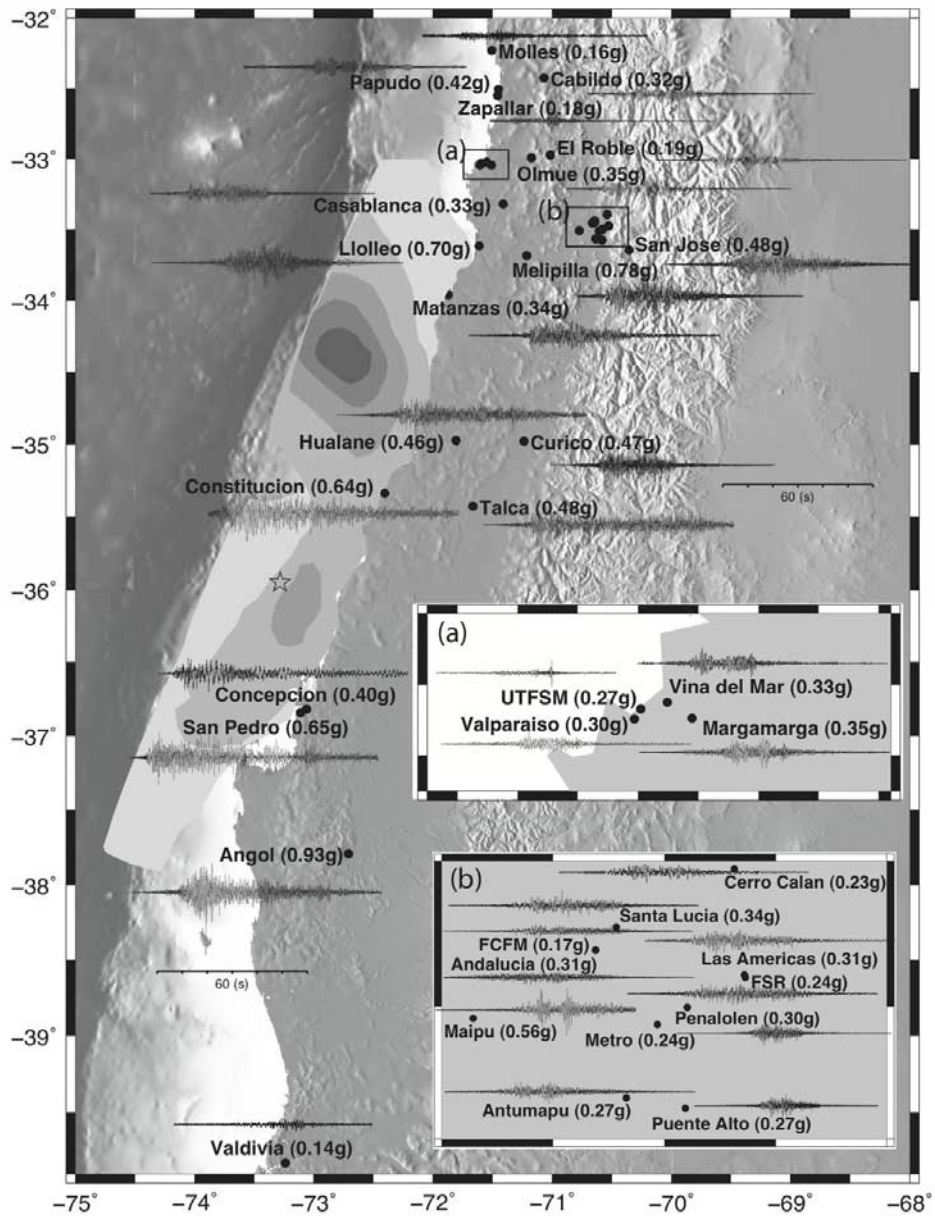


Fuente: Departamento de Ingeniería Civil Universidad de Chile.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

El 27 de febrero de 2010, Chile sufrió uno de los terremotos más grandes de los últimos tiempos (Mw 8.8), afectando desde la V a la VIII región. Este evento fue registrado por una serie de acelerógrafos, tal como se presenta en la Figura 1.2.3-3 de los cuales se presentan los registros más cercanos al lugar de estudio, disponibles al momento de elaboración de este estudio.

FIGURA 1.2.3-3
REGISTRO DEL TERREMOTO DEL 27 FEBRERO 2010



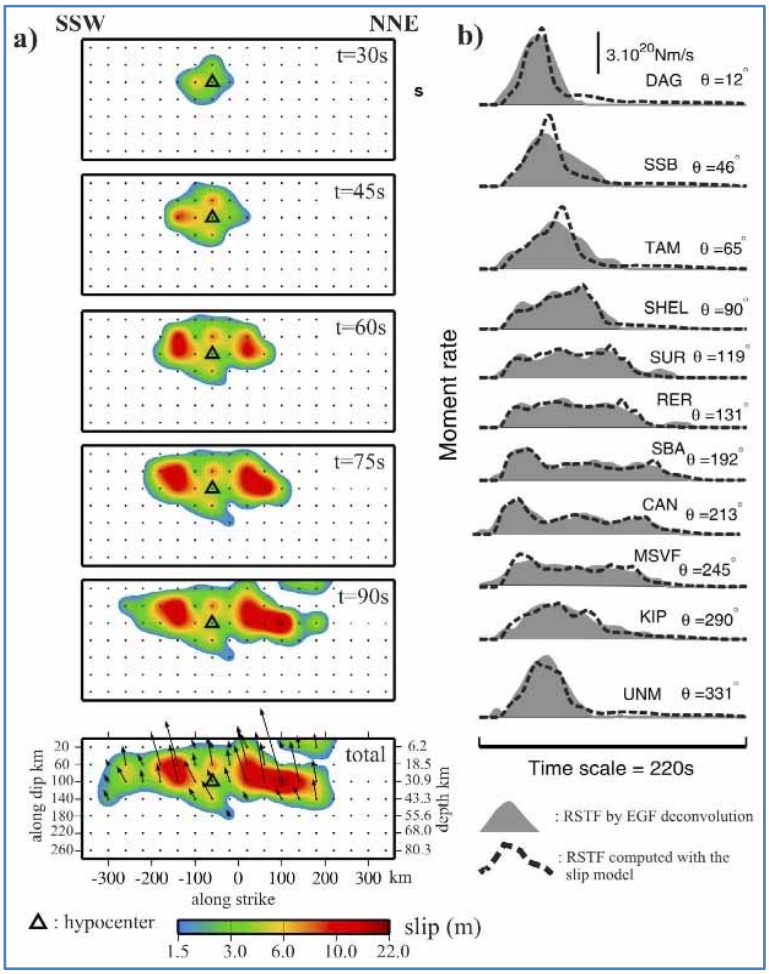
Fuente: Barrientos, 2010; Boroschek y otros, 2010

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

La Figura 1.2.3-3 indica el mapa topográfico con las estaciones que registraron el terremoto del 27 de febrero de 2010. Se ha dibujo la traja de la componente horizontal con mayor aceleración, valor mostrado entre paréntesis. Las escalas verticales y horizontales de los acelerogramas son las mismas. Se ha incluido un modelo de asperezas desarrollado por Lay y otros (2010).

Este evento se caracterizó por presentar 2 zonas de gran liberación de energía o asperezas (Delouis y otros, 2010; Lay y otros, 2010), las cuales se presentan en la Figura 1.2.3-4. En los paneles en a) es posible ver cómo se propagó la ruptura, partiendo en las cercanías de Cauquenes y propagándose al norte y al sur. En b) se presenta la tasa de liberación de momento observada en distintas estaciones, cuyo azimut es marcado en el borde derecho. De este Figura también es posible ver que el desplazamiento sobre el plano de ruptura superó los 20 m.

FIGURA 1.2.3-4
ESQUEMAS CON LA PROPAGACION DE LA RUPTURA EN EL TIEMPO

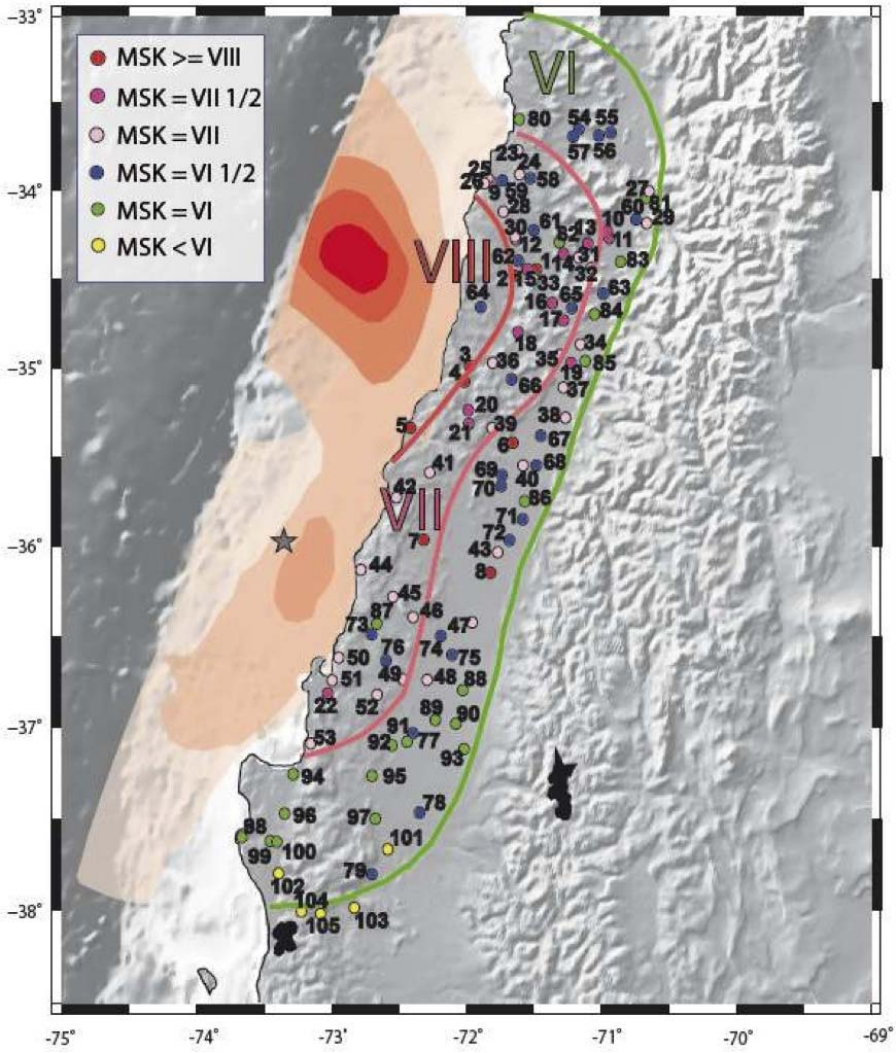


Fuente: Figura extraída de Delouis y otros (2010).

La Figura 1.2.3-4 muestra los esquemas con la propagación de la ruptura en el tiempo; el color es proporcional al desplazamiento sobre la falla, según escala del borde inferior. (b) Datos de la tasa de momento sísmico liberado observado y modelado que permitieron llegar a la solución presentada.

Las asperezas antes descritas tuvieron un fuerte impacto en la distribución del daño producido por este terremoto, ver Figura 1.2.3-5. Esta Figura muestra las intensidades de más de 100 localidades examinadas por los autores tras el terremoto, mostrando valores desde menos de VI (en la zona sur) hasta sobre VIII en 8 localidades estudiadas. De esta Figura es posible ver que la zona en estudio alcanzó una intensidad de VII.

FIGURA 1.2.3-5
INTENSIDADES ESTIMADAS TRAS TERREMOTO DEL MAULE



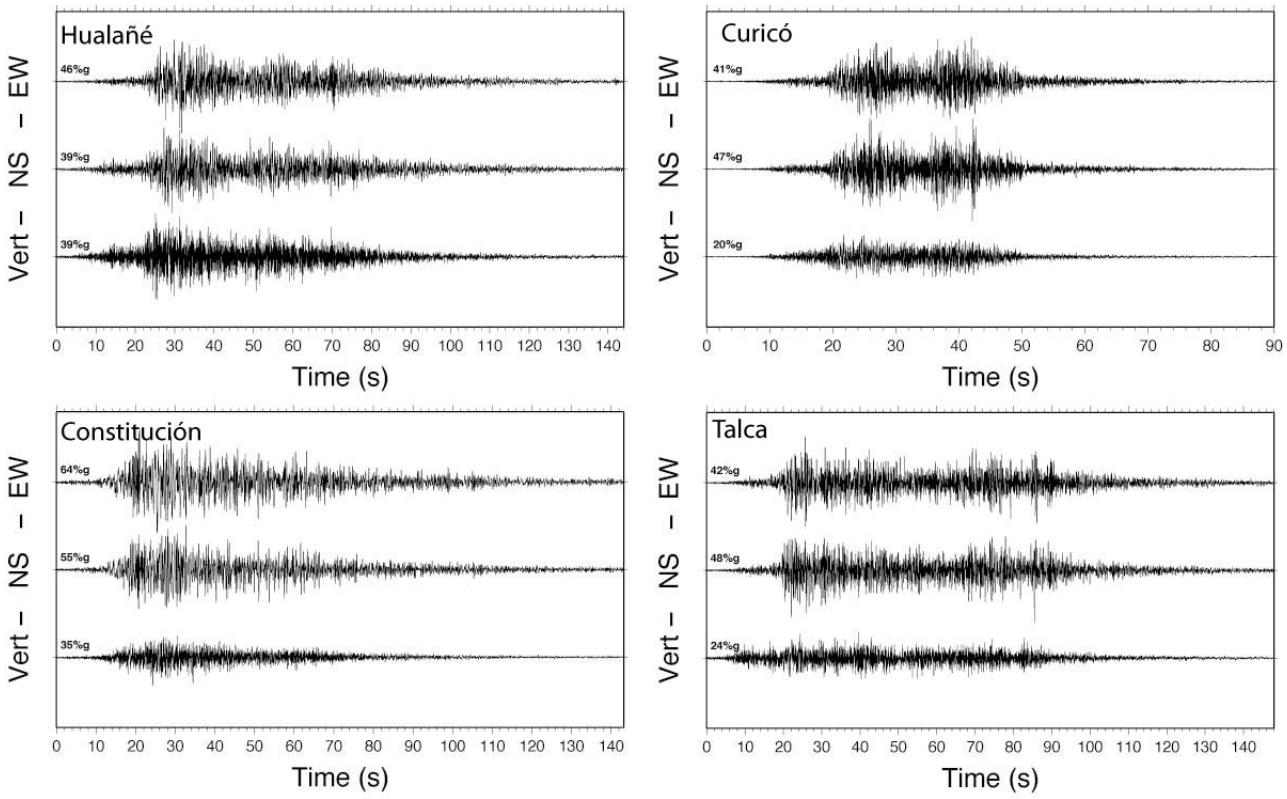
Fuente: Ruiz & Astroza (2011)

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

La Figura 1.2.3-5 muestra las intensidades estimadas a través de mediciones de daño, tras el terremoto del Maule. Las curvas marcan las isosistas y las números romanos su valor (tomada de Ruiz y Astroza, 2011).

Tal como se mencionó anteriormente, este gran evento fue registrado por una serie de instrumentos instalados a lo largo de Chile Central, cuya localización fue presentada en la Figura 1.2.3-3. En la Figura 1.2.3-6 se presentan los acelerogramas de las estaciones más cercanas al lugar de estudio: Hualañé, Curicó, Constitución y Talca.

FIGURA 1.2.3-6
ACELEROGRAMAS TERREMOTO MAULE 2010



Fuente: Boroschek y otros, 2010

La Figura 1.2.3-6 indica los acelerogramas del terremoto del Maule 2010 de las estaciones más cercanas al lugar de estudio: Hualañé, Curicó, Constitución y Talca (Boroschek y otros, 2010). El borde izquierdo identifica cada una de las componentes: Vert: vertical, NS: Norte-Sur y EW: Este. Las trazas de cada estación han sido normalizadas, mostrando el valor de la máxima aceleración en el borde izquierdo.

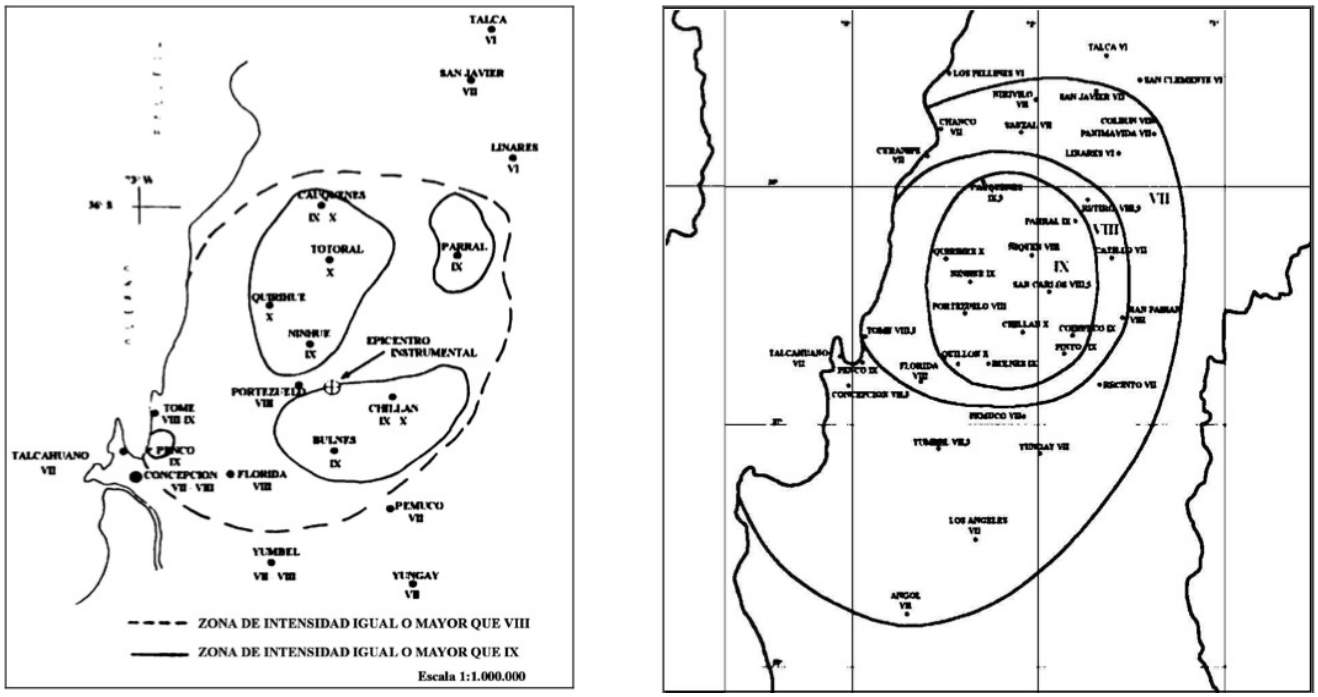
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Sismos Intraplaca de Profundidad Intermedia

La zona donde se ubica el proyecto fue testigo de uno de los eventos más significativos de tipo intraplaca de profundidad intermedia: el terremoto de Chillán de 1939. En esa época no se contaba con instrumentos que pudiesen registrar el movimiento del suelo, pero se presenta un mapa con las intensidades estimadas a partir de registros históricos (Figura 1.2.3-7). De esta Figura es posible ver que en la zona epicentral se alcanzó una intensidades de IX y X en la escala de Mercalli Modificada, y VII en la zona en estudio. Otros eventos significativos de este tipo de fuente sismogénica son Punitaqui de 1997 y Tarapacá de 2005, cuyas curvas de isosistas son presentadas en la Figura 1.2.3-8. Nótese que estos eventos también presentan altas intensidades en la zona epicentral, decayendo rápidamente con la distancia.

FIGURA 1.2.3-7

MAPA CON LAS ISOSISTAS DE INTENSIDADES (EN ESCALA DE MERCALLI MODIFICADA) DEL TERREMOTO DE CHILLÁN DE 1939

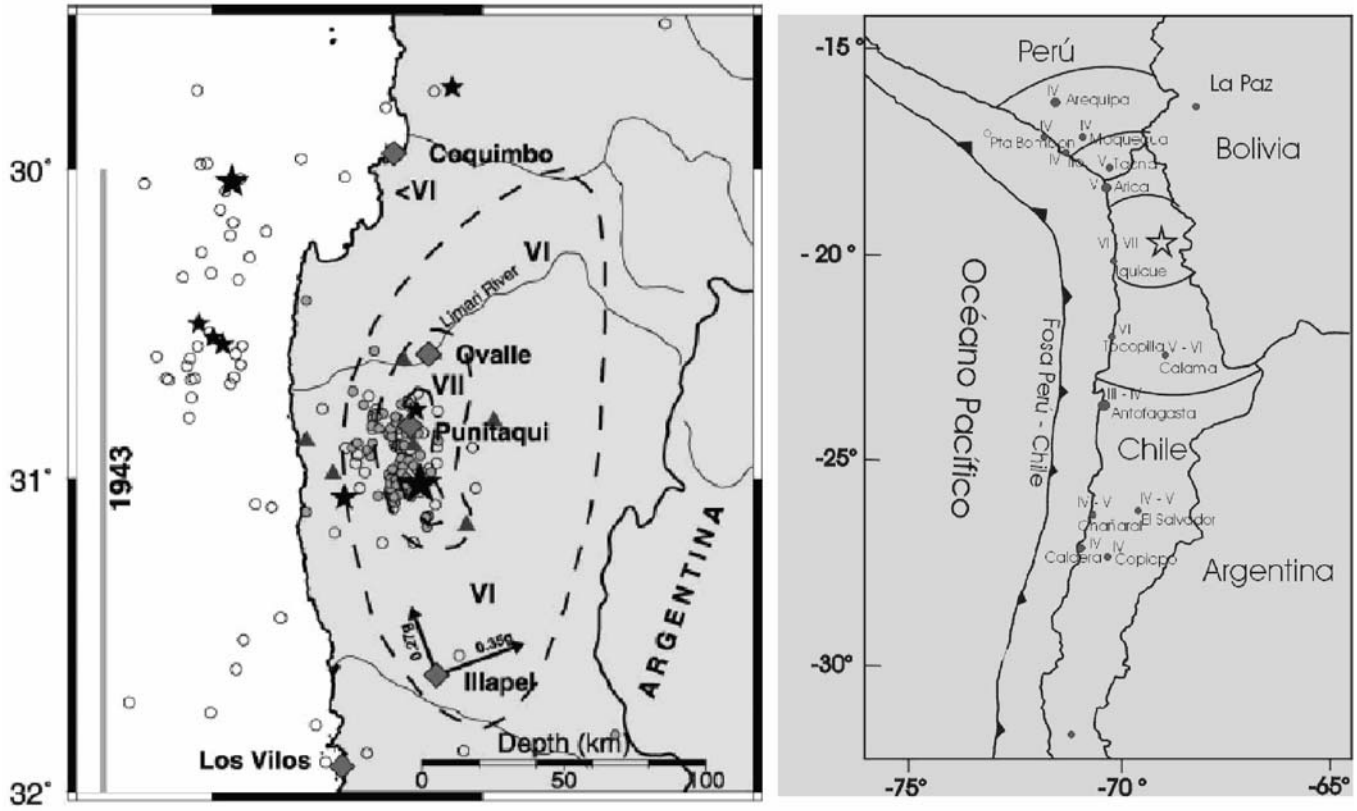


Fuente: Campos y Kausel, 1990 y Moya, 2002

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 1.2.3-8

MAPA CON LAS INTENSIDADES DE LOS TERREMOTOS INTRAPLACA DE PROFUNDIDAD INTERMEDIA DE PUNITAQUI DE 1997 Y TARAPACÁ DE 2005



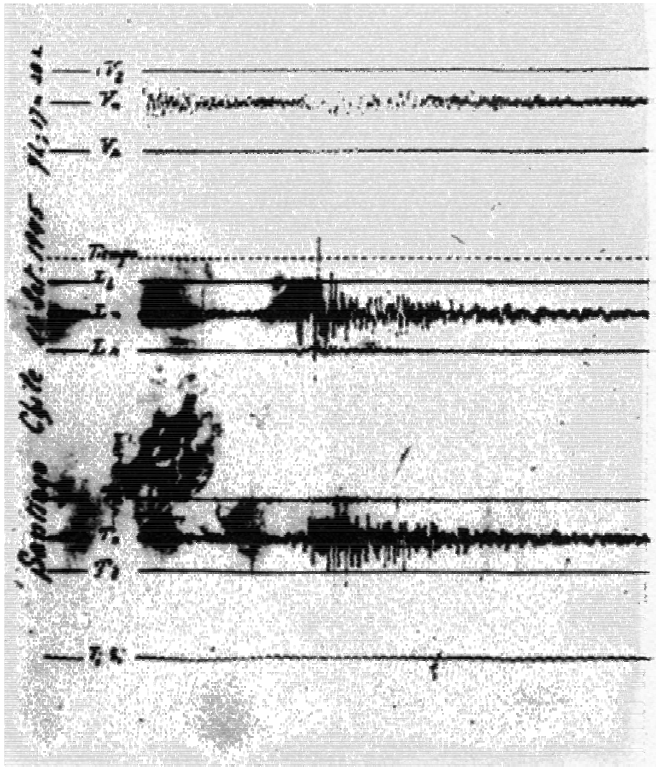
Fuente: Astroza y otros, 2002

Además, se presentan registros de eventos significativos pertenecientes a esta fuente sismogénica, pero ocurridos en otros localidades, tales como el terremoto de Santiago de 1945, Punitaqui de 1997 y Tarapacá de 2005 (Figuras 1.2.3-9, 1.2.3-10, 1.2.3-11, respectivamente).

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 1.2.3-9

ACELEROGRAMAS DEL TERREMOTO DE SANTIAGO DE 1945 REGISTRADO EN LA FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE.

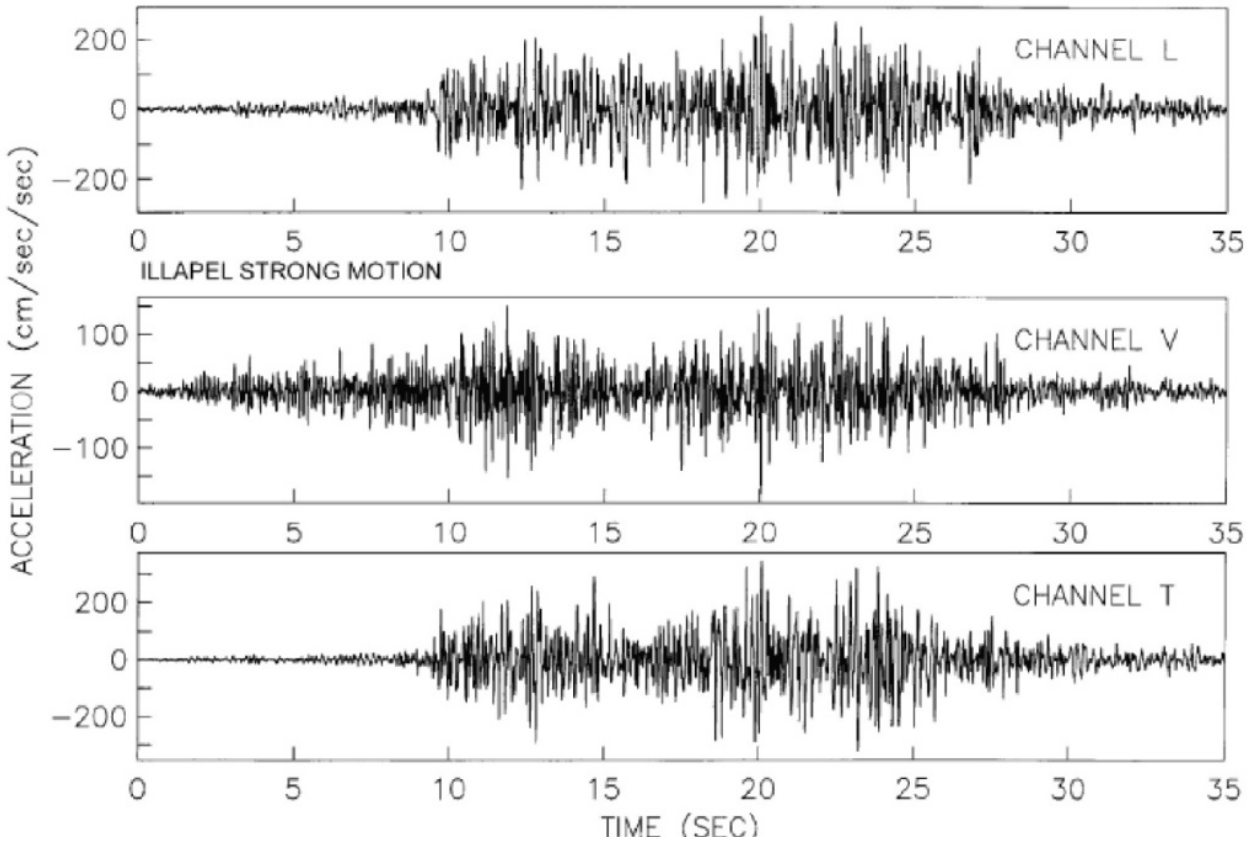


Fuente: Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 1.2.3-10

REGISTROS DE ACELERACIONES (EN CM/S^2) OBTENIDOS EN LA CIUDAD DE ILLAPEL PARA EL TERREMOTO DE PUNITAQUI DE 1997.

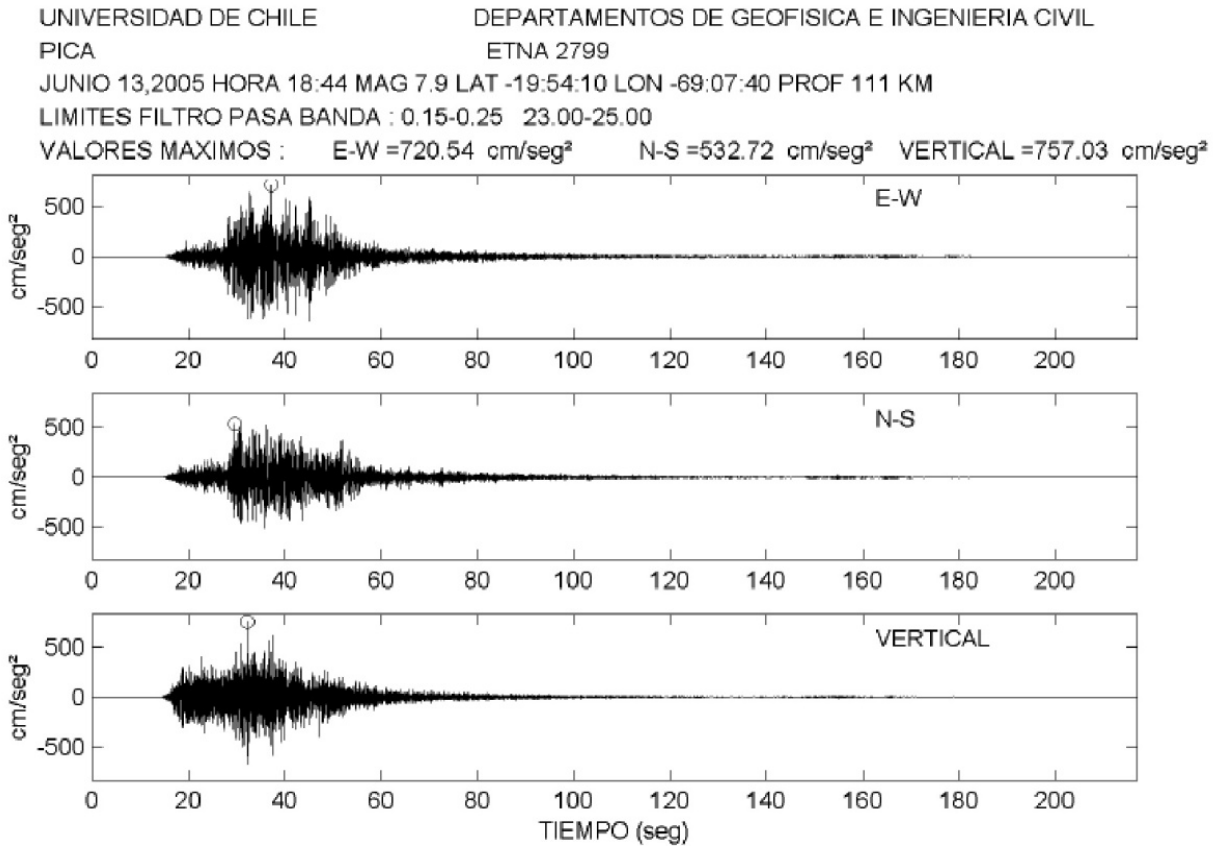


Fuente: Pardo y Otros, 2002

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 1.2.3-11

REGISTROS DE ACELERACIONES (EN CM/S^2) OBTENIDOS EN LA CIUDAD DE PICA PARA EL TERREMOTO DE TARAPACÁ DEL 2005 .



Fuente: Boroschek y otros, 2005.

1.2.4. Caracterización de las Fuentes Sismogénicas

Una vez definidas las fuentes sismogénicas a considerar en el presente estudio, se procederá a su caracterización de manera de determinar los parámetros necesarios para la estimación del Peligro Sísmico. Ella comprende la definición de la productividad sísmica mediante una ley de potencia (Gutenberg & Richter, 1944), el terremoto máximo(discutido en la sección anterior) y de las leyes de atenuación, todo esto para cada una de las fuentes sismogénicas. En el presente estudio se entiende como ley de atenuación a la relación que liga la magnitud de un cierto terremoto con la aceleración máxima en la componente horizontal, considerando la pérdida de energía producto de la distancia.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Productividad sísmica

La productividad sísmica será descrita mediante la ley de potencia desarrollada por Gutenberg & Richter (1944) que determina el número de eventos (N) con magnitud igual o superior a Ms que ocurre en 1 año en toda la zona, mediante la relación

$$\text{Log}\,(N) = a - b\,Ms \qquad (1)$$

donde Ms corresponde a la magnitud de ondas superficiales y los parámetros a y b deben ser determinados para cada fuente, en la zona bajo estudio.

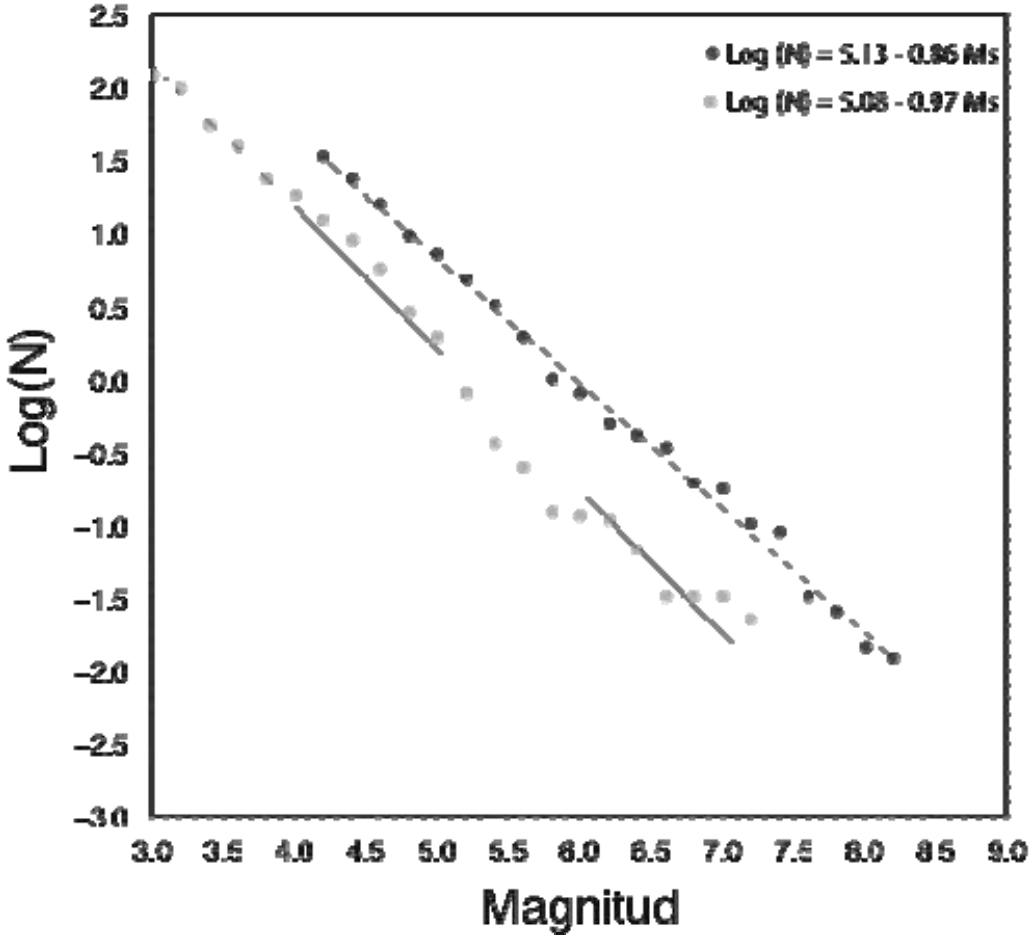
Para su determinación se utilizaron los catálogos de NEIC y SISRA, siendo los parámetros a y b calculados utilizando mínimos cuadrados entre Log (N) y Ms. Para su cálculo, se siguió la metodología definida por Stepp (1971, 1973) para definir las ventanas temporales mínimas en las cuales se puede considerar cierto rango de magnitud como completo en el catálogo. Así, por ejemplo, para magnitudes pequeñas, el catálogo del NEIC posee un tiempo suficientemente largo (más de 30 años) para hacer una buena estimación de la cantidad de eventos generada. Mientras, para magnitudes grandes es necesario utilizar el catálogo de SISRA que contiene información desde el siglo XVI, pero sólo es completo para los grandes eventos (Leyton et al., 2010).

En la Figura 1.2.4-1 se presentan las relaciones obtenidas, junto con los datos provenientes del catálogo de sismicidad para cada tipo de fuente, se ha utilizado el gris oscuro para representar los resultados y datos de la fuente interplaca tipo thrust, mientras que en gris claro se muestran aquellos para la fuente intraplaca de profundidad intermedia.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 1.2.4-1

LEYES DE GUTENBERG-RICHTER PARA CADA UNA DE LAS FUENTES SISMOGÉNICAS DEFINIDAS EN ESTE ESTUDIO.



Fuente: Gutenberg y Richter, 1941

Estas relaciones de potencia se conocen como leyes de Gutenberg-Richter, las cuales, para cada fuente, toman los siguientes valores:

- Fuente de tipo interplaca tipo thrust: Log (N) = 5.13 – 0.86 Ms
- Fuente de tipo intraplaca de profundidad intermedia: Log (N) = 5.08 – 0.97 Ms

Cabe destacar que la Figura 1.2.4-1 muestra sólo aquellos rangos de magnitudes en las cuales se puede considerar el catálogo como completo, siguiendo la metodología definida por Stepp (1971, 1973). El límite de la magnitud máxima se debe a poseer un catálogo insuficientemente largo como para considerar de manera adecuada sus periodos de retorno; por ejemplo, se estima que el mega-terremoto de Valdivia 1960 poseería un periodo de retorno entre 500 y 2000 años (Moernaut et al., 2007), por lo que el actual catálogo sería insuficiente para cubrir de manera representativa esta ventana temporal.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

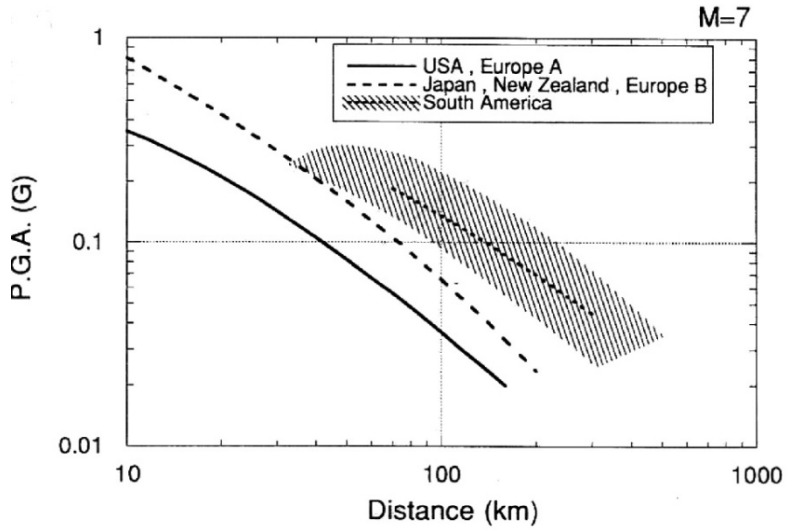
Ley de atenuación

Tal como se señaló anteriormente, en el presente trabajo se entiende como ley de atenuación a la relación que liga la aceleración máxima horizontal con la magnitud y distancia entre la fuente y el punto de observación. La atenuación de las dos fuentes sísmicas, interplaca e intraplaca, sigue leyes distintas debido a las diferentes características sismogénicas, siendo necesario estudiar los diferentes tipos de atenuación en forma independiente. En general, para estudios de peligro y riesgo sísmico se trabaja habitualmente con la atenuación de la aceleración máxima, tal como se desarrolla en el presente estudio. A continuación se presentan las leyes de atenuación de aceleración máxima que reflejan de mejor forma las características de cada fuente sísmica en la zona de estudio.

Sismos Thrust e Intraplaca de Profundidad Intermedia

La necesidad de contar con fórmulas de atenuación desarrolladas para una zona particular surge de la observación desarrollada en los últimos años, es así como al comparar la atenuación de diferentes zonas sísmicas del mundo se concluye que las aceleraciones máximas en Sudamérica se atenúan menos con la distancia que para otras zonas del mundo, tal como se muestra en la Figura 1.2.4-2.

FIGURA 1.2.4-2
CURVAS PROMEDIO DE ACELERACIONES MÁXIMAS PARA DIFERENTES ZONAS DEL MUNDO



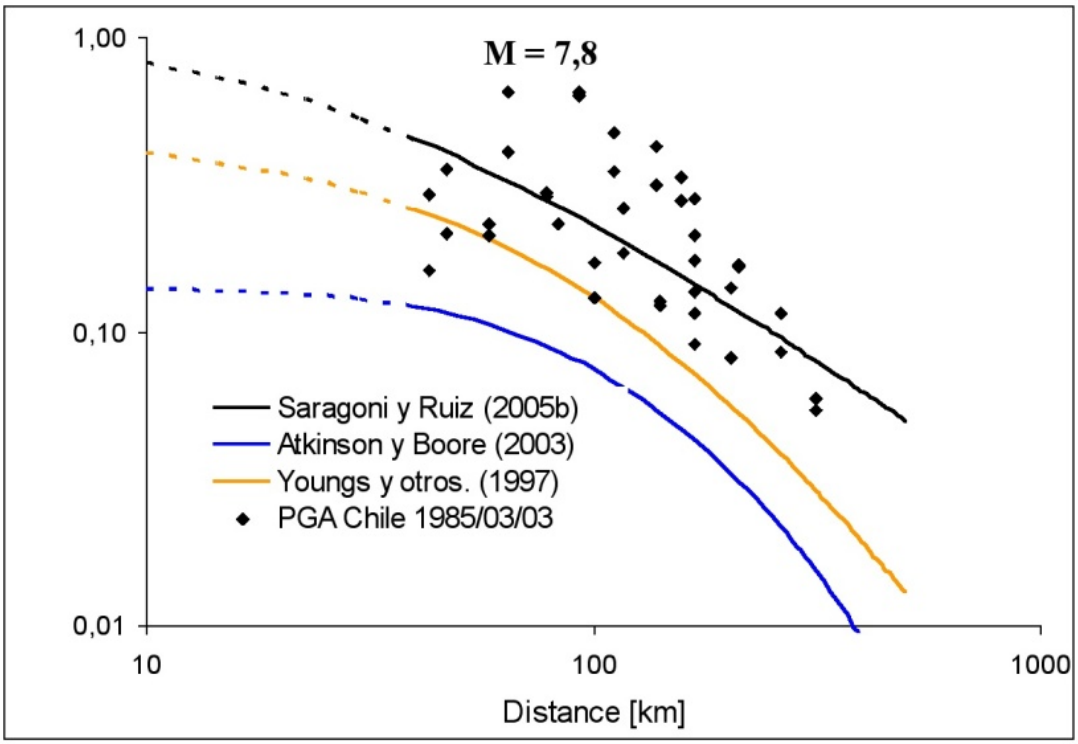
Fuente: Lai y Brady, 1930

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Posteriormente, Young y otros (1997) propusieron separar las fórmulas de atenuación de los sismos de subducción en terremotos interplaca e intraplaca de profundidad intermedia. Así, Saragoni y otros (2004) y Ruiz & Saragoni (2005) proponen fórmulas que consideran sólo datos de una determinada región y separados por el tipo de subducción en interplaca e intraplaca de profundidad intermedia, pudiendo mostrar que otras fórmulas desarrolladas con datos de diferentes zonas de subducción no son capaces de representar adecuadamente la atenuación de la zona de subducción chileno-argentina.

Un ejemplo se muestra en la Figura 1.2.4-3, donde se presenta la fórmula de atenuación para terremotos thrust para la zona de subducción chileno-argentina de Ruiz & Saragoni (2005) comparada con la propuesta por otros autores, los puntos negros corresponden a aceleraciones máximas registradas para un terremoto magnitud 7.8, como el terremoto de 1985 en Chile Central. Es posible apreciar que las fórmulas propuestas por otros autores no ajustan bien a los datos chilenos.

FIGURA 1.2.4-3
COMPARACIÓN ENTRE LAS FORMULAS DE ATENUACIÓN DE ACELERACIONES MÁXIMAS HORIZONTALES TERREMOTOS INTERPLACA TIPO THRUST



Fuente: Ruiz & Saragoni, 2005

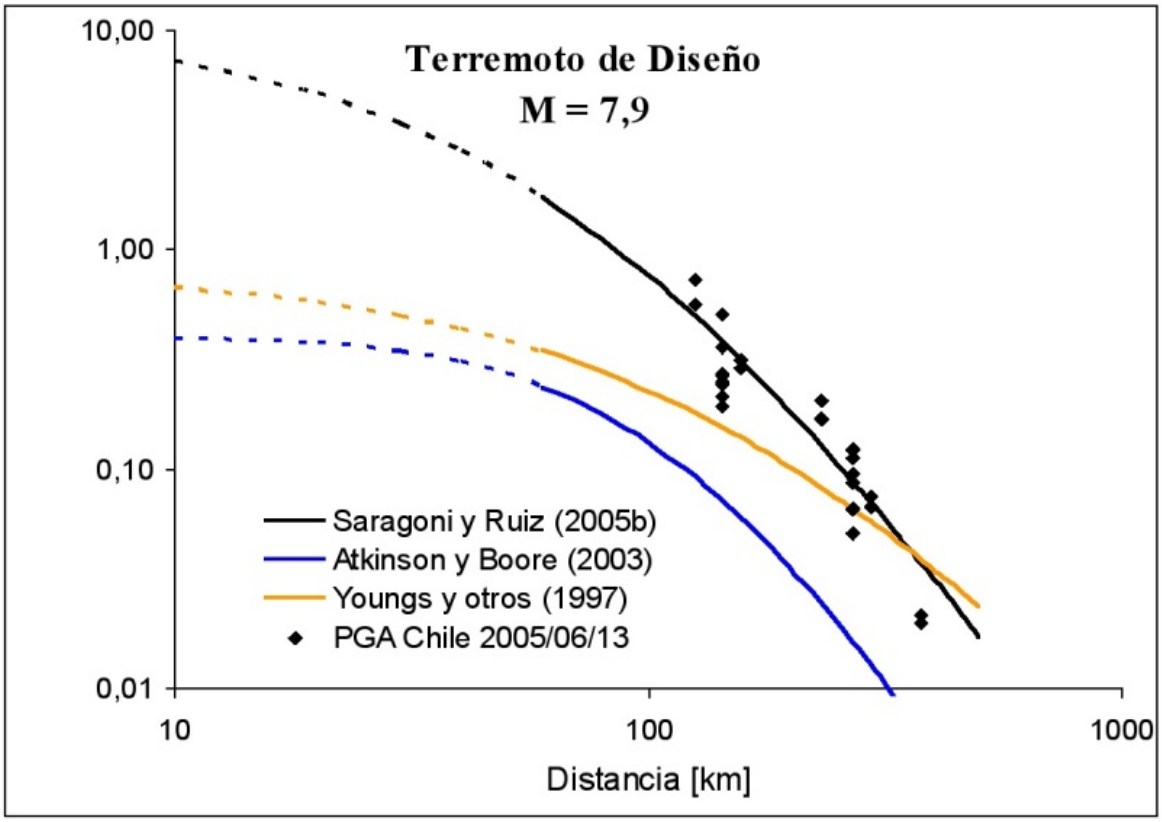
La Figura 1.2.4-3 corresponde a la comparación entre las fórmulas de atenuación de aceleraciones máximas horizontales de terremotos interplaca tipo thrust registradas en

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

roca y suelo duro, propuesta por Youngs y otros (1997), por Atkinson y Boore (2003) y por Saragoni y Ruiz (2005). El eje vertical corresponde a la aceleración horizontal máxima en g.

En la Figura 1.2.4-4 se presenta otro ejemplo similar al anterior, pero para terremotos intraplaca de profundidad intermedia de magnitud 7.9.

FIGURA 1.2.4-4
COMPARACIÓN ENTRE LAS FORMULAS DE ATENUACIÓN DE ACELERACIONES MÁXIMAS HORIZONTALES TERREMOTOS INTRAPLACA DE PROFUNDIDAD INTERMEDIA



Fuente: Ruiz & Saragoni, 2005

La Figura 1.2.4-4 corresponde a la comparación entre las fórmulas de atenuación de aceleraciones máximas horizontales de terremotos intraplaca de profundidad intermedia registrada en roca y suelo duro, propuesta por Youngs y otros (1997), por Atkinson y Boore (2003) y por Saragoni y Ruiz (2005). El eje vertical corresponde a la aceleración horizontal máxima en g.

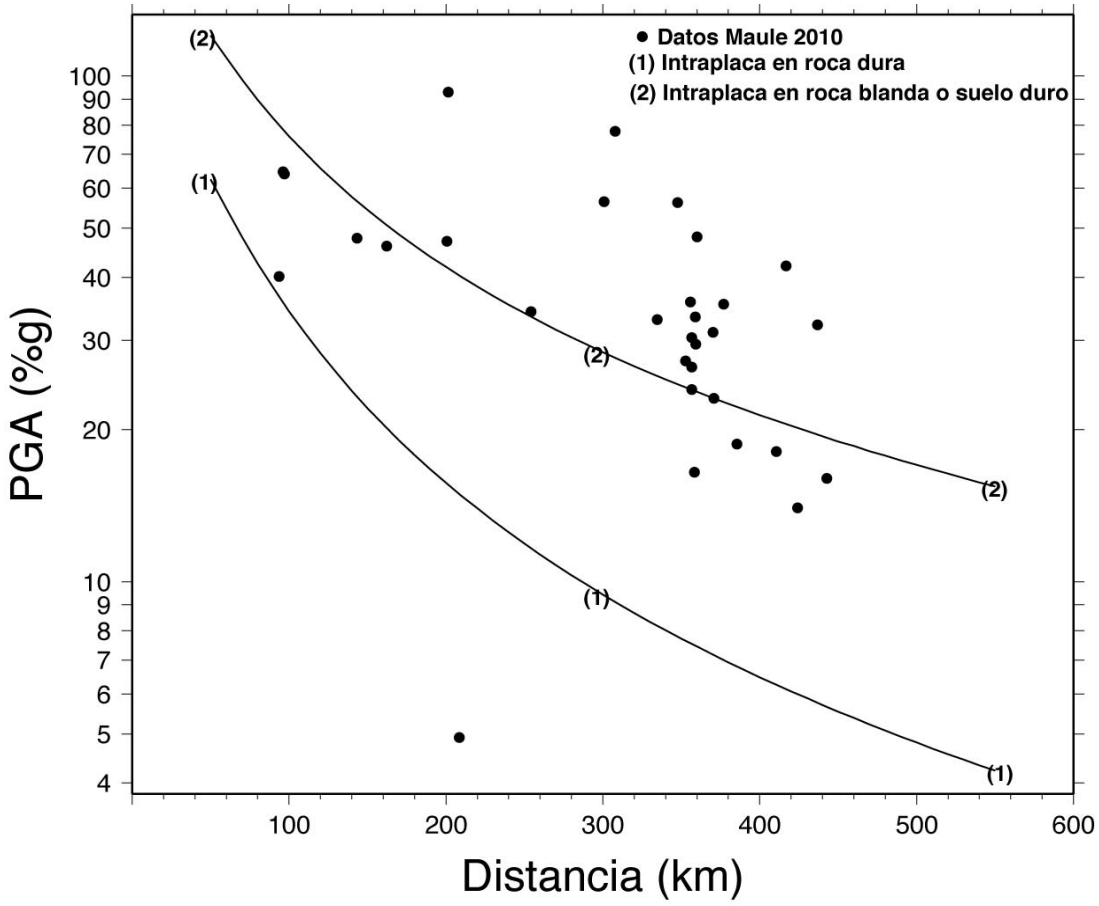
Tal como se señaló, el terremoto del Maule 2010 fue registrado por una serie de instrumentos en Chile Central lo que permite determinar las aceleraciones horizontales máximas producidas (Barrientos, 2010; Boroschek y otros, 2010). En la Figura 1.2.4-5 son

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

comparadas con las leyes de atenuación definidas por Ruiz y Saragoni (2005) para sismos interplaca tipo thrust, medidos en roca dura y en roca blanda o suelo duro. Cabe destacar que muchos de los lugares de medición se encontraban en suelos blandos, los cuales aumentan las aceleraciones registradas.

FIGURA 1.2.4-5

COMPARACIÓN DE LEYES DE ATENUACIÓN DE RUIZ Y SARAGONI (2005) PARA SISMOS INTERPLACA TIPO THRUST Y LOS DATOS REGISTRADOS EN MAULE 2010



Fuente: Ruiz y Saragoni, 2005

Cabe resaltar que las relaciones de atenuación utilizadas en el presente informe corresponden a las más recientes definidas en Chile, incluyendo todos los datos existentes hasta la fecha. Ello redunda en que representan de mejor manera la respuesta a grandes terremotos en nuestro país. Además, de las Figura 1.2.4-3, Figura 1.2.4-4 y Figura 1.2.4-5 es posible ver que existe una gran dispersión en los datos, por lo que es necesario considerar un error de 0.1 g en las estimaciones realizadas con estas leyes de atenuación (S. Ruiz, comunicación personal).

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

1.3. ESTIMACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO

Para la estimación del Peligro Sísmico se utilizarán las metodologías probabilística y la determinística. 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.

1.3.1. Metodología Probabilística

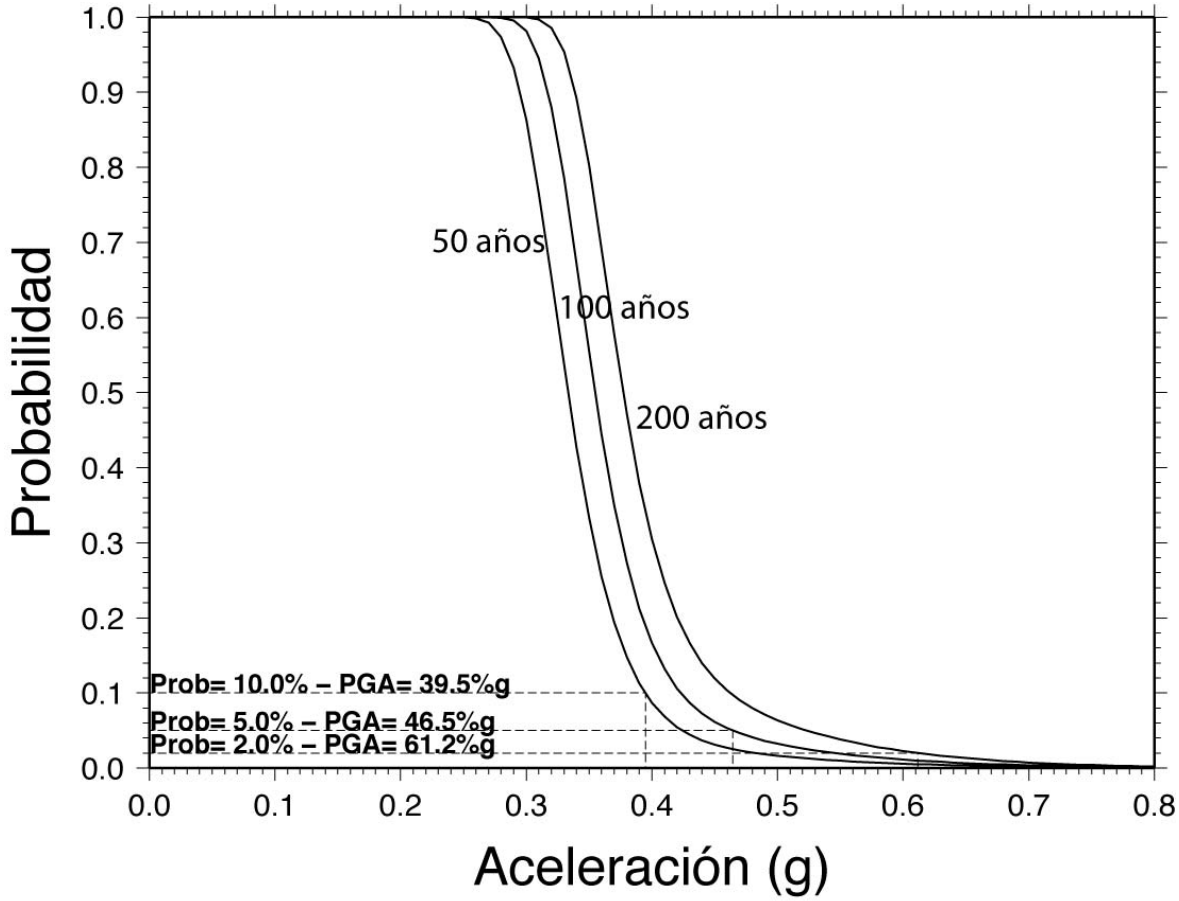
La metodología probabilística se basa en el desarrollo teórico hecho por Cornell (1968), el cual posteriormente fue generalizado por Algermissen & Perkins (1976) y Algermissen y otros (1982). En el presente estudio, además, se incorporan las modificaciones hechas por Anderson & Trifunac (1978) las cuales apuntan a pesar cada una de las fuentes utilizadas en el cálculo de acuerdo a su productividad sísmica. Este aspecto es de vital importancia cuando se consideran fuentes de diversa naturaleza, como las descritas en el presente informe. Es importante recalcar que los resultados aquí entregados corresponden a la combinación de las dos fuentes sismogénicas antes descritas. Luego, no es posible identificar un único evento o fuente como la responsable principal del Peligro Sísmico obtenido.

En la Figura 1.3.1-1 se presenta el resultado para un período de vida útil de 50, 100 y 200 años; además, se han marcado las probabilidades de excendencia de 10%, 5% y 2% lo que permite obtener el período de retorno para cada valor de la aceleración horizontal máxima. Así, por ejemplo, para un período de vida útil de 50, 100 y 200 años y las probabilidades de excendencia de 10%, 5% y 2% se llega a los períodos de retorno de 475, 1950 y 9900 años, respectivamente, mostrados en el Cuadro 1.3.1-1. Repitiendo este procedimiento es posible encontrar el valor de la aceleración máxima para diversos períodos de retorno, tal como se muestra en la Figura 1.3.1-2.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 1.3.1-1

PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA VERSUS ACELERACIÓN HORIZONTAL MÁXIMA PARA LA ZONA DE ESTUDIO



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 1.3.1-1 corresponde a la probabilidad de excedencia versus aceleración horizontal máxima para la zona de estudio, considerando períodos de vida útil de 50, 100 y 200 años, de izquierda a derecha, respectivamente. Se han marcado los puntos con un 10%, 5% y 2% de probabilidad de excedencia, equivalentes a períodos de retorno de 475, 1950 y 9900 años, respectivamente.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 1.3.1-1

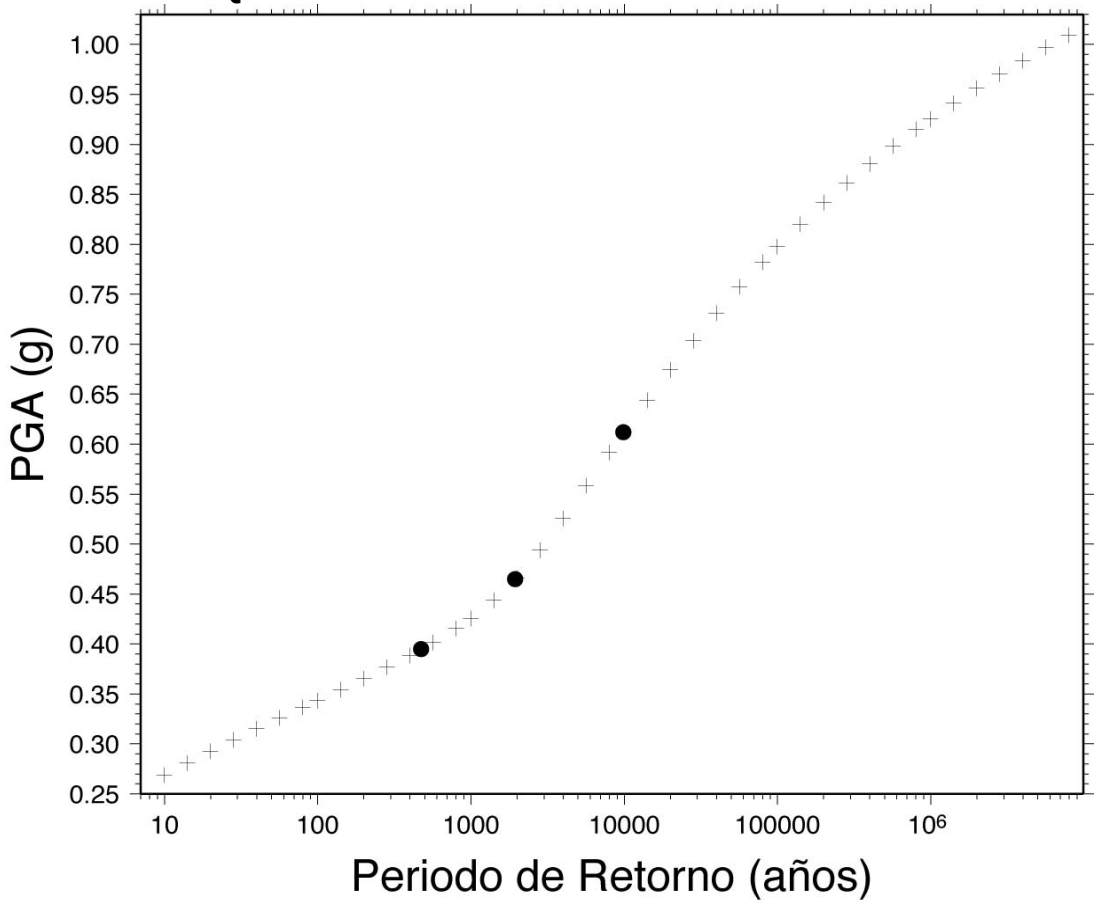
ACELERACIÓN HORIZONTAL MÁXIMA (PGA) PARA DIVERSOS PERÍODOS DE RETORNO, CONSIDERANDO LAS FUENTES INTERPLACA TIPO THRUST E INTRAPLACA DE PROFUNDIDAD INTERMEDIA.

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

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 1.3.1-2

ACELERACIÓN HORIZONTAL MÁXIMA (PGA) EN FUNCIÓN DEL PERIODO DE RETORNO PARA LA ZONA EN ESTUDIO; SE HAN MARCADO CON CÍRCULOS NEGROS AQUELLOS PUNTOS CALCULADOS ANTERIORMENTE.



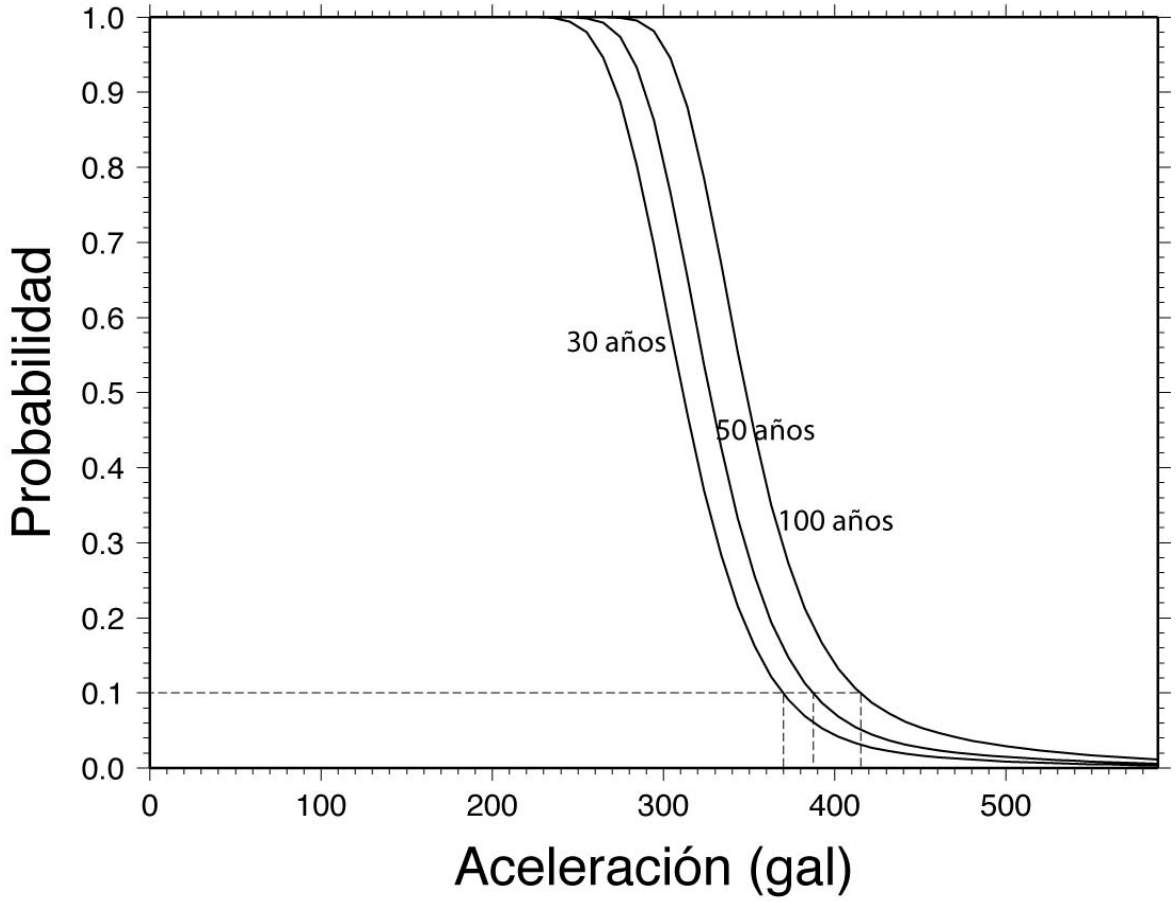
Fuente: Elaboración propia.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

A modo de poder comparar con estudios similares, se evaluó el peligro sísmico para periodos de vida útil de 30, 50 y 100 años, tal como fue hecho para el estudio en el Embalse San Juan – Quirihue (SIGA Ingeniería Consultora S.A., 2008), los cuales se muestra en la Figura 1.3.1-3. De ella es posible ver que se obtienen valores de la aceleración de 369.8 gal, 387.5 gal y 415.0 gal, para los periodos de vida útil de 30, 50 y 100 años, respectivamente, considerando un 10% de probabilidad de excedencia.

FIGURA 1.3.1-3

PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA EN FUNCIÓN DE LA ACELERACIÓN HORIZONTAL MÁXIMA, EN GAL, PARA LOS PERIODOS DE VIDA ÚTIL DE 30, 50 Y 100 AÑOS.



Fuente: SIGA Ingeniería Consultora S.A., 2008

Para un período de retorno de 475 años se obtuvo un valor de 39.5% g para el sitio estudiado mientras que el proyecto GSHAP reporta un valor de 27.8% g. La diferencia probablemente se debe a una subestimación del efecto de los terremotos intraplaca de profundidad intermedia en la zona de estudio y a las leyes de atenuación utilizadas. Tal como se señala anteriormente, los terremotos interplaca tipo thrust e intraplaca de profundidad intermedia deben ser caracterizados en forma independiente, pues poseen características particulares (Leyton, 2001): los terremotos intraplaca de profundidad intermedia causan más

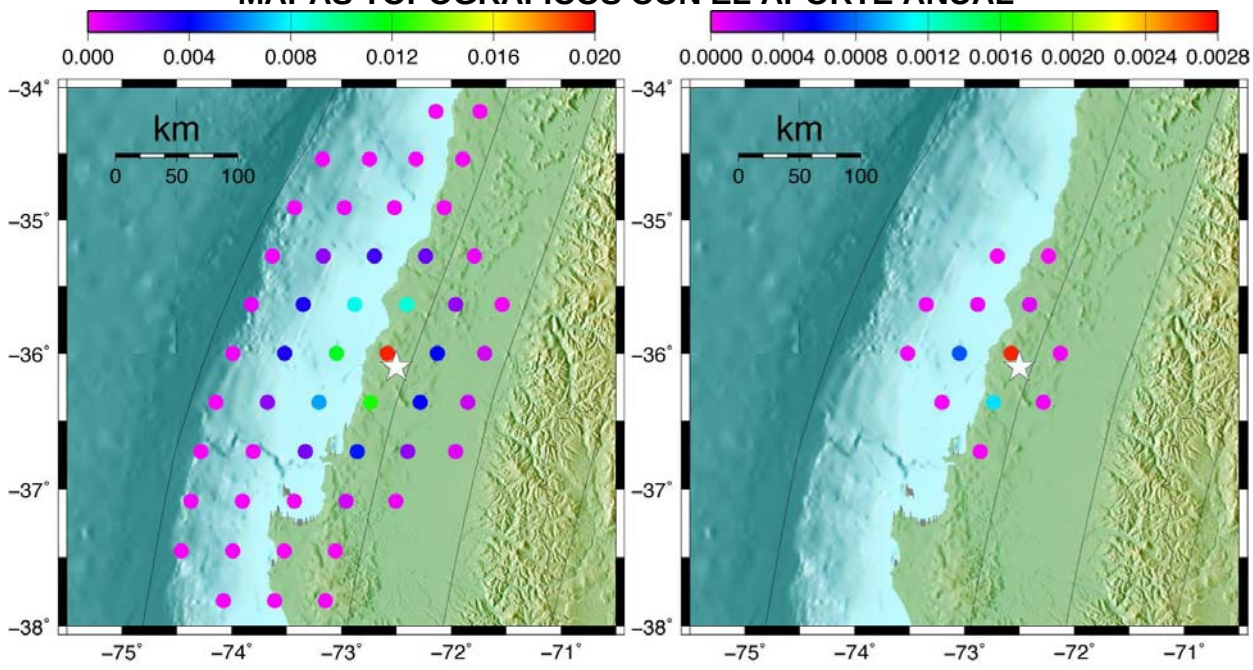
ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

daño en superficie (Astroza y otros, 2002), liberando más energía por unidad de área (Leyton y otros, 2008), al compararlos con los eventos interplaca tipo thrust. Este fenómeno ha mostrado modificar las estimaciones del peligro sísmico en Chile (Leyton y otros, 2009, 2010).

Por otro lado, tal como se señaló anteriormente, un estudio de similares características realizado en el Embalse San Juan – Quirihue, obtuvo valores de 370 gal, 415 gal y 460 gal, para periodos retorno de 30, 50 y 100 años, respectivamente, con un 10% de probabilidad de excedencia. En el presente estudio se obtuvieron valores de 369.8 gal, 387.5 gal y 415.0 gal, para los mismos periodos de retorno. Es posible ver que las diferencias son muy pequeñas.

Un aspecto interesante de resaltar es el hecho que el resultado entregado por los estudios probabilísticos consideran el efecto combinado de todas las fuentes actuando en el punto de interés. En otras palabras, no es posible asociar la aceleración horizontal máxima de cada uno de los niveles de solicitación antes mencionados con sólo una fuente. Pese a ello, es relevante analizar el aporte que cada una de las fuentes realiza al peligro en cada nivel; en este caso, se estudia el aporte anual por subfuente puntual. Los resultados son mostrados en la Figura 1.3.1-4 para los sismos con un periodo de retorno de 475 y 9900 años, de izquierda a derecha, respectivamente. De dicha Figura es posible ver que para ambos periodos de retorno la solicitación se debe, principalmente, a la fuente interplaca tipo thrust.

FIGURA 1.3.1-4
MAPAS TOPOGRÁFICOS CON EL APORTE ANUAL



Fuente:

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

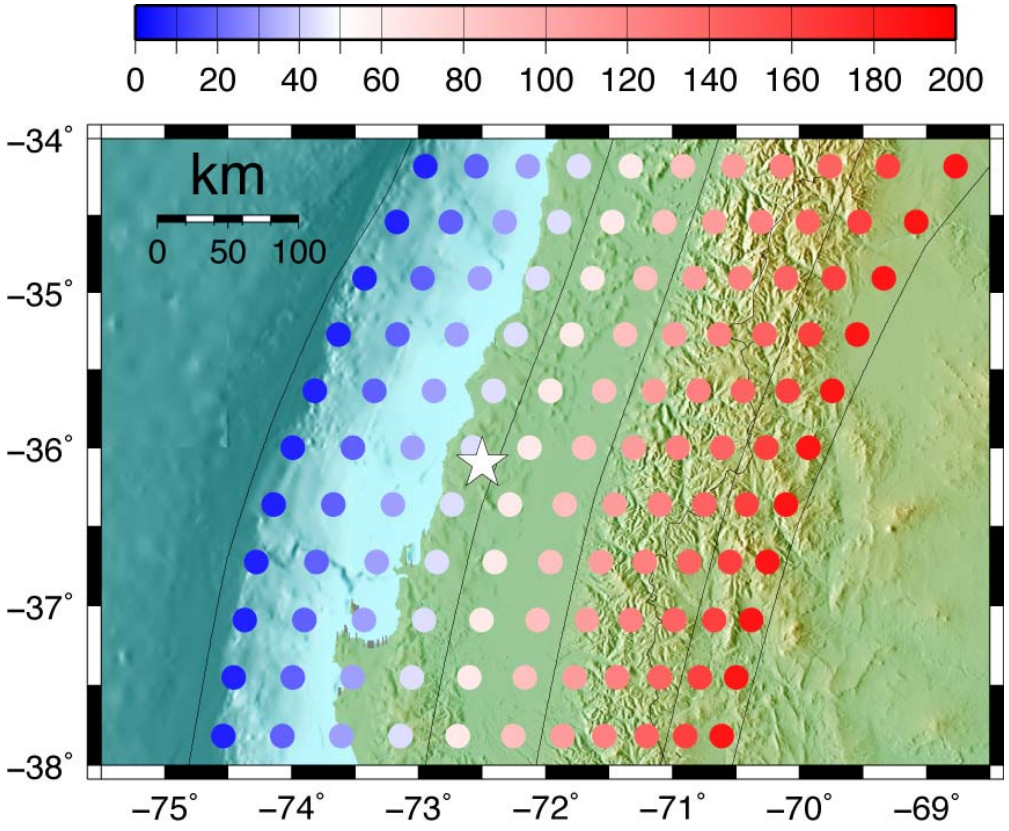
La Figura 1.3.1-4 corresponde a los mapas topográficos con el aporte anual (de acuerdo a la escala del borde superior) de cada una de las subfuentes puntuales a los distintos niveles de solicitación: 475 años (derecha) y 9900 años (izquierda); la estrella blanca marca la posición del proyecto.

1.3.2. 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 2010con hipocentro frente al proyecto a una distancia epicentral de 50 km del proyecto, profundidad de 30 km, y una magnitud M_S = 8.9 (ver Figura 1.3.2-1).

Para los terremotos intraplaca de profundidad intermedia, se considera la ocurrencia de un terremoto a una distancia de 25 km del proyecto, con una profundidad de 60 km y con la magnitud máxima observada de los mayores terremotos históricos, Ms = 8.0.

FIGURA 1.3.2-1
MAPA CON LAS FUENTES PUNTUALES CONSIDERADAS EN ESTE ESTUDIO



Fuente:

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

La Figura 1.3.2-1 corresponde a los mapas con las fuentes puntuales consideradas en este estudio: en tonos azules se muestran las subfuentes interplaca tipo thrust, mientras que en tonos rojos las subfuentes interplaca de profundidad intermedia (ver escala de colores en borde superiorpara determinar profundidad, en km). La estrella marca la posición del proyecto.

Empleando las fórmulas de aceleración máxima propuestas por Ruiz y Saragoni (2005) para roca y suelo duro de terremotos Chilenos thrust e intraplaca de profundidad intermedia se obtienen los valores de aceleración horizontales máximos presentados en la Cuadro 1.3.2-1.

CUADRO 1.3.2-1
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:

Del cuadro anterior, es posible ver que la máxima solicitación 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 periodos de retorno muy largos (~ 10.000 años).

1.4. BIBLIOGRAFÍA

Algermissen, S.T. & Perkins, D.M. (1976) A probabilistic estimate of maximum acceleration in rock in the contiguous Unites States, U.S. Geological Survey Open-File Report 76-416, 45páginas.

Algermissen, S.T., Perkins, D.M., Thenhaus, S.L. & Bender, B.L. (1982) Probabilistic estimates of maximum acceleration and velocities in rock in the contiguous Unites States, U.S. Geological Survey Open-File Report 82-1033, 99 páginas.

Algermissen, S.T., Kausel, E., Hanson, S. & Thenhaus, (1982) Earthquake Hazard in Chile, *Rev. Geofísica*, 37, pp 195-218.

- Anderson, J.G. & Trifunac, M.D. (1978) Uniform risk functionals for characterization of strong earthquake ground motion, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 68, pp 205-218.
- Arrendodo, L. (2006). Aspectos generales del sismo de Chile del 13 de Junio del 2005. *Compendio de Trabajos de Investigación CNDG – BibliotecaInstituto Geofísico del Perú. V. 7,* pp 57 – 66.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Astroza, M., Moya, A. & Sanhueza, S (2002) Estudio comparativo de los efectos de los terremotos de Chillán de 1939 y de Talca de 1928. *VIII Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica*, Valparaíso, Chile.
- Astroza, M.; Sandoval, M. & Kausel, E. (2005) Estudio comparativo de los efectos de los sismos chilenos de subducción del tipo intraplaca de profundidad intermedia. *IX Jornadas de Sismología e Ingeniería Antisísmica*, Concepción, Chile.
- Atkinson, G.M. & D. Boore (2003) Empirical ground-motion relations for subduction-zone earthquakes and their application to Cascadia and other regions. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 93, pp 1703-1729.
- Atkinson, G.M. & D. Boore (1998) Evaluation of models for earthquake source spectra in eastern North America. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 93, pp 1703-1729.
- Barrientos, S. (1980) Regionalización sísmica de Chile. *Tesis para optar el grado de Magíster en Ciencias, mención Geofísica, Universidad de Chile*.
- Barrientos, S. (2007) Earthquakes in Chile. In Moreno, T. and Gibbons, W. Ed, *The Geology of Chile*. Geological Society of London, pp 263-287.
- Barrientos, S. (2010) Terremoto de Cauquenes 27 Febrero 2010 – Informe Técnico Actualizado 27 de Mayo 2010, 20 páginas.
- Belmonte-Pool, J. (1997) Análisis del contacto sismogénico interplaca a lo largo de Chile. *Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias, mención Geofísica, Universidad de Chile*.
- Boroschek, R., Conte, D., Soto, P., Delouis, B., Giardini, D., Astrozam M., Campos, J., Kausel, E., Moroni, M.O., Pardo, M., Saragoni, G.R. & Sarrazin, M. (2001). Terremoto Superficial de Chusmiza. *Informe del Departamento de Ingeniería Civil – Departamento de Geofísica, Universidad de Chile.*
- Boroschek, R., Soto, P. & Leon, R. (2004). Informe Preliminar Registros 24 de Agosto 2004. *Informe del Departamento de Ingeniería Civil – Departamento de Geofísica, Universidad de Chile.*
- Boroschek, R., Soto, P. & Leon, R. (2010). Registros del Terremoto del Maule 2010 Mw = 8.8, 27 de Febrero de 2010. *Informe del Departamento de Ingeniería Civil – Departamento de Geofísica, Universidad de Chile.*
- Boroschek, R., Comte, D., Soto, P. & Leon, R. (2005). Red de Acelerógrafos, zona Norte: Registro estación Iquique, Terremoto Norte Chile, 13 de Junio de 2005 M=7.9. *Informe del Departamento de Ingeniería Civil – Departamento de Geofísica, Universidad de Chile.*
- Boroschek, R., Comte, D., Soto, P. & Leon, R. (2007). Informe Preliminar. Red de Acelerógrafos, zona Norte: Terremoto de Tocopilla 2007 M=7.7 Informe Preliminar Nº4. *Informe del Departamento de Ingeniería Civil – Departamento de Geofísica, Universidad de Chile.*
- Campos, J. & Kausel, E. (1990) The large 1939 intraplate earthquake southern Chile. *Seism. Res. Lett.*, 61, 1.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Comte D, Dorbath C, Dorbath L, Farías M, David C, Haessler H, Glass B, Correa E, Balmaceda I, Cruz A, Ruz L., 2003. “Distribución temporal y en profundidad de las réplicas del sismo superficial de Aroma, norte de Chile del 24 de Julio de (2001)”. *X Congreso Geológico Chileno 2003, Universidad de Concepción, Chile*.
- Cornell, C.A. (1968) Engineering seismic risk analysis, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 58, pp. 1583-1606.
- Delouis, D., Nocquet, J.-M. & Vallée, M. (2010) Slip distribution of the February 27, 2010 Mw = 8.8 Maule Earthquake, central Chile, from static and high-rate GPS, InSAR, and broadband teleseismic data. *Geophys. Res. Lett.*, 37, doi:10.1029/2010GL043899.
- Giardini, D., P. Basham, & M. Berry (1992), The global seismic hazard assessment program, *Eos Trans. AGU*, 73(48), 518.
- Gutenberg, B. & Richter Ch. (1944) Frequency of earthquakes in California. *Bull. Seism. Soc. Am.*, pp 185-188.
- Iai, S. & Brady, A.F. (1993) Comparison of attenuations relations ad response spectra for varius regions in the World. *International Workshop on Strong Motion Data*.
- Kausel, E. & Campos, J. (1992). The M=8.0 tensional earthquake of December 9, 1950 of northern Chile and its relation to the seismic potential of the region, *Physics of Earth and Planetary Interiors*, 72, pp 220–235.
- Kausel, E. & D. Ramírez (1992) Relaciones entre parámetros focales y macrosísmicos de grandes terremotos chilenos, *Rev. Geofísica*, 37, pp 159-194.
- Kelleher, J. 1972. Rupture zones of large South American earthquakes and some predictions. *Journal of Geophysical Research*, **77**, pp 2087–2103.
- Khazaradze, G. & Klotz, (2003) Short and long-term effects of GPS measured crustal deformation rates along the South-Central Andes, *Journ. Geophys. Res.*, 108(B4), doi: 10.1029/2002JB001879, pp 1–13.
- Kreemer, C, A.J. Haines, W.E. Holt, G. Blewitt, & D. Lavalée (2000) On the determination of a global strain rate model,*Earth Planets Space*, 52, pp 765-770.
- Kreemer, C., W.E. Holt & A.J. Haines (2003) An integrated global model of present-day plate motions and plate boundary deformation, *Geophys. J. Int.*, 154, pp 8-34.
- Lay, T., Ammon, C.J., Kanamori, H., Koper, K.D., Sufri, O. & Hutko, A.R. (2010) Teleseismic inversion for the rupture proces if the 27 Febreart 2010 Chile (Mw 8.8) earthquake. *Gephys. Res. Lett.*, 37, doi:10.1029/2010GL043370.
- Lavenu, A. (2005) Fallas Cuaternarias de Chile. *Servicio Nacional de Geología y Minería*, Boletín No. 62, 71 p. Santiago.
- Leyton, F. (2001). Estudio comparativo de eventos inter e intraplaca desde el punto de vista sismológico en Chile. *Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias, mención Geofísica, Universidad de Chile*.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Leyton, F., S. Ruiz, & S. Sepúlveda (2009) Preliminary re-evaluation of probabilistic seismic hazard assessment in Chile: from Arica to Taitao Peninsula, *Adv. Geosciences*(22) 147–153.
- Leyton, F. Ruiz, S. & Sepúlveda, S. (2010) Reevaluación del Peligro Sísmico en Chile Central, *Andean Geology*,37 (2), pp. 455-472.
- Leyton, F., Ruiz, J., Campos, J. & Kausel, E. (2008) Intraplate and Interplate Earthquakes in Chilean Subduction Zone: A Theoretical and Observational Comparison, *Phys. Earth Planet. Int.*, 175, pp 37–46.
- Lomnitz, C. (1970). Major earthquakes and tsunamis in Chile during the period 1535 to 1953. *Geologische Rundschau*, **59**, pp 938–960.
- Madariaga, R., Vigny, C., Campos, J. & Gardi. A. (2006) Seismicity of Coquimbo in North central Chile and the preparation of a possible earthquake. *International Conference 1906 Valparaiso Earthquake Centennial.*
- Martin, A. (1990). Hacia una nueva regionalización y cálculo del peligro sísmico en Chile. *Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile*.
- Moernaut, J., De Batist, M., Charlet, F., Heirman, K., Chapron, E., Pino, M., Brümmer, R., and Urrutia, R. (2007) Giant earthquakes in Shouth-Central Chile revelead by Holocene mass-wasting events in Lake Puyehue. *Sediment. Geol.*, **195**, 239–256.
- Moya, A. (2002). Estudio de los daños del terremoto de Chillán de 1939. *Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile*.
- Pardo, M., Comte, D., Monfret, T., Boroschek, R. & Astroza, M. (2002). The October 15, 1997 Punitaqui earthquake Mw=7.1. *Tectonophysics* **v.345**: pp 199-210.
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencia para las Comunidades Andinas. 2008. Atlas de Deformaciones Cuaternarias de los Andes. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, no. 7, 320 p., 1 CD-ROM.
- Reasenberg, P. 1985. Second-order moment of central California seismicity, 1969-1982, *Bull. Seism. Soc. Am.*, *90*(B7), 5479-5495.
- Romanoff, F. (1999). Estudio de Peligro Sísmico en la Región Metropolitana. *Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile*.
- Ruiz, S. & Saragoni, G.R. (2004) Características de los acelerogramas y terremotos Sudamericanos. *XXXI Jornadas Sud-Armeicanas de Ingeniería Estructural, Mendoza, Argentina*.
- Ruiz, S. & Saragoni, G.R. (2005). Fórmulas de atenuación para la subducción de Chile considerando los dos mecanismos principales de sismogénesis y los efectos del suelo. *IX Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Concepción, Chile.*
- Saragoni, R., Crempien, J. & Araya, R. (1981) Características de los movimientos sísmicos fuertes de Chile. *Publicación SES I 2/81 (164) Sección Ingeniería Estructural, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile*.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Saragoni, G.R., P. Gonzalez & Fresard, M. (1986) Análisis de los acelerogramas del terremoto del 3 de marzo de 1985. *4as Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica. Santiago, Chile.*
- Saragoni, G.R., A. Holmberg & Sáez, A. (1989) Potencial Destructivo y destructividad del terremoto de Chile de 1985. *5as Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica. Santiago. Chile*.
- Saragoni, G.R., Astroza, M. & Ruiz, S. (2004) Comparative study of subduction earthquake ground motion of north, central and south America. *Proc. of the 13th World Conference on Earthquake Eng*., Vancouver, Canada, Paper nº 104.
- Stepp, J.C. (1971) An investigation on earthquake risk in the Puget Sound area by use of Type I Distribution of largest extremes, *Ph.D. Thesis, Pennsylvania State University*, Dept. of Geosciences.
- Stepp, J.C. (1973) Analysis of completeness of the earthquake sample in the Puget Sound area. *NOAA Technical Report ERL 267-ESL 30*, U.S. Department of Commerce, Boulder, Colorado.
- Suárez, G; Comte, D. 1993. Comment on “Seismic coupling along the Chilean subduction zone” by B.W. Tichelaar and L.R. Ruff, *Journ. Geophys. Res*., 98, pp. 15825-15828.
- Susa, D (2004). Evaluación del peligro sísmico asociado a sismos de tipo interplaca en Chile y sur del Perú utilizando una distribución bi-paramétrica de Weibull . Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile.
- Tichelaar, B. W., & L. J. Ruff (1993), Depth of seismic coupling along subduction zones, *Jour. Geoph. Res.*, *98*, pp. 2017-2037.
- Youngs, R.R., S.-J. Chiou, W.J. Silva & Humphrey, J.R. (1997) Strong ground motion attenuation relationships for subduction zone earthquakes. Seismological Research Letters, 68, pp. 58-73

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

2. ESTUDIO GEOLÓGICO ALTERNATIVA SELECCIONADA

2.1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio geológico corresponde al proyecto de prefactibilidad construcción del embalse de riego Huedque, ubicado en un segmento del valle del río homónimo, comuna de Cauquenes, Región del Maule.

En 1978, la Dirección de Riego del Ministerio de Obras Públicas, identificó 3 sitios alternativos para el emplazamiento preliminar de la presa del embalse, dispuestos a lo largo de un segmento de 3,3 km del valle del río Huedque, denominados: Alternativa 1 (Sector conocido como Pinar), Alternativa 2 (Sector Infiernillo - Cancha de Huevos) y Alternativa 3 (sector El Caro – El Roble).

El análisis de la información multidisciplinaria generada en las etapas previas del Proyecto, derivaron en la selección de la denominada Alternativa 1, como la más favorable para el emplazamiento definitivo de dicha estructura.

Por razones de disponibilidad de materiales en la zona de emplazamiento, la presa del Proyecto consistirá en una estructura homogénea a base de tierra compactada

Normalmente, las presas homogéneas de tierra compactada, desarrollan comportamientos aceptablemente flexibles, en condiciones de imponer y transmitir bajas solicitaciones al terreno de cimentación; esencialmente, se trata de suelos que, convenientemente seleccionados, dosificados y compactados generen un efectivo elemento impermeable.

En el sitio correspondiente a la Alternativa 1 seleccionada, el Proyecto considera el emplazamiento de un muro homogéneo de tierra, construido a partir de materiales sedimentarios impermeables, del tipo CL – CH, de reciente prospección, que participan del relleno del fondo de la antigua llanura de inundación del valle del río Huedque.

Los materiales destinados a satisfacer las demandas constructivas de la estructura, provendrían de una zona situada al interior de la zona de inundación del embalse, ubicada inmediatamente aguas arriba del muro; se trataría de una potencial “fuente”, convenientemente caracterizada durante recientes prospecciones mediante calicatas; en ella, predominan suelos transportados oscuros, blandos de origen fluvial a fluviolacustre enmarcados en la tipología de CL y CH, correspondiente a arcillas orgánicas de plasticidad media a alta y limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad, respectivamente.

Conforme a los Términos de Referencia del Proyecto, en torno al señalado sitio se concentraron las actividades prospectivas, destinadas a la efectiva identificación, delimitación

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

y caracterización geológica de todas las unidades de suelos o depósitos no consolidados y basamento rocoso que participan del entorno inmediato al sector de emplazamiento del muro y sus respectivas obras anexas: túnel de desviación y vertedero.

Las actividades prospectivas incluyeron:

- Perforación de 3 sondajes, con profundidades de 25,05 a 30.05 m, con recuperación de testigos, dispuestos a lo largo del eje del muro, destinados a la efectiva determinación de la tipología y características estratigráficas de los suelos subyacentes y la configuración morfológica del basamento rocoso.
- Ejecución de 5 perfiles de refracción geosísmica dispuestos en torno a la zona del muro, destinados a confirmar y extender arealmente la información generada a partir de sondajes. Su objetivo, correspondiente a una práctica habitual en proyectos de riego, se centró en la generación de información subsuperficial destinada a complementar la zonación geológica - geotécnica de los materiales sedimentarios y basamento, comprometidos en el entorno inmediato de los cimientos de la presa, muy especialmente en relación con la determinación de los módulos de deformación, densidad y ripabilidad del terreno local.
- Excavación de calicatas con profundidades máximas de 6 m, en terrenos comprometidos en la zona de inundación (3 calicatas), sectores previamente identificados como potenciales yacimientos, para el suministro de materiales de empréstito para la construcción del muro del embalse y a lo largo del trazado del canal principal de distribución del Proyecto.

Durante las señaladas actividades de prospección, se realizaron una serie de ensayes in situ: permeabilidad Lefranc y penetración Standard (SPT) en suelos, junto a la determinación en laboratorio, a partir de muestras extraídas desde sondajes y calicatas: granulometrías, clasificación de suelos, humedad, densidades, compresión no confinada, resistencia al corte, razón de vacíos y grado de saturación.

2.2. CONSIDERACIONES GEOLÓGICO – GEOTÉCNICAS ASOCIADAS A LA DISPOSICIÓN DE LAS OBRAS

2.2.1. Consideraciones Previas

Los criterios básicos de la campaña de prospecciones recientemente materializada en torno al sitio seleccionado para el emplazamiento de la presa se sustentaron, muy principalmente, en el conocimiento previo del carácter geológico de los terrenos locales, tipo de presa seleccionada, dimensiones y obras auxiliares preestablecidas. Normalmente, los objetivos de este tipo de actividades se deben orientar a asegurar que los factores geológicos, geotécnicos, hidrogeológicos y de riesgos geológicos que participarán de la seguridad operativa de los proyectos, sean lo suficientemente investigados y conocidos.

Conforme a ello, la tipología de presa y obras anexas adoptadas, exigió otorgar particular atención y relevancia al efectivo conocimiento de los suelos y rocas involucrados

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

en su diseño y materialización, con énfasis en sus relaciones de contacto, continuidad (en sentido lateral y profundidad), características granulométricas, determinación de los parámetros geomecánicos mas importantes y sus respectivos comportamientos geotécnicos, junto a la efectiva evaluación de materiales de empréstito en términos de calidad (física y química), cantidad (reservas o volúmenes), facilidades de extracción y distancias de transporte (“yacimientos” – obras).

A continuación se entregan algunas conclusiones y comentarios respecto de los resultados de las actividades prospectivas, referidas al compromiso de materiales de basamento rocoso y suelos o depósitos no consolidados, en las diversas ubicaciones de las obras del Proyecto.

2.2.2. Cimientos y Apoyos o Estribos de la Presa

La categorización de “*basamento rocoso*” se aplicó a agregados o masas formadas naturalmente, densas, consolidadas, coherentes y compactas de partículas minerales con fuertes uniones cohesivas permanentes. De acuerdo a ello, se trata de materiales cuya resistencia o dureza y grado de fracturamiento y/o alteración superficial, determina que sus respectivas remociones sólo pueden ser realizadas recurriendo al empleo de procedimientos de perforación y tronaduras.

En su momento, el breve reconocimiento directo de los terrenos comprometidos en el entorno inmediato del sitio de emplazamiento de la presa del Proyecto objeto de análisis y sus correspondientes obras anexas, correspondientes a la Alternativa 1, seleccionada, permitió establecer que el basamento rocoso que participa de ambas vertientes del valle del río Huedque, está representado, dominantemente, por un complejo batolítico de alcance regional y edad Paleozóico Superior a Medio (360 a 410 millones de años).

Se trata de materiales intrusivos de origen magmáticos que entre las regiones Quinta y Octava, participan de la conformación de extensos segmentos de la Cordillera de La Costa; esencialmente, consignan rocas grises del tipo granodioritas y tonalitas, con texturas granulares o faneríticas, con abundantes inclusiones dioríticas dispuestas paralelamente a la foliación magmática de la roca albergante; están integradas por cuarzo, feldespatos, piroxenas y anfíbolas, junto biotitas, en los términos más básicos. ***Pg***, en **CAL-HDQ-01**.

A nivel regional, la intensa meteorización superficial que afecta al basamento rocoso granítico, se expresa en la presencia de un desgastado y maduro modelado, subyacente a una continua y potente cobertura de suelos residuales, que determina que las únicas exposiciones o puntos de afloramientos directos, se concentran en algunos cortes viales y fondo de profundas cárcavas de erosión.

Conforme a ello, en torno a ambas laderas del valle del río Huedque, las rocas que participan del basamento rocoso local, se observan intensamente meteorizadas, adquiriendo el carácter y consistencia de un verdadero suelo residual, provisto de tonalidades

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

amarillentas o anaranjadas; en esencia, se trata de suelos que en torno al flanco occidental de la Cordillera de la Costa, entre las regiones Quinta y Octava, adquieren la denominación de “*maicillos*”, ***Qsm,*** en **CAL-HDQ-01**; su elevada susceptibilidad a la simple desagregación manual, resulta en fracciones granulares del tipo gravillas a gravillas arenosas, con algo de arcillas cohesivas, cuya composición química está directamente relacionada con el carácter petrográfico de la roca parental (granitos y granodioritas).

A nivel local, los perfiles de los suelos maicillosos, se presentan macizos (carentes de estratificación), blandos y desagregables o *friables,* muy ripables, alcanzando espesores medios en el rango de 3,5 a 4,0 m; sistemáticamente, en la medida de la profundización gradan, transicionalmente, al basamento rocoso intacto, inalterado, denso, muy resistente, ***Pg***, en **CAL-HDQ-01**, por tanto, geomecánicamente competente, con baja a nula ripabilidad, (sólo excavable con equipo mecanizado).

En torno al segmento del valle del valle del río Huedque comprometido en el emplazamiento de la Alternativa 1, seleccionada para el emplazamiento de la presa y obras anexas del Proyecto objeto de análisis, la antigua llanura de inundación, correspondiente a tierras bajas llanas, incorpora un cauce sinuoso, bastante bien establecido, adosado al pié de su vertiente derecha.

Pese a la escasa altura relativa entre los cordones de cerros graníticos que enmarcan la periferia del valle, ella es suficiente para imponer un claro contraste de relieve respecto de las tierras bajas modeladas y rellenas por cauces antecesores del actual río Huedque y sus respectivos sistemas de drenajes tributarios. Conforme a ello, su actual cauce demuestra una escasa pendiente de escurrimiento en el rango de 0,05 a 0,3%, con velocidades muy bajas, propios de ambientes de aguas tranquilas, por tanto, favorables al desarrollo de sedimentos finos de tipo lagunar a fluviolagunar, ***Qfl***, en **CAL-HDQ-01**; están representados por alternancias lenticulares de arcilla algo arenosa de color gris café, plasticidad media a alta y limos arcillosos café amarillentos, con variados grados de compactación o consolidación, junto a escasos aportes de elementos clásticos, limitados a esporádicos episodios torrenciales, correspondientes a materiales reconocidos en las calicatas CY-1 y CY-2, de explotación de yacimientos.

Mientras tanto, en el entorno inmediato al actual cauce del río Huedque, predomina una compleja secuencia fluvial a fluvioaluvial, ***Qfal***, en **CAL-HDQ-01** bastante bien estratificada con predominio de gravas limosas color gris café, gravas de cantos subangulares con tamaño máximo de 2”, junto arena limo gravosa.

A lo largo del eje del muro correspondiente a la Alternativa 1, seleccionada para el Proyecto objeto de análisis, se efectuaron 3 sondajes de reconocimiento, cuyos resultados se expresan el Cuadro 2.2.2-1.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 2.2.2-1
RESULTADO SONDAJES ALTERNATIVA 1

Sondajes	Profundidad	Espesores		
		Sedimentos	Maicillo	Roca
S1	25,20	8,60	2,25	14,35
S2	30,05	7,60	3,75	18,80
S3	25,50	15,90	8,00	1,65

Fuente: Elaboración propia.

El Perfil Geológico A - B, incluido en **Plano GEO-HDQ-03**, sustentado en los registros estratigráficos de 3 sondajes que atraviesan la totalidad del relleno sedimentario del valle del río Huedque, en el sector, da cuenta de sus respectivas características litológicas, espesores, distribución espacial (sentido lateral y profundidad) y continuidad.

De acuerdo al registro estratigráfico que antecede, a lo largo del eje de la presa del Proyecto, el relleno sedimentario cuaternario, consigna una secuencia alternante bastante bien estratificada, dispuesta sub horizontalmente, concordante con una configuración asimétrica, propia de un ambiente depositacional controlado por importantes variaciones o divagaciones de cauces geológicamente antecesores del actual río Huedque.

Conforme a ello, en su momento, la actividad erosiva respecto del basamento rocoso, se habría acentuado en torno al extremo izquierdo de la llanura de inundación, correspondiente al entorno al sitio de emplazamiento del sondaje S-3; situación que se expresa en el desarrollo del máximo espesor del relleno sedimentario, 15.9 m. La señalada singularidad, supone mayores dificultades y exigencias en el tratamiento de sello de las fundaciones del muro, incluyendo la eventual colocación de una pantalla impermeable (pared moldeada) y/o inyecciones a base de lechadas especiales.

El complejo carácter granulométrico (correspondiente a arcillas, limos y arenas), alto contenido de materia orgánica, unido a la alternancia y escasa continuidad (sentido lateral y profundidad), de las distintas secuencias sedimentarias fluvioalucustres que, a lo largo del eje de la Alternativa 1, seleccionada, participan del relleno del fondo del valle del río Huedque, les otorgan al conjunto de estos suelos propiedades geotécnicas muy variables.

El conjunto de los materiales sedimentarios precedentemente descritos, sobreyacen, discordantemente, a basamento rocoso granítico, cuya superficie de contacto configura un rasgo morfológico bastante regular, (ver: Perfil Geológico A - B, en **Plano GEO-HDQ-03**). En la medida del avance en profundidad, a partir del señalado contacto, las rocas graníticas adquieren un carácter denso, inalterado, muy resistente, concordante con rocas “*frescas*”, con buena calidad para usos ingenieriles; carácter compatible con basamento rocoso bastante isotrópico, rígido, resistente, por tanto, con baja permeabilidad, provisto de

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

módulos de elasticidad medianos, plenamente aceptable como elemento de fundación para presa de tierra objeto de análisis.

Perfiles geosísmicos efectuados a lo largo del eje de la presa del Proyecto, detectaron para el basamento rocoso velocidades de ondas de 3.410 – 3.770 m/s, compatibles con materiales con buen comportamiento geotécnico.

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*);

Habitualmente, la profundidad (o espesor) de la meteorización en los macizos rocosos graníticos, es función del carácter petrográfico y textural de los materiales, condición climática (temperatura, precipitación) y tiempo de actuación de los procesos degradadores; en su conjunto, determinan el tipo y la intensidad de las transformaciones físicas y químicas que pueden afectar a los materiales rocosos en superficie.

Interesa consignar que, a nivel superficial, (exposiciones en cortes viales locales) la habitual cobertura de suelos residuales, limita el efectivo conocimiento geológico – geotécnico de los macizo rocosos graníticos; ello, muy particularmente en relación con la presencia de planos de discontinuidades correspondiente a fracturas y fallas, inducidas por tensiones naturales impuestas por esfuerzos tectónicos regionales; se trata de elementos estructurales que, junto con imponer un carácter heterogéneo y anisotrópico a las masas rocosas, definen sus propiedades y comportamientos geotécnicos.

Para las rocas graníticas que en la zona del Proyecto participan del basamento rocoso, ***Gonzáles de Vallejo*** (2002), asigna los siguientes parámetros geotécnicos indicados en el Cuadro 2.2.2-2:

CUADRO 2.2.2-2
RESULTADO SONDAJES ALTERNATIVA 1

Propiedad	Unidad	Magnitud
Peso específico	g/cm³	2,7 - 2,85
Permeabilidad	m/s	10^-7 - 10^-12
Resistencia a la compresión simple	kg/cm²	1800 - 2450
Resistencia a la tracción	kg/cm²	80 - 300
Velocidad de ondas Vp	m/s	4500 - 6000

Fuente: González de Vallejo

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Las señaladas características y comportamientos geotécnicos de los suelos residuales del tipo “maicillo” y basamento rocoso granítico, se hace extensivo a los apoyos o estribos del muro.

En estos casos, la condición superficial y consiguiente exposición de los materiales involucrados en las fundaciones de dichas estructuras, facilitarían la realización de faenas previas, destinadas a su efectiva preparación, incluyendo la ejecución de faenas de remoción o escarificado manual o mecanizado de materiales incompetentes (suelos y fragmentos rocosos sueltos) y eventual sello de zonas fracturadas mediante inyecciones de consolidación. Esencialmente, se trata de la aplicación de procedimientos destinados a garantizar tanto la estanqueidad de los estribos, como la estabilidad y seguridad operativa de la presa.

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 1 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.

De acuerdo a ello, en los tratamientos de sello de las fundaciones de presas de tierra, comprometiendo basamento granítico subsuperficialmente meteorizado, esta condición dificulta la efectiva delimitación del contacto entre la sección basal de la presa y el cimiento; esencialmente, se trata de ambientes favorables al desarrollo de adversos procesos de erosión interna, cuyo tratamiento o control supone el diseño e instalación de filtros destinados al efectivo control de arrastres o migraciones de partículas finas y/o drenes, a base de materiales permeables, destinados a disminuir el desarrollo de adversas subpresiones en torno a la sección basal de la presa.

Sea como fuere, la decisión final respecto el tratamiento de la superficie de la zona de contacto presa - cimiento, eventualmente mediante pantallas de impermeabilización continua (a base de hormigón, bentonita, arcillas) o puntual (inyecciones), estará supeditada a los resultados de rigurosos análisis conjugando las características y comportamiento geotécnicos e hidrogeológicos de los terrenos de fundación (suelos y rocas) y el tipo presa adoptada.

Independiente de ello, la señalada zona deberá ser cuidadosamente tratada o saneada incluyendo:

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Eliminación de la totalidad de los materiales granulares sueltos y erosionables,
- Sellado de fracturas abiertas y,
- Consolidación de los cimentos para el efectivo control de filtraciones.

2.2.3. Túnel de Desviación

La marcada asimetría de la sección transversal del valle del río Huedque, concordante con el eje de la presa, condicionó la incorporación de una obra de desviación mediante un túnel de 230 m de largo y gálibo de aproximadamente 12 a 13 m^2**.** El favorable carácter morfológico del modelado local del terreno que participa del apoyo derecho de la presa, determinó su desarrollo por este sector, **Plano GEO-HDQ-02.**

De acuerdo a nuestros recientes reconocimientos directo del terreno local, el desarrollo del túnel de aducción comprometerá, de seguro, basamento rocoso de tipo granítico, denso, inalterado, resistente, superficialmente afecto a intensa meteorización, expresada en el desarrollo de suelos residuales del tipo “maicillo”:

En ausencia de efectivos registros subsuperficiales respecto del carácter, espesor y continuidad espacial (sentido lateral y profundidad) de la cobertura de los suelos residuales maicillosos en torno al apoyo derecho de la presa del Proyecto, se estima que, a lo largo del eje del túnel de desviación, el compromiso de los señalados materiales se limitaría al entorno inmediato de ambos portales, involucrando porcentajes en el rango de 25 a 30% del largo total del túnel.

Esencialmente, se trataría de materiales cuya elevada ripabilidad, facilitaría su remoción mediante el empleo de equipo mecanizado; conforme a ello, es muy probable que, en torno a los tramos iniciales de ambos portales, aproximadamente 30 a 35 **m**, el compromiso de escasas coberturas o “techos”, concordante con materiales con bajo autosoporte, favorezca el desarrollo focalizado de inestabilidades, representadas como sobre excavaciones concentradas en torno a la clave del túnel; condición que podría exigir la instalación de refuerzos estructurales a base de cerchas metálicas dispuestas a intervalos medios de 0.8 a 1.0 m.

Adicionalmente, la presencia puntual de suelos maicillosos con altos niveles de humedad, producto de infiltraciones de aguas pluviales, a lo largo de fracturas heredadas, podrían incrementar la presencia, desarrollo y severidad de las inestabilidades producidas durante las faenas de excavaciones del túnel, comprometiendo las zonas marginales a los respectivos portales; habitualmente, este tipo de problemas constructivos admiten un cierto grado de control mediante la ejecución de perforaciones de drenaje, destinadas a la efectiva descarga de las aguas de infiltración.

Alcanzados los niveles de basamento rocoso granítico, inalterado, denso, resistente, geomecánicamente competente, las faenas de excavación del túnel de desviación, accederán a un ambiente muy estable, con bajas demandas de refuerzo estructural y revestimiento; esta favorable condición geotécnica limitaría el revestimiento final

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

de la estructura a la simple aplicación de capas de hormigón proyectado, concentradas en la clave del túnel de aducción. Ello, tanto más, cuanto que las faenas de excavación del túnel se realicen mediante apropiados procedimientos tecnológicos de tronaduras, incluyendo tiros de contorno (*smooth blasting)* y precorte *(prespliting*).

Atendido el importante compromiso de suelos residuales del tipo maicillo, muy ripables, en torno al sitio de emplazamiento de ambos portales del túnel de desviación, no debería ser desatendida la alternativa de aplicar en la construcción de sus segmentos iniciales, procedimientos de excavación mecanizada, orientadas a la configuración de una “*trinchera*” que, una vez cubierta con losas de hormigón, podría operar como una verdadero bóveda o túnel falso.

2.2.4. Estructura de Vertedero

La tipología considerada para el diseño final de la presa del Proyecto, a base de una estructura homogénea de tierra compactada de baja permeabilidad, determina que la localización y configuración de la estructura del vertedero deberá incluir el diseño de un elemento independiente de su cuerpo; conforme a ello, y atendidas las favorables condiciones morfológicas del sector, su desarrollo se dispondrá en torno al apoyo o estribo derecho de la presa.

Básicamente, su emplazamiento comprometerá, de seguro, materiales (suelos y basamento rocoso) geológica y geotécnicamente afines a aquellos involucrados en la futura materialización del túnel de desviación.

El sector consigna la presencia de un desgastado modelado, provisto de suave pendiente local, constituido por basamento rocoso de tipo granítico, (granodioritas, dioritas) que, a nivel superficial, denota los efectos de intensa meteorización; se expresa en el desarrollo y presencia de un verdadero suelo residual, “maicillo”, tipificado por un material desagregable a granulometrías en el rango de gravillas a gravillas levemente arenosas; las fracciones clásticas resultantes, corresponden a remanentes estables de cuarzo y feldespatos, inmersos en una matriz arcillizada. Esta condición se alcanza cuando la sección superficial del macizo rocoso se ha transformado, modificando la estructura y fábrica o textura original de la roca.

En superficie, a nivel regional, los suelos del tipo maicillo, demuestran una gran sensibilidad a la erosión hídrica, expresada en terrenos fuertemente degradados representados por la presencia de numerosas activas cárcavas.

De acuerdo a ello, se trata de suelos residuales, granulares, blandos, muy ripables, (excavables con equipo mecanizado) cuyos espesores se sitúan en rangos medios de 3,5 a 5,0 m.

Atendido el señalado carácter y el hecho de que esta estructura se ubica a cotas bastante superiores al eje del túnel de desviación, es muy probable que gran parte de las

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

faenas involucradas en su materialización, comprometan terrenos correspondientes a suelos residuales del tipo “maicillos”; la normal elevada ripabilidad de este tipo de materiales favorecería la configuración de gran parte de esta estructura mediante el simple empleo de equipo mecanizado; la detección y compromiso de roca granítica densa, inalterada, muy resistente, subyacente a suelos residuales, estará limitada a la segmentos menores, concordantes con la zona basal de la sección media de esta estructura, cuya remoción exigirá la utilización de procedimientos de voladuras. En estos casos, para los cortes se proponen taludes estables del tipo 1:4 a 1:5 (H:V)

Importa consignar que múltiples experiencias prácticas relacionadas con la estabilidad de cortes viales comprometiendo suelos del tipo maicillo, geológica y geotécnicamente afines a los involucrados en las excavaciones para la configuración del vertedero del Proyecto, permiten determinar para sus correspondientes cortes laterales, taludes estables del tipo 2:3 (H:V).

2.2.5. Zona de Inundación

Importa consignar que las oscilaciones operacionales en los niveles de aguas en los embalses, suelen “acelerar” determinados procesos que, de una forma natural, tardarían cientos o miles de años en producirse como: liberación de tensiones residuales, modificaciones en los flujos de aguas superficiales y subterráneas, alteración superficial de suelos y rocas erosionadas o excavadas, apertura de discontinuidades

De acuerdo al carácter morfológico de los terrenos locales, dimensionamiento de la presa y capacidad de almacenamiento del embalse, la zona de inundación del Proyecto cubrirá una superficie comprometiendo, mayoritariamente, un importante segmento del fondo de la antigua llanura fluvioaluvial y sección basal de ambas vertientes del valle del río Huedque.

La revisión de imágenes satelitales de la zona de inundación, permitió establecer la ausencia de rasgos morfológicos superficiales: lineamientos, deformaciones, escarpes, cárcavas, genéticamente atribuibles a procesos de remociones en masa (corrimientos, desprendimientos, deslizamientos, flujos de barro o detritos) y/o actividad tectónica reciente (reactivamiento de fallas). En el primer caso, la señalada condición tendría directa relación con el compromiso de vertientes periféricas del embalse, integradas por suelos residuales del tipo maicillo, bastante consolidados, provistos de escasa pendiente local.

Por otro lado, en los terrenos cuaternarios que participan del entorno inmediato de la zona de emplazamiento del muro de la presa, obras anexas y zona de inundación, no se reconoció la presencia de dislocaciones o deformaciones y/o grietas superficiales, atribuibles reactivaciones de recientes

Conforme a ello, la zona de inundación del Proyecto comprometería terrenos estables, con una baja a nula probabilidad de imponer riesgos por remociones en masa y

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

reactivación de fallas, durante su vida operacional (llenado y desembalse o vaciado rápido del embalse).

2.3. PROSPECCIÓN DE MATERIALES DE EMPRÉSTITO

Se realizaron actividades de prospección de materiales de empréstito, destinadas a satisfacer las futuras demandas involucradas en la construcción de la presa, con ajuste al diseño de una estructura homogénea a base de tierra compactada.

Los trabajos se sustentaron en la ejecución manual de 9 calicatas con profundidades medias de 3,0 a 3,5 m; 7 de ellas comprometieron, principalmente, terrenos ubicados al interior de la futura zona de inundación del Proyecto, centradas en el sección media y basal del valle del río Huedque; las 2 calicatas restantes, (CY-1 y CY-2), se ubicaron inmediatamente aguas abajo del eje de la presa, comprometiendo terrenos sedimentarios planos del relleno del fondo del valle del río Huedque, concordante con su antigua llanura de inundación.

En las señaladas calicatas, un perfil representativo de 3.0 m de espesor, incluiría la presencia de: *“… arcillas algo arenosas, con estructura homogénea, con humedad baja a saturada, plasticidad media a alta, consistencia media, con bajos contenidos de gravas muy descompuestas, oxidadas.”*.

Complementariamente, se efectuaron prospecciones de suelos, mediante calicatas, que corresponden al desarrollo de los canales matrices del Proyecto.

2.4. REFERENCIAS

ARRAU Ingeniería E.I.R.L. 2012. Estudio de prefactibilidad del proyecto “Construcción de Embalse de Riego Huedque, Comuna de Cauquenes,”. Parte C - Capítulo 2 Identificación y Evaluación de Sitios de Embalse. (Inédito).

González de Vallejo, L. I. 2002. Ingeniería Geológica. Editorial Prentice Hall; 715 p. Madrid. España.

Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

3. ESTUDIO GEOTECNICO

3.1. INTRODUCCION

El análisis geotécnico tuvo una primera parte consistente en una recopilación de antecedentes geotécnicos del sector y la ejecución del plan de prospección, que consistió en la ejecución de 3 sondajes de 25 m a 30 m de profundidad, para la alternativa 1 de ubicación de la presa.

Adicionalmente, se excavaron 3 pozos exploración de 4,0 m de profundidad en el estribo derecho del muro (vertedero, P4-1 a P4-3) y 3 pozos de 6,0 m de profundidad por el estribo izquierdo (P6-1 a P6-2). En el sector de yacimientos se excavaron 6 pozos de exploración de entre 1,60 m y 6.0 m de profundidad respecto de la superficie actual de terreno. Los pozos se identifican como CY-1 a CY-6.

En los planos adjuntos a este informe, se muestra la ubicación de los pozos de exploración y sondajes, tanto en el muro como en el sector de yacimientos.

De los pozos y sondajes se obtuvo la descripción estratigráfica del subsuelo de los distintos sectores y las muestras de suelo para su análisis en laboratorio.

3.2. ANTECEDENTES UTILIZADOS

- Certificado Preliminar de Sondajes y pozos de exploración, proporcionados por el mandante. Arrau Ingeniería, mayo de 2012.

- Resultados de infiltración según método Le Franc-Mandel. Arrau Ingeniería, mayo de 2012.

- Informe de Ensayos N° 93.957 de TECNOLAB LTDA. Clasificación USCS completa. Permeabilidad. Triaxial. Proctor Modificado.

- Resultados de análisis de estabilidad de taludes con programa computacional Slope/W. Caso estático y determinación de la aceleración de fluencia. Geofun Ltda, julio de 2012.

- Registros del terremoto del Maule Mw= 8.8, 27 de febrero de 2010. Universidad de Chile.

- United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation: "Diseño de Presas Pequeñas". Compañía Editorial Continental S.A. México. 1980.

- F.I. Makdisi and H. Bolton Seed, "A Simplified Procedure for Estimating Earthquake-Induced Deformations in Dams and Embankments", Report Nº UCB/EERC-77/19, august 1977, University of California.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation: "Diseño de PresasPequeñas". Compañía Editorial Continental S.A. México. 1980.

- Gobierno Chile, Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Vialidad: “Manual de Carreteras, Volumen 3, Instrucciones y Criterios de Diseño, Parte II, Capítulo.

- J.E. Bowles, "Foundation Analysis and Design". 5a Ed. Mc. Graw-Hill, 1996.

- Mapa Geológico de Chile, Servicio Nacional de Geología y Minería, 1982.

- Geografía de Chile, Tomo II Geomorfología, Instituto Geográfico Militar, 1979

3.3. PROPIEDADES DEL SUELO DE FUNDACION

3.3.1. Estratigrafía Sector Muro

En Anexo D.2-2, se entregan las estratigrafías de los pozos de exploración y sondajes, además de los resultados de los ensayes de laboratorio ejecutados. Los sondajes ejecutados en el eje del muro, alcanzaron una profundidad media aproximada de 25 m, respecto de la superficie actual de terreno. Las muestras analizadas en el área de yacimientos, clasificaron principalmente en el sistema USCS como CL, es decir corresponden a arcillas arenosas. Respecto de las muestras analizadas en canales y área de embalse, éstas clasifican principalmente como SC, CL y ML, es decir corresponden a arenas arcillosas, arcillas arenosas y limos algo arenosos. Puntualmente, se han detectado estratos que clasificaron como CH y MH, es decir corresponden a muestras de media a alta plasticidad. De acuerdo con los resultados de los sondajes ejecutados en el sitio estudiado para fines prácticos, en el eje del muro, se puede adoptar el siguiente modelo estratigráfico, que se detalla en el cuadro 3.3.1-1.

CUADRO 3.3.1-1
MODELO ESTRATIGRÁFICO SONDAJES

Horizonte	Profundidad (m)	Descripción
H-1	0.00 – 1.00	Limo arenoso color café, humedad baja, plasticidad media , estructura homogénea, consistencia media
H-2	1.00 – 3.00	Arcilla a arcilla limosa color café rojizo, humedad baja, plasticidad alta, estructura homogénea, consistencia media.
H-3	3.00 – 12.50	Limo arenoso a arena limosa color café, humedad media a alta, plasticidad baja, estructura homogénea, consistencia baja.
H-4	12.50 – 15.00	Roca fracturada y algo descompuesta de color gris.
H-5	15.00 – 30.00	Roca sana color gris, algo fracturada.

Nota: En la descripción estratigráfica de los sondajes, no se indica cota de napa o nivel freático
Fuente: Elaboración propia.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

A partir de los pozos de exploración excavados por el estribo derecho del muro (P4-1 a P4-3) y por el estribo izquierdo del muro (P6-1 a P6-3), se puede adoptar el siguiente modelo estratigráfico para las laderas de la presa, que se detalla en el cuadro 3.3.1-2.

CUADRO 3.3.1-2
MODELO ESTRATIGRÁFICO CALICATAS LADERAS

Horizonte	Profundidad (m)	Descripción
H-1	0.00 – 0.30	Capa vegetal
H-2	0.30 – 2.00	Arcilla color café claro a café rojizo, humedad baja a media, plasticidad media a alta, estructura homogénea, consistencia media a fir. Presenta algunas raíces y raicillas además de gravas aisladas descompuestas tamaño máximo 4".
H-3	2.00 – 6.00	Limo color café claro a café verdosos, humedad baja, plasticidad baja a media, estructura homogénea, consistencia alta a firme.

En los pozos P4-1 y P4-3, se detectó la roca firme a 2.50 m de profundidad (04 de mayo de 2012)
No se Informa el nivel freático a la fecha de la exploración (04 y 05 de mayo de 2012)
Fuente: Elaboración propia.

3.3.2. Estratigrafía Sector Yacimientos

En el sector de Yacimientos, se excavaron 6 pozos de exploración de aproximadamente 6.0 m como máximo, respecto de la superficie actual de terreno. En Anexo D.2-8 de Informe se entrega la estratigrafía de los pozos de exploración y los resultados de los ensayes de laboratorio ejecutados en el área de Yacimientos. En el cuadro 3.3.2-1 siguiente se detalla el modelo estratigráfico calicatas de yacimientos adoptado.

CUADRO 3.3.2-1
MODELO ESTRATIGRÁFICO CALICATAS DE YACIMIENTOS

Horizonte	Profundidad (m)	Descripción
H-1	0.00 – 0.20	Capa vegetal
H-2	0.20 – 6.00	Arcilla color café a rojizo a café claro, algo arenosa, humedad baja a media, plasticidad alta, estructura homogénea, consistencia media. Presenta algunas raíces y raicillas además de gravas aisladas descompuestas.

Nota: En la descripción estratigráfica de los pozos, no se indica cota de napa o nivel freático
Fuente: Elaboración propia.

3.3.3. Ensayes de Infiltración

En los sondajes, se ejecutaron ensayes de infiltración según el método Le Franc Mandel a las cotas indicadas en el cuadro 3.3.3-1 siguiente:

CUADRO 3.3-3-1
RESULTADOS ENSAYES DE INFILTRACIÓN ENSAYO LE FRANC-MANDEL

Ensayo	Profundidad (m)	Permeabildad Constante (m/s)	Permeabilidad Variable (m/s)
S1 1-5	4.50 - 5.50	2.53E-07	6.77E-08
S1 2-5	9.00 - 10.00	3.53E-06	2.89E-07
S1 3-5	14.00 - 15.00	8.39E-06	2.07E-07
S1 4-5	19.00 - 20.00	3.09E-06	1.23E-07
S1 5-5	24.0 - 25.0	5.41E-06	1.48E-07
S2 1-5	5.0 - 6.0	5.73E-06	1.29E-07
S2 2-5	10.0 - 11.0	1.83E-05	3.54E-07
S2 3-5	15.0 - 16.0	1.77E-05	1.35E-07
S2 4-5	20.0 - 21.0	5.07E-06	2.14E-07
S2 5-5	25.0 - 26.0	1.08E-05	1.09E-07
S3 1-4	4.0 - 5.0	9.36E-07	1.50E-07
S3 2-4	9.0 - 10.0	5.62E-07	5.61E-08
S3 3-4	14.0 - 15.0	1.08E-06	8.14E-08
S3 4-4	19.0 - 20.0	7.61E-07	6.38E-08

Fuente: Elaboración propia

Las muestras obtenidas a las cotas en que se ejecutaron los ensayes de infiltración, clasificaron principalmente, según el sistema USCS, como ML (limo de baja plasticidad), CL (arcilla de baja plasticidad), SM (arena limosa) y GM (grava limosa).

3.3.4. Ensayes de Laboratorio

El informe de mecánica de suelos elaborado por Tecnolab Nº 93.957, contiene una serie de 3 ensayes triaxial CIU a una muestra clasificada como CL, para presiones normales de confinamiento de 1.0, 2.0 y 3.0 kg/cm2 obteniéndose un ángulo de fricción ø= 27º y una cohesión de c= 2.3 t/m^2.

Además se incluye un ensaye de permeabilidad con carga constante para la misma muestra la cual da un resultado de 2.34E-09 cm/s.

Respecto de los ensayes de compresión simple, ejecutados en muestras obtenidas de los sondajes y pozos de exploración, se han medido los valores indicados en el cuadro 3.3.4-1 siguiente.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.3.4-1
RESULTADOS ENSAYES DE COMPRESIÓN SIMPLE

Pozo	Cota (m)	Clasificación USCS	Resistencia a la Compresión (kg/cm2)
S1	3.00 - 4.50	SM	1.83
S1	8.20 - 8.70	ML	1.14
S2	4.00 - 4.50	ML	0.66
S2	5.50 - 6.00	ML	1.48
S3	2.70 - 3.00	ML	1.93
S3	8.50 - 9.00	ML	1.2
P6-2	1.80 - 6.00	ML	0.81
P4-2	2.60 - 4.00	ML	2.17

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la exploración realizada y los resultados de los ensayos de laboratorio ejecutados, se han adoptado conservadoramente los parámetros indicados en el cuadro 3.3.4-2 siguiente, correspondiente a la resistencia al corte del suelo existente en el sitio en estudio para la fundación del muro y en el área de empréstito:

CUADRO 3.3.4-2
PROPIEDADES MECÁNICAS DE RESISTENCIA AL CORTE

Suelo	Clasificación USCS	Peso Unitario (ton/m^3)	Cohesión (ton/m^2)	Angulo de Fricción (deg)
Fundación	CL	1.70	2.0	20º
Relleno en muro de la presa	ML	1.90	2.0	27º

Fuente: Elaboración propia.

3.4. CONCLUSIONES DE LA EXPLORACION Y DE LOS ENSAYES

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

1. El sitio en estudio es adecuado para la construcción de un muro del tipo Presa Homogénea.

2. La permeabilidad que muestra el material de relleno recompactado al 92% de la densidad máxima compactada seca, dada por el ensaye proctor modificado

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

(NCh1534/2 Of1979), permite suponer para efectos prácticos que el muro será impermeable.

3. A partir de los resultados de los ensayes de infiltración según el método Le FrancMandel, permiten establecer que el suelo de fundación del muro es lo suficientemente impermeable como para el control de la perdidade 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 tienen las siguientes conclusiones:

1. El material encontrado en el área de yacimientos, clasifica principalmente en el sistema USCS SC, Cl, ML; es decir corresponden a arenas arcillosas, arcillas arenosas y limos algo arenosos.

2. En las áreas de empréstito no hay disponibilidad de material fluvial para drenes o preparación de hormigones.

3. Las muestras analizadas, se tiene un porcentaje de finos superior al 17%. Se debe tener especial cuidado, con la alta plasticidad que puedan presentar algunas tongadas del material de relleno, debido a las dificultades para su compactación.

3.5. PROPIEDADES MECÁNICAS

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

Limo arenoso a arena limosa (muro de la presa)

ϕ = 27^{o} , ángulo de fricción interna
c = $2.0\ t/m^2$, cohesión
γ = $1.7\ t/m^3$, peso unitario natural

Arcilla color rojizo (suelo de fundación de la presa)

ϕ = 20^{o} , ángulo de fricción interna
c = $2.0\ t/m^2$, cohesión
γ = $1.70\ t/m^3$, peso unitario natural

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

3.6. DISEÑO

3.6.1. Tipo de Presa

Como se ha indicado, dadas las características del material detectado en el sitio en estudio, se propone una presa del tipo Homogénea, de 30.0 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.

3.6.2. Determinación del Ancho de Coronamiento

El ancho de coronamiento mínimo de la presa, para la altura máxima de 30.0 m, se estimó con tres expresiones diferentes. Primero, utilizando la fórmula siguiente del Bureau of Reclamation:

$$W = \frac{Z}{5} + 10$$

donde:

W = ancho del coronamiento, en pies

Z = altura de la presa, en pies

Aplicando la expresión anterior para 98.42 pies (30.0 m de altura máxima) se obtiene un ancho de coronamiento de 29.68 pies que equivalen a 9.04 m.

Los ingenieros Jorge Gálvez y Luis Vidal propusieron una expresión para determinar el ancho del coronamiento basándose en las grandes presas existentes en Chile. La expresión matemática es la siguiente:

$$b = -36\, H^{-0.20} + 25$$

donde:

b = ancho de coronamiento en m.

H = altura de la presa en m

Aplicando la fórmula anterior se obtiene un ancho de coronamiento de 3.1 m. Para zona de sismicidad alta los autores proponen aumentar el ancho del coronamiento en un 25%, por lo que el ancho resultante es de 2.06 m.

Finalmente, el U.S.B.R. en "TreatiseonDams" recomienda la siguiente expresión para determinar el ancho del coronamiento en grandes presas:

$$W = 8\sqrt[3]{H} - 5$$

donde:

W = ancho del coronamiento, en pies

H = altura de la presa, en pies.

Aplicando la expresión anterior para 98.42 pies de altura, se obtiene un ancho de coronamiento de 31.9 pies que equivale a 9.73 m.

Considerando la ubicación de la presa, se decidió adoptar para efectos de diseño un ancho de coronamiento mínimo de la presa de 9.0 m.

3.6.3. Cálculo de Estabilidad de la Presa

El análisis de estabilidad de los taludes que constituyen el muro de la presa, se realizó con el programa de computación Slope/W utilizando el método de Spencer, que considera el equilibrio de fuerzas y momentos, además de resistencia al corte inter dovelas.

Los archivos de cálculo GeoSlope se encuentran en el Volumen II Anexo D.3-1.

Respecto del análisis sísmico, se ha utilizado una metodología simplificada seudo estática, que introduce las cargas cíclicas como una fuerza inercial horizontal. En este proceso se determina la aceleración de fluencia, la que corresponde a la aceleración máxima para la cual el muro presenta un factor de seguridad igual a 1.0.

Para el cálculo de la aceleración de fluencia, se han considerado recomendaciones entregadas por distintos autores respecto de este tema, que se indican en el cuadro 3.6.3-1 siguiente.

CUADRO 3.6.3-1
COEFICIENTES SÍSMICOS DE DISEÑO

Autor	$k_h$diseño	Observación
Terzaghi (1950)	k_h=0.1; k_h=0.2 y k_h=0.5	Para sismos severos, violentos y destructivos, y sismos catastróficos respectivamente
Noda &Uwave(1976)	$k_h=a_{max}/g$	Si $a_{max}\leq$2.0m/seg²
	$k_h=0.33\cdot(a_{max}/g)^{0.33}$	Si a_{max}>2.0m/seg²
Seed (1979)	k_h=0.10 $FS_{sísmico}$>1.15	Grandes deslizamientos y sitios cercanos a la fuente sísmica, capaz de generar un

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.6.3-1
COEFICIENTES SÍSMICOS DE DISEÑO

Autor	$k_h$diseño	Observación
		sismo de Magnitud 6.5
	k_h=0.15 $FS_{sísmico}$>1.15	Grandes deslizamientos y sitios cercanos a la fuente sísmica, capaz de generar un sismo de Magnitud 8.5
Seed (1980)	k_h=0.15 $FS_{sísmico}$>1.15	Siempre que no exista una pérdida significativa de resistencia de los materiales durante el sismo (suelos arcillosos, arenas drenadas y suelos no-cohesivos densos). Además, sugiere verificar deformaciones con método de Newmark (1965)
Marcuson (1981)	k_h=0.33·a_{max}/g a k_h=0.50·a_{max}/g	Considera posible amplificación ó amortiguamiento
Krinitzsky et.al(1993), Taniguchi& Sasaki (1986)	k_h=0.65·a_{max}/g	Recomendada para deslizamiento de magnitud intermedia
Seed& Martin(1966), Dakuolas&Gazetas (1986)	k_h=a_{max}/g	Para un talud pequeño
	k_h=0.65·a_{max}/g	Deslizamiento de magnitudintermedia
	Idem Seed (1979)	Grandes deslizamientos.
Hynes-Griffin &Franklin (1984)	k_h=0.5·a_{max}/g	
Saragoni (1993)	k_h=0.3·a_{max}/g	Si a_{max}≤6.6m/seg²
	k_h=0.22·a_{max}/g	Si a_{max}>6.6m/seg²
Kramer (1996)	k_h=0.5·a_{max}/g	Apropiado para muchas obras, pero se acota que no es una regla general.
Division of MinesandGeology,California (1997)	k_h=0.15	

Fuente: Elaboración Propia

De los resultados de acelerogramas obtenidos del sismo de 27 de febrero de 2010, publicado por la Facultada de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, se adoptó conservadoramente una aceleración de fluencia igual a Ky>0.25g. Los datos seleccionados por cercanía al proyecto corresponden a los de las localidades de Talca, Curicó y Hualañé, en las que se midió una aceleración máxima horizontal de 0.477g.

Los factores de seguridad obtenidos en el análisis son los siguientes, cuadro 3.6.3-2:

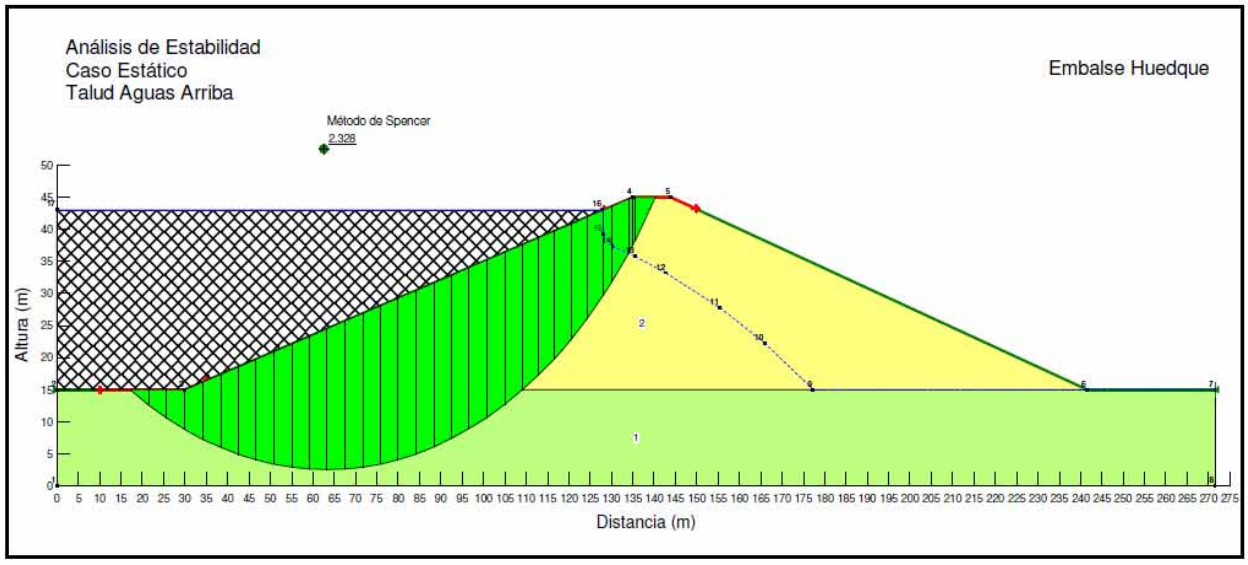
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.6.3-2
FACTOR DE SEGURIDAD TALUD AGUAS ARRIBA

Coeficiente sísmico horizontal Kh	Factor de seguridad FS
0.00 (estático) Ky = 0.25	2.328 1.043

Fuente: Elaboración Propia.

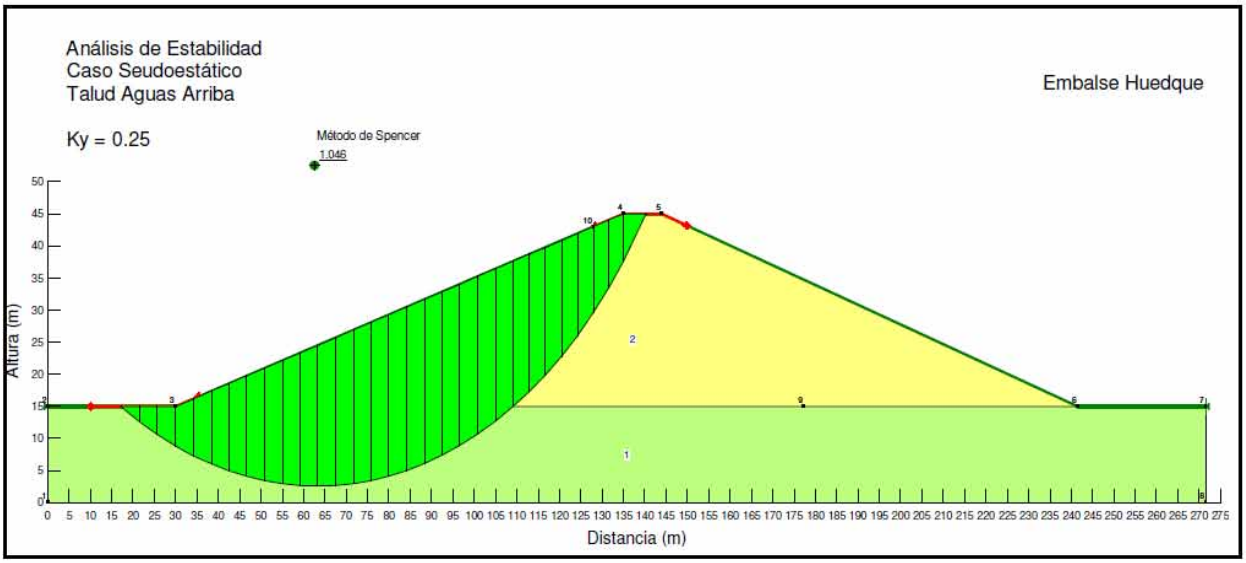
FIGURA 3.6.3-1
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD ESTÁTICO EMBALSE LLENO
(F.S. =2.328)



Fuente: Elaboración Propia.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 3.6.3-2
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SEUDO ESTÁTICO EMBALSE VACÍO
F.S. =1.046
KY = 0.25



Fuente: Elaboración Propia.

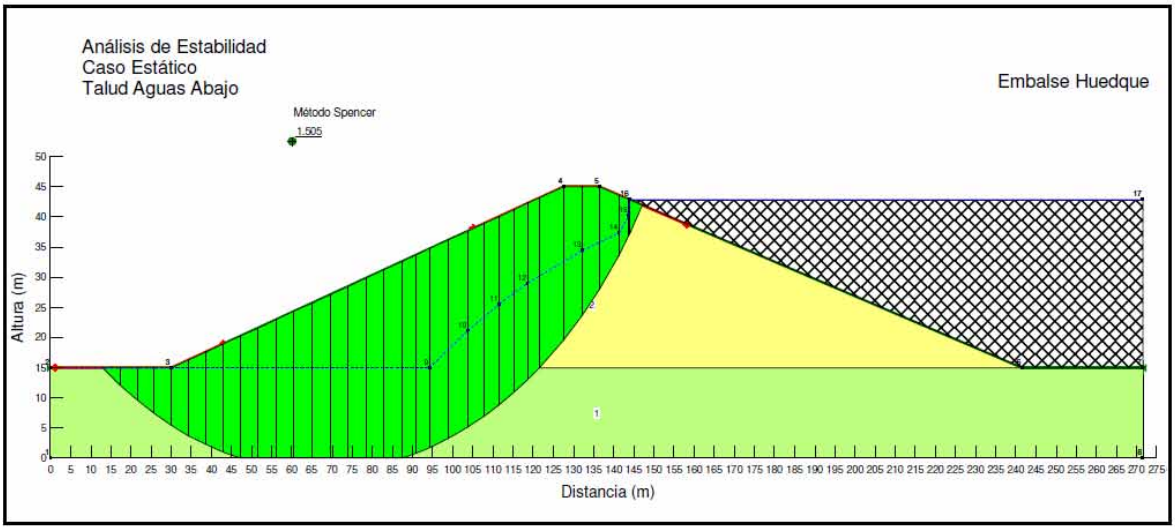
CUADRO 3.6.3-3
FACTOR DE SEGURIDAD TALUD AGUAS ABAJO

Coeficiente sísmico horizontal Kh	Factor de seguridad FS
0.00 (estático)	1.505
Ky = 0.25	1.031

Fuente: Elaboración Propia.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

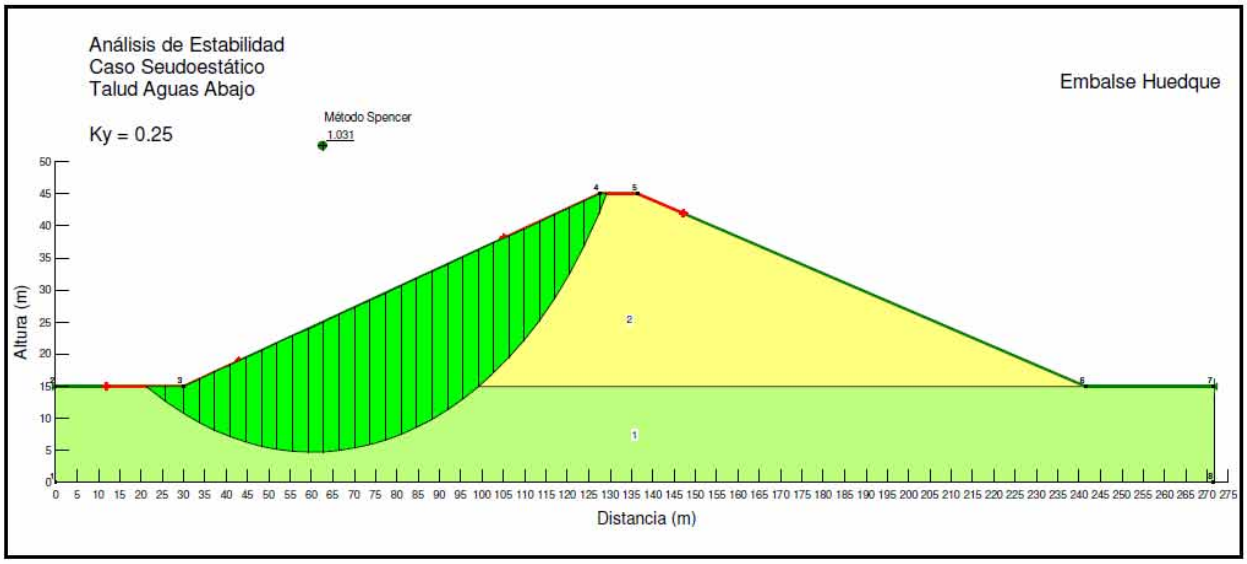
FIGURA 3.6.3-3
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD ESTÁTICO EMBALSE LLENO
F.S. =1.505



Fuente: Elaboración Propia.

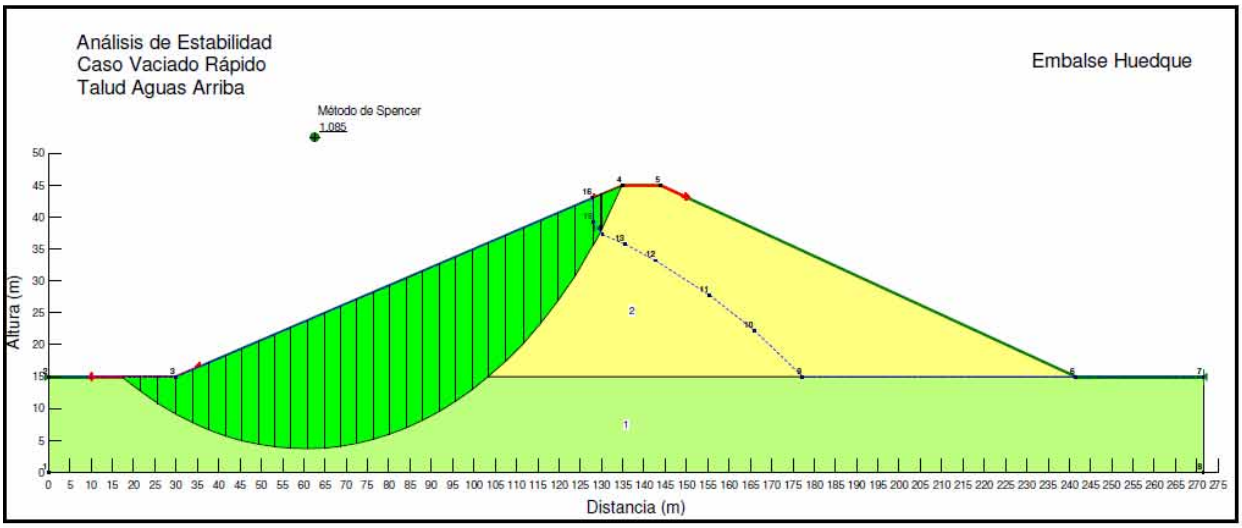
ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 3.6.3-4
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SEUDOÉSTATICO EMBALSE VACÍO
F.S. =1.046
KY = 0.25



Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 3.6.3-5
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD CASO VACIADO RÁPIDO
F.S. =1.085



Fuente: Elaboración Propia.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

En los cuadros 3.6.3-2 y 3.6.3-3 anteriores se observa que los taludes cumplen con los criterios de seguridad que se adoptan normalmente por la literatura, sobre la base de los cuales se desarrolla el diseño de este tipo de obras, es decir factor de seguridad estático superior a 1.5 y coeficiente sísmico de fluencia mayor o igual que 0.25.

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

3.7. FILTRACIONES

Se realizó una estimación de las potenciales filtraciones que pudieran ocurrir a través del suelo de fundación de la presa, utilizando el criterio del Bureau of Reclamation con una permeabilidad de 6.29E-06 m/seg (Promedio geométrico de los distintos valores medidos y el espesor de los distintos estratos).

Para estimar las filtraciones se considera como área filtrante un cuadrado de ancho basal 500 m y 6 m de altura, lo que resulta en un área de filtración de 3.000 m2.

El camino que recorre el agua filtrada es de aproximadamente 211.5 m y la carga máxima de agua es de 29 m. Luego, el gradiente hidráulico para el embalse lleno es:

es decir, i= 0.137

Luego el caudal que se infiltra será:

$$Q = k\ i\ A$$

$Q = 6.29x10\text{-}6\ m/seg \times 0.137 \times 3.000\ m^2$

$Q = 6.98 \times 10\text{-}3 m^3/seg$

Luego:

Q = 6.98 l/seg

Si se aplica un factor de seguridad de 3 al valor anteriormente calculado, se obtiene una filtración máxima con embalse lleno de 20.94 l/s, considerando la capacidad que tendrá el embalse.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

3.8. ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCION DE LA PRESA

3.8.1. Materiales para Rellenos

Los materiales para rellenos de la presa deberán cumplir con las siguientes especificaciones mínimas:

Presa:

Limo arenoso, arena limosa a arcilla limosa, de tamaño máximo 4”, con contenido de finos bajo 0.080 mm entre 20% y 50%, límite líquido inferior a 45%, limpia de materia orgánica y/o basuras.

Dren:

Grava arenosa, de tamaño comprendido entre 1.5” y 3”, con contenido de finos bajo 0.080 mm inferior a 5%, limpia de materia orgánica y/o basuras.

3.8.2. Colocación y Compactación de Rellenos

Primero que todo, se realizará un escarpe mínimo de 30 cm en toda el área en la que se emplazará el muro del embalse y retiro del material vegetal en los puntos en que presente una mayor altura. Este escarpe podrá ser menor en los sectores en que la capa vegetal es de menor espesor. El talud de corte si se requiere será H:V = 1:1 para construcción del vaso.

El sello de excavación del vaso del embalse debe corresponder a arcilla de color rojizo a arcilla limosa de color café (se debe verificar). A continuación se colocarán el material de relleno en capas horizontales de espesor suelto no mayor a 35 cm, las que se compactarán con rodillo vibratorio de peso estático igual o superior a 10 toneladas. El equipo compactador se pasará un mínimo de 6 veces por cada punto de cada capa, para lograr una densidad seca equivalente al 92% de la densidad máxima seca dada por el ensaye Proctor Modificado (NCh 1534-II). La humedad de compactación será cercana a la óptima en 3 puntos porcentuales. La diferencia de cota entre sectores que se estén compactando deberá ser inferior a 60 cm (aproximadamente 2 capas). En sectores estrechos, se usará equipo de menor tamaño y se disminuirá el espesor de capa, previa autorización de la inspección técnica, de manera de conseguir rellenar todos los espacios adecuadamente. Los rellenos se colocarán de manera de cumplir con las líneas y niveles indicados en los planos de proyecto.

3.8.3. Protección del Talud de Aguas Abajo

El talud de aguas abajo se protegerá con geomanta o con vegetación de baja altura. Esta vegetación será adecuada al clima de la zona, y se colocará inmediatamente después de terminado los rellenos. Es conveniente colocar primero sobre la superficie del

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

talud una delgada capa de tierra vegetal (de unos 5 cm de espesor). En la geomanta se instalarán las semillas y durante las primeras semanas se regará la vegetación con riego tipo lluvia, para ayudar a su brote y crecimiento. Posteriormente la vegetación se mantendrá con la humedad y lluvias de la zona.

3.8.4. Protección del Talud de Aguas Arriba

El talud de aguas arriba se protegerá contra la erosión mediante una capa de bolones de espesor 50 cm perpendicular al talud. Los bolones serán de tamaño comprendido entre 1” y 6”. Esta protección estará constituida por material de rechazo de explotación de áridos, sin incluir arenas, con un tamaño máximo nominal de 0.15 m; colocado al volteo. El material de enrocado deberá cumplir con las siguientes características mínimas:

- Pesos específico de partículas 2.65 ton/m³;
- Desgaste de Los Ángeles máximo 30%;
- Debe ser resistente a los cambios de humedad y temperatura;

Antes de la colocación del enrocado, se colocará un geotextil No Tejido (NT) de a lo menos 1.5 mm de espesor, con un tamaño de apertura aparente de 0.15 mm (máximo). Cualquier empalme se realizará con un traslape mínimo de 0.50 m. Para la fijación del geosintético a la superficie, mientras se coloca el enrocado, se utilizaran sacos de arena.

3.8.5. Controles

Para el material utilizado como relleno, se realizará como mínimo 10 clasificaciones USCS completas (granulometría, límites de Atterberg, peso específico, clasificación y contenido de humedad natural) y 10 ensayes Proctor Modificado.

Los rellenos compactados se controlarán con un mínimo de una densidad in situ por cada 500 m^2 por cada capa. El valor de comparación será el promedio de las densidades máximas obtenidas en los ensayes Proctor Modificado. Se debe cumplir con una densidad seca in situ igual o superior al 92% de la densidad de comparación.

El coronamiento de la presa quedará con una contraflecha central de aproximadamente el 1% de la altura del muro y con una pendiente hacia el talud de aguas arriba de 1%. Se protegerá con una capa de estabilizado de 15 cm de espesor compactado con 2 pasadas de rodillo.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

3.9. SISTEMA DE INSTRUMENTACION

El sistema de instrumentación recomendado, consta de 19 instrumentos que se detallan en el cuadro 3.9-1. El objetivo de estas mediciones es determinar a tiempo la implementación de medidas correctoras.

CUADRO 3.9-1
INSTRUMENTACIÓN RECOMENDADA

Tipo de Instrumento	Cantidad	Objetivo
Termómetros	3	Medir temperatura
Puntas Vinchón PV	3	Medir desplazamientos
Monolitos de control topográfico	4	Medir desplazamientos verticales y horizontales
Acelerógrafos	1	Medir aceleraciones símicas
Piezómetros eléctricos estáticos	2	Medir la presión del agua
Piezómetro eléctrico dinámico	2	Medir la presión del agua por efecto de un sismo
Vertederos rectangulares	4	Medir caudales por filtraciones provenientes de los drenes, juntas y grietas

Fuente: Elaboración Propia.

El comportamiento estructural de la presa será monitoreado mediante la observación directa durante visitas periódicas y las mediciones de los instrumentos instalados y su evolución en el tiempo.

Las medición de la sub-presiones, así como de caudales, se compararán con los análisis teóricos de la redes de flujo. Se realizará un control permanente de los caudales a través de vertedero.

3.9.1. Comportamiento de las Laderas del Embalse

Dado que las laderas del valle, en el área de inundación del embalse, están constituidas por suelos finos de mediana a alta plasticidad, subyacidos por roca con un alto grado de meteorización superficial, se recomienda conservar la primera capa vegetal existente para la protección del suelo y roca que es altamente erosionable. En caso contrario se debe prever la protección de los taludes con enrocado apoyado sobre geotextil. La pendiente máxima de los cortes será de 45° respecto de la horizontal.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

3.9.2. Seguimiento de la Socavación del Cauce del Río

Se recomienda efectuar con periodicidad anual, controles para verificar alteraciones altimétricas medias en los taludes aguas abajo de la presa. Se recomienda considerar el alto grado de erosionabilidad del suelo existente en el sitio de proyecto.

3.10. OBRAS ANEXAS

3.10.1. Antecedentes Metodológicos

A continuación se entregan las expresiones de diseño de fundaciones de obras de hormigón armado y recomendaciones para taludes de corte y en terraplén.

Estas recomendaciones suponen conservadoramente, que el suelo natural es una arcilla limosa compacta con las siguientes propiedades mecánicas:

Arcilla limosa

ϕ	=	20°	, ángulo de fricción interna.
c	=	2.0 t/m2	, cohesión.
γ	=	0.8 t/m3	, peso unitario boyante.
E	=	400 + 400 z t/m2	, módulo de Young si Z es la profundidad en m.
Ed	=	3 E	, módulo de Young para cargas cíclicas.
μ	=	0.40	, razón de Poisson.

3.10.2. Recomendaciones para Fundaciones

Los tipos de fundaciones más económicos y apropiados, para el suelo existente en el sitio de la presa son cimiento corrido bajo muros y zapatas aisladas bajo pilares.

La profundidad mínima de fundaciones dependerá del tamaño y la importancia de la estructura que se está fundando, pero en general no será inferior a 0.80 m. En donde se tenga previsto la posibilidad de socavación, la profundidad de fundación se medirá desde la cota de socavación. El ancho mínimo de fundación será de 0.40 m. El suelo de apoyo de fundaciones deberá corresponder a terreno natural no removido.

Cualquier sobre excavación que se produzca bajo fundaciones se rellenará con hormigón pobre de 85 kg (2 bolsas) de cemento por metro cúbico de mezcla. No se aceptará rellenos compactados bajo fundaciones, salvo que se trate de rellenos estructurales compactados y controlados.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

La presión de contacto estática de las fundaciones, a nivel de sello de fundación, no deberá ser superior a la presión máxima admisible determinada de la siguiente expresión según método de Hansen (válida para todo tipo de suelo para condiciones de fundación superficial, "FoundationAnalysis and Design" 2da versión, Joseph Bowles):

$$q_{ad} = (3.0 + 2.0D)\left(1 + 0.39\frac{B}{L}\right) + 0.4B\left(1 - 0.40\frac{B}{L}\right)$$

$$q_{ad} \leq 25 \text{ ton/m}^2$$

donde:

q_{ad} = presión de contacto admisible en t/m^2, para carga estática permanente.

B = ancho de la fundación en m (lado menor).

L = largo de la fundación en m.

D = profundidad del sello de fundación en m.

Además de verificar que la presión de contacto de la fundación no sea mayor que q_{ad}, se deberá verificar también el asentamiento máximo admisible, según lo expuesto más adelante en este capítulo.

Para los efectos de combinación de carga estática permanente más eventual (sísmica) el valor de q_{ad} podrá aumentarse en un 50%.

Para el caso de cargas permanentes se producirán sólo asentamientos elásticos o inmediatos de las fundaciones debido a que el suelo se encuentra no saturado. Cuando ocurran cargas dinámicas (sismo) se producirá adicionalmente una componente de asentamiento elástico pero con un suelo que actúa en forma más rígida que en el caso estático, estos asentamientos se calcularán de acuerdo con lo que se expone más adelante.

El asentamiento elástico o instantáneo de las fundaciones para el caso de cargas permanentes se obtendrá de la siguiente expresión obtenida de la ecuación de Bousinesq (sin restricciones para suelos sin consolidación, "Foundation Analysis and Design" 2da versión, Joseph Bowles):

$$S_i = \frac{84 q B I_o}{400 + 400(D + B)}$$

donde:

Si = asentamiento elástico o instantáneo en cm.

q = presión de contacto promedio fundación-suelo en t/m^2.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

B = ancho de fundación (lado menor) en m.

D = profundidad de fundación en m.

I_o = factor de forma según cuadro 3.10.2-1

CUADRO 3.10.2-1
FACTORES DE FORMA A USAR EN EXPRESIONES DE ASENTAMIENTOS

L/B	I_o
1.0	0.82
1.5	1.06
2.0	1.20
5.0	1.70
> 10.0	2.10

L = largo de la fundación

Fuente: Elaboración Propia.

El asentamiento adicional producido por cargas dinámicas (sísmicas) verticales, se podrá calcular, en caso de ser necesario, de la expresión siguiente:

$$S_d = \frac{28\, q_d\, B\, I_o}{400 + 400\,(D + B)}$$

Donde los términos son idénticos a los de la expresión para asentamientos elásticos de cargas permanentes, pero S_d y q_d son respectivamente la componente dinámica del asentamiento y la componente dinámica de la presión.

Ninguna fundación deberá tener un asentamiento total calculado para cargas permanentes superior a 1.5 cm.

Las constantes de balasto para el modo de deformación por asentamientos verticales de las fundaciones se podrán calcular de las expresiones dadas para los asentamientos, distinguiéndose las mismas circunstancias de velocidad de aplicación de las cargas. En general las constantes de balasto se podrán calcular de las siguientes expresiones:

$$k = \frac{q}{S_i} \qquad \textit{para cargas permanentes}$$

$$k_d = \frac{q_d}{S_d} \qquad \textit{para cargas dinámicas}$$

(Nota: En el cálculo de las constantes de balasto se deberá utilizar unidades consistentes

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

para obtener valores en ton/m^3 o kg/cm^3.)

3.10.3. Recomendaciones para Taludes

En los casos que se requiera realizar corte en el suelo natural, en forma permanente, se recomienda utilizar las pendientes según la altura del corte, indicadas en el cuadro 3.10.3-1 siguiente.

CUADRO 3.10.3-1
PENDIENTE DE TALUDES EN CORTE

Altura del corte (m)	Inclinación máxima (º)
0 – 4	45
4 – 8	40
>8	40

Fuente: Elaboración Propia.

Los taludes no llevarán berma intermedia, ya que ha quedado demostrado que debido a que no se realiza mantención de dichas bermas, se convierten en un factor adicional de inestabilidad de los taludes, permitiendo la acumulación de aguas lluvias que se infiltran hacia el suelo del talud.

Es conveniente que los taludes de corte y de terraplén se protejan contra la erosión de las aguas lluvias con vegetación adecuada al clima de la zona o con una capa de 5 cm de mortero proyectado (shotcrete). Para taludes de más de 10 m de altura, el hormigón proyectado deberá llevar una malla central del tipo MT2000 o similar, fijada a la superficie del talud con barras ϕ12 de 80 cm de longitud en forma de L (70 + 10), espaciados 2 m uno de otro.

El hormigón proyectado deberá terminarse en la parte superior del talud con una zanja de anclaje, similar a un cimiento continuo, de 50 cm de profundidad y 35 cm de ancho. La malla se anclará en dicha zanja, la que se rellenará con hormigón H20. Si se proyectan contrafosos en la parte superior de los taludes, ellos deberán revestirse para evitar que las aguas se infiltren hacia el suelo del talud.

Los terraplenes se proyectarán con taludes con una inclinación máxima de 30º con respecto a la horizontal y se protegerán contra la erosión de las aguas lluvias.

Los taludes de los canales de no más de 2 m de profundidad se podrán proyectar con una inclinación de H : V = 1.0 : 1.0. La velocidad máxima del agua se deberá limitar a 1,2 m/seg para canales no revestidos; para velocidades mayores los canales deberán revestirse.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

En el caso del vertedero, este será excavado con pendientes de los taludes máximas V : H = 1.0 : 1.0.

3.10.4. Muros de Contención

El empuje de suelo que actúa horizontalmente sobre muros de contención podrá calcularse utilizando un coeficiente de empuje activo igual a 0.24 y un peso unitario del relleno de 2.0 t/m^3, considerando que el material detrás del muro es una grava arenosa. El material de relleno será compactado en capas de 25 cm sueltos, mediante a lo menos 6 pasadas de placa por punto, peso estático mínimo 150 kg.

El empuje estático se puede expresar a través de la siguiente relación:

$$\sigma_h = 0.48\ z + 0.24\ q_S$$

σ_h = presión horizontal sobre el muro en t/m^2.

z = profundidad a la cual se desea determinar σ_h, en m.

q_s = sobrecarga que podría existir a nivel del terreno, en t/m^2

La presión anterior es válida para el caso estático a largo plazo. En la eventualidad de la ocurrencia de un sismo, se deberá agregar a la presión estática permanente del caso activo, un aumento sísmico de acuerdo a una ley de triángulo invertido

$$\Delta\sigma_{hsis} = 0.35\ (H - Z)$$

donde:

$\Delta\sigma_{hsis}$ = incremento del empuje activo debido al sismo, en t/m^2.

H = altura enterrada del muro en m.

z = profundidad medida desde la superficie del terreno hasta el punto donde se desea evaluar $\Delta\sigma_{hsis}$, en m.

El empuje pasivo de suelo, por el lado anterior del muro, se obtendrá considerando un coeficiente de empuje pasivo de 2.0 y peso unitario del suelo de 1.00 ton/m^3. Lo anterior se puede expresar a través de la siguiente relación:

$$\sigma_{hp} = 2.0\ z_p$$

donde:

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

σ_{hp} = presión horizontal pasiva sobre el muro en t/m^2.

z_p = profundidad a la cual se desea determinar σ_{hp}, en m.

El factor de seguridad mínimo del muro de contención será de 1.5, tanto para volcamiento como para deslizamiento. Se considerará una fricción en la base del muro (interfaz suelo natural – hormigón) de 1.0 t/m^2.

Todos los muros de contención llevarán barbacanas para evitar el empuje de agua sobre ellos. Estas barbacanas serán tubos de 2” ubicados en un reticulado de 1.5 m de lado. En el extremo interior de cada tubo se colocará un trozo de geotextil TAA <0.30 mm ó similar, para evitar el escape de finos.

En el caso de producirse sobre excavaciones a nivel de sello de fundaciones, estas se rellenarán con hormigón pobre de 85 kg (2 bolsas) de cemento por metro cúbico de mezcla. Se podrá utilizar hasta un 20% de bolón desplazador en el hormigón pobre.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

4. DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS Y ORGANIZACIONES DE USUARIOS

4.1. DERECHOS CONSTITUIDOS

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 m³. A nivel mensual los caudales de referencia para los derechos permanentes y eventuales son los indicados en el Cuadro 4.1-1.

CUADRO 4.1-1
CAUDALES DE REFERENCIA
DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS
RIO HUEDQUE

Mes	Ejercicio permanente (m³/s)	Ejercicio eventual (m³/s)
ABR	0,05	0,90
MAY	0,02	26,30
JUN	1,10	29,80
JUL	4,50	27,40
AGO	3,30	15,80
SEP	1,50	12,80
OCT	0,50	6,50
NOV	0,09	4,90
DIC	0,10	1,00
ENE	0,00	0,30
FEB	0,00	0,20
MAR	0,03	0,20

Fuente: Dirección General de Aguas (2009).

Según la resolución, las aguas se captaran gravitacionalmentedesde ambas riberas del cauce, a 600 m aprox. aguas debajo 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[1].

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Junto con los caudales anteriores, se deben dejar pasar aguas abajo del punto de captación el caudal necesario para preservar el equilibrio ecológico del lugar, el que no podrá ser inferior al indicado en la distribución mensual presentada en el Cuadro 4.1-2.

CUADRO 4.1-2
CAUDAL ECOLÓGICO RIO HUEDQUE

Q	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
l/s	82	89	502	646	646	646	646	376	177	91	22	68

Fuente: Dirección General de Aguas (2009).

Además, en el área de estudio existen derechos constituidos en cauces afluentes, tales como los esteros Coronel y Pichihuedque, pero por montos muy bajos y de carácter eventual.

Finalmente existen derechos de aguas subterráneas constituidos, tanto por el procedimiento convencional como también por el artículo 4º transitorio de código de aguas. Al igual que los derechos antes mencionados, estos recursos abastecen pequeños parches en el valle.

4.2. ORGANIZACIONES DE USUARIOS Y FACTIBILIDAD LEGAL

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.

Se tiene contemplado que el traspaso de las obras a los regantes y los correspondientes derechos de aprovechamiento se efectúen de acuerdo a lo estipulado en el DFL 1123, de 1983 y sus modificaciones.

Para este efecto, 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 y de los correspondientes derechos de agua. De esta forma, la organización de usuarios de las aguas del embalse Huedque tendrá como objetivo operar el embalse, distribuir las aguas reguladas de acuerdo con los derechos, operara los canales matrices y velar por la seguridad y mantención de las obras, sin perjuicio de otras labores que le correspondan de acuerdo al Código de Aguas.

Con respecto a los terrenos que serán utilizados por las obras de embalse, zona de inundación, como también de la faja para los nuevos canales natrices, en este momento son privados, perteneciendo a varios propietarios, por lo que deben ser expropiados, de acuerdo con la Ley General de Expropiaciones Nº27.117.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Por lo tanto, se estima que este proyecto tiene factibilidad legal para su implementación, toda vez que además, se ha observado una buena disposición hacia el proyecto por parte de los potenciales beneficiados y propietarios de terrenos a ser expropiados.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

5. ESTUDIO HIDROLÓGICO

A continuación se presenta el estudio hidrológico para el proyecto de embalse Huedque. Para ello, se estimaron precipitaciones medias mensuales y máximas en 24 hrs. Se realizó el relleno y extensión de la información pluviométrica a nivel mensual, preservando los estadígrafos originales de cada estación con el fin de obtener una serie lo más extensa y representativa posible. La precipitación máxima en 24 hrs se obtuvo de estaciones con registro a nivel diario, y se corrigió por un factor obtenido de las isoyetas del Estudio de Precipitaciones Máximas en 24 hrs, DGA. También se realizó una recopilación de información fluviométrica, tanto de caudales medios mensuales como de caudales máximos instantáneos. Para la estimación del recurso medio mensual en la zona se aplicó un modelo hidrológico concentrado, GR2M, cuyos parámetros fueron calibrados para la estación fluviométrica más cercana. Los caudales máximos instantáneos se obtuvieron mediante formulas empíricas (Racional, Verni-King y DGA-AC).

Por último se realizó una estimación de las tasas de sedimento y el volumen muerto para la zona de estudio, comparando mediante resultados obtenidos por estudios regionales.

5.1. PLUVIOMETRÍA

Se recopiló información de precipitaciones medias mensuales y máximas en 24 hrs. En el Cuadro 5.1-1 se muestran las estaciones con información. En la Figura 5.1-1 se muestra la ubicación y la zona de estudio.

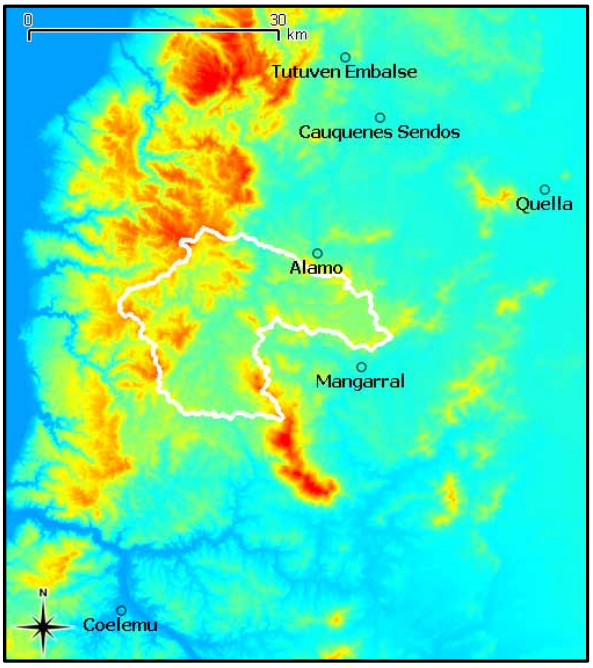
CUADRO 5.1-1
ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS

Código	Estación	Norte	Este	Información
08141002-K	Coelemu	167776	5954847	Pp Mensual/PpMax24
08142001-7	Mangarral	197094	5984744	Pp Mensual/PpMax24
07335004-2	Quella	219468	6005961	Pp Mensual
07336003-K	El Alamo	191500	5998438	Pp Mensual
07337002-7	Tutuven Embalse	195358	6021970	Pp Mensual
DMC	Cauquenes Sendos	199794	6014062	Pp Mensual

Fuente: Elaboración Propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 5.1-1
UBICACIÓN ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS



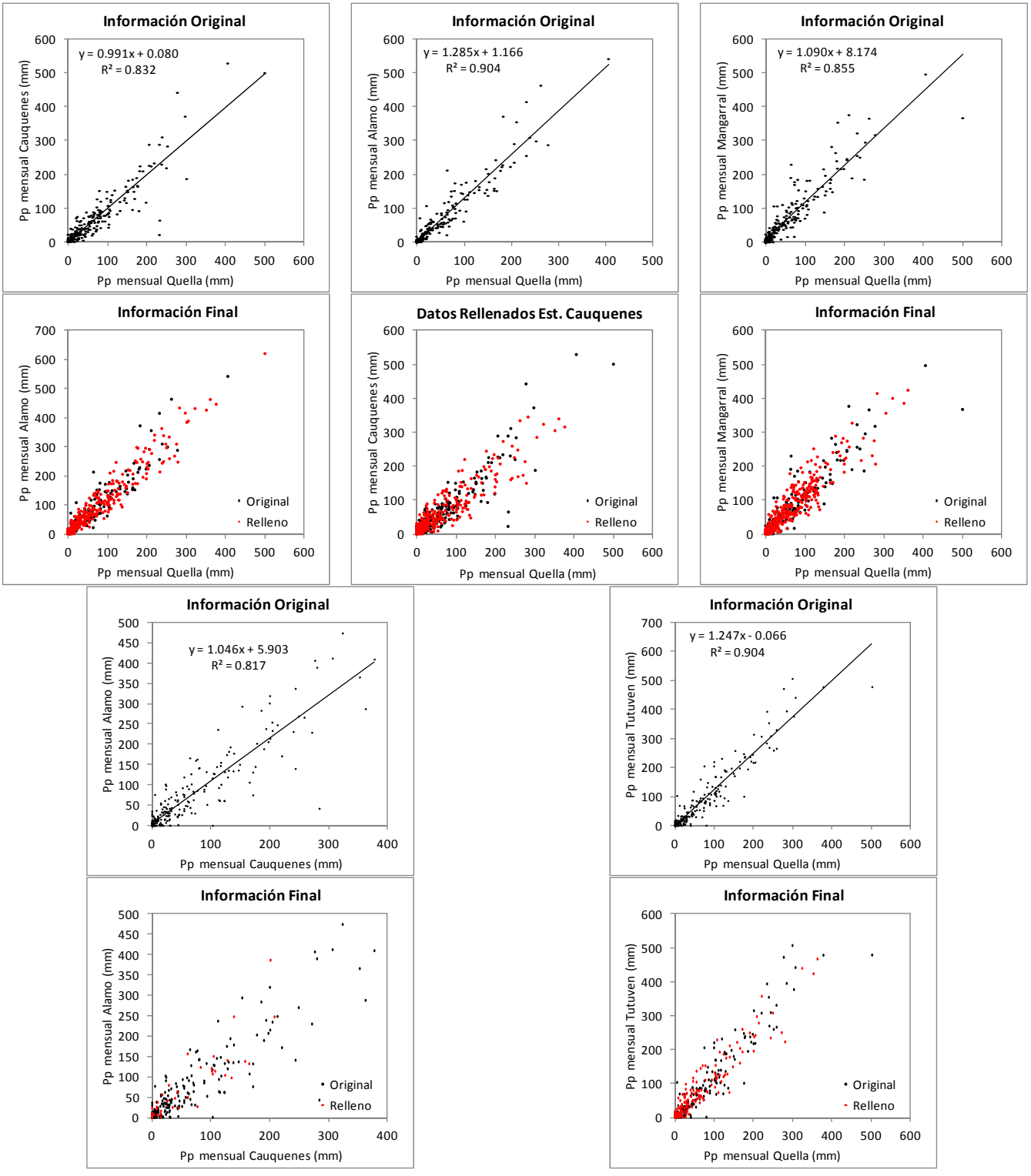
Fuente: Elaboración Propia

Las series de precipitación mensual se rellenaron y extendieron, con tal de obtener una mejor estimación de los estadígrafos de largo plazo en cada estación. Este relleno se realizó utilizando la siguiente expresión:

Donde α representa la pendiente del ajuste lineal entre los registros mensuales de la estación incompleta, P_{EI}, y la estación base, P_{EB}. R^2 representa el coeficiente de regresión entre ambas series, ε es una variable aleatoria normal estándar, y S_y representa la desviación estándar de la serie original. El término se agregó con el fin de evitar una distorsión de las varianza de la serie rellenada. Al no considerar este último término todos los valores rellenado o extendidos se ubican sobre la recta de estimación lineal entre la estación incompleta y la estación base, con lo que disminuye la varianza de la variable estimada. La estación base, P_{EB}, se escogió con el fin de extender lo más posible la serie a rellenar. El coeficiente de correlación mínimo aceptado corresponde a 0,800. La estación base para rellenar las estaciones correspondió a la Estación Quella, salvo para la Estación Álamo, que se rellenó con la Estación Cauquenes. En el Anexo D.5-1 se muestra el relleno de las estaciones, en la Figura 5.1-2 se muestra el ajuste del relleno de todos los estaciones. En el Cuadro 5.1-2 se presenta una comparación de los estadísticos de las serie de precipitación anual original y rellenada.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 5.1-2
CORRELACIÓN PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL



Fuente: Elaboración Propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 5.1-2
EXTENSIÓN Y RELLENO DE INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA

	PpMedia (mm)		Desviación (mm)		
	Original	Rellenada	Original	Rellenada	R2
Cauquenes	73.1	57.3	85.0	74.7	0.832
Alamo	69.0	74.4	91.8	95.7	0.904
Mangarral	67.9	72.7	87.2	81.5	0.855
Coelemu	67.4	75.5	91.4	90.4	0.817
Tutuven	76.8	74.4	104.1	99.6	0.904

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, se rellenaron y extendieron los registros de precipitación mensual. En el Cuadro 5.1-3 se muestra el diagrama de barra asociado a las estaciones pluviométricas.

CUADRO 5.1-3
DIAGRAMA DE BARRA INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA

Codigo	Estación	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
08141002-K	COELEMU		0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
08142001-7	MANGARRAL		0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
07335004-2	QUELLA		0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
07336003-K	EL ALAMO		0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
07337002-7	TUTUVEN EMBALSE		0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
DMC	CAUQUENES SENDOS		0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Codigo	Estación	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
08141002-K	COELEMU	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
08142001-7	MANGARRAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
07335004-2	QUELLA	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	π
07336003-K	EL ALAMO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
07337002-7	TUTUVEN EMBALSE	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
DMC	CAUQUENES SENDOS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	π

Leyenda: Rojo: Año con Relleno, Negro: Original														
X	=	12		π	>	10		Δ	>	7		0	<	7

Fuente: Elaboración Propia

5.1.1. Precipitación Media

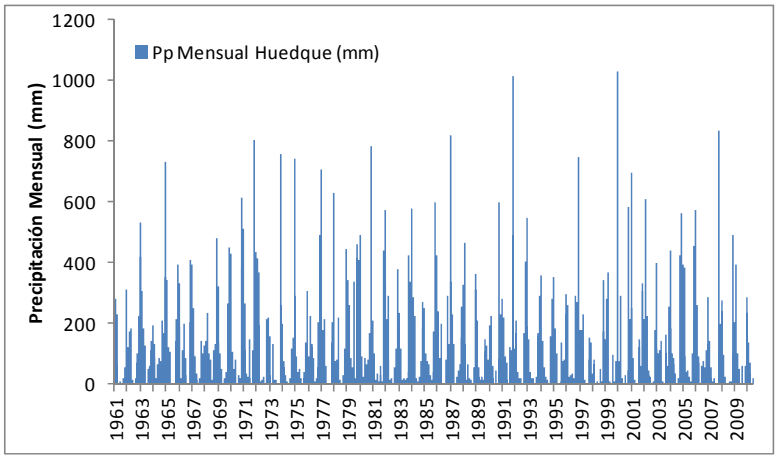
La precipitación media representativa de la cuenca se obtuvo considerando el promedio de las tres estaciones más cercanas, El Alamo, Tutuven y Cauquenes, corregida por un factor que considere el gradiente de precipitaciones de la zona, este factor se obtuvo de la siguiente forma:

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

$$F.C. = \frac{Pp_{CentroGravedad(250\ msnm)}}{Pp_{Promedio(Hueque,Tutuven,Cauquenes)}} = \frac{104}{69} = 1{,}9$$

Este factor permite corregir e incluir el efecto orográfico, al considerar el promedio de las precipitaciones. En la Figura 5.1.1-1 se muestran las precipitaciones mensuales representativas de Huedque. Se estimó una precipitación media de 131 mm y una desviación estándar de 161 mm.

FIGURA 5.1.1-1
PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL HUEDQUE



Fuente: Elaboración Propia

5.1.2. Precipitación Máxima en 24 Horas

Como primer antecedente se consideró la información proporcionada por las isoyetas máximas en 24 hrs de la Dirección General de Aguas. En la Figura 5.1.2-1 se muestran las isoyetas de la zona de estudio. En el Cuadro 5.1.2-1 se muestra el cálculo de las precipitaciones máximas.

Se realizó un análisis de frecuencia de las precipitaciones máximas en 24 hrs de la Estación Pluviométrica Coelemu. En la Figura 5.1.2-2 se muestra el mejor ajuste obtenido, mediante la función log-normal, obtenido en el programa de análisis estadístico hidrológico, SAFARHY.

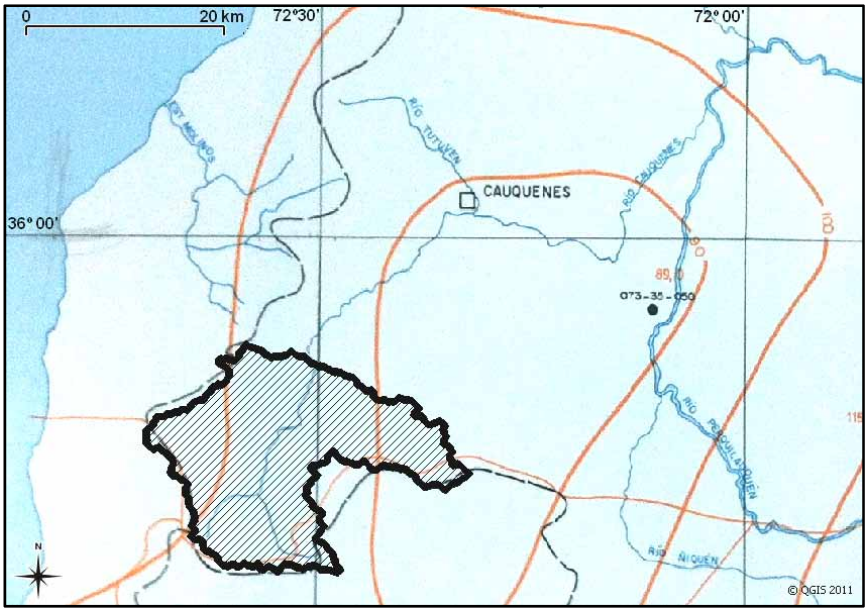
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 5.1.2-1
PRECIPITACIÓN MÁXIMA HUEDQUE

Área (km2)	Pp (mm)	%ATotal	PpMax24hrs (mm)
63,0	100	17%	16,7
265,7	95	70%	66,8
49,3	90	13%	11,7
378,0		Total	95,2

Fuente: Elaboración Propia

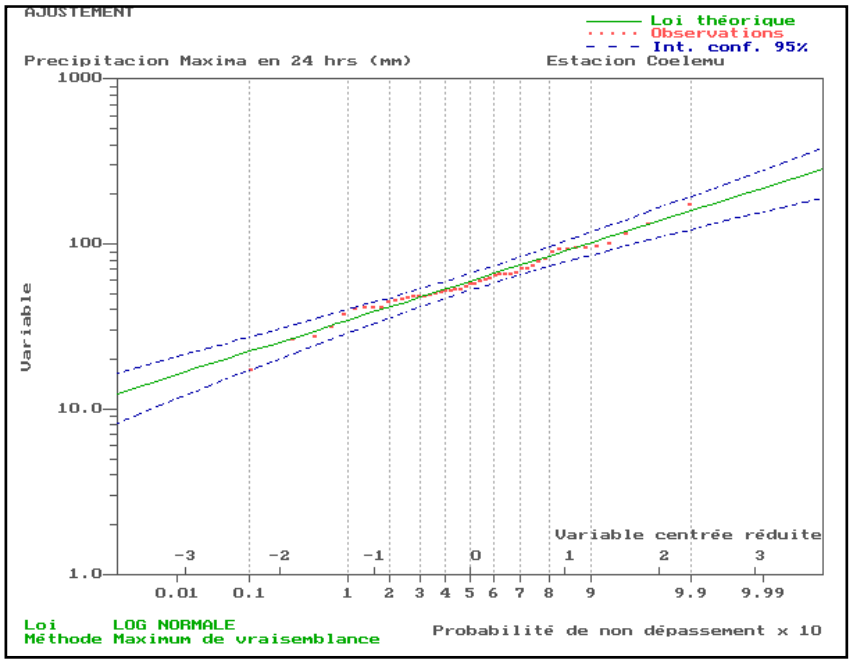
FIGURA 5.1.2-1
PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HRS T=10 AÑOS EN HUEDQUE



Fuente: Elaboración Propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

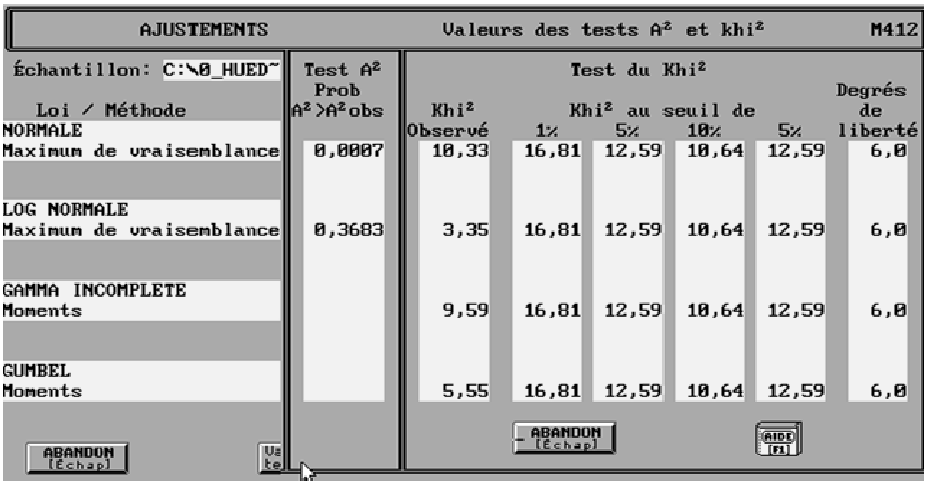
FIGURA 5.1.2-2
AJUSTE DE FRECUENCIA LOG-NORMAL



Fuente: Elaboración Propia

El test de bondad de ajuste utilizado fue el test Xi^2. En la Figura 5.1.2-3 se muestran los resultados de este indicador, en el que se observa que el ajuste log normal alcanza el menor valor observado con respecto al valor teórico, por lo que representa un mejor ajuste.

FIGURA 5.1.2-3
TEST CHI^2



Fuente: Elaboración Propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

De esta manera se obtuvo el valor de precipitación máxima en 24 hrs asociado a T=10 años en la Estación Coelemu, con lo que se pudo estimar un F.C. para considerar representativo de la precipitación asociada a Huedque. En el Cuadro 5.1.2-2 se muestra el factor de corrección, mientras que en el Cuadro 5.1.2-3 se muestran los valores de precipitación asociados a la cuenca Huedque.

CUADRO 5.1.2-2
FACTOR CORRECCIÓN HUEDQUE

Estación	$Pp_{Max24hrs}$(mm)
Coelemu	98.7
Huedque	95.2
F.C.	0.965

Fuente: Elaboración Propia

CUADRO 5.1.2-3
PRECIPITACIÓN MÁXIMA HUEDQUE

T años	P24 (mm)	T años	P24(mm)
2	57	50	136
5	82	100	153
10	98	200	170
15	108	500	193
20	115	1000	211
25	120	10000	274

Fuente: Elaboración Propia

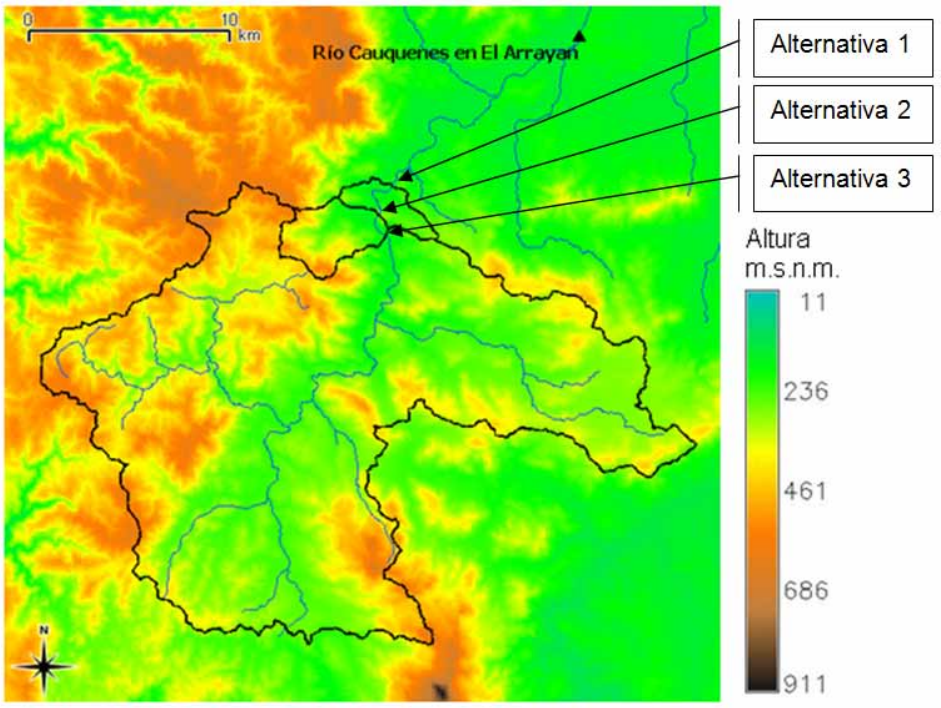
5.2. FLUVIOMETRÍA

5.2.1. Series de Caudales Medios Mensuales por Alternativa

Para generar la estadística asociada a las Alternativas 1, 2 y 3 se utilizaron los parámetros calibrados en el modelo GR2M, Capacidad de Almacenamiento, X_1 = 796 mm, y Coeficiente de intercambio subterráneo, X_2=0,51. Con estos parámetros se obtuvo la estadística de caudales representativas para cada punto. En la Figura 5.2.1-1 se muestran las cuencas aportantes asociadas a cada alternativa.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 5.2.1-1
CUENCA APORTANTE ASOCIADA A CADA ALTERNATIVAS



Fuente: Elaboración Propia

Entre las distintas alternativas se observa que no existen brazos importantes que impliquen una diferencia de caudales importante entre los distintos puntos, y que el aporte que se recibe a través del cauce corresponde a aportes difusos de las cuencas intermedias que pueden ser estimados mediante trasposición de áreas. El modelo GR2M entrega una producción de escorrentía a nivel de cuenca que se aplica a la Alternativa 2, sin embargo se puede considerar que las Alternativas 1 y 3 poseen características homogéneas de uso y tipo de suelo. De esta forma con la estadística de caudales generada para la Alternativa 2, se procede a generar la serie para las Alternativas 1 y 3 mediante trasposición de caudales, tal como aparece en el Cuadro 5.2.1-1.

CUADRO 5.2.1-1
FACTOR DE TRASPOSICIÓN DE CAUDALES PARA LAS DISTINTAS ALTERNATIVAS

Alternativa	Área aportante (KM^2)	Factor Trasposición
1	363,2	0,97
2	376,3	1,00
3	382,9	1,02

Fuente: Elaboración Propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Se considera válido este factor debido a la similitud en la producción de escorrentía de las distintas cuencas, ya que no existen cambios importantes entre un tipo ni uso de suelo entre los diferentes puntos aportantes. La serie generada para cada alternativa se muestra en el Anexo D.5-2 Serie Caudales.

CUADRO 5.2.1-2
CAUDAL PARA ALTERNATIVA 1 DE EMBALSE (m^3/s)

	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Anual
Q_{medio}	0,53	6,19	12,16	16,24	11,54	6,82	3,15	1,44	0,43	0,13	0,17	0,08	4,91
Desv,	2,09	10,35	11,10	11,13	7,27	4,15	2,53	1,31	0,27	0,09	0,64	0,16	2,26
Max	12,08	44,15	39,36	42,77	34,32	18,37	10,39	5,59	0,99	0,48	3,70	0,80	9,05
Min	0,00	0,01	0,21	0,98	1,50	1,41	0,40	0,15	0,04	0,01	0,00	0,00	0,54

Fuente: Elaboración Propia

CUADRO 5.2.1-3
CAUDAL PARA ALTERNATIVA 2 DE EMBALSE (m^3/s)

	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Anual
Q_{medio}	0,55	6,38	12,53	16,74	11,90	7,04	3,24	1,48	0,44	0,13	0,17	0,08	5,06
Desv,	2,15	10,67	11,44	11,47	7,49	4,28	2,61	1,35	0,28	0,09	0,66	0,17	2,33
Max	12,46	45,52	40,57	44,10	35,38	18,94	10,71	5,76	1,02	0,49	3,82	0,83	9,33
Min	0,00	0,01	0,21	1,01	1,55	1,45	0,41	0,16	0,04	0,01	0,00	0,00	0,56

Fuente: Elaboración Propia

CUADRO 5.2.1-4
CAUDAL PARA ALTERNATIVA 3 DE EMBALSE (m^3/s)

	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Anual
Q_{medio}	0,56	6,51	12,78	17,08	12,14	7,18	3,31	1,51	0,45	0,14	0,17	0,09	5,16
Desv,	2,20	10,89	11,67	11,70	7,64	4,36	2,66	1,38	0,29	0,09	0,67	0,17	2,38
Max	12,71	46,43	41,39	44,98	36,09	19,32	10,93	5,87	1,04	0,50	3,90	0,85	9,52
Min	0,00	0,01	0,22	1,03	1,58	1,48	0,42	0,16	0,05	0,01	0,00	0,00	0,57

Fuente: Elaboración Propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

5.2.2. Crecidas Máximas

En este acápite se muestran los resultados obtenidos mediante el análisis de frecuencia de la estación fluviométrica más cercana, del Hidrograma Unitario. Finalmente se adoptan los valores de caudal máximo asociado a cada periodo de retorno.

5.2.2.1. Análisis de Frecuencia

La estación fluviométrica Río Cauquenes en Arrayan presenta registros de caudales máximos instantáneos. El área de la cuenca que drena hasta la estación fluviométrica es de 658 km^2, mientras que para la Alternativa 2 de embalse corresponde a 376 km2, por lo se corrigen los valores registrados en esta estación por un factor de áreas igual 376/658 = 0,57 para considerar representativos estos caudales máximos del área de estudio. En el Cuadro 5.2.2.1-1 se muestran los caudales máximos instantáneos representativos de la ubicación de la zona de embalse.

CUADRO 5.2.2.1-1
SERIE DE CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS (m^3/s)

Año	Mes	Caudal Máximo Estación Río Cauquenes en Arrayan	Caudal Máximo en zona de alternativas de embalse
1987	7	722	413
1988	7	589	337
1989	7	304	174
1990	8	71	40
1991	5	258	147
1992	5	636	364
1993	6	256	147
1994	10	309	177
1995	7	176	101
1996	7	117	67
1997	6	509	291
1998	9	11	6
1999	9	399	228
2000	6	1032	590
2001	7	673	385
2002	8	927	530
2003	7	76	43
2004	7	264	151
2005	6	845	483
2006	7	1286	735
2007	8	41	23
2008	8	322	184
2009	7	186	106
2010	8	76	43

Fuente: Elaboración Propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

En el Anexo D.5-3 Ajuste de Frecuencia de Caudales Máximos se realizó el ajuste de las distribuciones de frecuencia más utilizadas para este tipo de estudios. En el Cuadro 5.2.2.1-2 se muestran los resultados del test de bondad de ajuste χ^2.

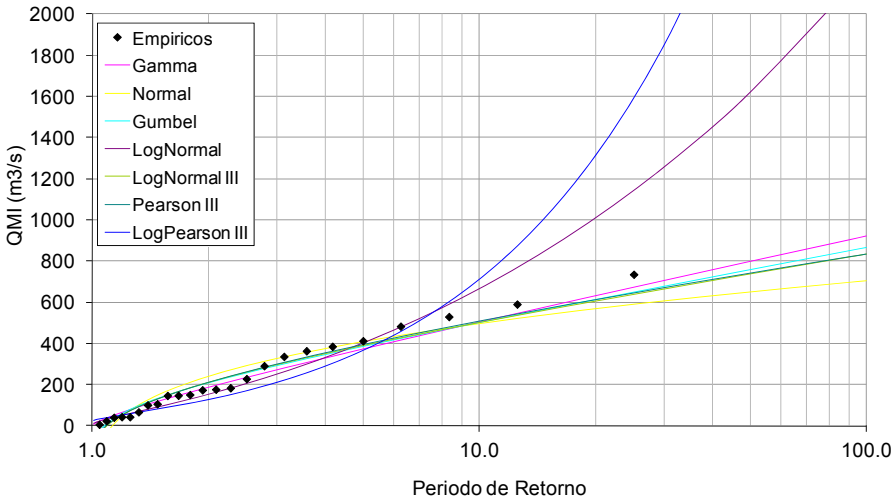
CUADRO 5.2.2.1-2
TEST DE BONDAD DE AJUSTE χ^2

Distribución	χ^2
Normal	22,0
Gumbel	12,1
Pearson III	12,0
LogNormal	10,0
LogNormal III	12,7
Gamma	8,9
Estadístico de Tabla	19,6

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 5.2.2.1-1 se muestra el ajuste para las distintas distribuciones de frecuencia analizadas. En el Cuadro 5.2.2.1-3 aparecen los caudales máximos instantáneos calculados para diferentes periodos de retorno al seleccionar la distribución Gamma, como la distribución de mejor ajuste.

FIGURA 5.2.2.1-1
CAUDAL PARA ALTERNATIVA 3 DE EMBALSE (m^3/s)



Fuente: Elaboración Propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 5.2.2.1-3
CAUDAL PARA ALTERNATIVA 3 DE EMBALSE (m^3/s)

T (años)	Q_{Max}	T (años)	Q_{Max}
2	188	50	798
5	373	100	922
10	504	200	1044
15	579	500	1205
20	632	1000	1326
25	673	10000	1724

Fuente: Elaboración Propia

5.2.2.2. Hidrograma Unitario

Esta metodología estima los caudales peak mediante el uso de Hidrograma Unitario Sintético (HUS), que considera un hidrograma unitario adimensional y posteriormente distribuye la precipitación para distintos periodos de retorno de acuerdo a los hietogramas propuestos por Espíldora y Echaverría, 1979. La precipitación de diseño corresponde a la precipitación máxima en 24 h para distintos períodos de retorno, con duración variable.

Se utilizó el hidrograma unitario sintético de Linsley estándar, donde se consideran las siguientes expresiones, para una duración de exceso de lluvia dada:

Tiempo al peak:

$$t_p = C_t \left(\frac{L_C * L_G}{\sqrt{S}} \right)^{nt}$$

Tiempo precipitación unitaria:

$$t_u = \frac{t_p}{5{,}5}$$

Caudal Peak:

$$\mathrm{q_p} = \mathrm{C_p t_p^{n_p}}$$

Tiempo Base:

$$\mathrm{T_B} = \mathrm{C_B t_p^{n_b}}$$

Tiempo al Peak corregido:

$$\grave{t_p} = t_p + \frac{t_r - t_u}{4}$$

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Donde:

= duración de la lluvia unitaria (h)

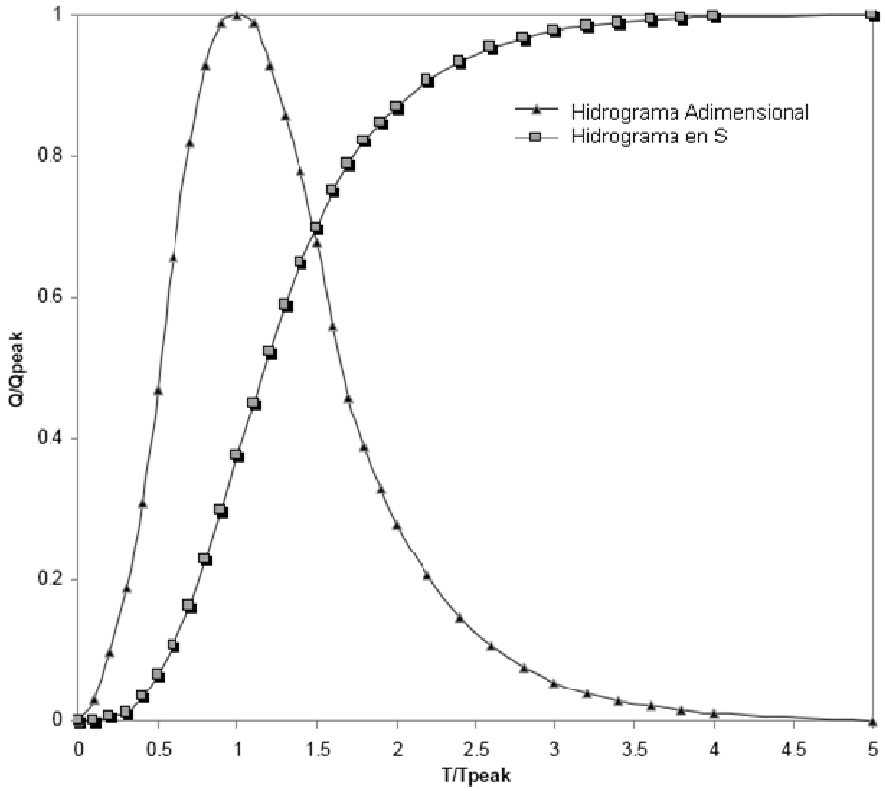
=Tiempo de retardo o tiempo transcurrido entre el centro de gravedad de la lluvia efectiva y el pico del hidrograma de escorrentía directa (h)

=Tiempo base del hidrograma (h)

=Caudal peak del hidrograma (L/s/km^2)

La Figura 5.2.2.2-1 presenta el hidrograma unitario adimensional definido para una cuenca ideal según el SCS.

FIGURA 5.2.2.2-1
HIDROGRAMA ADIMENSIONAL SCS



Fuente: SCS, 1979.

Los parámetros que definen el hidrograma han sido considerados en base al estudio de Arteaga y Benítez (1986) y son los que se presentan en el Cuadro 5.2.2.2-1.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 5.2.2.2-1
PARÁMETROS DE HIDROGRAMA UNITARIO

Parámetro	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Ct	0,324	0,584	1,351
nt	0,421	0,327	0,237
Cp	140,014	522,514	172,775
np	-0,784	-1,511	-0,835
CB	5,043	1,822	5,428
nB	0,8442	1,412	0,717

Fuente: Arteaga y Benítez (1986)

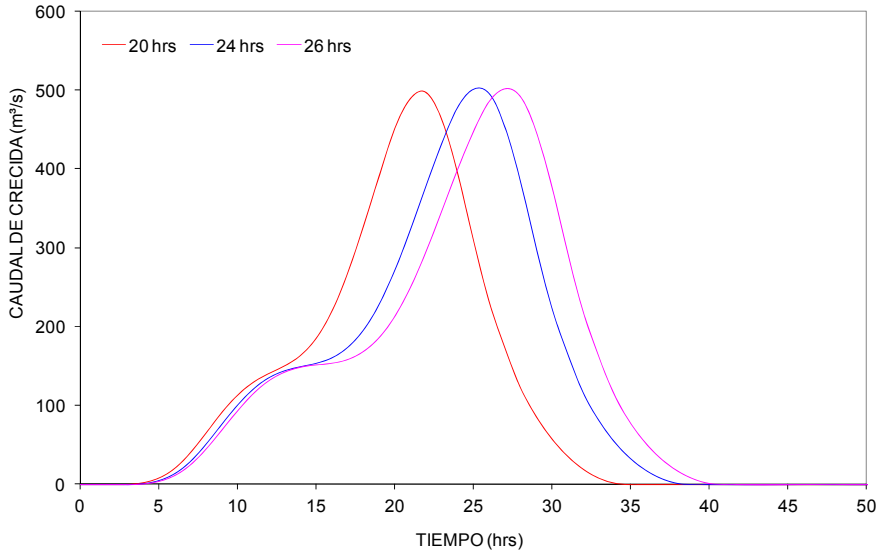
Zona 1: Regiones III a VI; Zona 2: VII Región; Zona 3: Regiones VIII a X

Los parámetros de diseño corresponden a los de la Zona 2. Para la correcta aplicación de este método es necesario seleccionar el valor más apropiado de la Curva Numero para obtener la precipitación efectiva asociada a cada crecida de diseño. La distribución de la precipitación se realizó mediante las curvas propuestas por Espíldora y Echaverría (1979), en las que se analizaron lluvias para distintas duraciones y se obtuvieron 3 distribuciones tipo (adelantada, centrada y atrasada). Al probar estas tres distribuciones y seleccionar la más desfavorable se adoptó la CN (II) = 73, en condición normal, y para condición húmeda un valor de CN(III) = 86. Esta selección se basa en lo propuesto en las curvas utilizadas en el estudio “Consultoría DEP-001, Análisis Riego Zonas Costeras VI, VII, VIII y IX Regiones, realizado por CEDEC para la Dirección de Riego, 1992”.

La duración más desfavorable de precipitación y el grupo de distribución de la lluvia de diseño se realizó para el periodo de retorno de 2 años. Se obtuvo una duración de precipitación desfavorable de 26 hrs y la distribución de Espíldora y Echeverría asociada al Grupo III. En la Figura 5.2.2.2-2 se muestran los hidrogramas maximizados para diferentes duraciones de tormenta. En la Figura 5.2.2.2-3 se muestran los hidrogramas maximizados para diferentes tipos de distribución de tormenta.

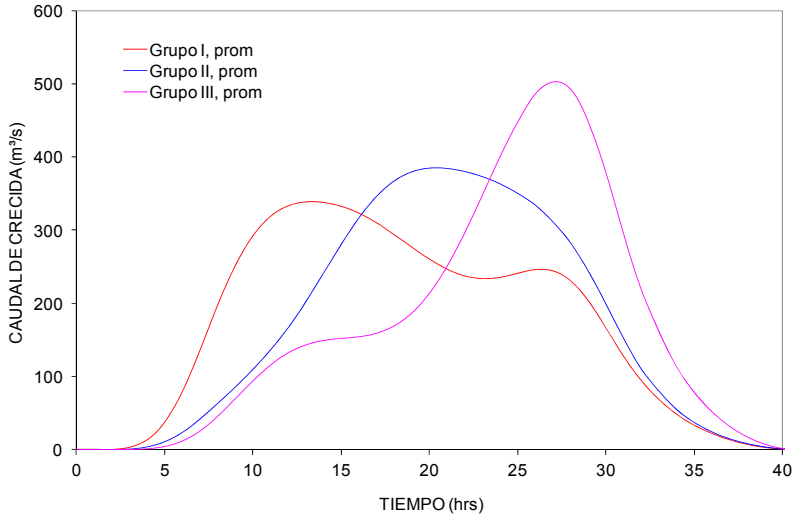
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 5.2.2.2-2
SELECCIÓN DE DURACIÓN MÁXIMA DE TORMENTA DE DISEÑO



Fuente: Elaboración Propia

FIGURA 5.2.2.2-3
SELECCIÓN DE GRUPO DE DISTRIBUCIÓN DE TORMENTA DE DISEÑO



Fuente: Elaboración Propia

Posteriormente, se generaron los hidrogramas maximizados para cada periodo de retorno. En el Cuadro 5.2.2.2-2 se muestran los caudales máximos, mientras que en la Figura 5.2.2.2-4 se muestran los hidrogramas completos. En el Anexo D.5-4 HUS aparecen los valores asociados a cada hidrograma.

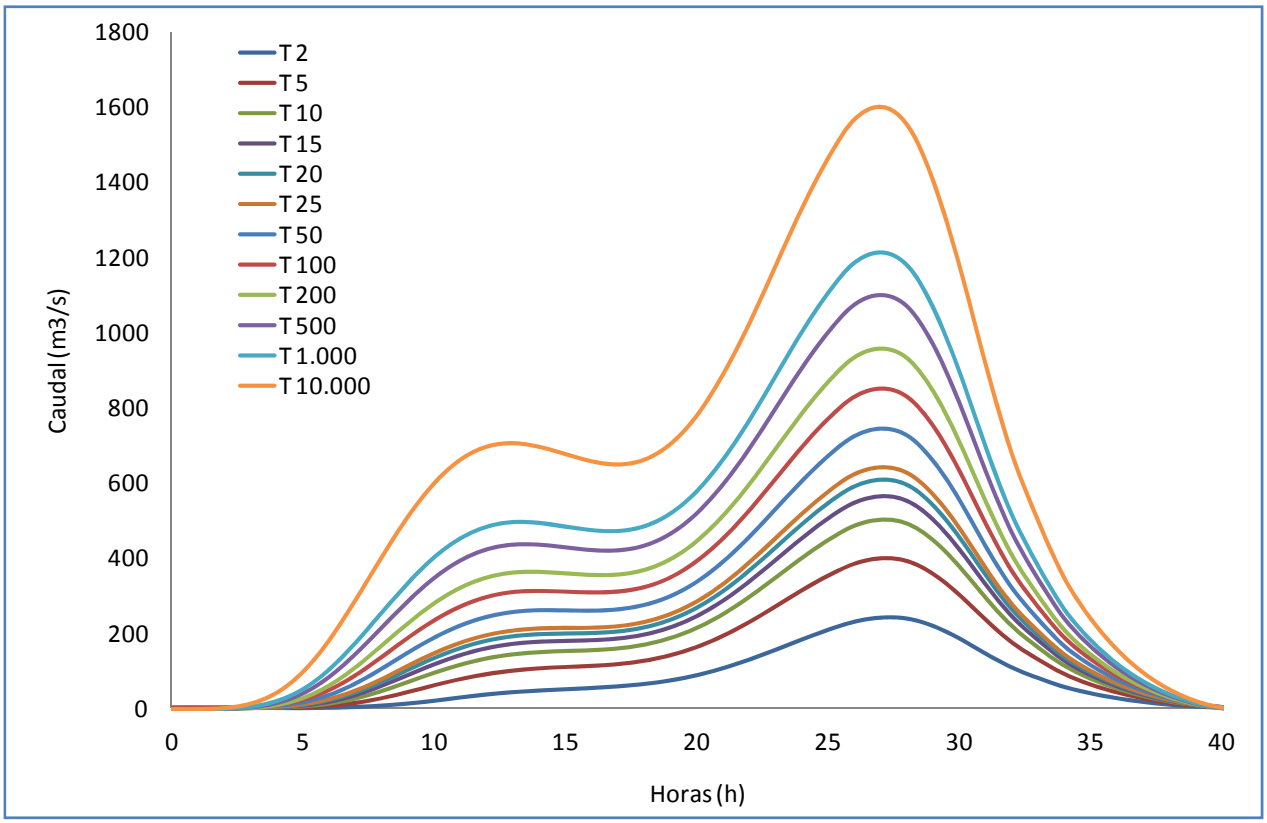
ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 5.2.2.2-2
CAUDALES MÁXIMOS SEGÚN HUS

T	Q_{Max}	T	Q_{Max}
2	243	50	742
5	400	100	849
10	502	200	956
15	565	500	1099
20	610	1.000	1211
25	641	10.000	1600

Fuente: Elaboración Propia

FIGURA 5.2.2.2-4
HIDROGRAMAS DE CRECIDA



Fuente: Elaboración Propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

5.2.2.3. Caudales Máximos Adoptados

En el Cuadro 5.2.2.3-1 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 5.2.2.3-1
CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS REPRESENTATIVOS DE LA ZONA DE UBICACIÓN DE EMBALSE

T	Racional	V.K.	DGA-AC	Análisis Frecuencia	HUS	Adoptado
año	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s
2	193	106	126	188	243	126
5	304	181	205	373	400	205
10	384	240	257	504	502	257
15	422	269	283	579	565	283
20	448	290	305	632	610	305
25	468	306	323	673	641	323
50	532	358	372	798	742	372
100	621	430	421	922	849	421
200	-	-	-	1044	956	956
500	-	-	-	1205	1099	1099
1000	-	-	-	1326	1211	1211
10000	-	-	-	1724	1600	1600

Fuente: Elaboración Propia

De esta manera se cuenta con la información de los caudales máximos instantáneos en la zona de embales, que se considera representativa para la tres alternativas de embalse en estudio.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

5.2.2.4. Precipitación Máxima Probable

La precipitación máxima probable (PMP) según la Organización Meteorológica Mundial (1983) se define como “la cantidad de precipitación cercana al límite físico superior para una duración dada sobre una cuenca”. Existen dos metodologías para obtener la PMP: Método Hidrometeorológico y Método Estadístico. La primera considera la maximización de las variables meteorológicas dentro de lo físicamente razonable, este método es altamente laborioso, ya que depende de factores complejos e inciertos, lo que puede llevar a obtener crecidas de diseño muy sobreestimadas o subestimadas (King H. y Tapia R., 2009). Entre los denominados métodos estadísticos, el más aceptado es el de Herschfield que propone la siguiente ecuación:

$$PMP = P_{pc} + S_{pc} * K_m$$

Donde:

PMP : Precipitación Máxima Probable (mm)

P_{pc}: Precipitación Media Ajustada (mm)

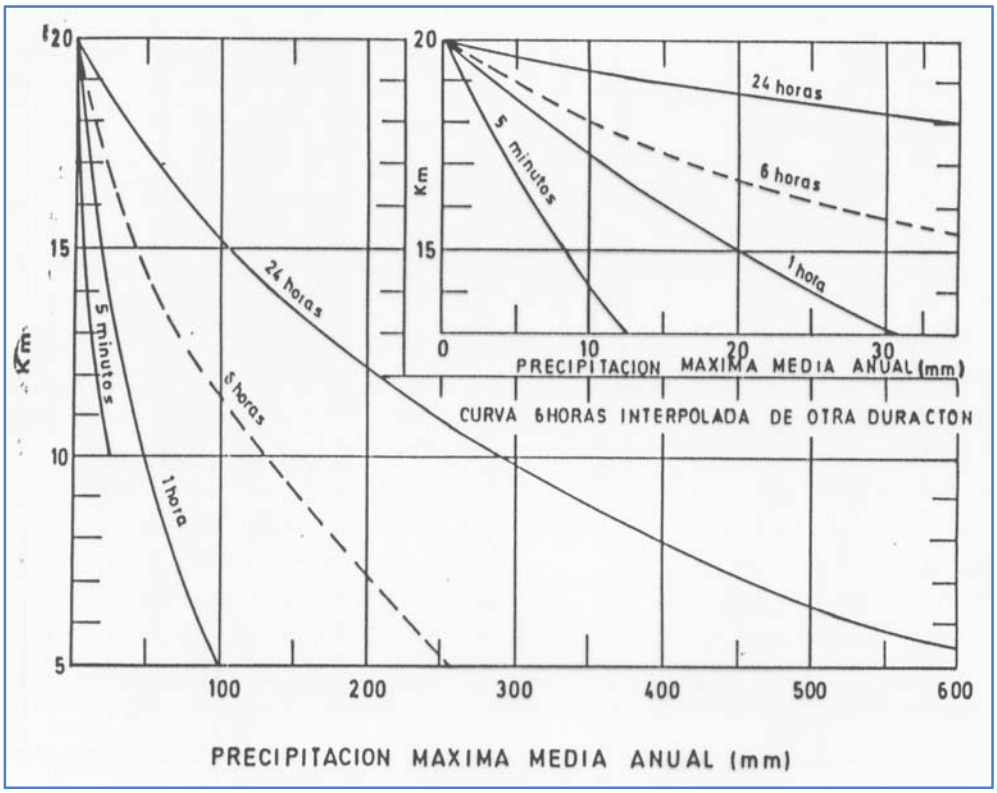
S_{pc} : Desviación estándar Ajustada

K_0 : Factor de Frecuencia Máximo

El valor de frecuencia máximo, K_0, se obtiene la Figura 5.2.2.4-1 propuesta por la Organización Meteorológica Mundial (Geneva, 1973):

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 5.2.2.4-1
COEFICIENTE DE FRECUENCIA MÁXIMO



Fuente: OMM, 2009

El ajuste de la Precipitación Media y la desviación estándar se obtiene de la siguiente forma:

$$P_{pc} = F_{X1} \cdot F_{X2} \cdot P \qquad ; \qquad S_{pc} = F_{\sigma 1} \cdot F_{\sigma 2} \cdot S$$

Donde:

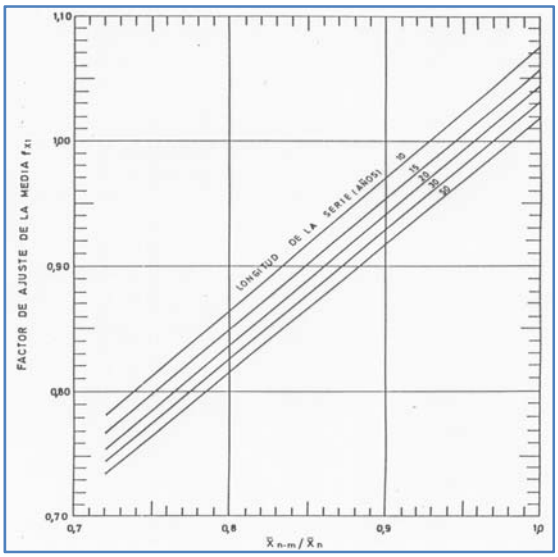
P: Valor medio de precipitación de la serie original (mm)

S: Desviación estándar de la serie original.

F_{x1}: Factor de Ajuste asociado a la relación de $Pp_{mediaSinValorMaximo}/Pp_{mediaCompleta}$ según la Figura 5.2.2.4-2:

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

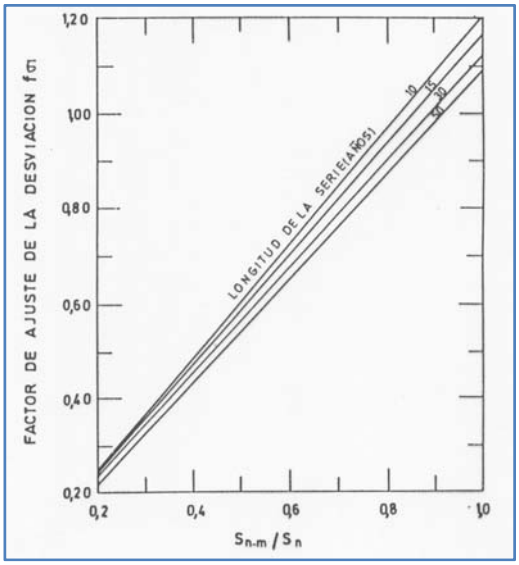
FIGURA 5.2.2.4-2
FACTOR DE CORRECCIÓN F_{X1}



Fuente: OMM, 2009

$F_{\sigma 1}$: Factor de Ajuste asociado a la relación de $\sigma_{mediaSinValorMaximo}/\sigma_{mediaCompleta}$ según la Figura 5.2.2.4-3:

FIGURA 5.2.2.4-3
FACTOR DE CORRECCIÓN FX1

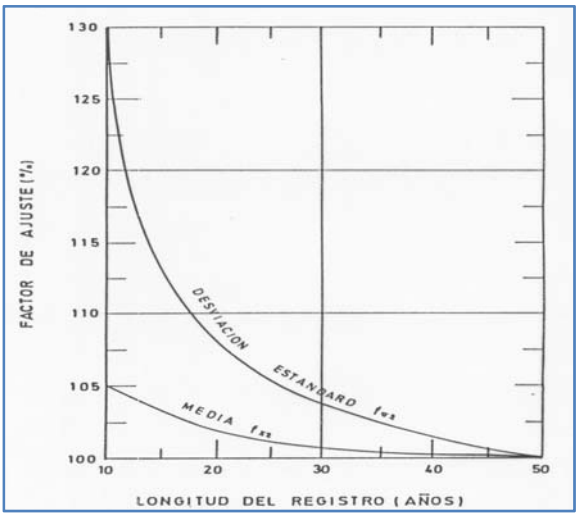


Fuente: OMM, 2009

F_{x2}: Factor de Ajuste de la media que depende de la extensión de la serie.
$F_{\sigma 2}$: Factor de Ajuste de la desviación que depende de la extensión de la serie.

La Figura 5.2.2.4-4 muestra el grafico para obtener F_{x2} y $F_{\sigma 2}$.

FIGURA 5.2.2.4-4
FACTOR DE CORRECCIÓN SEGÚN DESVIACIÓN Y MEDIA



Fuente: OMM, 2009

En el Cuadro 5.2.2.4-1 se muestra la precipitación máxima en 24 hrs en Huedque y en la estación pluviométrica Coelemu. Esta estación cuenta con un registro de 49 años, por lo que se considera representativa y útil para la aplicación de esta metodología. También se muestra el factor de corrección que se debe aplicar a los registros de la estación Coelemu para considerarlos como validos de la precipitación de la cuenca delimitada por Huedque. En el Anexo D.5-5 se muestran los cálculos de la PMP.

CUADRO 5.2.2.4-1
PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN HUEDQUE Y COELEMU

	T=10 años
Estación	**$Pp_{Max24hrs}$** mm
Coelemu Registro	99
Huedque*	95
F.C.	0,965

Fuente: Elaboración Propia

En el Cuadro 5.2.2.4-2 se muestran los parámetros estadísticos de precipitación máxima de la serie completa, y los parámetros estadísticos de la serie sin el valor máximo.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 5.2.2.4-2
PRECIPITACIÓN MEDIA MÁXIMA EN 24 HRS Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR

P	63	S	28
P n-max	60	S n-max	23

Fuente: Elaboración Propia

Con los valores del Cuadro 5.2.2.4-2 y los gráficos propuestos por la OMM se obtienen los parámetros de precipitación media ajustada y desviación estándar ajustada que se muestran en el Cuadro 5.2.2.4-3.

CUADRO 5.2.2.4-3
PARÁMETROS Y PRECIPITACIÓN MÁXIMA SIN CORREGIR

Parámetro	Valor
P_{pc}	61
S_{pc}	26
km	16,3
$PMP_{S/C}$	488

Fuente: Elaboración Propia

Este valor de precipitación se debe corregir según el número de lecturas que se realiza al día (1 lectura cada 24 hrs => F.C. = 1.13), y corrección por área (corrección por área 398 km^2 => 0.92). De esta forma se obtiene un valor de precipitación igual a 507 mm.

Si bien este valor se puede considerar como el valor máximo probable, se debe tener en cuenta que puede sobrestimar la precipitación máxima al no considerar las condiciones locales. En el trabajo presentado por Stwohas (1989) considera que un valor de frecuencia máximo para cuencas chilenas corresponde a km = 12, lo que genera un valor de precipitación máximo final corregido igual a 347 mm. Se adopta este valor, ya que considera los aspectos principales de la metodología planteada por Herschfield y toma en cuenta las condiciones locales de cuencas chilenas.

$PMP_{adoptada}$ = 347 mm

5.2.2.5. Crecida Máxima Probable (CMP)

Mediante el uso del HUS y la $PMP_{adoptada}$ se obtuvo el CMP. Este valor se puede comparar con los coeficientes K presentados en el estudio Estimación de Crecidas Máximas Probables de Origen Hidrometeorológico 2009. En el que se plantea una relación de: CMP = K * QMI (T=10.000 años). Se consideran valores de K entre 1,36 y 1,61, para diferentes

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

cuencas de Chile. Según la precipitación máxima probable adoptada el valor del caudal máximo probable: 2.048 m^3/s. En el Anexo D.5-6 se muestra el HUS para estimar la CMP.

Al comparar este valor con el caudal máximo asociado a T = 10.000 años se obtuvo un valor de K =1,28. Este valor se encuentra cercano al rango estimado para cuencas chilenas.

5.3. ESTUDIO DE SEDIMENTACIÓN

El objetivo principal de este acápite es cuantificar el Gasto Sólido Total (GST) asociado a las distintas alternativas de embalse. 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:

$$GST = GSF + GSS$$

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.

A continuación, se describen distintitos métodos para estimar ambas componentes. Finalmente se adoptó un volumen muerto que asegure un correcto funcionamiento del embalse durante el periodo de vida útil. Las distintas metodologías se aplicaron a la cuenca delimitada por la Alternativa 2 (378 km^2), sin embargo se considera como equivalente para las tres alternativas de ubicación de embalse. En Anexo D.5-7 se muestra la estimación de producción de sedimento para cada método.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

5.3.1. Estimación de Gasto Solido Suspendido

El gasto sólido suspendido que genera una cuenca se asocia a distintos factores de erosión, tales como la precipitación, el viento, los glaciares, el hielo, la gravedad, etc. Las partículas removidas son arrastradas y pueden, o no, incorporarse a algún cauce para ser transportadas a otros lugares de la cuenca mediante escurrimiento superficial; este proceso se facilita por las fuerzas asociadas al movimiento del fluido.

Las mediciones de este fenómeno se realiza mediante una estación sedimentométrica, sin embargo los datos y la ubicación de este tipo de estaciones es escaza, por lo que no siempre es posible contar con una medida directa. En la cuenca del Río Huedque no existen estaciones que permitan tener registros de este fenómeno. Es por ello, que se planteó la utilización de las siguientes expresiones empíricas:

- Formula de Perdida Universal de Suelo (USLE)
- Patrón Sedimentológico (Bzagian K., 1987)
- Producción Anual de Sedimento (Dendy Bolton, 1976)
- Metodología USBR, 1974
- Tasas Regionales

Los métodos planteados corresponden a técnicas clásicas ampliamente utilizadas para embalses de riego de similares condiciones al de este estudio, en el que se incluyen expresiones provenientes de estudios realizados en otros países o a nivel nacional. Es importante tener en cuenta que las tasas regionales y la técnica de la USBR entregan valores altos de arrastre de sedimento, por lo que solo deben ser consideradas como valores referenciales que entregan un valor máximo de producción anual.

5.3.1.1. Pérdida Universal de Suelo (USLE)

Esta expresión ha sido utilizada para estimar la pérdida de suelo que ocurre producto de la erosión de distintos eventos de precipitación en un año, y sus distintos parámetros se han calibrados y estudiado para diversas zonas. La formula general se expresa como:

$$A=R*K*LS*C*P$$

Donde:

A = Pérdida de suelo promedio anual en [t/ha/año]

R = Factor erosividad de las lluvias en [MJ/ha*cm/hr]

K = Factor erodabilidad del suelo en [ton ha h ha^{-1} Mj^{-1} cm^{-1}]

LS = Factor topográfico (función de longitud-inclinación-forma de la pendiente), adimensional.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

C = Factor ordenación de los cultivos (cubierta vegetal), adimensional.

P = Factor de prácticas de conservación (conservación de la estructura del suelo), adimensional.

Para la Cuenca de Huedque se estimaron los valores que aparecen en el Cuadro 5.3.1.1-1:

CUADRO 5.3.1.1-1
PARÁMETROS PÉRDIDA UNIVERSAL DE SUELO

Parámetro	Valor Cuenca Huedque	Unidad
R	393	[MJ/ha*cm/hr]
K	0,19	[ton ha h ha^{-1} Mj^{-1} cm^{-1}]
LS	3,40	-
C	0,28	-
P	0,50	-

Fuente: Elaboración Propia

De esta forma se estima una pérdida de suelo anual de 36,2 t/ha/año. Según la clasificación de perdida admisible de suelo obtenida del estudio “Clasificación provisional para la evaluación de la degradación de los suelos” (FAO, PNUMA y UNESCO, 1981) se puede clasificar como una zona con un grado de erosión moderada, dicha clasificación se presenta en el Cuadro 5.3.1.1-2.

CUADRO 5.3.1.1-2
CLASIFICACIÓN DE EROSIÓN DEL SUELO

Pérdida de suelo t/ha/año	Grado de Erosión
<10	Nula o ligera
10-50	Moderada
50-200	Alta
>200	Muy Alta

Fuente: FAO, 1981

Este sedimento que ocurre producto de la erosión de la lluvia no llega todo al cauce, ya que se deposita en zonas intermedias de depresión. Para estimar que cantidad de este aporte llega aguas debajo de una cuenca se utiliza el factor de proporción de desplazamiento, también conocido como “Sediment Delivery Ratio”. Este factor depende de variables muy complejas, para las cuales se han desarrollado distintos métodos físicos y modelos numéricos. Sin embargo se pude utilizar la relación planteada por Stewart et al., 1978, tal como se muestra en el Cuadro 5.3.1.1-3

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 5.3.1.1-3
PROPORCIÓN DE DESPLAZAMIENTO

Área Cuenca	Proporción de desplazamiento
km2	%
1	33
3	30
13	22
26	18
130	12
259	10
518	8

Fuente: Stewart et al., 1978

Al considerar el área de la cuenca asociada a la Alternativa 2, 378 km^2, se obtiene una proporción de 9,1%, por lo que la producción de lavado de cuenca que llega a la ubicación de embalse se estima en 3,3 ton/ha/año. En el Cuadro 5.3.1.1-4 se muestra el gasto de lavado que se estima para un periodo de 50 años.

CUADRO 5.3.1.1-4
PROPORCIÓN DE DESPLAZAMIENTO

Acuenca	ha	37.800
GL Cuenca	ton/año	124.196
Vida Útil	años	50
g	ton/m3	1,65
G.L. (másico)	ton	6.209.801
G.L. (volumétrico)	hm3	3,76

Fuente: Elaboración Propia

No es posible considerar que todo este gasto de lavado se deposita en el embalse, ya que cierta parte continua con el caudal de salida y sólo un porcentaje queda atrapado antes del muro. La eficiencia de atrape se obtiene del grafico propuesto por Garcia-Sanchez, 1997, sin embargo para ello se requiere conocer el volumen definitivo del embalse. Por lo que se estima en forma preliminar, para la evaluación de las alternativas, una eficiencia de 65 % de atrape. De esta manera el volumen muerto asociado a la ubicación de embalse corresponde a 2,26 hm^3.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

5.3.1.2. Patrón Sedimentológico (Bzagian K., 1987)

Según la investigación realizada por Bzdigian Kricor (1985) se procedió a recopilar información de 15 estaciones sedimentológicas ubicadas en los principales ríos de la zona central de Chile. Se propone el siguiente modelo para la estimación de parámetros sedimentológicos:

$$G_s = A \cdot Q^B$$

Donde:

G_s = Gasto Sólido en suspensión medio mensual [Ton/día]
Q = Caudal Líquido medio mensual [m^3/seg]
A y B = son parámetros que se suponen función de los factores geomorfológicos de la cuenca.

En el Cuadro 5.3.1.2-1 se muestran las características geomorfológicas de la cuenca en estudio.

CUADRO 5.3.1.2-1
ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS

Área	km^2	378
Longitud de la Cuenca	km	27
Pendiente Media	%	15,8
Longitud del Cauce	km	75.3
Numero de Cauces	-	27
Altura Media	msnm	337

Fuente: Elaboración Propia

Se procedió a determinar mediante regresión los valores de los patrones A y B, y mediante análisis de significancia la relación existente con los diferentes factores geomorfológicos. Para obtener A y B se postula la siguiente relación:

$$A=10^k * A^a * L_c^b * S^c * S_{umcau}^d * N_{umcau}^e * H_{med}^f$$

$$B=10^{k'} * A^{a'} * L_c^{b'} * S^{c'} * S_{umcau}^{d'} * N_{umcau}^{e'} * H_{med}^{f'}$$

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Donde

k,a,b,c,d,e,f ; k',a',b',c',d',e',f' = son parámetros obtenidos por Bzdigian Kricor 1987 y que dependen del régimen hidrológico de la cuenca y de las características geomorfológicas, tal como se describen a continuación:

A=corresponde al área de la cuenca expresada en km^2.

L_c=corresponde a la longitud del cauce principal de la cuenca comenzando en las nacientes de su primer tributario y terminando en la estación de control. Se expresa en km.

S= corresponde a la pendiente media de la cuenca, calculada como la diferencia de alturas entre la cota de la naciente de su primer tributario y la cota de la estación de control, dividida por la distancia entre estos dos puntos. Se expresa en porcentaje %.

S_{umcau}= Corresponde a la suma de las longitudes de todos los cauces importantes (en este estudio se consideraron los cauces de más de 5 km. De longitud) de la cuenca. Se expresa en km.

N_{umcau}= Corresponde al número de cauces importantes (en este estudio se consideraron los cauces de más de 5 km. De longitud) de la cuenca.

H_{med}= Se calcula sumando para toda la cuenca, las aéreas comprendidas entre dos curvas de nivel consecutivas y multiplicadas por el promedio de altura entre dichas curvas, dividendo el resultado de la suma por el área de la cuenca. Se expresa en m.s.n.m. Los valores para el Patrón A se expresan en el Cuadro 5.3.1.2-2 y para el Patron B en el Cuadro 5.3.1.2-3.

Los patrones sedimentológicos asociados a la cuenca Huedque toman el valor de A = 259,1 y B = 0,019. En el Cuadro 5.3.1.2-4 se muestra el gasto solido suspendido estimado mediante la relación de patrones sedimentológicos.

CUADRO 5.3.1.2-2
EXPONENTES PARA ESTIMAR PATRÓN A

Constante (10)	k	-14,6842
Área	a	-
L Cuenca	b	0,5089
Pend.	c	2,5795
Sum L.C.	d	-5,9096
Num C.	e	9,0054
Alt.Med.	f	4,5412

Fuente: Bzdigian K., 1987

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 5.3.1.2-3
EXPONENTE PARA ESTIMAR PATRÓN B

Constante (10)	k	-1,1727
Área	a	-0,2749
L Cuenca	b	-
Pend.	c	-0,9101
Sum L.C.	d	1,3609
Num C.	e	-1,8154
Alt.Med.	f	0,5168

Fuente: Bzdigian K., 1987

CUADRO 5.3.1.2-4
GASTO SOLIDO SUSPENDIDO SEGÚN PATRONES SEDIMENTOLÓGICO

Q	5,1	m^3/s
Gs	267	ton/día
Gs	97620	ton/año
γ	1,65	ton/m^3
Vida Útil	50	años
Volumen GSS	2,95	hm^3

Fuente: Bzdigian K., 1987

5.3.1.3. Producción Anual de Sedimento (Dendy Bolton, 1976)

Los estudios de sedimentación de Dendy y Bolton analizaron más de 1500 embalses y estanques de retención. Para desarrollar el estudio de formulas empíricas se usaron más de 800 de estos embalses con una área mayor a 1 mi^2. Las cuencas con un área menor a 1 mi^2 (2,58 km^2) fueron excluidas debido a que poseen una gran variabilidad en la estimación del sedimento, reflejando diversos efectos de suelo, topografía local, vegetación, uso de suelo y prácticas agrícolas.

Para cuencas de drenajes entre 1 y 30.000 mi^2, y caudales hasta 50 in anuales. Dendy y Bolton encontraron que la producción de sedimento se relaciona de la siguiente forma:

Para Q < 2 in

$$\frac{S}{S_R} = 1.07\left(\frac{Q}{Q_R}\right)^{0.46}\left[1.43 - 0.26log\left(\frac{A}{A_R}\right)\right]$$

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Para 50 in > Q > 2 in

$$\frac{S}{S_R} = 1.19e^{-0.11(Q/Q_R)}\left[1.43 - 0.26log\left(\frac{A}{A_R}\right)\right]$$

Donde:

S = producción de sedimento anual ton/mi^2/año

Sr = producción de sedimento de una cuenca referencial, 1645 ton/mi^2/año

A = área aportante de la cuenca mi^2

Ar= área de referencia, 1 mi^2

En el Cuadro 5.3.1.3-1 se muestran los parámetros de cálculo para la metodología propuesta por Dendy Bolton. Se muestra el valor del área en km^2 y mi^2, y la producción de escorrentía anual en m^3/s y como lámina de agua en pulgadas.

CUADRO 5.3.1.3-1
PARÁMETROS PARA ESTIMAR DENDY BOLTON

Área	378	km^2	145,9	mi^2
Caudal	5,1	m^3/s	16,8	in

Fuente: Elaboración Propia

Según estos parámetros se obtiene una producción de sedimento asociada a la ubicación de embalse de 242,6 ton/km^2/año, que corresponde a 97,7 ton/año para la ubicación de embalse en Huedque. En el Cuadro 5.3.1.3-2 se muestra el gasto solido asociado a la vida útil del embalse.

CUADRO 5.3.1.3-2
PARÁMETROS PARA ESTIMAR DENDY BOLTON

Vida Útil	50	años
Vol GSS	2,98	hm^3

Fuente: Elaboración Propia

5.3.1.4. Estimación de Volumen Según Metodología USBR

La expresión propuesta por la USBR (1974), se obtuvo de correlacionar la producción de sedimento asociada a 28 cuencas de clima semiárido, tal como se muestra en la Figura 5.3.1.4-1. En el Cuadro 5.3.1.4-1 se muestra el gasto solido en términos volumétricos asociado a la zona de embalse.

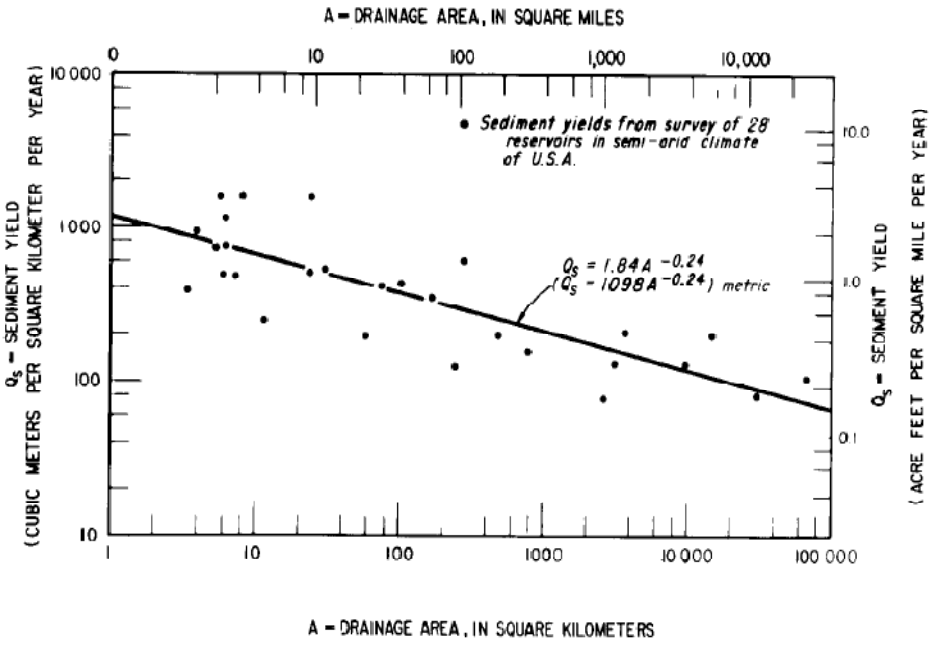
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 5.3.1.4-1
GASTO SOLIDO Y VOLUMEN MUERTO ASOCIADO A 50 AÑOS DE VIDA ÚTIL

GS por km^2	264	m3/km^2/año
GS anual	99884	m^3/año
Vida Util	50	años
Volumen Muerto	4,9	hm^3

Fuente: Elaboración Propia

FIGURA 5.3.1.4-1
PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS VS ÁREA SEGÚN USBR



Fuente: USBR, 1974

5.3.1.5. Tasas Regionales

Se consideraron tres tasas regionales, con tal de obtener valores globales de producción de sedimento. En el embalse Cogotí, IV región, se determinó una tasa de producción anual de sedimento como resultado de un estudio de sedimentación del embalse Colbún (López et al, 1993), en dichos estudios se obtuvo una tasa regional de 0,30 mm/km^2/año. Un promedio obtenido en diversas cuencas de Estados Unidos de 0,24 mm/km^2/año (Tasa US) permiten obtener una estimación del aporte en una vida útil de 50

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

años. En el Cuadro 5.3.1.5-1 se muestra el volumen asociado a distintas tasas para una cuenca de 378 km^2.

CUADRO 5.3.1.5-1
VOLUMEN MUERTO SEGÚN TASAS REGIONALES

Tasa Regional $mm/km^2/año$	Volumen Muerto hm^3
0,30	5,6
0,24	4,5

Fuente: Elaboración Propia

Estas tasas regionales son representativas de cuencas con alto arrastre de sedimentos ubicadas en el sector andino. Por lo que solo se pueden considerar como un valor referencial de un volumen máximo de cuencas regionales con mayor poder de arrastre.

5.3.1.6. Estimación Indirecta Relación GSS/GSF

La estimación del gasto de arrastre de fondo se realiza mediante la relación que existe entre el gasto solido suspendido y el gasto de arrastre de fondo (GSS/GSF). En el Cuadro 5.3.1.6-1 se muestra la relación que existe para diferentes cuencas según diferentes estudios.

CUADRO 5.3.1.6-1
TASAS REGIONALES

CUENCA	Gasto Solido Suspendido	Área Cuenca	Producción Especifica	Gasto Solido de Fondo	Área Cuenca	Producción Especifica	G.S.Fondo/ G.S.Susp.	Antecedente
	ton/d	km^2	$ton/d/km^2$	ton/d	km^2	$ton/d/km^2$		
Aconcagua	-	-	0,66	-	-	0,33	50%	CICA,1982
Aconcagua	2055	2060	1,00	349	2060	0,17	17%	Benitez, 1977
Maipo	11233	4968	2,26	2808	4968	0,57	25%	CNR, 1984
Cachapoal	8723	6841	1,28	279	6841	0,04	3%	ENDESA,1984
Tinguiricia	4981	3089	1,61	204	3089	0,07	4%	ENDESA,1984
Maule(Colbún)	6800	4542	1,50	646	4542	0,14	10%	ENDESA,1977
Melado	2795	2261	1,24	266	2261	0,12	10%	ENDESA,1978
San Juan Quirihue	143	240	0,59	14	240	0,06	10%	SIGA,2008

Fuente: JRI, 2008, Modificado

La relación que existe entre el Gasto de Arrastre de Fondo y el Gasto Solido Suspendido presenta un valor máximo para el Aconcagua, estimado entre un 17% y un 50%, se debe tener en cuenta que el Aconcagua corresponde a una cuenca que se origina en la

Cordillera de Los Andes y que posee influencia de zona nival. Para el resto de las cuencas se observa una relación entre el 3% y el 25%. La cuenca en estudio, corresponde a una cuenca de régimen pluvial que se origina en la cordillera de la Costa y que posee pendientes mucho menos pronunciadas que las cuencas del Cuadro 5.3.1.6-1. Adoptar un valor de 10 % como representativo de la cuenca delimitada por la ubicación de embalse en la zona de Huedque se considera como un valor razonable.

En el Cuadro 5.3.1.6-2 se muestra el Gasto de Fondo estimado según la relación adoptada. Las metodologías propuestas por la USBR, y las tasas regionales consideran la producción solida total que la cuenca aporta al reservorio (gasto en suspensión y de arrastre) y presentan valores de producción de sedimento muy alto, por lo que no se consideran para sumar el gasto de arrastre de fondo.

CUADRO 5.3.1.6-2
GASTO SÓLIDO SUSPENDIDO, DE FONDO Y VOLUMEN MUERTO

Metodología	GSS	GF (10% GSS)	Volumen Muerto
	m^3	m^3	m^3
USLE	2.958.195	295.819	2.483.920
Bzdigian K.	2.988.407	298.841	3.254.014
Dendy Bolton	2.258.109	225.811	3.287.247

Fuente: Elaboración Propia

5.3.2. Volumen Muerto Adoptado

En el Cuadro 5.3.2-1 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^3.

CUADRO 5.3.2-1
VOLUMEN MUERTO CON TASA REGIONAL

Metodología	Volumen Muerto m^3	Tasas ton/día/km^2
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^3, de esta manera se asegura que el volumen entrante no

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

supere este valor para el horizonte de vida útil de la obra, 50 años. Al comparar las tasas de producción especifica 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^2, mientras que en el presente estudio se adopta una tasa igual a 0,70 ton/día/km^2.

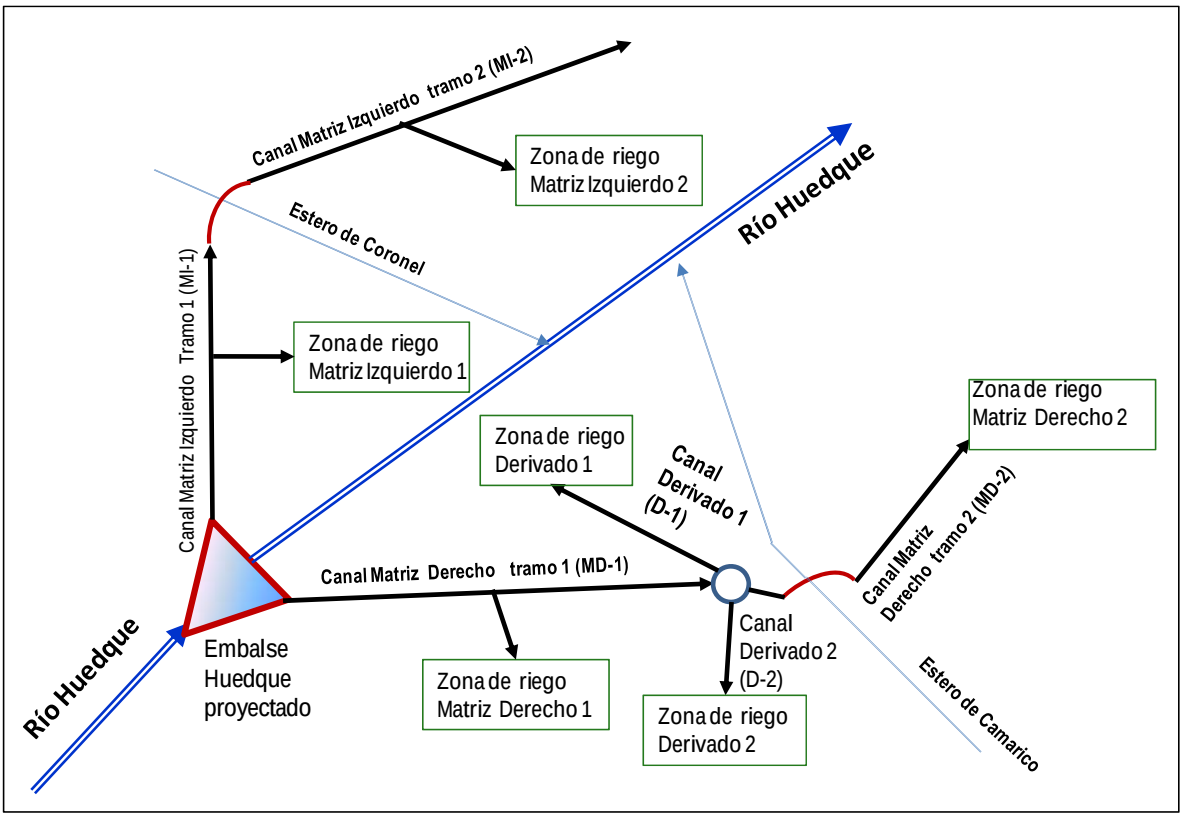
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

1. ESCENARIOS DE PROYECTO.

Se plantea 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 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 1-1
ESQUEMA DE LA RED DE RIEGO DEL PROYECTO HUEDQUE



Fuente: Elaboración Propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

La descripción de cada uno de los escenarios es la siguiente:

Escenario Nª1

Corresponde al riego de la máxima superficie posible bajo canal, que es 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. Lo anterior significó considerar la torre de toma a la cota 171,00, la cual es seis metros más alta que el mínimo requerido para el volumen muerto (cota 165,00).

Escenario Nª2

Corresponde al riego de una superficie bajo canal, de 2964.7 hectáreas. Para esto, los canales matrices deben comenzar a la cota 167,00, a objeto de dejar bajo cota de canal la superficie indicada. Esto significó considerar la torre de toma a la cota 168,00, la cual es tres metros más alta que el mínimo requerido para el volumen muerto (cota 165,00).

Escenario Nª3

Corresponde al riego de una superficie bajo canal, de 2694.8 hectáreas. Para esto, los canales matrices deben comenzar a la cota 165,50, a objeto de dejar bajo cota de canal la superficie indicada. Esto significó considerar la torre de toma a la cota 166,50, la cual es un metro y medio más alta que el mínimo requerido para el volumen muerto (cota 165,00).

Escenario Nª4

Corresponde al riego de una superficie bajo canal, de 2405.4 hectáreas. Para esto, los canales matrices deben comenzar a la cota 164,00, a objeto de dejar bajo cota de canal la superficie indicada. Esto significó considerar la torre de toma a la cota 165,00, la cual es el mínimo requerido para el volumen muerto.

Escenario Nª5

Corresponde al riego de la menor superficie bajo canal, de 1613.6 hectáreas, la cual se produce al considerar la misma red de canales del escenario Nª 4 anterior, pero sin contemplar los tramos siguientes de canales: Matriz Ribera Derecha Tramo 2, Derivado 1 y Derivado 2. Al igual que en el escenario 4, los canales matrices deben comenzar a la cota 164,00, a objeto de dejar bajo cota de canal la superficie indicada. Esto significó considerar la torre de toma a la cota 165,00, la cual es el mínimo requerido para el volumen muerto.

En el cuadro 1-1 siguiente se resume 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.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 1-1
SUPERFICIES PRODUCTIVAS BAJO COTA DE CANAL EN CADA ESCENARIO DE PROYECTO (HAS)

CANAL	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 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	-
Derivado 1	271.4	271.8	243.68	230.5	-
Derivado 2	330.1	267.9	229.01	133.9	-
TOTALES	3254.6	2964.7	2694.8	2405.4	1613.6

Fuente: Elaboración Propia

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, según se detalla en el cuadro 1-2 siguiente.

Se puede observar que en los escenarios 4 y 5 se considera la cota de torre de toma mínima según el volumen muerto del embalse de 3,3 Hm^3, que corresponde a la cota 164,00 msnm.

CUADRO 1-2
COTAS DE TORRE DE TOMA Y COTAS INICIALES DE CANALES MATRICES

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

Fuente: Elaboración Propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

2. OPERACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

2.1. OBJETIVOS Y ALCANCES

2.1.1. Objetivo General

Determinar el volumen útil de un embalse sobre el río Huedque, que permita regar la superficie definida, con seguridad de 85%.

2.1.2. Objetivos Específicos

a) Desarrollar un modelo matemático de simulación para representar los balances de agua superficiales en el río Huedque.
b) Determinar el volumen de almacenamiento requerido en el embalse para regar la totalidad del área potencial de riego, de aproximadamente 3.500 ha, con seguridad de riego de 85%.
c) 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.

2.1.3. Alcances

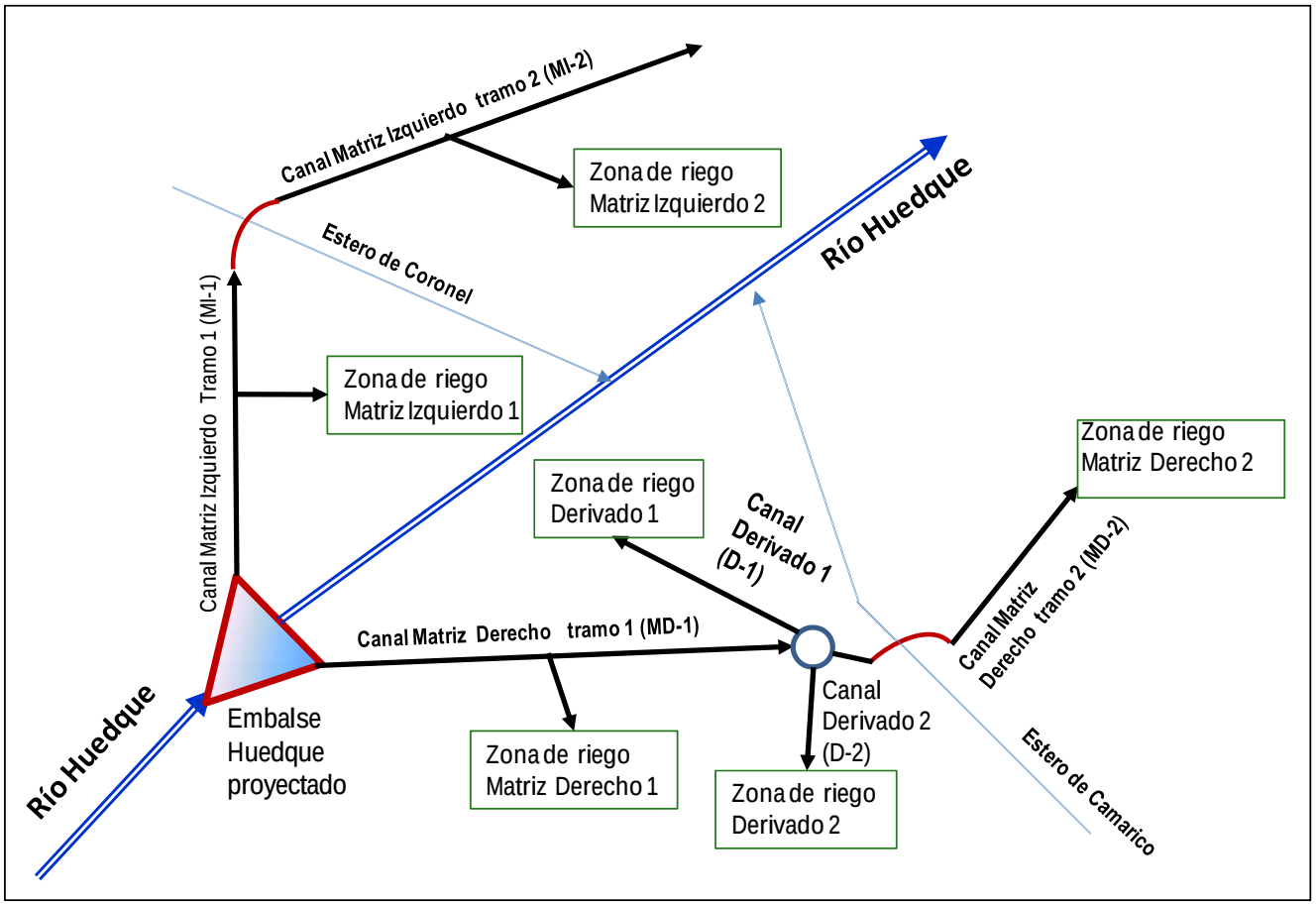
- Escala de tiempo mensual
- La información básica utilizada corresponde a estudios realizados en esta misma Consultoría, como es el caso del estudio hidrológico (Estadísticas de caudales medios mensuales), estudio agronómico (Superficies y demandas de agua de riego de cada sector, etc.).
- Los balances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

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

2.2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

En la Figura 2.2-1 se detalla el esquema la representación general del modelo de simulación.

FIGURA 2.2-1
ESQUEMA GENERAL DEL MODELO DE SIMULACIÓN



Fuente: Elaboración propia.

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

1. Caudal afluente superficial, representado por la estadística de caudales medios mensuales afluentes al embalse.

2. Entregas del embalse: Se contempla que el caudal entregado sea en primer lugar generado y después se distribuye en la entrega para riego, para agua potable y entrega al río.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

3. Red de canales: Se caracteriza por los parámetros siguientes:

   - Capacidad máxima de captación de caudal
   - Eficiencia de conducción

4. Zonas de riego: Se caracteriza por los parámetros siguientes:

   - Superficie de cada cultivo, en ha
   - Tasa de riego de cada cultivo, en m^3/ha/mes

2.3. INFORMACIÓN UTILIZADA

2.3.1. Estadísticas Hidrológicas

Sobre la base del estudio hidrológico realizado en esta Consultoría, se determinó la estadística de caudales medios mensuales afluentes al embalse Huedque, para cada una de las alternativas de embalse identificadas, para el período abril de 1977 a marzo de 2010. Estas estadísticas se detallan en los Cuadros 2.3.1-1, 2.3.1-2 y 2.3.1-3, para las alternativas 1, 2 y 3, respectivamente.

CUADRO 2.3.1-1
CAUDALES MEDIOS MENSUALES AFLUENTES AL EMBALSE HUEDQUE
ALTERNATIVA N° 1 (M^3/S)

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	PROM
1977	0,05	0,97	16,32	42,72	12,70	3,41	7,41	2,45	0,50	0,12	0,03	0,01	7,22
1978	0,00	0,08	1,42	26,04	4,49	3,57	2,59	5,76	1,02	0,24	0,07	0,02	3,77
1979	0,01	0,14	0,21	10,75	17,16	14,10	2,10	2,04	1,02	0,22	3,82	0,83	4,37
1980	12,46	20,87	24,59	30,81	13,94	5,85	1,27	0,65	0,80	0,49	0,12	0,16	9,33
1981	0,80	31,75	7,53	11,08	6,17	3,13	1,02	0,63	0,16	0,06	0,03	0,04	5,20
1982	0,01	5,15	27,74	20,80	13,14	15,32	4,60	1,16	0,28	0,12	0,03	0,01	7,36
1983	0,02	0,13	6,36	10,07	8,82	5,64	1,49	0,42	0,19	0,07	0,02	0,01	2,77
1984	0,01	4,41	13,53	33,55	8,64	14,26	10,71	1,88	0,42	0,13	0,04	0,02	7,30
1985	0,06	2,00	4,68	10,14	3,34	3,62	2,38	1,47	0,53	0,21	0,07	0,05	2,38
1986	0,45	18,69	24,47	10,25	13,03	5,19	2,26	5,06	0,79	0,18	0,05	0,10	6,71
1987	0,12	3,11	3,90	44,10	21,95	13,39	6,56	1,17	0,32	0,14	0,04	0,04	7,90
1988	0,06	0,54	4,55	13,51	25,93	8,56	1,91	1,51	0,38	0,14	0,04	0,01	4,76
1989	0,00	0,01	2,15	12,54	10,81	3,85	1,43	0,54	0,25	0,07	0,03	0,19	2,66
1990	0,41	1,12	1,42	4,93	3,26	7,85	2,71	0,84	0,22	0,15	0,04	0,01	1,91
1991	0,03	12,72	11,80	15,35	5,88	9,58	4,16	1,07	0,85	0,18	0,09	0,28	5,17
1992	0,55	45,52	31,97	9,36	11,20	8,61	2,54	0,85	0,32	0,09	0,02	0,01	9,25
1993	0,16	7,07	27,57	12,41	8,72	2,65	1,43	0,57	0,24	0,06	0,02	0,01	5,08
1994	0,20	1,08	7,28	17,02	3,21	5,41	2,27	0,57	0,28	0,09	0,02	0,01	3,12

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 2.3.1-1
CAUDALES MEDIOS MENSUALES AFLUENTES AL EMBALSE HUEDQUE
ALTERNATIVA N° 1 (M^3/S)

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	PROM
1995	0,13	0,11	3,33	13,74	9,74	3,03	3,06	0,69	0,18	0,05	0,02	0,13	2,85
1996	0,18	0,33	5,16	9,19	12,68	2,90	1,06	0,59	0,30	0,07	0,03	0,01	2,71
1997	1,02	5,57	39,67	12,89	8,62	8,66	9,55	4,46	0,94	0,22	0,06	0,02	7,64
1998	0,05	0,48	1,55	1,01	1,55	1,45	0,41	0,16	0,04	0,01	0,00	0,01	0,56
1999	0,00	0,17	5,43	5,84	12,36	18,94	2,48	0,80	0,22	0,06	0,13	0,04	3,87
2000	0,01	0,05	40,57	7,10	4,76	12,51	2,15	0,84	0,24	0,12	0,03	0,01	5,70
2001	0,01	10,39	10,33	40,90	16,48	5,79	1,60	0,63	0,17	0,04	0,27	0,51	7,26
2002	0,40	6,16	13,34	11,93	35,38	7,40	9,52	2,46	0,81	0,28	0,07	0,02	7,31
2003	0,01	0,27	8,43	5,77	4,69	4,30	2,14	3,05	0,60	0,14	0,04	0,10	2,46
2004	0,62	0,57	4,93	20,19	11,04	5,72	3,39	1,84	0,67	0,17	0,04	0,02	4,10
2005	0,01	4,19	26,23	24,36	23,70	6,63	2,31	1,26	0,42	0,16	0,05	0,01	7,44
2006	0,07	1,15	14,96	33,48	16,87	5,21	3,48	0,80	0,63	0,17	0,18	0,06	6,42
2007	0,07	0,30	1,15	7,68	6,30	2,90	1,09	0,40	0,17	0,04	0,01	0,00	1,68
2008	0,03	25,54	12,48	13,59	15,47	6,11	1,86	0,51	0,16	0,04	0,01	0,01	6,32
2009	0,00	0,03	8,59	9,39	20,58	6,63	4,15	1,68	0,40	0,10	0,11	0,03	4,31
PROM	0,55	6,38	12,53	16,74	11,90	7,04	3,24	1,48	0,44	0,13	0,17	0,08	5,06

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 2.3.1-2
CAUDALES MEDIOS MENSUALES AFLUENTES AL EMBALSE HUEDQUE
ALTERNATIVA N° 2 (M^3/S)

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	PROM
1977	0,05	0,97	16,32	42,72	12,70	3,41	7,41	2,45	0,50	0,12	0,03	0,01	7,22
1978	0,00	0,08	1,42	26,04	4,49	3,57	2,59	5,76	1,02	0,24	0,07	0,02	3,77
1979	0,01	0,14	0,21	10,75	17,16	14,10	2,10	2,04	1,02	0,22	3,82	0,83	4,37
1980	12,46	20,87	24,59	30,81	13,94	5,85	1,27	0,65	0,80	0,49	0,12	0,16	9,33
1981	0,80	31,75	7,53	11,08	6,17	3,13	1,02	0,63	0,16	0,06	0,03	0,04	5,20
1982	0,01	5,15	27,74	20,80	13,14	15,32	4,60	1,16	0,28	0,12	0,03	0,01	7,36
1983	0,02	0,13	6,36	10,07	8,82	5,64	1,49	0,42	0,19	0,07	0,02	0,01	2,77
1984	0,01	4,41	13,53	33,55	8,64	14,26	10,71	1,88	0,42	0,13	0,04	0,02	7,30
1985	0,06	2,00	4,68	10,14	3,34	3,62	2,38	1,47	0,53	0,21	0,07	0,05	2,38
1986	0,45	18,69	24,47	10,25	13,03	5,19	2,26	5,06	0,79	0,18	0,05	0,10	6,71
1987	0,12	3,11	3,90	44,10	21,95	13,39	6,56	1,17	0,32	0,14	0,04	0,04	7,90
1988	0,06	0,54	4,55	13,51	25,93	8,56	1,91	1,51	0,38	0,14	0,04	0,01	4,76
1989	0,00	0,01	2,15	12,54	10,81	3,85	1,43	0,54	0,25	0,07	0,03	0,19	2,66
1990	0,41	1,12	1,42	4,93	3,26	7,85	2,71	0,84	0,22	0,15	0,04	0,01	1,91

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 2.3.1-2
CAUDALES MEDIOS MENSUALES AFLUENTES AL EMBALSE HUEDQUE
ALTERNATIVA N° 2 (M^3/S)

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	PROM
1991	0,03	12,72	11,80	15,35	5,88	9,58	4,16	1,07	0,85	0,18	0,09	0,28	5,17
1992	0,55	45,52	31,97	9,36	11,20	8,61	2,54	0,85	0,32	0,09	0,02	0,01	9,25
1993	0,16	7,07	27,57	12,41	8,72	2,65	1,43	0,57	0,24	0,06	0,02	0,01	5,08
1994	0,20	1,08	7,28	17,02	3,21	5,41	2,27	0,57	0,28	0,09	0,02	0,01	3,12
1995	0,13	0,11	3,33	13,74	9,74	3,03	3,06	0,69	0,18	0,05	0,02	0,13	2,85
1996	0,18	0,33	5,16	9,19	12,68	2,90	1,06	0,59	0,30	0,07	0,03	0,01	2,71
1997	1,02	5,57	39,67	12,89	8,62	8,66	9,55	4,46	0,94	0,22	0,06	0,02	7,64
1998	0,05	0,48	1,55	1,01	1,55	1,45	0,41	0,16	0,04	0,01	0,00	0,01	0,56
1999	0,00	0,17	5,43	5,84	12,36	18,94	2,48	0,80	0,22	0,06	0,13	0,04	3,87
2000	0,01	0,05	40,57	7,10	4,76	12,51	2,15	0,84	0,24	0,12	0,03	0,01	5,70
2001	0,01	10,39	10,33	40,90	16,48	5,79	1,60	0,63	0,17	0,04	0,27	0,51	7,26
2002	0,40	6,16	13,34	11,93	35,38	7,40	9,52	2,46	0,81	0,28	0,07	0,02	7,31
2003	0,01	0,27	8,43	5,77	4,69	4,30	2,14	3,05	0,60	0,14	0,04	0,10	2,46
2004	0,62	0,57	4,93	20,19	11,04	5,72	3,39	1,84	0,67	0,17	0,04	0,02	4,10
2005	0,01	4,19	26,23	24,36	23,70	6,63	2,31	1,26	0,42	0,16	0,05	0,01	7,44
2006	0,07	1,15	14,96	33,48	16,87	5,21	3,48	0,80	0,63	0,17	0,18	0,06	6,42
2007	0,07	0,30	1,15	7,68	6,30	2,90	1,09	0,40	0,17	0,04	0,01	0,00	1,68
2008	0,03	25,54	12,48	13,59	15,47	6,11	1,86	0,51	0,16	0,04	0,01	0,01	6,32
2009	0,00	0,03	8,59	9,39	20,58	6,63	4,15	1,68	0,40	0,10	0,11	0,03	4,31
PROM	0,55	6,38	12,53	16,74	11,90	7,04	3,24	1,48	0,44	0,13	0,17	0,08	5,06

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 2.3.1-3
CAUDALES MEDIOS MENSUALES AFLUENTES AL EMBALSE HUEDQUE
ALTERNATIVA N° 3 (M^3/S)

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	PROM
1977	0,05	0,99	16,65	43,57	12,96	3,48	7,56	2,50	0,51	0,12	0,03	0,01	7,37
1978	0,00	0,08	1,44	26,56	4,58	3,64	2,64	5,87	1,04	0,25	0,07	0,02	3,85
1979	0,02	0,14	0,22	10,96	17,50	14,39	2,14	2,08	1,04	0,23	3,90	0,85	4,45
1980	12,71	21,29	25,08	31,42	14,22	5,96	1,29	0,67	0,82	0,50	0,13	0,17	9,52
1981	0,82	32,39	7,69	11,30	6,30	3,19	1,04	0,65	0,17	0,06	0,03	0,04	5,31
1982	0,02	5,26	28,30	21,21	13,40	15,62	4,69	1,18	0,29	0,12	0,03	0,01	7,51
1983	0,02	0,13	6,49	10,27	9,00	5,75	1,52	0,43	0,20	0,07	0,02	0,01	2,83
1984	0,01	4,50	13,80	34,22	8,82	14,55	10,93	1,92	0,43	0,14	0,04	0,02	7,45
1985	0,06	2,04	4,77	10,34	3,40	3,69	2,42	1,50	0,54	0,21	0,07	0,05	2,43

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 2.3.1-3
CAUDALES MEDIOS MENSUALES AFLUENTES AL EMBALSE HUEDQUE
ALTERNATIVA N° 3 (M^3/S)

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	PROM
1986	0,46	19,07	24,96	10,46	13,29	5,30	2,31	5,16	0,81	0,19	0,05	0,10	6,85
1987	0,12	3,17	3,98	44,98	22,39	13,66	6,69	1,20	0,33	0,15	0,04	0,04	8,06
1988	0,06	0,55	4,64	13,78	26,45	8,73	1,94	1,54	0,39	0,14	0,04	0,01	4,86
1989	0,00	0,01	2,19	12,79	11,03	3,93	1,46	0,56	0,25	0,07	0,03	0,20	2,71
1990	0,42	1,14	1,45	5,03	3,33	8,01	2,76	0,86	0,22	0,15	0,04	0,01	1,95
1991	0,03	12,97	12,04	15,65	6,00	9,77	4,24	1,09	0,87	0,19	0,10	0,28	5,27
1992	0,57	46,43	32,61	9,55	11,43	8,78	2,59	0,86	0,33	0,09	0,02	0,01	9,44
1993	0,16	7,21	28,12	12,66	8,90	2,70	1,45	0,58	0,25	0,06	0,02	0,01	5,18
1994	0,21	1,10	7,43	17,36	3,27	5,52	2,32	0,58	0,28	0,09	0,02	0,01	3,18
1995	0,13	0,11	3,39	14,01	9,93	3,09	3,12	0,71	0,18	0,05	0,02	0,13	2,91
1996	0,18	0,34	5,26	9,38	12,93	2,96	1,08	0,60	0,31	0,08	0,03	0,01	2,76
1997	1,04	5,68	40,47	13,15	8,80	8,83	9,74	4,55	0,96	0,22	0,06	0,02	7,79
1998	0,05	0,49	1,58	1,03	1,58	1,48	0,42	0,16	0,05	0,01	0,00	0,01	0,57
1999	0,00	0,17	5,54	5,95	12,61	19,32	2,53	0,82	0,22	0,06	0,14	0,04	3,95
2000	0,01	0,05	41,39	7,24	4,86	12,76	2,19	0,86	0,24	0,12	0,03	0,01	5,81
2001	0,01	10,60	10,54	41,72	16,81	5,91	1,63	0,64	0,17	0,05	0,27	0,52	7,41
2002	0,40	6,29	13,61	12,17	36,09	7,55	9,71	2,51	0,83	0,28	0,07	0,02	7,46
2003	0,01	0,28	8,60	5,89	4,79	4,38	2,18	3,11	0,62	0,14	0,04	0,11	2,51
2004	0,63	0,59	5,03	20,60	11,26	5,83	3,46	1,88	0,69	0,17	0,04	0,02	4,18
2005	0,01	4,28	26,75	24,85	24,17	6,76	2,36	1,28	0,43	0,17	0,05	0,01	7,59
2006	0,07	1,18	15,26	34,15	17,21	5,32	3,55	0,82	0,64	0,17	0,19	0,06	6,55
2007	0,07	0,31	1,17	7,84	6,42	2,96	1,11	0,40	0,17	0,04	0,01	0,00	1,71
2008	0,03	26,05	12,73	13,86	15,78	6,23	1,90	0,52	0,17	0,04	0,01	0,01	6,44
2009	0,00	0,03	8,76	9,57	20,99	6,77	4,24	1,72	0,41	0,10	0,11	0,03	4,39
PROM	0,56	6,51	12,78	17,08	12,14	7,18	3,31	1,51	0,45	0,14	0,17	0,09	5,16

Fuente: Elaboración propia

2.3.2. Pérdidas de Conducción en Canales Matrices

Se utiliza el modelo de pérdidas de agua planteado para pérdidas de agua en canales de tierra del U.S. Bureau of Reclamation, basado en estudios efectuados en diferentes canales, se propuso la siguiente fórmula empírica, conocida como fórmula de Moritz, para canales en tierra:

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

$$I = 0{,}0115 \cdot C \cdot \sqrt{\frac{Q}{v}}$$

Siendo:

I = Infiltración en (m^3/s) por km de canal

v = Velocidad media en (m/s)

Q = Caudal en (m^3/s)

C = Constante que depende del tipo de terreno

En el Cuadro 2.3.2-1 se indican valores del coeficiente experimental C.

CUADRO 2.3.2-1
COEFICIENTE EXPERIMENTAL C EN FUNCIÓN DEL TIPO DE TERRENO

Tipo de terreno	C
Gravilla cementada y "hardpan" limo arenoso	0,34
Arcilla y limo arcilloso	0,41
Limo arenoso	0,66
Ceniza volcánica	0,68
Arena con ceniza volcánica y arcilla	1,20
Suelo de arena y piedras	1,68
Suelo arenoso con gravas	2,20

Fuente: Bureau Of Reclamation

Para la estimación de las pérdidas por conducción en los canales matrices, se ha considerado los caudales en el mes de máxima demanda, para el caso del escenario Nº1, de mayor superficie. El cálculo se resume en el Cuadro 2.3.2-2, en el cual se obtiene como resultado una pérdida promedio ponderada de 18,4%.

Se consideró un coeficiente C = 0,41, que corresponde a arcilla y limo arenoso, de acuerdo con el material encontrado en las calicatas realizadas en el trazado de los canales matrices.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 2.3.2-2
CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CONDUCCIÓN EN RED DE CANALES DE RIEGO

Zona de riego	Q maximo dda	Q Max canal	Long canal	v	I	Q perdida	Porc perdida
	(m3/s)	(m3/s)	(km)	(m/s)	(m3/s/KM)	(m3/s)	(%)
MI-1	0.8	1.6	32.1	1.0	0.0059	0.19	12.15
MI-2	0.7	0.7	26.6	1.0	0.0041	0.11	14.60
MD-1	0.8	2.1	26.3	1.0	0.0068	0.18	8.63
MD.2	0.6	0.6	29.9	1.0	0.0038	0.11	17.65
D-1	0.3	0.3	11.9	1.0	0.0026	0.03	10.22
D-2	0.4	0.4	16.6	1.0	0.0029	0.05	12.93
TOTALES	**3.61**		**143.40**			**0.67**	

Pérdida promedio ponderado **18.4** %

Fuente: Elaboración propia.

Sobre la base de lo anterior, se adopta una pérdida conservadora de 20% del caudal promedio conducido, para todos los escenarios del modelo.

2.3.3. Demandas de Agua

En el Cuadro 2.3.3-1 se indica las tasas de riego utilizadas por el modelo, que han sido determinadas sobre la base del estudio agroeconómico realizado en este mismo estudio

CUADRO 2.3.3-1
TASAS DE RIEGO MENSUALES (M^3/HA/MES)

MES	TASAS DE RIEGO
ABR	201
MAY	0
JUN	0
JUL	0
AGO	0
SEP	44
OCT	413
NOV	1,337
DIC	2,073
ENE	2,380
FEB	1,887
MAR	961
TOTAL	9,295

Fuente: Elaboración Propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

2.3.4. Curvas Características del Embalse.

En el Cuadro 2.3.4-1 se detalla las curvas características del embalse. Para los efectos del modelo, se utilizan relaciones analíticas deducidas a partir de estas curvas.

CUADRO 2.3.4-1
CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL EMBALSE

ALTURA (m)	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3	
	Volumen (hm^3)	Superficie (ha)	Volumen (hm^3)	Superficie (ha)	Volumen (hm^3)	Superficie (ha)
0,0	0,0	15,5	0,0	24,5	0,0	0,4
1,0	0,2	24,1	0,3	32,9	0,1	10,2
2,0	0,5	39,6	0,7	40,1	0,2	15,6
3,0	1,0	47,9	1,2	71,9	0,4	20,0
4,0	1,5	61,1	2,0	94,7	0,7	41,7
5,0	2,2	73,4	3,1	109,7	1,1	51,4
6,0	3,0	88,8	4,3	128,7	1,7	58,8
7,0	3,9	101,3	5,6	146,0	2,3	66,5
8,0	5,0	113,0	7,2	166,0	3,2	107,8
9,0	6,2	123,8	8,9	182,9	4,3	122,1
10,0	7,5	134,1	10,8	198,6	5,7	160,5
11,0	8,9	150,6	12,9	213,3	7,5	189,5
12,0	10,5	162,2	15,1	227,4	9,5	210,5
13,0	12,2	175,9	17,5	247,6	11,7	235,5
14,0	14,0	192,1	20,0	265,7	14,2	258,8
15,0	16,0	205,3	22,8	284,8	16,9	284,9
16,0	18,1	217,6	25,8	306,2	19,9	307,7
17,0	20,3	229,7	28,9	324,6	23,1	329,3
18,0	22,7	249,6	32,2	341,8	26,5	350,0
19,0	25,3	265,7	35,7	357,9	30,1	370,1
20,0	28,1	283,5	39,4	381,6	33,9	396,2
21,0	31,0	302,5	43,4	401,4	38,0	420,2
22,0	34,1	319,5	47,5	422,9	42,3	445,3
23,0	37,4	337,9	51,8	445,7	46,9	472,9
24,0	40,8	355,4	56,4	466,3	51,7	497,5
25,0	44,5	373,3	61,2	488,2	56,8	521,3
26,0	48,3	392,3	66,1	509,2	62,2	543,9
27,0	52,3	413,1	71,3	530,5	67,8	574,3
28,0	56,6	436,8	76,8	553,0	73,6	601,0
29,0	61,1	457,5	82,4	577,5	79,8	638,5
30,0	65,8	481,5	88,3	605,3	86,4	666,5

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 2.3.4-1
CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL EMBALSE

ALTURA (m)	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3	
	Volumen (hm^3)	Superficie (ha)	Volumen (hm^3)	Superficie (ha)	Volumen (hm^3)	Superficie (ha)
31,0	70,7	503,2	94,5	632,1	93,2	692,6
32,0	75,8	524,1	101,0	662,3	100,2	719,9
33,0	81,2	548,5	107,7	689,6	107,5	746,1
34,0	86,8	571,4	114,8	716,0	115,1	772,3
35,0	92,6	594,0	122,1	745,4	123,0	799,8
36,0	98,7	622,4	129,7	773,3	131,1	829,3
37,0	105,1	650,1	137,5	800,4	139,6	862,2
38,0	111,7	684,8	145,7	833,3	148,4	893,8

Fuente: Elaboración propia

Las expresiones analíticas que utiliza el modelo son las siguientes:

Curva Altura vs. Volumen

(Y es la altura en metros y X es el volumen almacenado, en millones de m^3)

1. Alternativa N° 1 : Y=A/(1+B*X**C)**2+D
   A=0.33499E+03 B=0.90749E+01 C=-.32493E+00 D=-.22853E+00
2. Alternativa N° 2 : Y=(A+X)/(B+C*X)+D*X
   A=0.12056E+01 B=0.93532E+00 C=0.42998E-01 D=0.12196E+00
3. Alternativa N° 3 : Y=(A+X)/(B+C*X)+D*X
   A=0.15066E+01 B=0.61292E+00 C=0.42824E-01 D=0.10700E+00

Curva Superficie vs. Volumen

(Y es la superficie en hectáreas y X es el volumen almacenado, en millones de m^3)

1. Alternativa N° 1 : Y=A*EXP(B*X+C*X**0.5)+D
   A=0.33938E+03 B=-16034E-02 C=0.11999E+00 D=-.32954E+03
2. Alternativa N° 2: Y=SQRT(A-B*(X-C)**2)+D*X
   A=-.15053E+06 B=-.25094E+02 C=-.77550E+02 D=-.14637E+01
3. Alternativa N° 3: N. 170: Y=A*X**(B+C*LnX)+D*X
   A=0.43023E+02 B=0.75720E+00 C=-.60846E-01 D=0.32566E+01

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

2.3.5. Evaporación del Embalse

El Volumen evaporado (Vev) desde el embalse se calcula como:

$Vev = Sup * Tev * (0,7) * 10^{-5}$

En que:

Ev = Evaporación del embalse, en millones de m3.
Sup = Superficie inundada por el embalse, en hectáreas
Tev = Tasa de evaporación mensual, en mm.

(0,7) = Factor de embalse (Relación entre la evaporación desde el evaporímetro estandarizado clase A y la evaporación real en el embalse.)

Para definir las Tasas de Evaporación, se consideró los valores utilizados en el proyecto del embalse san Juan de Quirihue, cercano a la zona de estudio, que se indican en el Cuadro 2.3.5-1.

CUADRO 2.3.5-1
TASAS DE EVAPORACIÓN MENSUALES (MM)

MES	TASA DE EVAPORACIÓN
ABR	132
MAY	59
JUN	29
JUL	29
AGO	44
SEP	73
OCT	125
NOV	191
DIC	294
ENE	374
FEB	244
MAR	206
TOTAL	1800

Fuente: Elaboración Propia.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

2.3.6. Caudales Ecológicos

De acuerdo con la Resolución DGA N° 066 de fecha 17 de julio de 2009, se definen los caudales ecológicos en el río Huedque según se detalla en el Cuadro 2.3.6-1

CUADRO 2.3.6-1
CAUDALES ECOLÓGICOS EN RIO HUEDQUE (M^3/S)

MES	CAUDALES ECOLÓGICOS
ABR	0,082
MAY	0,089
JUN	0,502
JUL	0,646
AGO	0,646
SEP	0,646
OCT	0,646
NOV	0,378
DIC	0,177
ENE	0,091
FEB	0,022
MAR	0,058
PROMEDIO	**0,333**

Fuente: Elaboración propia

2.3.7. Demanda de Agua Potable

El modelo considera una Demanda de Agua Potable, para abastecer pequeñas localidades rurales cercanas al embalse, la cual es representada por un caudal constante.

Como estimación preliminar, se considera un caudal de 10 l/s, que es equivalente a la demanda de 5.000 habitantes, a razón de 150 l/hab/día, más un 15% de pérdidas de agua y eventualidades.

En la operación del embalse, en primer lugar se entrega la demanda de agua potable y luego la de riego.

2.3.8. Derechos de Aprovechamiento de Agua

De acuerdo con la Resolución DGA N° 055 de fecha 17 de julio del año 2009, los derechos que tiene el Fisco – Dirección de Obras Hidráulicas en el río Huedque, son los que se indican en el Cuadro 2.3.8-1.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 2.3.8-1
DERECHOS DE AGUA DEL EMBALSE HUEDQUE

Tipo	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
D. Permanente	0,05	0,02	1,10	4,50	3,30	1,50	0,50	0,09	0,10	0,00	0,00	0,03
D. Eventual	0,90	26,30	29,80	27,40	15,80	12,80	6,50	4,90	1,00	0,30	0,20	0,20

Fuente: Elaboración Propia.

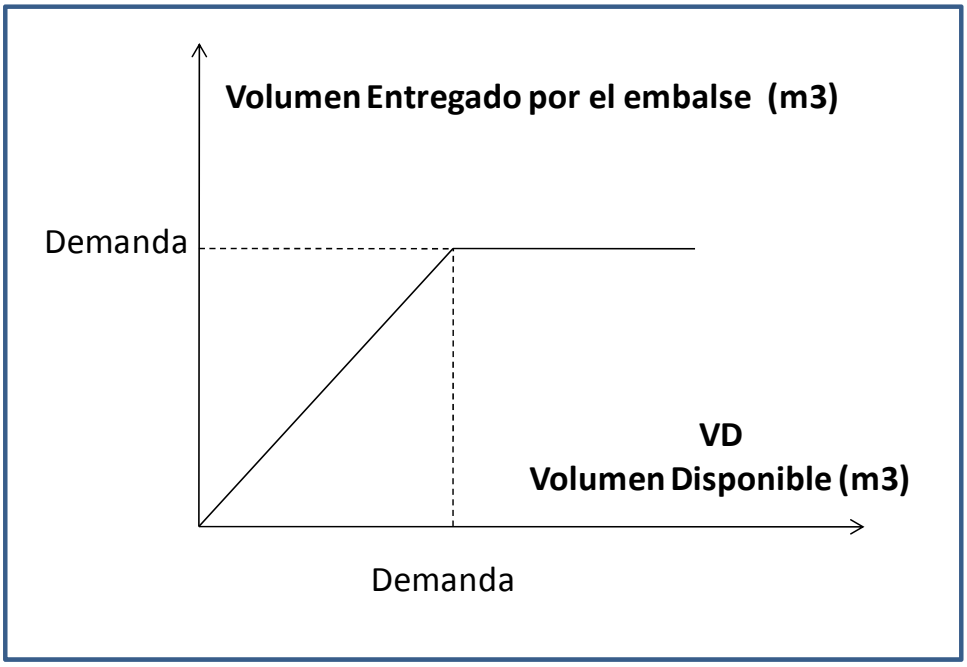
En el modelo se verifica que el caudal regulado no sobrepase en cada mes la suma del caudal de derecho permanente más el derecho eventual. Esto significa que el embalse opera de modo que se regulan los derechos permanentes y eventuales, ya que de otra forma, estos recursos se perderían, especialmente en los meses de invierno.

2.4. PROCESOS DE CÁLCULO

2.4.1. Regla de Operación del Embalse

Para el sector bajo embalse, la regla de operación del embalse corresponde a la forma de definir las entregas de agua del embalse, en función del volumen disponible almacenado, según se puede observar en la Figura 2.4-1.

FIGURA 2.4-1
REGLA DE OPERACIÓN DEL EMBALSE



Fuente: Elaboración propia.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

De acuerdo con la Figura 2.4-1, la operación del embalse se define de modo que se entrega de acuerdo a la demanda, hasta un máximo equivalente a la demanda del mes. Si el volumen disponible del embalse es menor, se entrega el volumen disponible.

A lo anterior hay que agregar la restricción que significa dejar pasar en cada mes un caudal no inferior al caudal ecológico.

2.4.2. Seguridad de Riego

La Seguridad de Riego se determina como el porcentaje de años en que se entregó un volumen menor de la Entrega Máxima de la Regla de Operación. Se calcula mediante la expresión siguiente:

$$SR = (N - Nf) *100 / N \ (\%)$$

En que:

SR Seguridad de Riego (%).

N : Número de años simulados

Nf : Número de años “fallados”,

Para la determinación de “año fallado”, se adopta el criterio de cálculo establecido en el Ley 18.450, esto es, que se considera año fallado a aquel en que en un mes se entregue menos del 85% de la demanda o cuando en dos meses consecutivos se entregue menos del 90% de la demanda.

2.4.3. Cálculo de la Energía Generada

En términos generales, la Potencia de generación, se calcula con la expresión siguiente:

$$P = 9{,}8 \ \eta \ Q \ H$$

En que:

P= Potencia de generación, en KW

η= Eficiencia total de los equipos, que se desglosa en:

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

(Eficiencia turbina, obtenida de las curvas del fabricante) * (Eficiencia del generador) * (Eficiencia del transformador)

La eficiencia de la turbina se obtiene de las curvas de los equipos, en función del caudal de generación. La Eficiencia del generador y la Eficiencia del transformador se obtienen de las especificaciones de los equipos. Para este caso, se adoptará los valores siguientes, que corresponden a promedios conservadores de estas eficiencias:

Eficiencia turbina = 0,90

Eficiencia del generador=0,98

Eficiencia del transformador=0,985

Eficiencia total de los equipos = 0,87

Q = Caudal turbinado, m^3/s.

H = Altura neta = Altura bruta - Pérdidas de carga

La altura bruta de agua considera la suma de la altura de agua del volumen muerto más la altura de agua del volumen útil, ya que la cota de entrega de agua de la turbina estaría muy cercana a la cota del río

Como el tramo de la tubería de entrega de agua, desde la torre de toma hasta la salida en la turbina es relativamente corto, se adoptará que las pérdidas de carga son de un 5% de la altura bruta.

Con estas consideraciones, la Potencia de generación es la siguiente:

$$P = 9{,}8 * 0{,}87 * Q * (0{,}95\ H) = 8{,}1\ Q * H$$

A partir del cálculo de la potencia de generación P, se calcula la Energía generada como:

$$E = P * T\ (\text{Nº de horas}) / 10^6 \quad (\text{GWh})$$

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

2.4.4. Secuencia de Cálculo

En los procesos del modelo, se ingresa los parámetros del escenario, tales como la Capacidad de regulación del embalse, la superficie a regar y pérdida de conducción de los canales.

Una vez que se ingresa los datos y parámetros del escenario a procesar, se efectúa un ciclo de cálculo para cada mes y año de la estadística de caudales medios mensuales.

Finalmente, el modelo entrega varios indicadores globales de la simulación tales como:

Años fallados
Seguridad de riego
Evaporación promedio del embalse
Promedio de la demanda suplida

En el Cuadro 2.4-1 se ha resumido la secuencia de cálculo que realiza el modelo de simulación.

CUADRO 2.4-1
SECUENCIA DE CÁLCULO DEL MODELO DE SIMULACIÓN.

Nº	DESCRIPCION DEL CÁLCULO ESPECÍFICO
1	CÁLCULO DEL VOLUMEN DE DEMANDA MENSUAL (HM3/MES), INCLUYENDO LAS PÉRDIDAS DE AGUA EN CANALES
2	LECTURA DE LOS CAUDALES MEDIOS MENSUALES AFLUENTES A EMBALSE (m^3/s)
3	VOLUMEN INICIAL DEL EMBALSE (hm^3)
4	SUPERFICIE INUNDADA POR EL EMBALSE (ha)
5	EVAPORACION DEL EMBALSE (hm^3)
6	VOLUMEN QUE ENTREGA EL EMBALSE (hm^3)
7	VOLUMEN FINAL (hm^3)
8	PORCENTAJES DE DEMANDA SUPLIDA
9	CÁLCULO DE LA ENERGÍA GENERADA

Fuente: Elaboración propia.

2.5. OPERACIÓN DEL MODELO

2.5.1. Calibración del Modelo

La calibración del modelo consiste en una serie de procesos de simulación en los cuales se ajustan los coeficientes de derrame de cada zona de riego y los valores que

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

representan las recuperaciones, de modo que para el período histórico considerado se obtenga la menor dispersión entre los valores medidos y los simulados.

En el caso del modelo de simulación del embalse Huedque, no se tiene extracciones de canales actualmente, por lo cual no hay coeficientes de derrame asociados a las zonas de riego sin proyecto. Por otra parte, las recuperaciones o pérdidas de agua en el río no serían relevantes, toda vez que se prevé que la distribución de las aguas sería mediante canales matrices y derivados, sin utilizar el río para la conducción de las aguas reguladas.

Por lo anterior, la calibración correspondió al proceso realizado en la elaboración de las estadísticas hidrológicas de caudales medios mensuales afluentes a cada alternativa de embalse, generadas mediante un modelo hidrológico, el cual requirió de un ajuste y calibración de sus parámetros.

2.5.2. Escenario de Situación Actual ó Sin Proyecto

En los Cuadros 2.5.2-1 y 2.5.2-2, se incluye el resumen de los datos, parámetros y resultados del modelo de simulación, para el escenario de situación actual o sin proyecto, que tienen el propósito de calcular la seguridad de riego de la superficie total bajo canal y la superficie actual 85%, respectivamente.

En el Cuadro 2.5.2-1 se determina que la máxima superficie que es posible de regar en la situación sin proyecto y seguridad de riego de 85% es de sólo 18,9 ha. A su vez, en el Cuadro 2.5.2-2 se determina que la superficie máxima de riego actual no tiene seguridad de riego.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 2.5.2-1
ESCENARIO SEGURIDAD DE RIEGO 85% ESCENARIO SIN PROYECTO

MODELO DE SIMULACION EMBALSE HUEDQUE

ESCENARIO ACTUAL SIN PROYECTO SEGURIDAD DE 85%

Alternativa de embalse (1, 2 o 3)		1	ESCENARIO	1

TASAS DE RIEGO

Zona de riego	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	TOTAL
MI-1	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8
MI-2	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8
MD-1	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8
MD.2	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8
D-1	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8
D-2	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8

Caudales ecológicos (m3/s)

ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Superficie de cada zona

Zona Matriz izquierdo 1 (MI-1)	4.2
Zona Matriz izquierdo 2 (MI-2)	3.9
Zona Matriz Derecho 1 (MD-1)	3.9
Zona Matriz Derecho 2 (MD-2)	3.3
Zona Derivado 1 (D-1)	1.6
Zona Derivado 2 (D-2)	1.9

SUPERFICIE TOTAL	18.9	(has)
PÉRDIDAS POR CONDUCCION	20	(%)
VOLUMEN DE REGULACION	0	(Hm3)
VOLUMEN INICIAL	0	(Hm3)

DEMANDA PARA A.P.	0.000	(m3/s)
VOLUMEN MUERTO	3.3	(Hm3)
CAUDAL DE DISEÑO CENTRAL	0.0	(m3/s)
CAUDAL MINIMO CENTRAL	0.0	(m3/s)
ALTURA DE DISEÑO CENTRAL	0.0	(m)
ALTURA MINIMA DE OPERACIÓN	0.0	(m)

RESULTADOS

Años fallados	5	(De un total de 33 años simulados)
Seguridad de riego	84.8	(%)
Evaporación promedio del embalse	0.00	(Hm3/mes)
Promedio demanda suplida nov - mar	97.7	(%)
Cumplimiento entrega A.P.		(%)
Altura de agua promedio del embalse	6.31	(m)
Caudal de generación promedio	0.01	(m3/s)
Potencia Instalada (MW)	0.00	MW
Energía generada promedio anual	0.00	(GWh)
Factor de Planta		(°/1)

Fuente: Elaboración propia.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 2.5.2-2
ESCENARIO SUPERFICIE MÀXIMA SIN PROYECTO

MODELO DE SIMULACION EMBALSE HUEDQUE

ESCENARIO ACTUAL SIN PROYECTO

Alternativa de embalse (1, 2 o 3)		1	ESCENARIO	1

TASAS DE RIEGO

Zona de riego	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	TOTAL
MI-1	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8
MI-2	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8
MD-1	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8
MD.2	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8
D-1	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8
D-2	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8

Caudales ecológicos (m3/s)

ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Superficie de cada zona

Zona Matriz izquierdo 1 (MI-1)	732.7
Zona Matriz izquierdo 2 (MI-2)	664.7
Zona Matriz Derecho 1 (MD-1)	681.0
Zona Matriz Derecho 2 (MD-2)	574.8
Zona Derivado 1 (D-1)	271.4
Zona Derivado 2 (D-2)	330.1

SUPERFICIE TOTAL	3254.6	(has)
PÉRDIDAS POR CONDUCCION	20	(%)
VOLUMEN DE REGULACION	0	(Hm3)
VOLUMEN INICIAL	0	(Hm3)

DEMANDA PARA A.P.	0.000	(m3/s)
VOLUMEN MUERTO	3.3	(Hm3)
CAUDAL DE DISEÑO CENTRAL	0.0	(m3/s)
CAUDAL MINIMO CENTRAL	0.0	(m3/s)
ALTURA DE DISEÑO CENTRAL	0.0	(m)
ALTURA MINIMA DE OPERACIÓN	0.0	(m)

RESULTADOS

Años fallados	33	(De un total de 33 años simulados)
Seguridad de riego	0.0	(%)
Evaporación promedio del embalse	0.00	(Hm3/mes)
Promedio demanda suplida nov - mar	16.7	(%)
Cumplimiento entrega A.P.		(%)
Altura de agua promedio del embalse	6.31	(m)
Caudal de generación promedio	0.23	(m3/s)
Potencia Instalada (MW)	0.00	MW
Energía generada promedio anual	0.10	(GWh)
Factor de Planta		(°/1)

Fuente: Elaboración propia.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

2.5.3. Escenarios Situación con Proyecto

Se procesó el modelo para cada uno de los cinco (5) escenarios planteados de desarrollo futuro, considerando la alternativa de ubicación de embalse seleccionada (Alternativa Nº1, primera desde aguas arriba)

En cada escenario se determinó, mediante iteraciones sucesivas, el volumen de regulación en el embalse para lograr una seguridad de riego de 85% de la superficie productiva definida para el escenario correspondiente.

En los Cuadros 2.5.3-1 al 2.5.3-5 se resume los resultados del escenario con proyecto, para los cinco escenarios de proyecto.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 2.5.3-1
ESCENARIO Nº 1 CON EMBALSE PARA RIEGO DE 3.254 HA

MODELO DE SIMULACION EMBALSE HUEDQUE

ESCENARIO ESCENARIO Nº 1 CON PROYECTO

Alternativa de embalse (1, 2 o 3)		1	ESCENARIO	1

TASAS DE RIEGO

Zona de riego	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	TOTAL
MI-1	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8
MI-2	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8
MD-1	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8
MD.2	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8
D-1	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8
D-2	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8

Caudales ecológicos (m3/s)

ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
0.082	0.089	0.502	0.646	0.646	0.646	0.646	0.378	0.177	0.091	0.022	0.058

Superficie de cada zona

Zona Matriz izquierdo 1 (MI-1)	732.7
Zona Matriz izquierdo 2 (MI-2)	664.7
Zona Matriz Derecho 1 (MD-1)	681.0
Zona Matriz Derecho 2 (MD-2)	574.8
Zona Derivado 1 (D-1)	271.4
Zona Derivado 2 (D-2)	330.1

SUPERFICIE TOTAL	3254.6	(has)
PÉRDIDAS POR CONDUCCION	20	(%)
VOLUMEN DE REGULACION	37.8	(Hm3)
VOLUMEN INICIAL	3	(Hm3)

DEMANDA PARA A.P.	0.010	(m3/s)
VOLUMEN MUERTO	3.3	(Hm3)
CAUDAL DE DISEÑO CENTRAL	2.0	(m3/s)
CAUDAL MINIMO CENTRAL	0.2	(m3/s)
ALTURA DE DISEÑO CENTRAL	25.0	(m)
ALTURA MINIMA DE OPERACIÓN	8.3	(m)

RESULTADOS

Años fallados	5	(De un total de 33 años simulados)
Seguridad de riego	84.8	(%)
Evaporación promedio del embalse	0.26	(Hm3/mes)
Promedio demanda suplida nov - mar	98.1	(%)
Cumplimiento entrega A.P.	98.8	(%)
Altura de agua promedio del embalse	18.29	(m)
Caudal de generación promedio	1.51	(m3/s)
Potencia Instalada (MW)	0.41	MW
Energía generada promedio anual	2.02	(GWh)
Factor de Planta	0.57	(°/1)

Fuente: Elaboración propia.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 2.5.3-2
ESCENARIO Nº 2 CON EMBALSE PARA RIEGO DE 2.964 HA

MODELO DE SIMULACION EMBALSE HUEDQUE

ESCENARIO ESCENARIO Nº 2 CON PROYECTO

Alternativa de embalse (1, 2 o 3)		1	ESCENARIO	2

TASAS DE RIEGO

Zona de riego	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	TOTAL
MI-1	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8
MI-2	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8
MD-1	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8
MD.2	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8
D-1	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8
D-2	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8

Caudales ecológicos (m3/s)

ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
0.082	0.089	0.502	0.646	0.646	0.646	0.646	0.378	0.177	0.091	0.022	0.058

Superficie de cada zona

Zona Matriz izquierdo 1 (MI-1)	695.2
Zona Matriz izquierdo 2 (MI-2)	547.9
Zona Matriz Derecho 1 (MD-1)	631.2
Zona Matriz Derecho 2 (MD-2)	550.7
Zona Derivado 1 (D-1)	271.8
Zona Derivado 2 (D-2)	267.9

SUPERFICIE TOTAL	2964.7	(has)
PÉRDIDAS POR CONDUCCION	20	(%)
VOLUMEN DE REGULACION	34.5	(Hm3)
VOLUMEN INICIAL	3	(Hm3)

DEMANDA PARA A.P.	0.010	(m3/s)
VOLUMEN MUERTO	3.3	(Hm3)
CAUDAL DE DISEÑO CENTRAL	2.0	(m3/s)
CAUDAL MINIMO CENTRAL	0.2	(m3/s)
ALTURA DE DISEÑO CENTRAL	22.0	(m)
ALTURA MINIMA DE OPERACIÓN	7.3	(m)

RESULTADOS

Años fallados	5	(De un total de 33 años simulados)
Seguridad de riego	84.8	(%)
Evaporación promedio del embalse	0.24	(Hm3/mes)
Promedio demanda suplida nov - mar	98.2	(%)
Cumplimiento entrega A.P.	99.0	(%)
Altura de agua promedio del embalse	17.73	(m)
Caudal de generación promedio	1.40	(m3/s)
Potencia Instalada (MW)	0.36	MW
Energía generada promedio anual	1.83	(GWh)
Factor de Planta	0.58	(°/1)

Fuente: Elaboración propia.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 2.5.3-3
ESCENARIO Nº 3 CON EMBALSE PARA RIEGO DE 2.694 HA

MODELO DE SIMULACION EMBALSE HUEDQUE

ESCENARIO	**ESCENARIO Nº 3 CON PROYECTO**
Alternativa de embalse (1, 2 o 3)	**1**
ESCENARIO	**3**

TASAS DE RIEGO

Zona de riego	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	TOTAL
MI-1	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8
MI-2	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8
MD-1	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8
MD.2	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8
D-1	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8
D-2	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8

Caudales ecológicos (m3/s)

ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
0.082	0.089	0.502	0.646	0.646	0.646	0.646	0.378	0.177	0.091	0.022	0.058

Superficie de cada zona

Zona Matriz izquierdo 1 (MI-1)	622.8
Zona Matriz izquierdo 2 (MI-2)	605.9
Zona Matriz Derecho 1 (MD-1)	565.3
Zona Matriz Derecho 2 (MD-2)	428.1
Zona Derivado 1 (D-1)	243.7
Zona Derivado 2 (D-2)	229.0

SUPERFICIE TOTAL	2694.8	(has)
PÉRDIDAS POR CONDUCCION	20	(%)
VOLUMEN DE REGULACION	31.4	(Hm3)
VOLUMEN INICIAL	3	(Hm3)

DEMANDA PARA A.P.	0.010	(m3/s)
VOLUMEN MUERTO	3.3	(Hm3)
CAUDAL DE DISEÑO CENTRAL	2.0	(m3/s)
CAUDAL MINIMO CENTRAL	0.2	(m3/s)
ALTURA DE DISEÑO CENTRAL	20.0	(m)
ALTURA MINIMA DE OPERACIÓN	6.6	(m)

RESULTADOS

Años fallados	5	(De un total de 33 años simulados)
Seguridad de riego	84.8	(%)
Evaporación promedio del embalse	0.23	(Hm3/mes)
Promedio demanda suplida nov - mar	98.3	(%)
Cumplimiento entrega A.P.	99.0	(%)
Altura de agua promedio del embalse	17.16	(m)
Caudal de generación promedio	1.31	(m3/s)
Potencia Instalada (MW)	0.32	MW
Energía generada promedio anual	1.65	(GWh)
Factor de Planta	0.58	(°/1)

Fuente: Elaboración propia.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 2.5.3-4
ESCENARIO Nº 4 CON EMBALSE PARA RIEGO DE 2.405 HA

MODELO DE SIMULACION EMBALSE HUEDQUE

ESCENARIO	ESCENARIO Nº 4 CON PROYECTO
Alternativa de embalse (1, 2 o 3)	1
ESCENARIO	4

TASAS DE RIEGO

Zona de riego	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	TOTAL
MI-1	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8
MI-2	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8
MD-1	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8
MD.2	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8
D-1	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8
D-2	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8

Caudales ecológicos (m3/s)

ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
0.082	0.089	0.502	0.646	0.646	0.646	0.646	0.378	0.177	0.091	0.022	0.058

Superficie de cada zona

Zona Matriz izquierdo 1 (MI-1)	583.7
Zona Matriz izquierdo 2 (MI-2)	487.5
Zona Matriz Derecho 1 (MD-1)	542.4
Zona Matriz Derecho 2 (MD-2)	427.4
Zona Derivado 1 (D-1)	230.5
Zona Derivado 2 (D-2)	133.9

SUPERFICIE TOTAL	2405.4	(has)
PÉRDIDAS POR CONDUCCION	20	(%)
VOLUMEN DE REGULACION	28.1	(Hm3)
VOLUMEN INICIAL	3	(Hm3)

DEMANDA PARA A.P.	0.010	(m3/s)
VOLUMEN MUERTO	3.3	(Hm3)
CAUDAL DE DISEÑO CENTRAL	1.8	(m3/s)
CAUDAL MINIMO CENTRAL	0.2	(m3/s)
ALTURA DE DISEÑO CENTRAL	20.0	(m)
ALTURA MINIMA DE OPERACIÓN	6.6	(m)

RESULTADOS

Años fallados	5	(De un total de 33 años simulados)
Seguridad de riego	84.8	(%)
Evaporación promedio del embalse	0.22	(Hm3/mes)
Promedio demanda suplida nov - mar	98.4	(%)
Cumplimiento entrega A.P.	99.2	(%)
Altura de agua promedio del embalse	16.52	(m)
Caudal de generación promedio	1.20	(m3/s)
Potencia Instalada (MW)	0.29	MW
Energía generada promedio anual	1.46	(GWh)
Factor de Planta	0.57	(°/1)

Fuente: Elaboración propia.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 2.5.3-5
ESCENARIO Nº 5 CON EMBALSE PARA RIEGO DE 1.613 HA

MODELO DE SIMULACION EMBALSE HUEDQUE

ESCENARIO	**ESCENARIO Nº 5 CON PROYECTO**
Alternativa de embalse (1, 2 o 3)	**1**
ESCENARIO	**5**

TASAS DE RIEGO

Zona de riego	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	TOTAL
MI-1	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8
MI-2	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8
MD-1	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8
MD.2	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8
D-1	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8
D-2	200.9	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	413.2	1336.5	2072.9	2379.7	1887.0	960.5	9294.8

Caudales ecológicos (m3/s)

ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
0.082	0.089	0.502	0.646	0.646	0.646	0.646	0.378	0.177	0.091	0.022	0.058

Superficie de cada zona

Zona Matriz izquierdo 1 (MI-1)	583.7
Zona Matriz izquierdo 2 (MI-2)	487.5
Zona Matriz Derecho 1 (MD-1)	542.4
Zona Matriz Derecho 2 (MD-2)	0.0
Zona Derivado 1 (D-1)	0.0
Zona Derivado 2 (D-2)	0.0

SUPERFICIE TOTAL	1613.6	(has)
PÉRDIDAS POR CONDUCCION	20	(%)
VOLUMEN DE REGULACION	18.7	(Hm3)
VOLUMEN INICIAL	3	(Hm3)

DEMANDA PARA A.P.	0.010	(m3/s)
VOLUMEN MUERTO	3.3	(Hm3)
CAUDAL DE DISEÑO CENTRAL	1.5	(m3/s)
CAUDAL MINIMO CENTRAL	0.2	(m3/s)
ALTURA DE DISEÑO CENTRAL	16.0	(m)
ALTURA MINIMA DE OPERACIÓN	5.3	(m)

RESULTADOS

Años fallados	5	(De un total de 33 años simulados)
Seguridad de riego	84.8	(%)
Evaporación promedio del embalse	0.18	(Hm3/mes)
Promedio demanda suplida nov - mar	98.7	(%)
Cumplimiento entrega A.P.	98.9	(%)
Altura de agua promedio del embalse	14.33	(m)
Caudal de generación promedio	0.91	(m3/s)
Potencia Instalada (MW)	0.19	MW
Energía generada promedio anual	0.96	(GWh)
Factor de Planta	0.57	(°/1)

Fuente: Elaboración propia.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

2.6. RESUMEN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados del modelo de simulación se han resumido en el Cuadro 2.6-1, 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 2.6-1
RESUMEN DE RESULTADOS MODELO DE SIMULACION

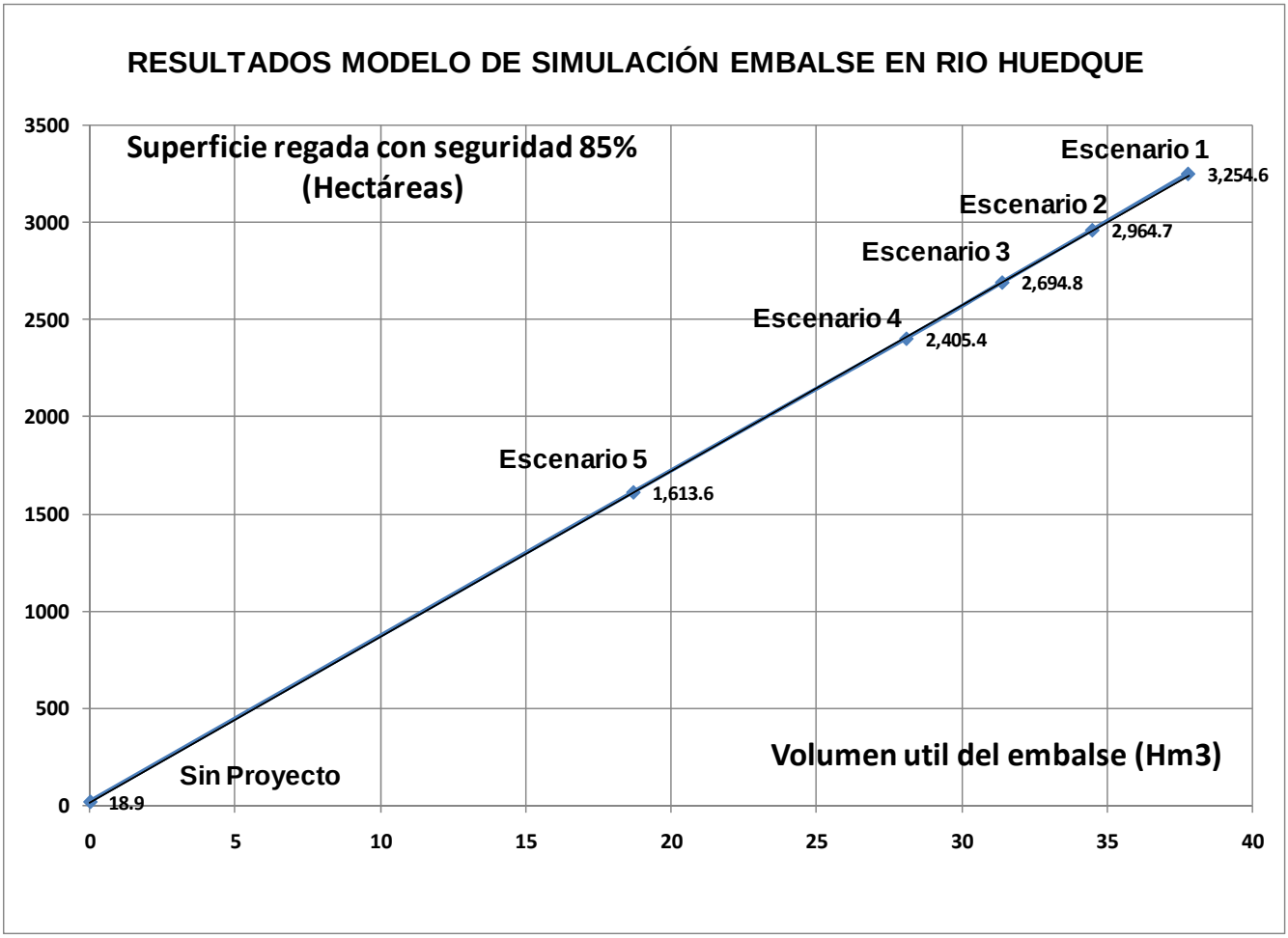
Variable	SIN PROYECTO		CON PROYECTO				
	SUP. 85%	SUP. TOTAL	ESC. 1	ESC. 2	ESC. 3	ESC. 4	ESC. 5
Superficie Productiva bajo riego (ha)	18,9	3254,6	3254,6	2964,7	2694,8	2405,4	1613,6
Volumen de regulación (hm^3)	0	0	37,8	34,5	31,4	28,1	18,7
Seguridad de riego (%)	85	0	85	85	85	85	85
Evaporación promedio del embalse (hm^3)	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
Operación Minicentral Hidroeléctrica							
Altura de agua promedio del embalse (m)			18,3	17,7	17,1	16,5	14,3
Caudal de generación promedio (m^3/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 la Figura 2.6-1 se ilustra las superficies regadas con seguridad 85% y los correspondientes valores de volúmenes útiles del embalse.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 2.6-1
SUPERFICIES REGADAS CON SEGURIDAD 85% Y VOLÚMENES ÚTILES DEL EMBALSE.



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 ha. Además, se verifica que en la situación actual no hay seguridad de riego para la superficie potencial del proyecto de 3.256 ha.

En el escenario con proyecto, se determinó que los volúmenes de regulación requeridos con cada escenario varían entre 18,7 y 37,8 hm^3, observándose una clara tendencia lineal entre los volúmenes requeridos y la superficie regada con seguridad 85%

De los resultados obtenidos, se puede indicar que, en forma preliminar, 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 hm^3.

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.

2.7. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Se efectuaron procesos con el modelo de simulación, considerando que la red de canales está revestida, lo cual se representa con una pérdida promedio estimada en un 10% global para todos los escenarios de proyecto.

En el Cuadro 2.7-1 se indica los volúmenes útiles que son necesarios en cada escenario para regar la superficie con seguridad de 85%,

CUADRO 2.7-1
ANALISIS DE SENSIBIIDAD DEL MODELO – PÉRDIDAS DE CONDUCCIÓN CON RED DE CANALES EN TIERRA Y REVESTIDOS

Variable	ESCENARIOS CON PROYECTO				
	ESC. 1	ESC. 2	ESC. 3	ESC. 4	ESC. 5
Superficie Productiva bajo riego, regada con 85% de seguridad,(ha)	3.254	2.964	2.694	2.405	1.613
Volumen de regulación, Canales en tierra (Pérdida de 20%), (hm^3)	37,8	34,5	31,4	28,1	18,7
Volumen de regulación Canales Revestidos, (Pérdida de 10%) hm^3	33,7	30,8	28,0	25,0	16,6

Fuente: Elaboración Propia.

En el Cuadro 2.7-1 se observa que la disminución en el volumen útil del embalse es de un 11%. Se estima que el menor costo de las obras asociadas a un menor volumen útil sería poco relevante, en relación con el aumento del costo de los revestimientos de canales. En efecto, se trata de una red de canales de 143 km de longitud, en suelos que tienen alto contenido de finos y que por lo tanto no tendrían filtraciones relevantes las cuales se han estimado en un 20% global. Por lo tanto, la disminución de las pérdidas de agua de un 20% a un 10%, al revestir la red de canales no se justificaría económicamente.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

2.8. ANEXOS DIGITALES

En el Anexo F.2-1 se encuentran los documentos de cálculo correspondientes a los siguientes escenarios del modelo de simulación:

a) Procesos Escenario Situación actual

- Situación actual con seguridad de 85%
- Situación actual, superficie de 3.254 ha

b) Procesos Escenarios Situación futura con embalse.

- Escenario 1 con embalse
- Escenario 2 con embalse
- Escenario 3 con embalse
- Escenario 4 con embalse
- Escenario 5 con embalse

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

3. DISEÑOS PRELIMINARES

3.1. MURO DE EMBALSE

3.1.1. Dimensiones Generales

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 30,0 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.

3.1.2. Cálculo de la Revancha

La altura total del embalse, corresponde a la altura del volumen muerto, más el volumen útil y más la revancha. La revancha se desglosa en las partes siguientes:

- Vertedero: Hd (m)

- Rev. Asentamiento: r1 (m)

- Rev. por Ola: r2 (m)

- Rev. de cierre (factor de seguridad): r3 (m)

A continuación, se detalla el cálculo de la revancha del embalse, la cual se aplica a los diferentes tamaños de embalse de cada escenario de proyecto.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

3.1.2.1. Altura de Agua Sobre Umbral (Hd)

La altura de agua sobre el umbral se determina a partir de la ecuación de gasto del vertedero:

$$Q = m \cdot L \cdot h_d \sqrt{2 \cdot g \cdot h_d}$$

Donde:

Q: Caudal de salida (m^3/s)
L: Ancho del vertedero (m)
h_d: Altura de agua del embalse sobre la cota del vertedero (m)
m: coeficiente de gasto
g: Aceleración de gravedad (m/s^2)

Se adoptado un valor de caudal de diseño de 1.211 m^3/s, equivalente a un período de retorno de 1.000 años. El Cuadro 3.1.2.1-1 muestra los parámetros y resultados obtenidos por el cálculo.

CUADRO 3.1.2.1-2
CALCULO DE LA ALTURA SOBRE EL UMBRAL

Parámetro	Unidad	Magnitud
Q	m^3/s	1.211
m	m	0,45
L	m	80
g	m/s^2	9,81
hd	m	3,86

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa la altura de agua sobre el vertedero con una crecida milenaria seria de 3,86 metros. En Anexo F.3-1 se presentan los cálculos en detalle.

3.1.2.2. Revancha por Asentamiento del Muro y Fundación (r1)

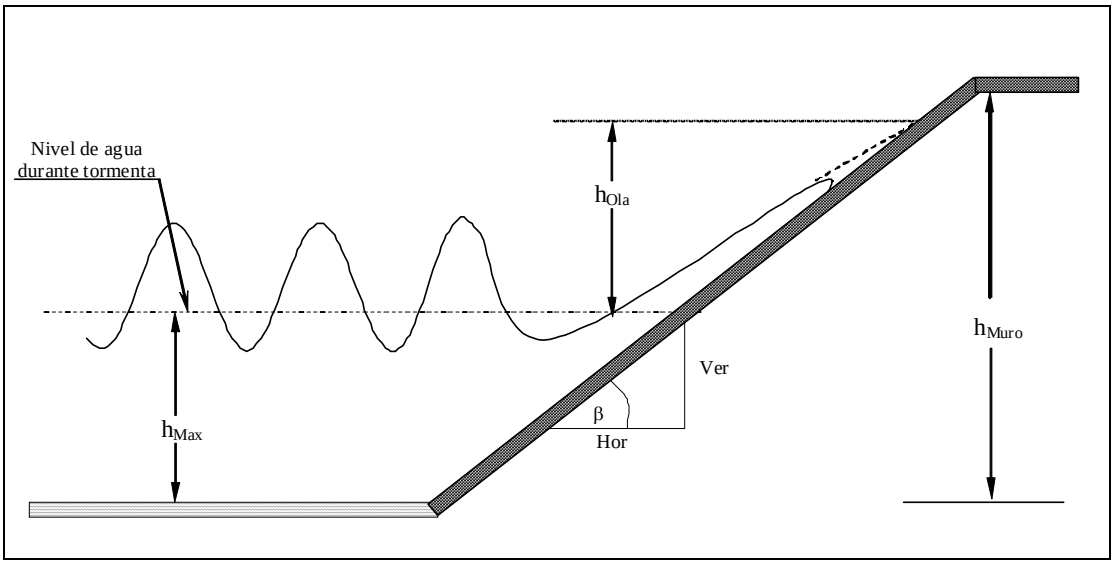
A partir de la experiencia de varias presas de CFGD, se considera una altura de prevención de 1 en 100 (0,01) de la altura de agua a capacidad normal o un mínimo de 0,10 m. De esta manera, esta revancha se evalúa en 0,37 m.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

3.1.2.3. Revancha por Oleaje (r2)

La altura de oleaje se refiere al nivel sobre la superficie libre máxima que alcanza una ola después de reventar sobre el talud de aguas arriba durante una tormenta (h_{ola}), tal como se muestra en la Figura 3.1.2.3-1

FIGURA 3.1.2.3-1
REVANCHA POR OLEAJE



Fuente: Elaboración propia

En la determinación de la revancha, se requiere conocer las siguientes variables:

- Dirección de diseño del viento
- Fetch efectivo
- Velocidad de diseño del viento sobre el agua
- Duración mínima del viento

Las variables anteriormente indicadas se obtienen a partir de los registros meteorológicos, sin embargo, si no se disponen de ellos, como es el caso de este estudio, existen recomendaciones con los cuales se determinan resultados más conservadores:

- **Dirección del Viento:** La dirección del viento se puede suponer fijando el punto en la línea de la ribera opuesta según el mayor trecho del espejo de agua del embalse desde el sitio de la presa,
- **Fetch Efectivo:** Se traza la línea central (o línea de diseño) a partir del punto medio de la presa hasta el punto de la ribera opuesta que da la mayor longitud en el espejo del agua

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Luego se trazan 7 líneas radiales con ángulos de 6º entre sí a ambos lados de la línea central, de acuerdo al esquema que se presenta en la Figura 3.1.2.3-2.

FIGURA 3.1.2.3-3
ESQUEMA DISTRIBUCIÓN DE LÍNEAS PARA CÁLCULO DE FETCH EFECTIVO



Fuente: Elaboración propia

Aplicando la ecuación del Fetch efectivo, se obtuvo 0,702 millas (1.130 m). En Anexo F.3-1 se presenta el detalle de este cálculo.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Velocidad de Diseño: Como el valor del Fetch efectivo es menor a 1 milla, se sugiere una velocidad de viento sobre la mayor longitud desde la presa a la ribera opuesta, velocidad que es igual a 50 mph. Este valor está basado en las recomendaciones para la estimación de la revancha o borde libre mínimo del Bureau of Reclamation, en su publicación técnica Diseño de Presas Pequeñas.

Se consideran las expresiones empíricas para determinar la altura debido al oleaje. El Fetch (F) se expresa en millas, la altura debido al oleaje (h_{Ola}) en pies y la velocidad del viento en mph. Los resultados obtenidos se presentan en el Cuadro 3.1.2.3-1.

CUADRO 3.1.2.3-2
ALTURA DE OLA

Autor	Altura	
	Pie	m
Stevenson	2,84	0,8661
Molitor	2,59	0,7900
Creager	1,68	0,5128
Bur. of Rec.	3,11	0,9487

Fuente: Elaboración propia

Se adopta el valor de altura máxima de ola, que corresponde al valor determinado por el método de Bureau of Reclamation. La revancha en sí, corresponde a un 50% (factor de seguridad) sobre la altura máxima calculada: r_2=1,50 max(h_{ola}), con lo que se tiene una revancha por ola de 1,423 m, que se aproxima a 1,5 m. Los cálculos se presentan en el Anexo F.3-1.

3.1.2.4. Revancha de Cierre (r3)

Se ha considerado una revancha adicional calculada como el 14% de la altura Hd, el resultado es 0,54 m como factor de seguridad del embalse. Los cálculos se presentan en el Anexo F.3-1.

3.1.2.5. Revancha Total Adoptada

La Revancha total se obtuvo para la crecida de diseño de 1.000 años y fueron verificadas para la crecida de 10.000 años. Se consideró una altura de vertedero y de coronamiento tal que la crecida de 10.000 años no generase daños en la presa y fuera capaz de evacuarse completamente. La memoria de cálculo del Anexo F.3-1 muestra los valores obtenidos. Finalmente, el Cuadro 3.1.2.5-1 se presenta la revancha total adoptada.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.1.2.5-2
REVANCHA TOTAL ADOPTADA

Parámetro	Valor
Vertedero: Hd (m)	3,86
Rev. Asentamiento: r1 (m)	0,37
Rev. por Ola: r2 (m)	1,5
Rev. de cierre (factor de seguridad): r3 (m)	0,54
Revancha Total Adoptada (m)	6,3

Fuente: Elaboración propia

3.1.3. Cotas Relevantes del Embalse

Sobre la base de los cálculos anteriores y de los resultados del modelo de simulación de la operación del embalse, para cada uno de los cinco escenarios de proyecto, se ha elaborado el Cuadro 3.1.3-1.

En este Cuadro se comienza con la cota a pie de embalse que es 156,00 para todos los escenarios. A continuación, se define la Cota de la torre de toma que está definida como la necesaria para que la cota de inicio de los canales matrices, que es 1,00 m más baja, sea tal que permita dejar bajo cota de canal la superficie requerida.

Mediante la curva de capacidad, se determina el Volumen almacenado hasta torre de toma (Volumen Muerto). Luego, se le agrega el Volumen útil requerido según la superficie del escenario, que se determinó con el modelo de simulación.

Con lo anterior, se obtiene el Volumen total almacenado, hasta el umbral del vertedero. Al aplicar la curva de capacidad, se deduce la Cota umbral del vertedero que corresponde al volumen total almacenado (Volumen muerto más volumen útil).

A la cota umbral del vertedero se le suma la revancha total determinada anteriormente, con lo cual se obtiene la Cota de coronamiento y la Altura total del muro.

Finalmente, se efectúa una aproximación al 0,50 m superior, con lo cual se obtiene la Cota coronamiento y Altura total del muro definitiva.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.1.3-1
CÁLCULO DE LAS COTAS RELEVANTES 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), hm^3	11,32	7,39	3,80	3,30	3,30
Volumen útil requerido según superficie del escenario hm^3	37,80	34,50	31,40	28,1	18,70
Volumen total almacenado, hasta el umbral del vertedero hm^3	49,12	41,89	35,20	31,40	22,00
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	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

3.2. OBRA DE EVACUACIÓN DE CRECIDAS

3.2.1. Descripción

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.

La ubicación del vertedero de crecidas se determinó mediante los estudios de mecánica de suelos y resultados de los sondajes realizado en ambas laderas donde se ubicarán los estribos del muro del embalse, siendo recomendada su ubicación sobre la ladera del estribo izquierdo del embalse, básicamente por la presencia de roca y porque los taludes en la ribera izquierda no son tan verticales como los de la ribera derecha, con lo cual resulta un menor volumen de excavación en roca. En el conjunto de planos **ALTSE-HDQ-07** al **ALTSE-HDQ-11** se muestra el detalle del vertedero y del canal de descarga para los distintos escenarios de proyecto.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

3.2.2. Diseño Hidráulico

La altura de agua sobre el umbral se determina a partir de la ecuación de gasto del vertedero:

$$Q=C\ L\ Hd\ \sqrt{2g\ Hd}$$

Donde:

Q : Caudal de entrada al vertedero, 1.211,1 (m^3/s)
Hd: Altura sobre umbral del vertedero (m)
g : Aceleración de gravedad (m/s^2)
L : Longitud del vertedero, de 80 (m)
C : Coeficiente de gasto, 0,45

Hd resulta ser de 3,86 m.

La estructura se definió de una altura de 2,0 m. El talud aguas arriba se diseño H:V=2:3. En el diseño de la forma del vertedero se han utilizado los gráficos recomendados por el USBR[1], de modo que se obtuvieron las dimensiones características del vertedero, que se presenta en el Cuadro 3.2.2-1.

CUADRO 3.2.2-1
RESUMEN DIMENSIONES VERTEDERO

Q (m^3/s)	He (m)	Hd (m)	P (m)	R1 (m)	R2 (m)	Xc (m)	Yc (m)	Ec. Umbral
1211	3,636	3,86	2,0	0,49	0,33	0,205	0,20	$Y = -0{,}0512\ X^{1{,}765}$

Fuente: Elaboración propia

Donde:

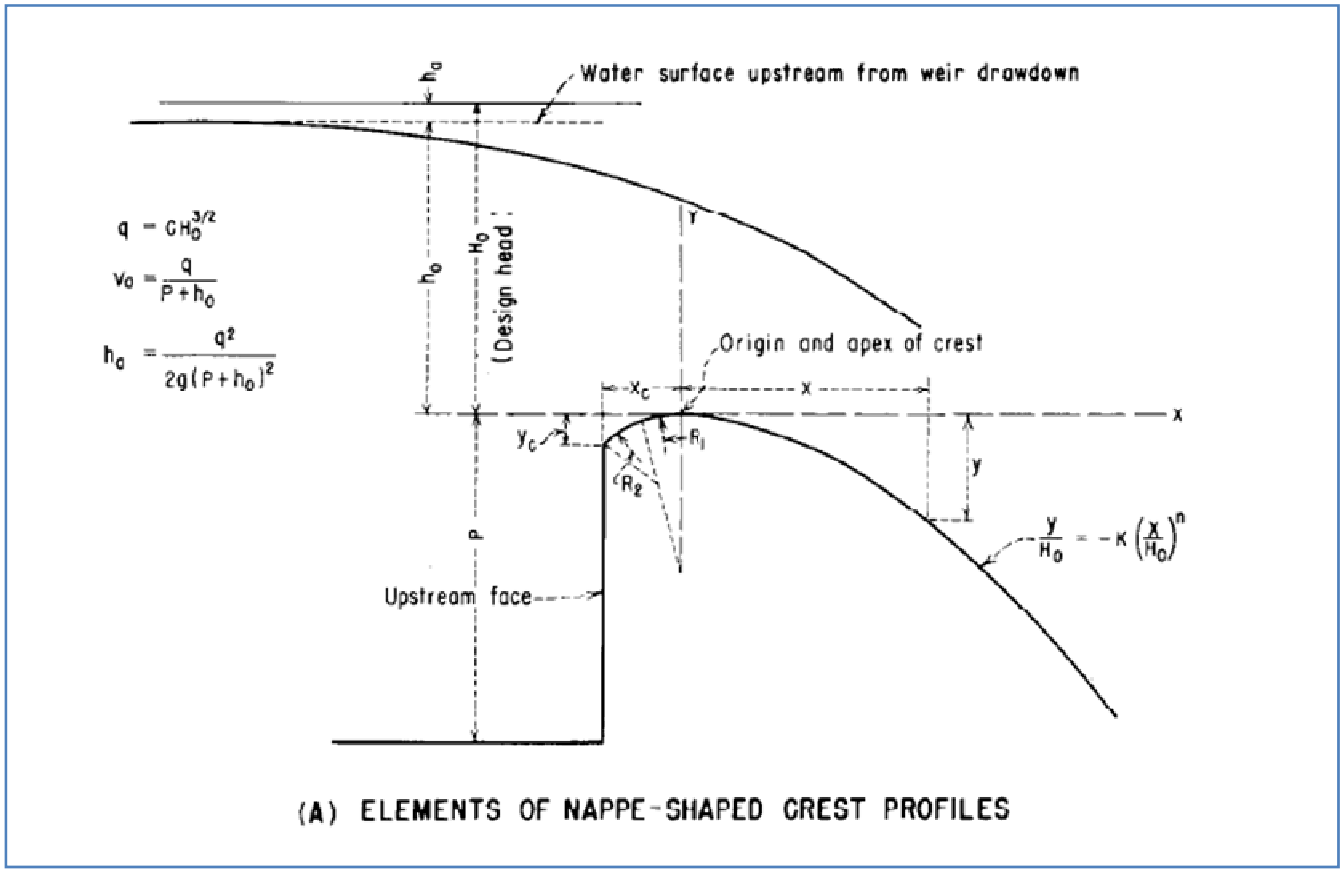
Q : Caudal de diseño asociado a un periodo de retorno de 1,000 años
He: Altura de energía sobre umbral
Hd: Altura de agua sobre umbral
P: Altura del vertedero
R1: Radio de curvatura del talud aguas arriba
R2: Radio 2 de curvatura del talud aguas arriba
Xc: Longitud del tramo curvo superior del talud aguas arriba
Yc: Altura del tramo curvo superior del talud aguas arriba

[1] Fig. 187: Factores para la determinación de las secciones con la forma de la lámina vertedora

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

En la Figura 3.2.2-1 se presenta la solución geométrica parametrizada del vertedero:

FIGURA 3.2.2-1
ESQUEMA DEL VERTEDERO. (FUENTE: USBR DESIGN OF SMALL DAMS, FIG. 9-21)

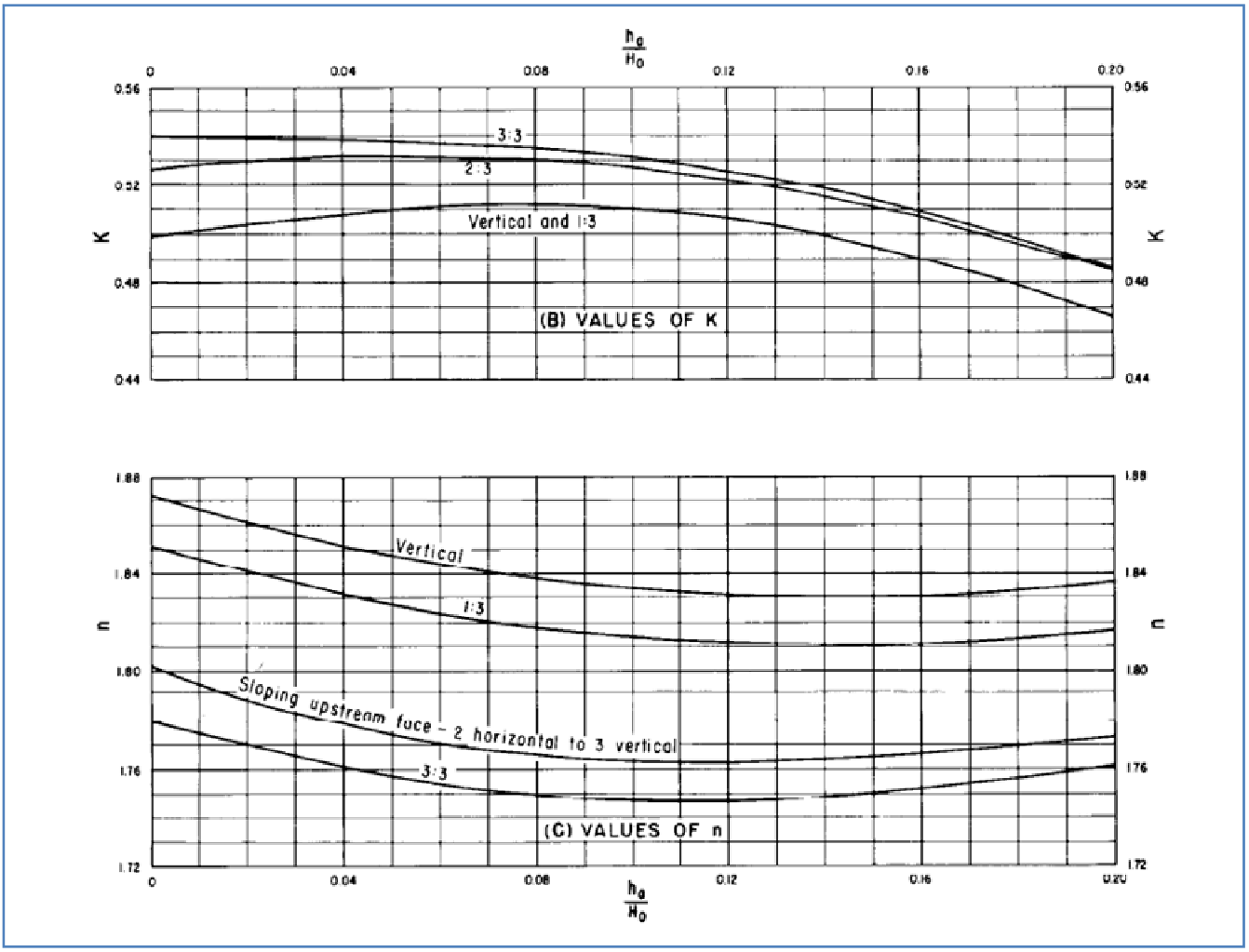


Fuente: USBR

De acuerdo con la Figura 9-21 del USBR (1 de 2 y 2 de 2), las relaciones y gráficos de cálculo se reproducen en las Figuras 3.2.2-2 y 3.2.2-3.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

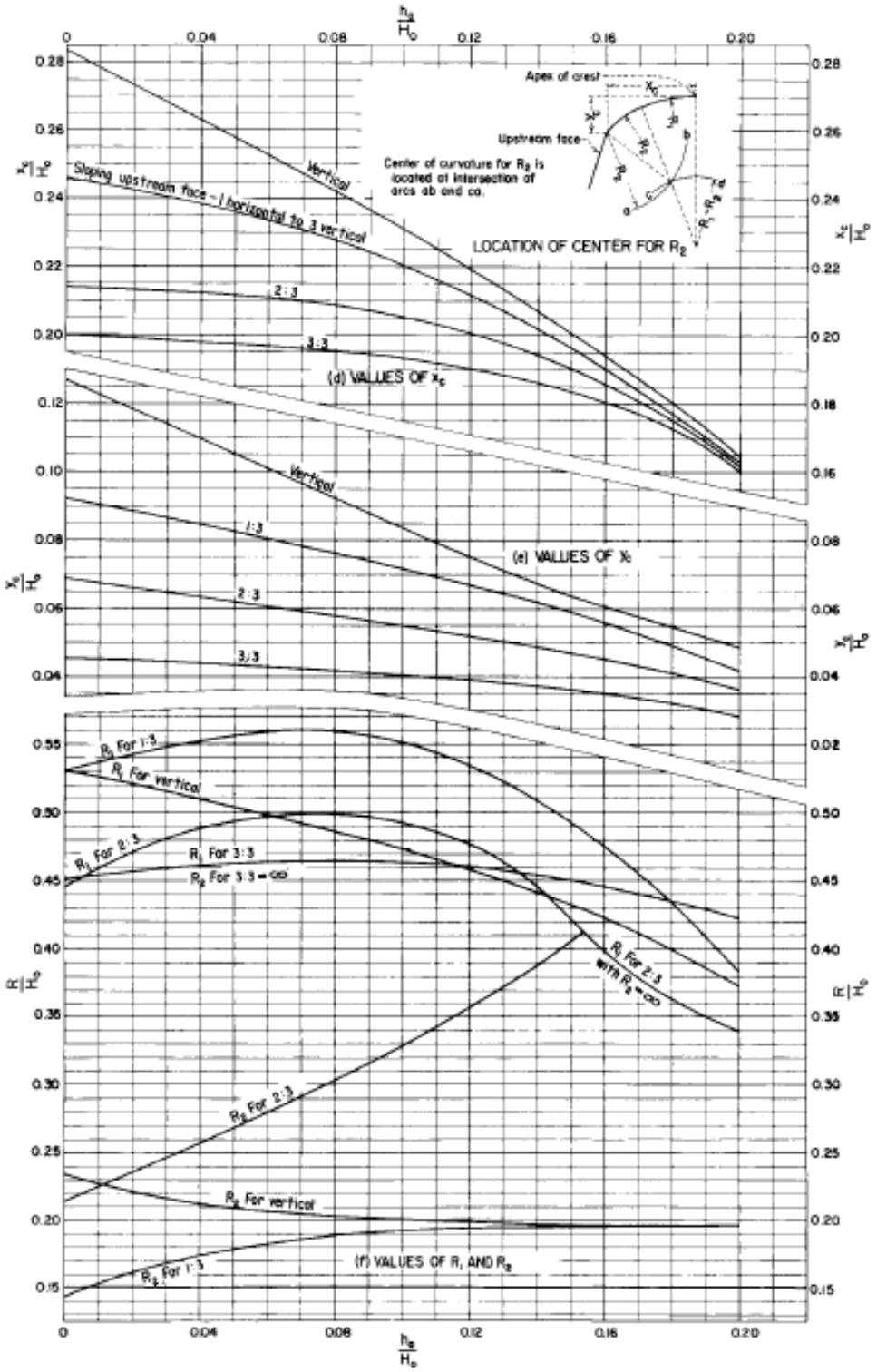
FIGURA 3.2.2-2
ELEMENTOS DE DISEÑO DE VERTEDEROS.
(USBR DESIGN OF SMALL DAMS, FIG. 9-21)



Fuente: USBR

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 3.2.2-3
ELEMENTOS DE DISEÑO DE VERTEDEROS. (USBR DESIGN OF SMALL DAMS)

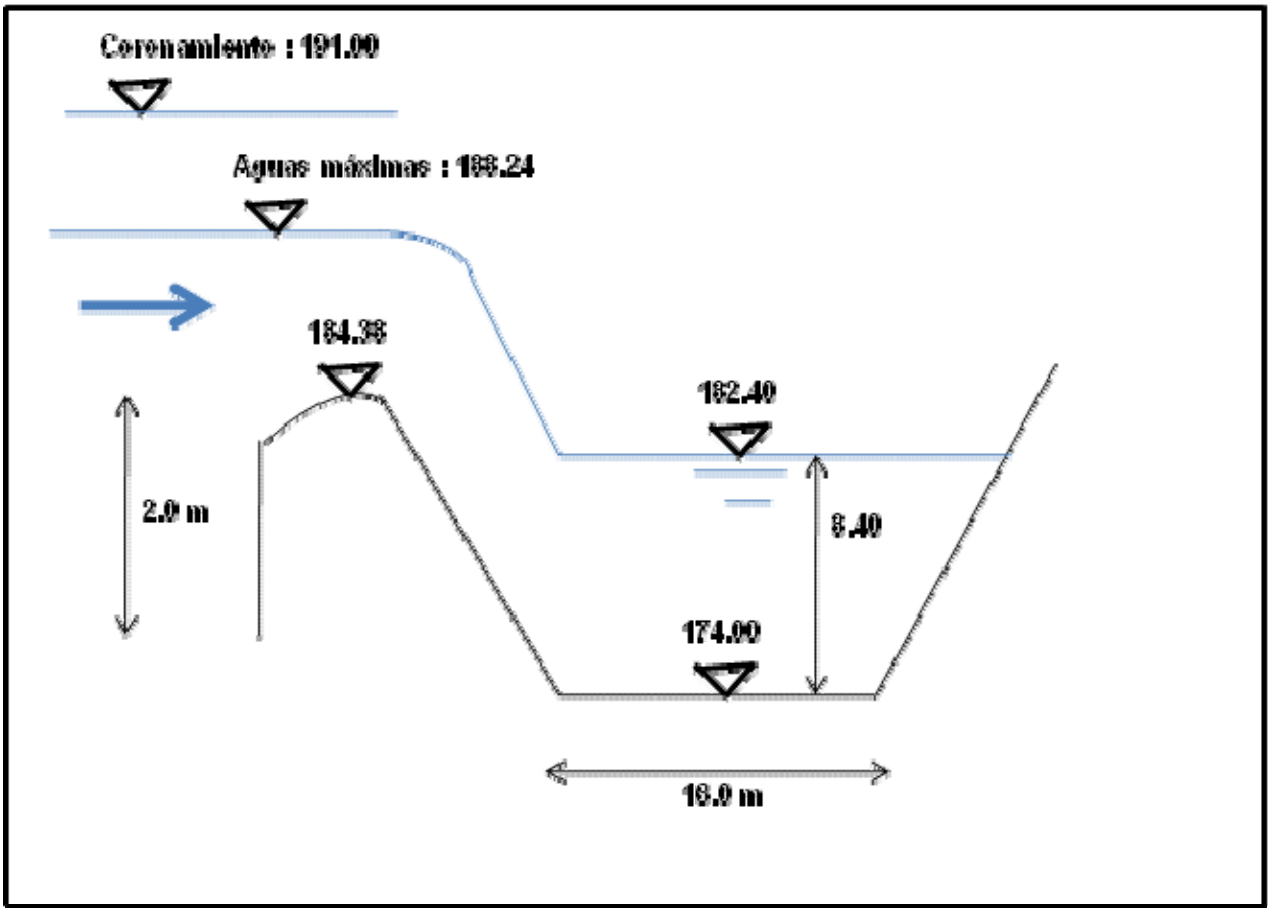


Fuente: USBR

En la Figura 3.2.2-4 se ilustra la geometría general del vertedero, con las cotas correspondientes al escenario Nº 1.

En el canal colector, de ancho 16 m y taludes 1:1, la cota de aguas máximas con el caudal de diseño es de 8,40 m, quedando a aproximadamente 2 m bajo la cota del umbral, con lo cual se independiza el flujo hacia aguas abajo.

FIGURA 3.2.2-4
GEOMETRÍA GENERAL DEL VERTEDERO



Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 3.2.2-5 se ilustra la geometría del vertedero hacia aguas abajo del canal colector, en el cual se distinguen los elementos siguientes:

1) Término del canal colector e inicio del rápido de descarga. En esta sección se produce altura crítica, debido al cambio brusco a pendiente fuerte.

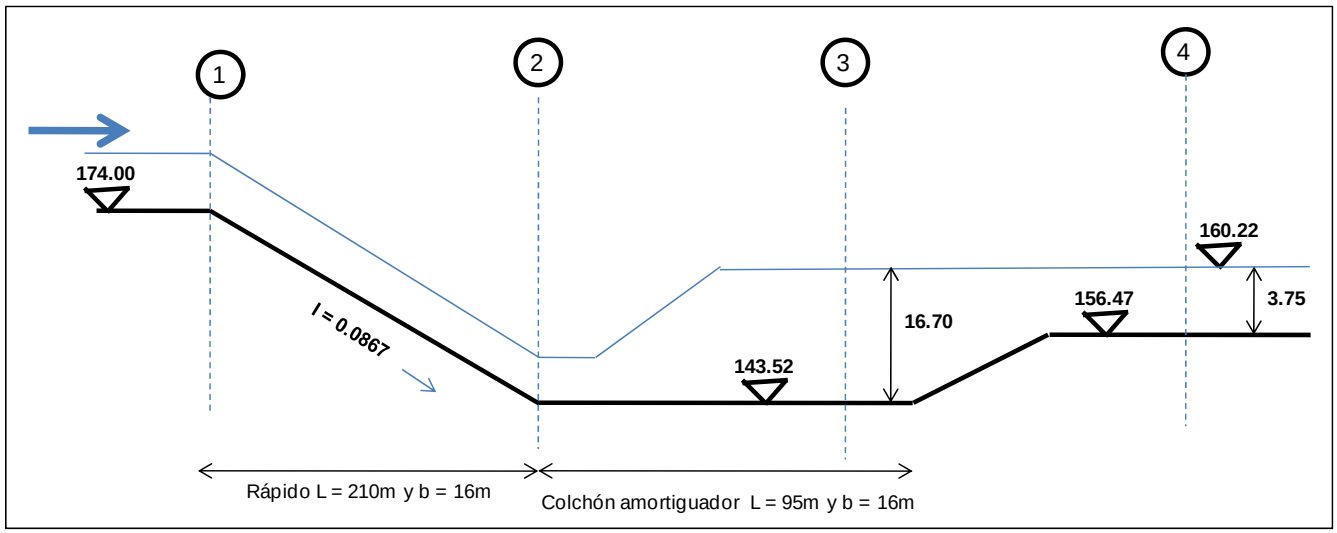
2) Término del rápido de descarga e inicio del colchón, tipo USBR tipo IV.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

3) Fin del colchón disipador de 95 m de longitud y 16 m de ancho.

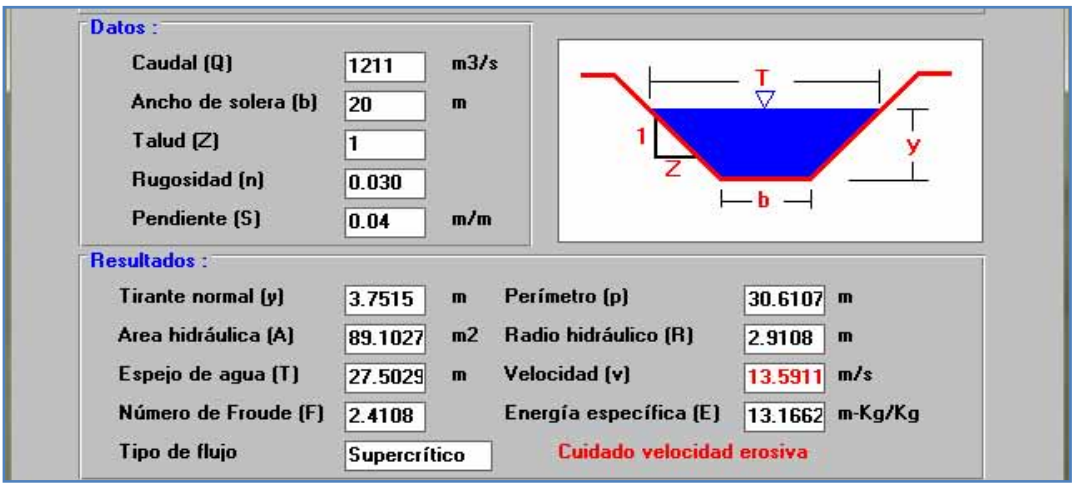
4) Sección del río aguas abajo, con altura normal de 3,75 m. Se consideró una sección rectangular de 20 m de ancho y taludes 1:1. En la Figura 3.2.2-6 se detalla el cálculo de esta altura normal.

FIGURA 3.2.2-5
GEOMETRÍA DEL VERTEDERO HACIA AGUAS ABAJO DEL CANAL COLECTOR



Fuente: Elaboración Propia

FIGURA 3.2.2-6
CÁLCULO DE ALTURA NORMAL SECCIÓN DEL RÍO AGUAS ABAJO



Fuente: Elaboración Propia a partir de Hcanales

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

El cálculo del eje hidráulico se efectuó entre las secciones 1 a 4 descritas anteriormente. En el primer tramo del rápido, se aplicó el método de Standish – Hall, que considera la incorporación de aire a la masa de agua a medida que se produce el torrente, (Referencia: Klaus Pontani, Tercer Coloquio Nacional de Hidráulica, SOCHID, 1977, “*Determinación del Eje Hidráulico en Canales de Pendiente Fuerte*”)

Se aplicó el cálculo del eje hidráulico, considerando diferentes anchos de escurrimiento, de modo de analizar su influencia. En el Cuadro 3.2.2-2 se resume el cálculo de eje hidráulico realizado para anchos entre 12 y 24 m. En Anexo F.3-2 se detalla el cálculo del eje hidráulico realizado.

CUADRO 3.2.2-2
CÁLCULO DE EJE HIDRÁULICO DEL VERTEDERO, CON DIFERENTES ANCHOS

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
B (m)	Hc (m)	Ht (m)	V (m/s)	Froude	Hr / Ht	Hrio (m)	Prof Colchon (m)	Lcolchon / Hrio	Largo Colchon	VOL. HORMIGON ARMADO (m^3)		
(m)	(m)	(m)	(m/s)	(º/1)	(º/1)	(m)	(m)	(º/1)	(m)	Rápido	Colchon	Vol Total
12	10,12	4,49	22,47	3,39	4,32	19,38	15,63	5,49	106,47	2,348	1,494	3,842
14	9,14	3,91	22,12	3,57	4,58	17,90	14,15	5,59	100,01	2,386	1,388	3,774
16	8,36	3,47	21,81	3,74	4,81	16,70	12,95	5,67	94,69	2,454	1,315	3,768
18	7,73	3,13	21,49	3,88	5,01	15,68	11,93	5,74	90,01	2,543	1,259	3,802
20	7,20	2,85	21,24	4,02	5,21	14,84	11,09	5,81	86,19	2,646	1,223	3,869
22	6,76	2,62	21,01	4,15	5,39	14,11	10,36	5,87	82,86	2,761	1,199	3,96
24	6,38	2,43	20,76	4,25	5,54	13,45	9,70	5,93	79,75	2,885	1,178	4,063

Fuente: Elaboración Propia

En el Cuadro 3.2.2-2 anterior, el contenido de las columnas es el siguiente:

(1) B: Ancho del vertedero, m
(2) Hc: Altura crítica al inicio del rápido, m
(3) Ht, Altura de torrente al inicio del colchón, m
(4) V, velocidad al inicio del colchón, m/s
(5) Froude: Número de Froude.
(6) Hr / Ht, Relación altura conjugada de rio y de torrente, después del resalto hidráulico.
(7) Hrio altura conjugada de río, m
(8) "Prof. colchon". Profundidad del colchón amortiguador, m
(9) "Lcolchon / Hrio": relación entre largo del colchón y altura de agua en el río
(10) "Largo Colchon": Longitud del colchón amortiguador, m
(11) Volumen de hormigón armado, en el rápido de descarga (m^3)

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

(12) Volumen de hormigón armado en colchón amortiguador (m^3)
(13) Volumen de hormigón armado total (m^3)

En la Figura 3.2.2-7 se ha graficado el volumen de hormigón total del vertedero, en función del ancho del vertedero. Se observa que se produce un valor mínimo para un ancho de 16 m, lo cual indica que para ese ancho el costo sería el menor, por lo cual se adopta un ancho de 16 m.

FIGURA 3.2.2-7
VOLUMEN DE HORMIGÓN TOTAL DEL VERTEDERO,
EN FUNCIÓN DEL ANCHO DEL VERTEDERO

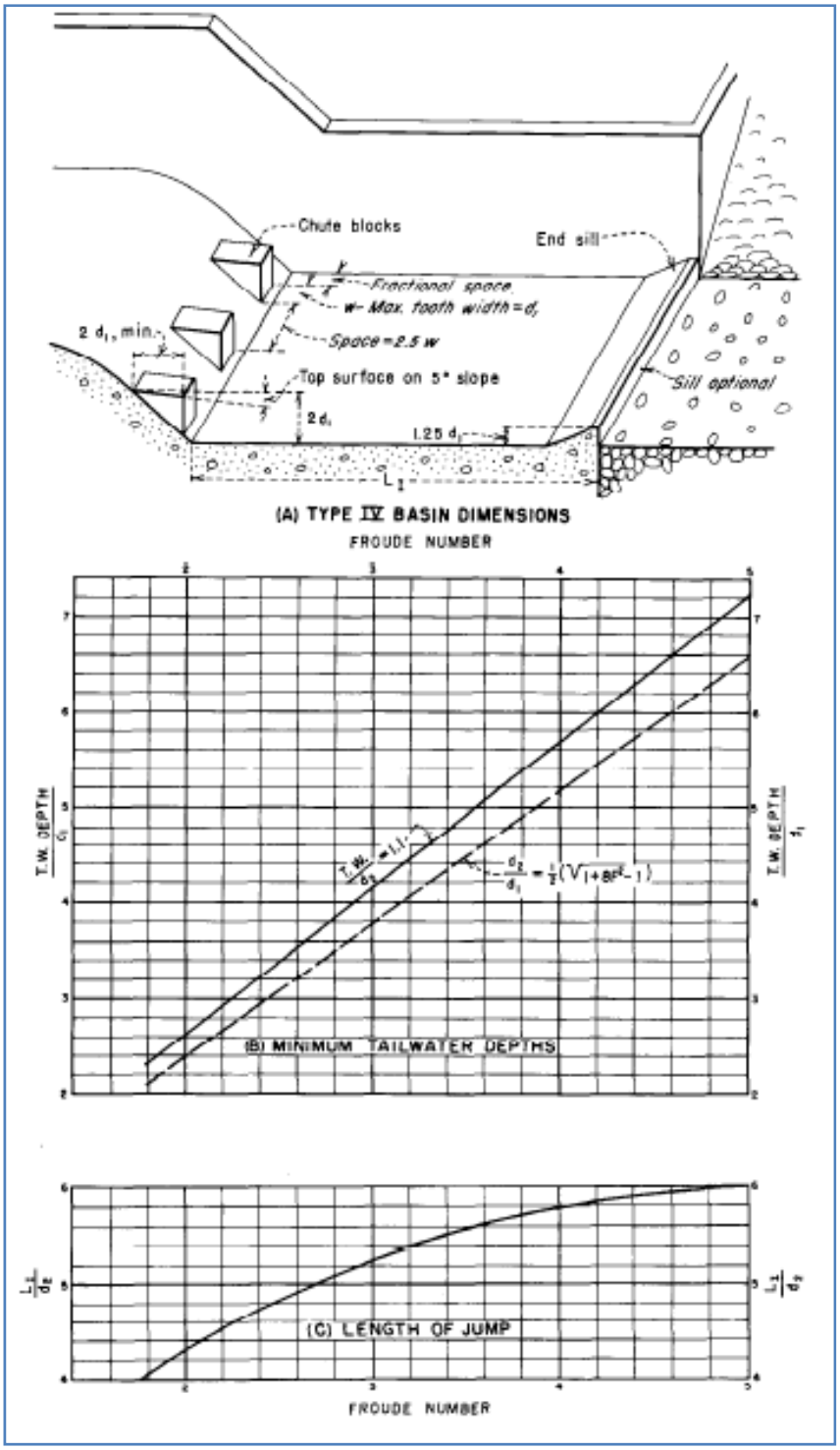


Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 3.2.2-8 se ilustra el tipo de colchón amortiguador adoptado, que corresponde al tipo USBR tipo IV, debido a que el número de Froude al inicio del colchón esta en el rango 2,5 - 4,5, según las recomendaciones de la publicación Design of Small Dams. En la misma Figura se indica las relaciones de cálculo para obtener la altura de río y longitud del colchón amortiguador.

FIGURA 3.2.2-8

TIPO DE COLCHÓN AMORTIGUADOR ADOPTADO, QUE CORRESPONDE AL TIPO USBR TIPO IV (USBR DESIGN OF SMALL DAMS)



Fuente: Elaboración Propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

3.3. TÚNEL DE DESVIACIÓN

3.3.1. Descripción

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.

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.

A continuación, se describen las bases de diseño hidráulico.

3.3.2. Diseño Hidráulico

La ubicación, dimensionamiento y diseño de la obra, se efectuó considerando las siguientes bases de diseño:

- La obra se diseña para el caudal de período de retorno 10 años, Q = 257 m^3/s. Para un período de construcción de 2 años, por lo cual el riesgo hidrológico asociado es de un 19%.

  Riesgo hidrológico = $1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$

  En que:

  T = Período de retorno, en años. T = 10 años

  n = Número de años de la construcción, n = 2 años

- **Túnel Medio Punto (12,00 x 12.002):** Del eje de la presa hacia aguas abajo, se considera un túnel de sección medio punto cuya longitud es de 290 m, en roca, cuyo coeficiente de rugosidad (Manning) asociado es n = 0,040 con una pendiente de fondo de 0,004.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

3.3.3. Diseño de la Obra

Como primer paso, se realizan los cálculos hidráulicos básicos del túnel, teniendo como consideración el escurrimiento libre y la máxima capacidad de las obras.

Para ello se consideran las siguientes relaciones:

Altura normal hn: $\frac{Qn}{\sqrt{i}} = AR_h^{2/3}$

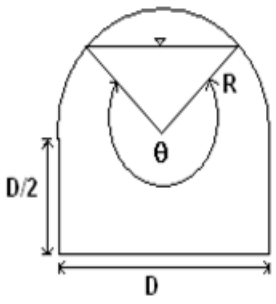
Altura Crítica hc: $\frac{v^2 l_{sup}}{gA} = 1$

En que:

Q: Caudal m^3/s
n: Coeficiente de rugosidad de Manning
A: área de escurrimiento
R_h: Radio hidráulico
i: Pendiente de fondo
v: Velocidad de escurrimiento
l_{sup}: ancho superficial de escurrimiento

En la Figura 3.3.3-1 se ilustra la sección de medio punto y las ecuaciones para determinar el área y perímetro mojado.

FIGURA 3.3.3-1
SECCIÓN DE MEDIO PUNTO



- Si h > D/2
Área de Escurrimiento:

$$A = \frac{D^2}{2} + \frac{1}{8}\left(\theta - sen(\theta)\right)D^2 - \frac{\pi \cdot D^2}{8}$$

Perímetro Mojado: $\chi = 2 \cdot D + D \cdot asen(\frac{\theta - \pi}{2})$

- Si h < D/2Área de Escurrimiento: $A = \frac{D^2}{2}$

Perímetro Mojado: $\chi = 2 \cdot D$

Fuente: Elaboración Propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

En el Cuadro 3.3.3-1 se detalla el cálculo y verificación hidráulica realizado para el túnel, considerando escurrimiento en acueducto, con altura normal en régimen de río (Número de Froude de 0,30)

CUADRO 3.3.3-1
CÁLCULO Y VERIFICACIÓN HIDRÁULICA TÚNEL DE DESVIACIÓN

VARIABLE	VALOR	UNIDADES
Q	257	m^3/s
i	0,00406	(m/m)
n	0,040	
D	12,00	(m)
h	10,08	(m)
h / D	0,84	
sen (ALPHA)	0,680	
theta	4,636	
A 1	72,000	m^2
A 2	14,679	m^2
A total	86,679	m^2
P1	24,000	(m)
P2	10,136	(m)
P total	34,136	(m)
R	2,539	(m)
Qn (i)^0,5	161,336	
S R ^(2/3)	161,330	
Error en el cálculo de altura normal	-0,006	
v	3,0	m/s
H critica	2,03	m
Froude	0,30	

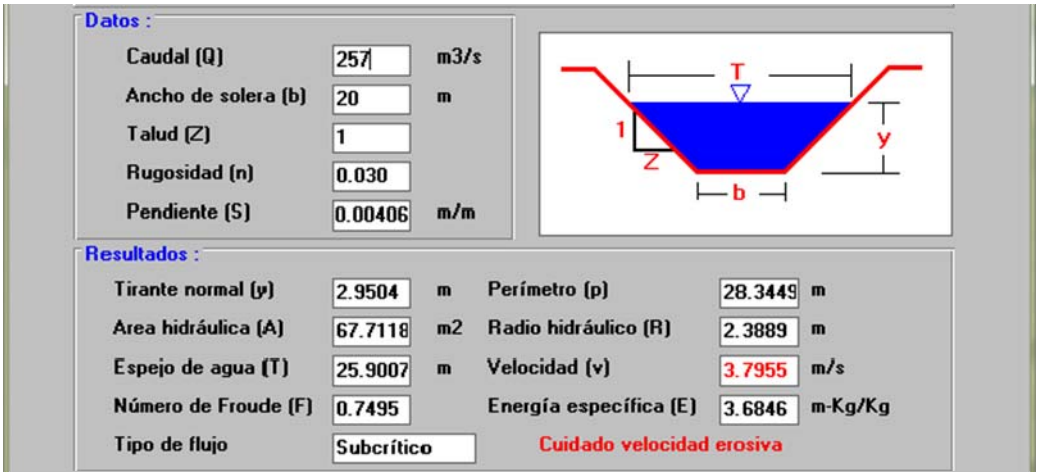
Fuente: Elaboración Propia

Se observa que el régimen de escurrimiento es de río, la altura normal es mayor que la altura crítica, además que se trata de tramos de pendiente suave, 0,004.

Para determinar la condición de borde a la salida del túnel de desvío requerida para el diseño de la ataguía, se ha calculado la condición de escurrimiento normal del cauce del río Huedque para el caudal de Período de Retorno de 10 años, de 257 m^3/s. Para este efecto, se realiza el cálculo de la altura normal en el río, según se ilustra en la Figura 3.3.3-2.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 3.3.3-2
CÁLCULO DE ALTURA NORMAL EN EL RÍO HUEDQUE, PARA LA CONDICIÓN DE DISEÑO DEL TÚNEL DE DESVIACIÓN.



Fuente: Elaboración Propia a partir de Hcanales

Del cálculo anterior, resulta una altura normal de aproximadamente 3,00 metros, lo cual define en forma conservadora la altura de ataguía necesaria en 3,50 m, considerando 0,5 m de revancha. La cota de coronamiento de la ataguía es 156,00 + 3,50 = 159,50 msnm.

3.4. OBRAS DE ENTREGA DE CAUDAL

3.4.1. Antecedentes

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.

En el Cuadro 3.4.1-1 se detalla las superficies de cada sector, para cada escenario de proyecto considerado, en tanto que en el Cuadro 3.4.1-2 se indica los caudales de entrega en el mes de máxima demanda, para el canal matriz derecho y canal matriz izquierdo.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.4.1-1
SUPERFICIES DE CADA SECTOR, PARA CADA ESCENARIO DE PROYECTO (HA)

Sector de Riego	Esc. 1	Esc. 2	Esc. 3	Esc. 4	Esc. 5
Matriz Ribera Izquierda Tramo 1	732,7	695,2	622,9	583,7	583,7
Matriz Ribera Izquierda Tramo 2	664,7	547,9	605,9	487,5	487,5
Matriz Ribera Derecha Tramo 1	681	631,2	565,3	542,4	542,4
Matriz Ribera Derecha Tramo 2	574,8	550,7	428,1	427,4	
Derivado 1	271,4	271,8	243,7	230,5	
Derivado 2	330,1	267,9	229,0	133,9	
Totales	3.254,7	2.964,7	2.694,8	2.405,4	1.613,6

Fuente: Elaboración Propia

CUADRO 3.4.1-2
CAUDALES DE ENTREGA EN EL MES DE MÁXIMA DEMANDA (M3/S)

Sector de Riego	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	-
Derivado 1	0,3	0,3	0,3	0,3	-
Derivado 2	0,4	0,3	0,3	0,1	-
Caudal Máximo Canal Matriz Izquierdo	1,6	1,4	1,4	1,2	1,2
Caudal Máximo Canal Matriz Derecho	2,1	1,9	1,6	1,5	0,6
Caudal Máximo Tubería Unificada	3,6	3,3	3,0	2,7	1,8

Fuente: Elaboración Propia

3.4.2. Descripción de la Obra de Entrega

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 159,0. 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.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

3.4.3. Cálculo Hidráulico

A partir de la Ecuación de Bernoulli, es posible definir el escurrimiento en el sistema utilizando la ecuación:

$$H_T = \left(K_t + K_e + K_b + 2K_g + K_v + \frac{fL}{D} \right) \frac{v^2}{2g}$$

En que:

K_t: coeficiente de pérdida de la rejilla para basuras
K_e: coeficiente de pérdida a la entrada
K_b: coeficiente de pérdida por cambio de dirección
f: coeficiente de rozamiento en la ecuación de Darcy-Weisbach para tuberías de escurrimiento a presión
K_g: coeficiente de pérdida en la compuerta
K_v: coeficiente de velocidad de carga de salida
V: velocidad en el sistema

En el Cuadro 3.4.3-1 se indica los coeficientes para el cálculo de las pérdidas de carga de la tubería de entrega de caudal.

CUADRO 3.4.3-1
COEFICIENTES PARA EL CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA

Coeficientes	Valor
Kt: coeficiente de pérdida de la rejilla para basuras	0,010
Ke: coeficiente de pérdida a la entrada	0,380
Kb: coeficiente de pérdida por cambio de dirección	1,000
Kg: coeficiente de pérdida en la compuerta	0,100
Kv: coeficiente de velocidad de carga de salida	1,000
n Coeficiente de Manning para tuberías	0,011

Fuente: Elaboración Propia

Con respecto al coeficiente de rozamiento asociado a las pérdidas friccionales en la tubería, despreciando el número de Reynolds y suponiendo constante el coeficiente de rugosidad con relación al tamaño del tubo, el coeficiente es posible de obtenerlo a partir de la ecuación:

$$f = \frac{116{,}5\ n^2}{R_h^{1/3}}$$

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

En que:

n: coeficiente de Manning
R_h: radio hidráulico

En el Cuadro 3.4.3-2 se ha resumido el cálculo y verificación hidráulica de las pérdidas de carga en cada uno de los tramos de la obra de entrega de caudal. Se puede observar que en todos los escenarios se ha definido los diámetros de tubería de modo que la pérdida de carga total con respecto a la entrega en el canal matriz izquierdo y canal matriz derecho, no supere 1,00 metro.

CUADRO 3.4.3-2
CÁLCULO Y VERIFICACIÓN HIDRÁULICA DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA

Tramo de Tubería Común					
	ESCENARIOS				
	ESC 1	**ESC 2**	**ESC 3**	**ESC 4**	**ESC 4**
Cota torre de toma	171,0	168,0	166,5	165,0	165,0
Longitud Tramo vertical (m)	12,00	9,00	7,50	6,00	6,00
Longitud tramo dentro túnel by pass (m)	257,0	257,0	257,0	257,0	257,0
Longitud Total Tramo Común (m)	269,0	266,0	264,5	263,0	263,0
Caudal diseño Tramo Comun (m^3/s)	3,61	3,29	2,99	2,67	1,79
Diámetro de la tubería (m)	1,80	1,80	1,80	1,60	1,30
Área sección tubería (m^2)	2,54	2,54	2,54	2,01	1,33
V: velocidad en el sistema (m/s)	1,42	1,29	1,18	1,33	1,35
f: coeficiente de rozamiento en la ecuación de Darcy-Weisbach para tuberías de escurrimiento a presión	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Pérdida de carga total (m)	0,77	0,63	0,52	0,68	0,73
Tramo tubería desde tramo común a canal Matriz Derecho					
	ESCENARIOS				
	ESC 1	**ESC 2**	**ESC 3**	**ESC 4**	**ESC 4**
Longitud tramo (m)	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0
Caudal (m^3/s)	2,06	1,91	1,63	1,48	0,60
Diámetro de la tubería (m)	1,50	1,40	1,30	1,20	0,90
Área sección tubería (m^2)	1,77	1,54	1,33	1,13	0,64
V: velocidad en el sistema (m/s)	1,17	1,24	1,23	1,31	0,95
f: coeficiente de rozamiento en la ecuación de Darcy-Weisbach para tuberías de escurrimiento a presión	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Pérdida de carga total (m)	0,23	0,26	0,25	0,29	0,16

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 3.4.3-2
CÁLCULO Y VERIFICACIÓN HIDRÁULICA DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA

Tramo sifón que abastece canal matriz izquierdo					
	ESCENARIOS				
	ESC 1	**ESC 2**	**ESC 3**	**ESC 4**	**ESC 4**
Caudal Tramo Sifón para canal Matriz Izquierdo	1,55	1,38	1,36	1,19	1,19
Diámetro de la tubería (m)	1,80	1,50	1,50	1,50	1,50
Área sección tubería (m^2)	2,54	1,77	1,77	1,77	1,77
Longitud Sifón (m)	340,0	340,0	340,0	340,0	340,0
f: coeficiente de rozamiento en la ecuación de Darcy-Weisbach para tuberías de escurrimiento a presión	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
V: velocidad en el sistema (m/s)	0,61	0,78	0,77	0,67	0,67
Pérdida de carga total (m)	0,17	0,28	0,28	0,21	0,21
Pérdidas de carga totales según canal matriz de entrega (m)	**ESCENARIOS**				
	ESC 1	**ESC 2**	**ESC 3**	**ESC 4**	**ESC 4**
Canal Matriz Derecho	0,99	0,89	0,77	0,97	0,89
Canal Matriz Izquierdo	0,93	0,92	0,80	0,89	0,94

Fuente: Elaboración Propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

4. RED DE CANALES DE DISTRIBUCION

4.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta la red de riego referente a los canales matrices y canales secundarios según los escenarios del proyecto. Se presenta todas sus características, capacidades de riego, longitudes, así como también los criterios de diseño estructurales e hidráulicos utilizados en etapas anteriores de este estudio y actualizados con la nueva información que ha sido obtenida. Luego de dar a conocer los distintos escenarios, esta información se ingresa al presupuesto total del proyecto que es uno de los antecedentes a utilizar en la posterior evaluación económica.

4.2. CRITERIOS DE DISEÑO ESTRUCTURALES

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, tendrán una inclinación H : V = 1,0 : 1,0. La velocidad máxima del agua se deberá limitar a 1,2 m/seg para canales no revestidos; para velocidades mayores los canales deberán revestirse.

4.3. CRITERIOS DE DISEÑO HIDRÁULICOS

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 rio. La pendiente del rio es muy baja, lo que implica que la pendiente del canal será aun más baja. Los diseños se han realizado verificando los siguientes criterios hidráulicos:

- la velocidad del canal debe ser mayor que $v = 0.4\ m/s$ para evitar embancamientos. Se efectuó el cálculo de las velocidades en los canales para la condición de la mitad del caudal de diseño.
- la energía normal (En) debe ser 10% mayor que la energía crítica (Ec) del flujo. Esto es $\frac{En}{Ec} > 1{,}10$.
- La pendiente de diseño de los canales se ha considerado de $i = 0.5/1000$
- La rugosidad del canal, al ser estos de tierra, se ha considerado de $n = 0.025$
- Se ha considerado una sección trapezoidal con un talud z = 1, en donde $\frac{H}{V} = \frac{z}{1}$
- Se ha considerado el ancho basal de $b = 1{,}0\ m$ de la sección trapezoidal.
- Se ha verificado que el número de Froude sea $F < 1{,}0$ para un régimen sub-crítico.
- Se adopta un ancho basal del canal de 1,00 m, por razones prácticas, ya que es el ancho mínimo de la máquina excavadora.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

4.4. CARACTERÍSTICAS DE CANALES POR ESCENARIOS

En los próximos numerales se indican las principales características de los canales por escenario, resumidas en Cuadros y mostradas en Figuras esquemáticas. Los cálculos hidráulicos de los canales se encuentran en el Anexo F.4-2.

4.4.1. Escenario 1

En el Cuadro 4.4.1-1 se resumen las principales características físicas de los canales proyectados en el escenario 1 y la superficie bajo canal asociada a ellos. A continuación, en el Cuadro 4.4.1-2, se presentan las características del flujo en los canales proyectados (velocidad de flujo, caudal y altura de canal). Finalmente en la Figura 4.4.1-1 se presenta el trazado de los canales proyectados.

CUADRO 4.4.1-1
CARACTERÍSTICAS CANALES ESCENARIO 1

Canal	Superficie Bajo Cota Canal (ha)	Superficie Productiva Bajo Canal (ha)	Cota Inicial (msnm)	Cota Final (msnm)	Longitud (km)
Matriz Ribera Izquierda tramo 1	771,2	732,7	170,00	153,9	32,105
Matriz Ribera Izquierda tramo 2	699,7	664,7	153,90	140,6	26,576
Matriz Ribera Derecha tramo 1	716,81	681,0	170	156,8	26,333
Matriz Ribera Derecha tramo 2	605,02	574,8	155,5	140,5	29,971
Derivado 1	285,70	271,4	156,8	150,8	11,897
Derivado 2	347,44	330,1	156	147,7	16,559
TOTAL	3425,9	3254,6			143,4

Fuente: Elaboración Propia

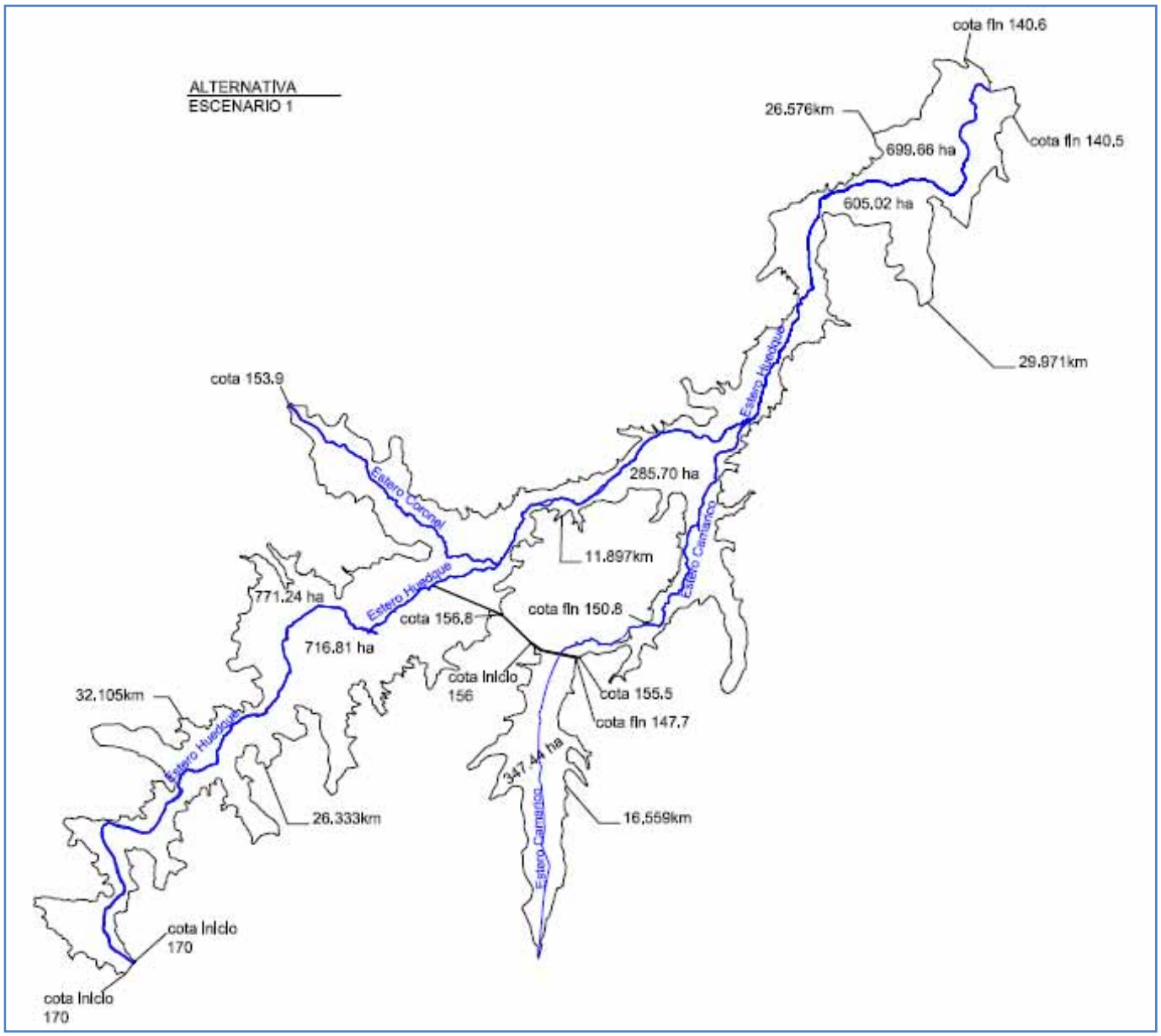
CUADRO 4.4.1-2
CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS CANALES ESCENARIO 1

Canal	H CANAL + revancha (m)	V (m/s)	Q (m³/s)
Matriz Ribera Izquierda tramo 1	1,40	0,62	1,55
Matriz Ribera Izquierda tramo 2	1,00	0,52	0,74
Matriz Ribera Derecha tramo 1	1,60	0,67	2,06
Matriz Ribera Derecha tramo 2	1,00	0,50	0,64
Derivado 1	0,70	0,41	0,30
Derivado 2	0,80	0,43	0,37

Fuente: Elaboración Propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 4.4.1-1
ESQUEMA DE CANALES ESCENARIO 1



Fuente: Elaboración propia.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

4.4.2. Escenario 2

En el Cuadro 4.4.2-1 se resumen las principales características físicas de los canales proyectados en el escenario 2 y la superficie bajo canal asociada a ellos. A continuación, en el Cuadro 4.4.2-2, se presentan las características del flujo en los canales proyectados (velocidad de flujo, caudal y altura de canal). Finalmente en la Figura 4.4.2-1 se presenta el trazado de los canales proyectados.

CUADRO 4.4.2-1
CARACTERÍSTICAS CANALES ESCENARIO 2

Canal	Superficie Bajo Cota Canal (ha)	Superficie Productiva Bajo Canal (ha)	Cota Inicial (msnm)	Cota Final (msnm)	Longitud (km)
Matriz Ribera Izquierda tramo 1	695,2	660,4	167,0	152,7	28,604
Matriz Ribera Izquierda tramo 2	647,7	615,3	152,7	139,7	24,51
Matriz Ribera Derecha tramo 1	631,23	599,7	167,0	154,0	26,005
Matriz Ribera Derecha tramo 2	550,67	523,1	153,0	139,6	28,693
Derivado 1	271,80	258,2	154,0	148,5	10,726
Derivado 2	267,88	254,5	153,8	148,2	13,618
TOTAL	3064,4	2911,2			132,2

Fuente: Elaboración propia.

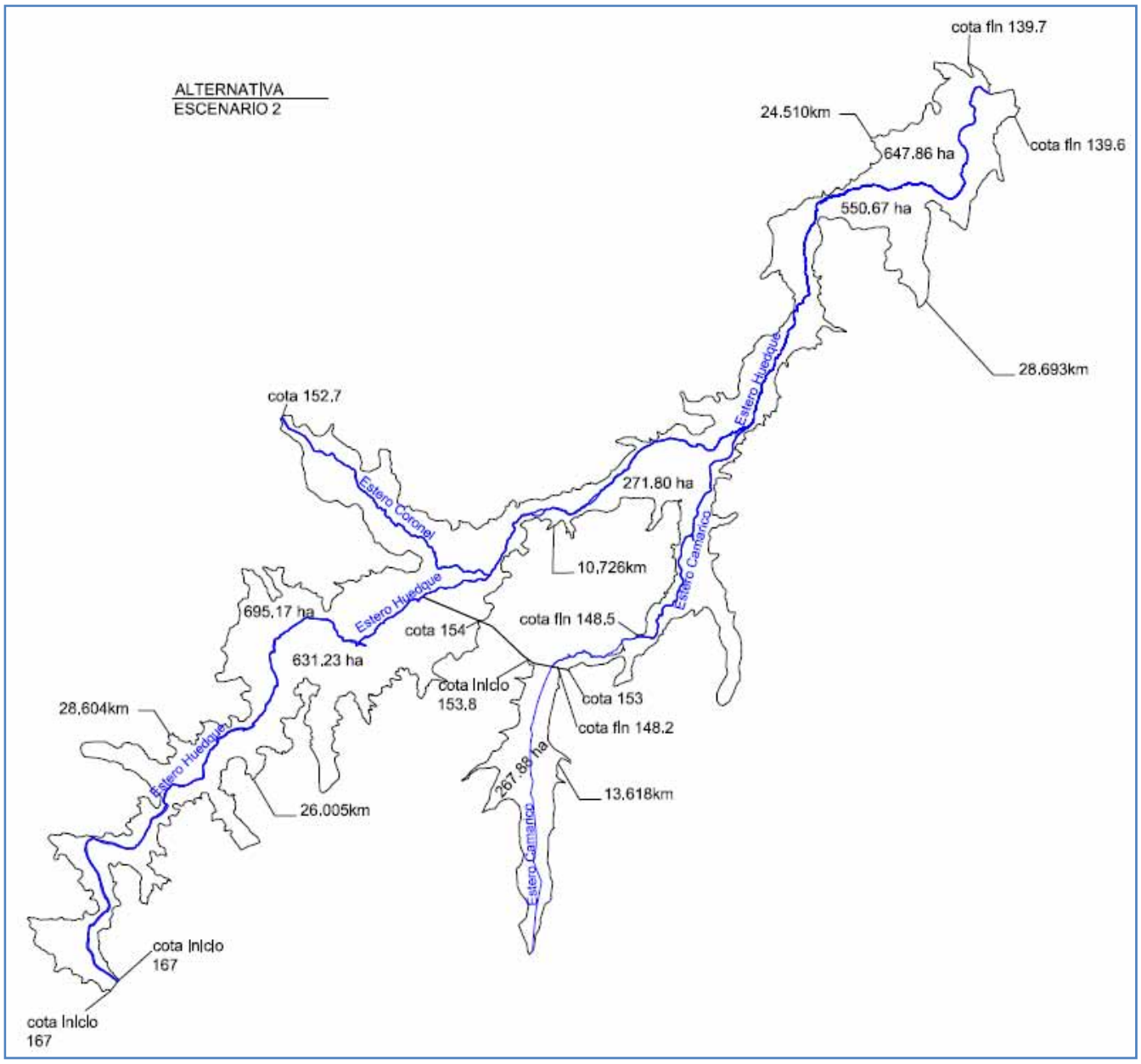
CUADRO 4.4.2-2
CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS CANALES ESCENARIO 2

Canal	H CANAL + revancha (m)	V (m/s)	Q (m^3/s)
Matriz Ribera Izquierda tramo 1	1,30	0,61	1,38
Matriz Ribera Izquierda tramo 2	1,00	0,49	0,61
Matriz Ribera Derecha tramo 1	1,50	0,66	1,91
Matriz Ribera Derecha tramo 2	1,00	0,49	0,61
Derivado 1	0,70	0,41	0,30
Derivado 2	0,70	0,41	0,30

Fuente: Elaboración propia.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 4.4.2-1
ESQUEMA DE CANALES ESCENARIO 2



Fuente: Elaboración propia.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

4.4.3. Escenario 3

En el Cuadro 4.4.3-1 se resumen las principales características físicas de los canales proyectados en el escenario 3 y la superficie bajo canal asociada a ellos. A continuación, en el Cuadro 4.4.3-2, se presentan las características del flujo en los canales proyectados (velocidad de flujo, caudal y altura de canal). Finalmente en la Figura 4.4.3-1 se presenta el trazado de los canales proyectados.

CUADRO 4.4.3-1
CARACTERÍSTICAS CANALES ESCENARIO 3

Canal	Superficie Bajo Cota Canal (ha)	Superficie Productiva Bajo Canal (ha)	Cota Inicial (msnm)	Cota Final (msnm)	Longitud (km)
Matriz Ribera Izquierda tramo 1	655,6	622,8	165,5	151,8	27,442
Matriz Ribera Izquierda tramo 2	637,8	605,9	151,8	139,7	24,114
Matriz Ribera Derecha tramo 1	595,05	565,3	165,5	152,2	26,665
Matriz Ribera Derecha tramo 2	450,58	428,1	151,9	137,4	29,878
Derivado 1	256,50	243,7	152,2	146,1	12,141
Derivado 2	241,06	229,0	151,9	145,8	12,035
TOTAL	2836,7	2694,8			132,3

Fuente: Elaboración propia.

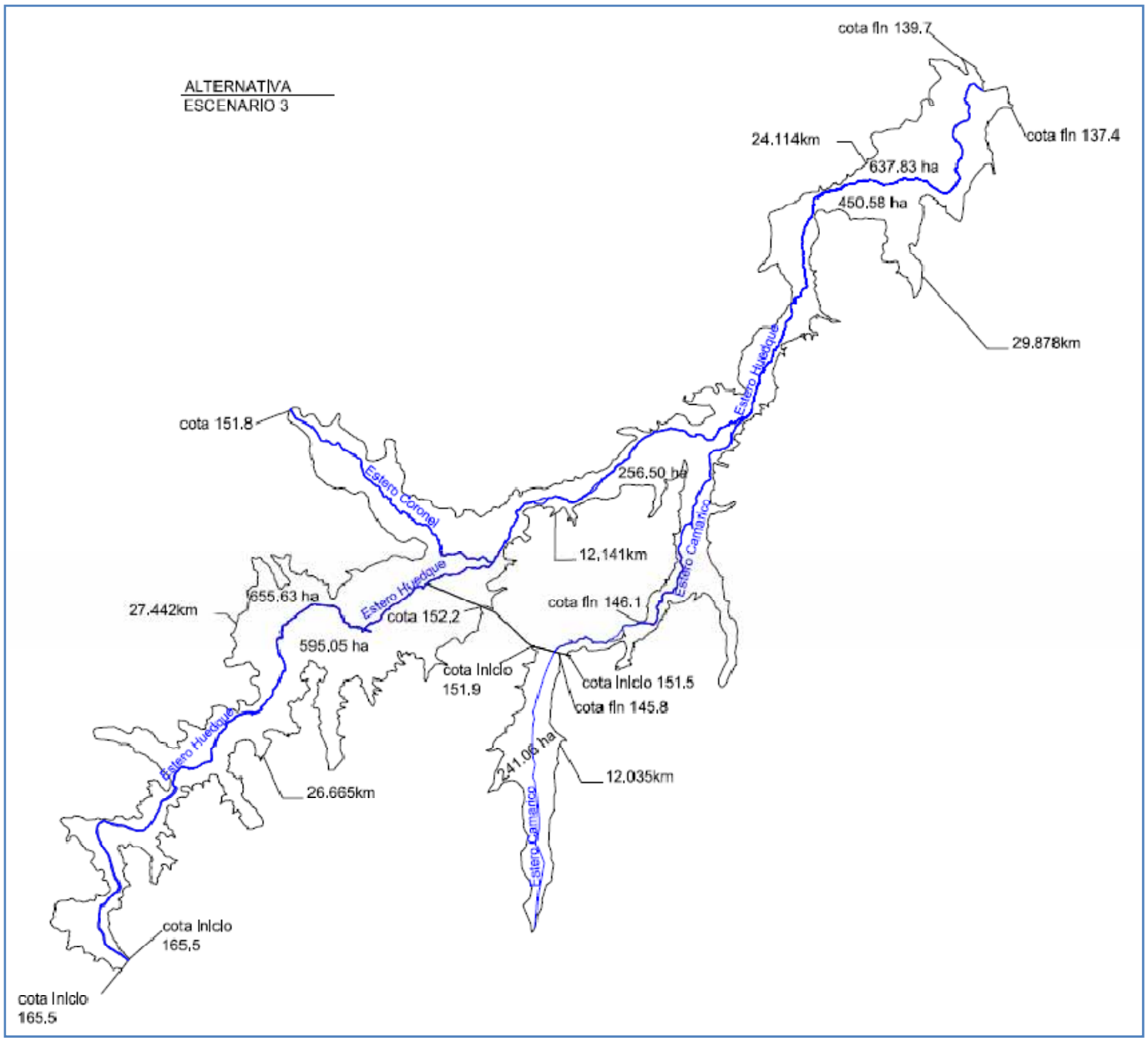
CUADRO 4.4.3-2
CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS CANALES ESCENARIO 3

Canal	H CANAL + revancha (m)	V (m/s)	Q (m^3/s)
Matriz Ribera Izquierda tramo 1	1,30	0,60	1,36
Matriz Ribera Izquierda tramo 2	1,00	0,50	0,67
Matriz Ribera Derecha tramo 1	1,40	0,63	1,63
Matriz Ribera Derecha tramo 2	0,90	0,46	0,48
Derivado 1	0,70	0,40	0,27
Derivado 2	0,70	0,40	0,25

Fuente: Elaboración propia.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 4.4.3-1
ESQUEMA DE CANALES ESCENARIO 3



Fuente: Elaboración propia.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

4.4.4. Escenario 4

En el Cuadro 4.4.4-1 se resumen las principales características físicas de los canales proyectados en el escenario 4 y la superficie bajo canal asociada a ellos. A continuación, en el Cuadro 4.4.4-2, se presentan las características del flujo en los canales proyectados (velocidad de flujo, caudal y altura de canal). Finalmente en la Figura 4.4.4-1 se presenta el trazado de los canales proyectados.

CUADRO 4.4.4-1
CARACTERÍSTICAS CANALES ESCENARIO 4

Canal	Superficie Bajo Cota Canal (ha)	Superficie Productiva Bajo Canal (ha)	Cota Inicial (msnm)	Cota Final (msnm)	Longitud (km)
Matriz Ribera Izquierda tramo 1	614,5	583,7	164,0	150,1	27,777
Matriz Ribera Izquierda tramo 2	513,2	487,5	150,1	136,8	26,634
Matriz Ribera Derecha tramo 1	570,90	542,4	164,0	151,4	25,319
Matriz Ribera Derecha tramo 2	449,89	427,4	150,6	136,5	29,739
Derivado 1	242,64	230,5	151,4	145,5	11,772
Derivado 2	141,04	134,0	150,8	146,3	9,038
TOTAL	2532,1	2405,5			130,3

Fuente: Elaboración propia.

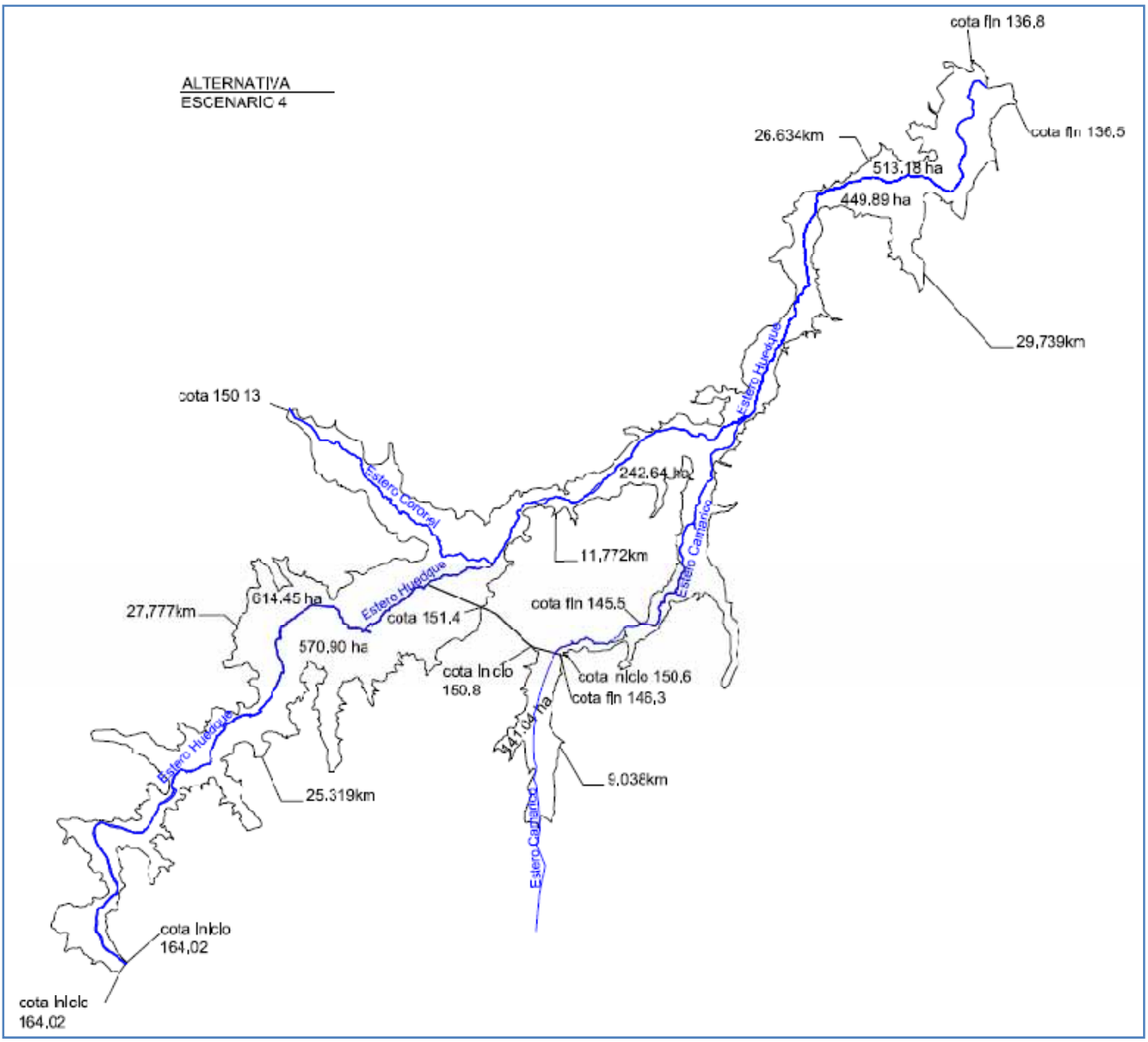
CUADRO 4.4.4-2
CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS CANALES ESCENARIO 4

Canal	H CANAL + revancha (m)	V (m/s)	Q (m^3/s)
Matriz Ribera Izquierda tramo 1	1,30	0,58	1,19
Matriz Ribera Izquierda tramo 2	0,90	0,48	0,54
Matriz Ribera Derecha tramo 1	1,40	0,62	1,48
Matriz Ribera Derecha tramo 2	0,90	0,46	0,47
Derivado 1	0,70	0,40	0,26
Derivado 2	0,60	0,40	0,15

Fuente: Elaboración propia.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 4.4.4-1
ESQUEMA DE CANALES ESCENARIO 4



Fuente: Elaboración propia.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

4.4.5. Escenario 5

En el Cuadro 4.4.5-1 se resumen las principales características físicas de los canales proyectados en el escenario 5 y la superficie bajo canal asociada a ellos. A continuación, en el Cuadro 4.4.5-2, se presentan las características del flujo en los canales proyectados (velocidad de flujo, caudal y altura de canal). Finalmente en la Figura 4.4.5-1 se presenta el trazado de los canales proyectados.

CUADRO 4.4.5-1
CARACTERÍSTICAS CANALES ESCENARIO 5

Canal	Superficie Bajo Cota Canal (ha)	Superficie Productiva Bajo Canal (ha)	Cota Inicial (msnm)	Cota Final (msnm)	Longitud (km)
Matriz Ribera Izquierda tramo 1	614,5	583,7	164,0	150,1	27,777
Matriz Ribera Izquierda tramo 2	513,2	487,5	150,1	136,8	26,634
Matriz Ribera Derecha tramo 1	570,90	542,4	164,0	151,4	25,319
Matriz Ribera Derecha tramo 2	-	-	-	-	-
Derivado 1	-	-	-	-	-
Derivado 2	-	-	-	-	-
TOTAL	1.698,5	1613,6			79,7

Fuente: Elaboración propia.

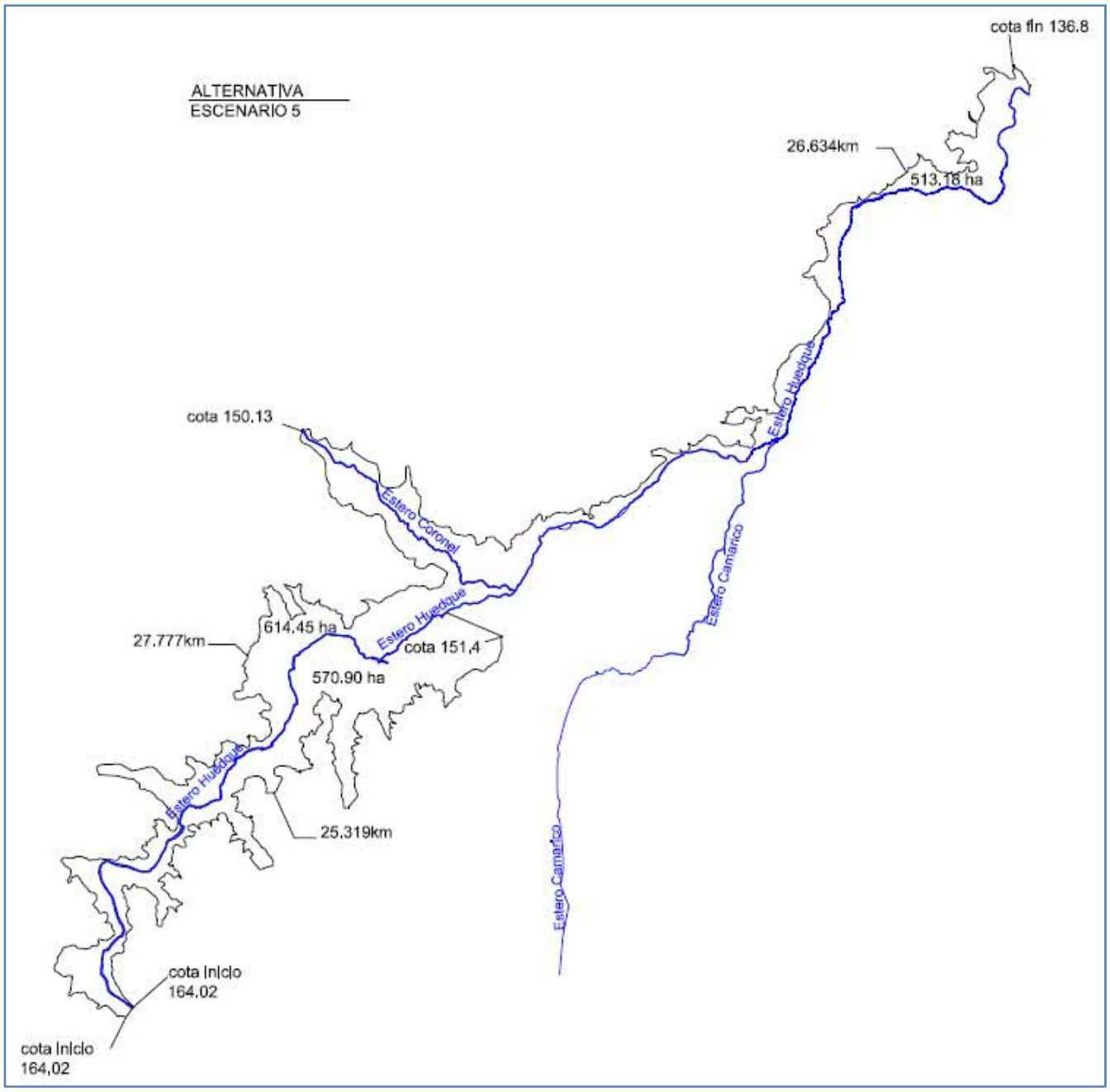
CUADRO 4.4.5-2
CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS CANALES ESCENARIO 4

Canal	H CANAL + revancha (m)	V (m/s)	Q (m³/s)
Matriz Ribera Izquierda tramo 1	1,30	0,58	1,19
Matriz Ribera Izquierda tramo 2	0,90	0,48	0,54
Matriz Ribera Derecha tramo 1	1,00	0,49	0,60
Matriz Ribera Derecha tramo 2	0,00	0,00	0,00
Derivado 1	0,00	0,00	0,00
Derivado 2	0,00	0,00	0,00

Fuente: Elaboración propia.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 4.4.5-1
ESQUEMA DE CANALES ESCENARIO 5



Fuente: Elaboración propia.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

5. POTENCIAL HIDROELÉCTRICO ASOCIADO A LAS OBRAS DE RIEGO

5.1. INTRODUCCIÓN

Como este estudio es de un embalse multipropósito en este capítulo se informará sobre las posibles alternativas de generación hidroeléctrica que tenga el embalse, para la alternativa seleccionada de muro, por medio del trazado de los canales matrices o directamente después de la cortina de dicho muro. Para cada punto donde se encuentre un desnivel que parezca interesante se evaluará la potencia y características más importantes que posea.

5.2. SITUACIÓN LEGAL DE DERECHOS DE APROVECHAMIENTO

Actualmente el rio Huedque cuenta con derechos de aprovechamiento consuntivo de aguas superficiales y corrientes, actualmente constituidos a favor del FISCO, de acuerdo al detalle indicado en el Cuadro 5.2-1:

CUADRO 5.2-1
RECURSOS DEL RIO HUEDQUE

Mes	Ejercicio permanente (m^3/s)	Ejercicio eventual (m^3/s)
ABR	0,05	0,90
MAY	0,02	26,30
JUN	1,10	29,80
JUL	4,50	27,40
AGO	3,30	15,80
SEP	1,50	12,80
OCT	0,50	6,50
NOV	0,09	4,90
DIC	0,10	1,00
ENE	0,00	0,30
FEB	0,00	0,20
MAR	0,03	0,20

Fuente: Res DGA Región del Maule Nº 066

Sin embargo el Fisco no cuenta con derechos no consuntivos de aprovechamiento de modo que tendría que realizarse una solicitud a la DGA para poder tener estos derechos.

5.3. CÁLCULO DE POTENCIA ELÉCTRICA ESTIMADA

En términos generales, la Potencia de generación, se calcula con la expresión siguiente:

$$\boldsymbol{P = 9.8 \cdot \eta \cdot Q \cdot H\ [kW]}$$

En que:

P: Potencia de generación en kW

η: Eficiencia total de los equipos

Q: Caudal turbinado en m^3/s

H: Altura neta en m.

La eficiencia de la turbina se obtiene de las curvas de los equipos, en función del caudal de generación. La Eficiencia del generador y la Eficiencia del transformador se obtienen de las especificaciones de los equipos. Para este caso, se adoptará los valores siguientes, que corresponden a promedios conservadores de estas eficiencias:

Eficiencia turbina = 0,9

Eficiencia del generador = 0,98

Eficiencia del transformador = 0,985

Eficiencia total de los equipos = 0,87

Como el tramo de la tubería de entrega de agua, desde la torre de toma hasta la salida en la turbina es relativamente corto, se adoptará que las pérdidas de carga son de un 5% de la altura bruta.

Con estas consideraciones, la Potencia de generación es la siguiente:

$$\boldsymbol{P = 9.8 \cdot 0.87 \cdot Q \cdot 0.95 \cdot H = 8.1 \cdot Q \cdot H\ [kW]}$$

A partir del cálculo de la potencia de generación P, se calcula la Energía generada como:

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

$$E = \frac{P \cdot T(Nº\ de\ horas)}{10^5}\ [GWh]$$

5.4. POTENCIAL ASOCIADO AL PIE DEL MURO

En el cuadro 5.4-1 siguiente se ha resumido los resultados del modelo de simulación, en relación con la generación posible de realizar con una central a pie de embalse, cuya operación está supeditada a la operación del embalse para riego.

CUADRO 5.4-1
RESUMEN DE RESULTADOS MODELO DE SIMULACION

Variable	ESCENARIOS CON PROYECTO				
	ESC. 1	ESC. 2	ESC. 3	ESC. 4	ESC. 5
Superficie Productiva bajo riego (has)	3.254,6	2.964,7	2.694,8	2.405,4	1.613,6
Volumen de regulación (hm^3)	37,8	34,5	31,4	28,1	18,7
Seguridad de riego (%)	85	85	85	85	85
Altura de agua promedio del embalse (m)	18,3	17,7	17,1	16,5	14,3
Caudal de generación promedio (m^3/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 el Cuadro 5.4-1, 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.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

5.5. POTENCIAL HIDROELÉCTRICO ASOCIADO A LA RED DE CANALES

5.5.1. Determinación de los Lugares Aptos para Generación

Se analiza para los dos canales matrices proyectados la posibilidad de generación hidroeléctrica. Siguiendo los trazados de los canales, se determinaron los puntos en los cuales existe mayor desnivel entre el canal con la cota más baja, o descarga, que sería el río. Una vez determinados los puntos se calculó la potencia estimada de generación y se seleccionó la mejor alternativa.

En los canales se han determinado varios puntos que tienen una diferencia de cota factible para generar, sin embargo se encuentran muy lejos del río, lo que incrementaría en gran parte los costos de la descarga, de modo que solamente se han escogido para el análisis los puntos con mayor cercanía al rio.

5.5.2. Cálculos y Resultados

Usando la metodología descrita anteriormente se muestra en el Cuadro 5.5.2-1 se muestra los cálculos de la disponibilidad de potencia eléctrica. A la cota del rio se la han sumado 5 m más para efectos de crecidas.

CUADRO 5.5.2-1
CALCULO PRELIMINAR DE POTENCIA ELÉCTRICA DISPONIBLE

Canal	km	Cota Canal (m)	Cota Río (m)	Hdisp (m)	Q (m³/s)	P (kW)
Matriz derecho	0,206	171,9	155,9	10,98	3,00	267
	0,500	171,8	155,8	10,95	3,00	266
	4,820	169,6	154,1	10,52	3,00	256
	7,730	168,1	152,9	10,23	3,00	249
Matriz Izquierdo	0,300	171,9	155,9	10,97	1,50	133
	1,100	171,5	155,6	10,89	1,50	132
	6,500	168,8	153,4	10,35	1,50	126

Fuente: Elaboración Propia

5.5.3. Conclusiones

Una vez realizados los cálculos de la potencia instalada en algunos puntos de los canales matrices, se puede concluir que existe un pequeño y limitado potencial hidroeléctrico en el canal matriz derecho por sobre el canal matriz izquierdo, puesto que en este canal el caudal es aproximadamente la mitad. En el canal matriz derecho se ha calculado una potencia disponible de 260 kW, energía suficiente para abastecer 50 casas aproximadamente. En el canal matriz izquierdo se ha calculado una potencia disponible 130 kW.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Por lo anterior, dado el bajo potencial de generación del posible aprovechamiento hidroeléctrico en canales del proyecto, su implementación está limitada a usos locales cercanos a cada minicentral, ya que el costo de transmisión haría que estas minicentrales no fueran económicamente viables.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

6. DISEÑO DE UN SISTEMA DE AFORO REMOTO DE CAUDALES

6.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se estudia la posibilidad de instalar sistemas de aforo remoto del caudal de la red de distribución del agua del embalse.

Se diseñan 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 proyectan con una sección rectangular para facilitar su construcción y diseño.

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.

Los cálculos realizados se encuentran en el Anexo F.4-2

6.2. DISEÑO PRELIMINAR

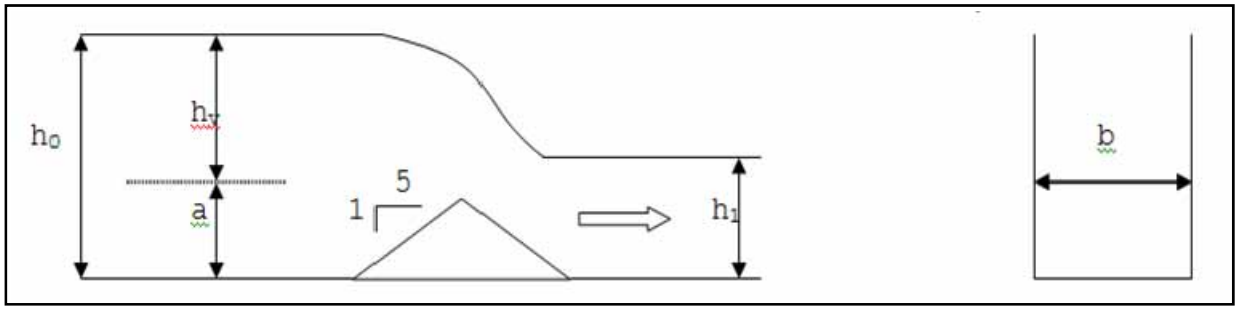
6.2.1. Metodología de Diseño

El aforador de barrera triangular es una estructura hidráulica de amplio uso en Chile, cuyo diseño se realiza de acuerdo al procedimiento indicado en el texto “Hidráulica” de F.J. Domínguez IV Edición. Se trata de una estructura que tiene una barrera de sección rectangular, con taludes 5:1 (H/V), con umbral redondeado que evita el despegue de la vena líquida. Para una determinada geometría de la barrera, dado un caudal, es posible determinar una altura de aguas abajo límite, a partir de la cual la barrera queda influenciada. Como generalmente se conoce la altura de aguas abajo, el procedimiento de diseño consiste en determinar un valor adecuado de la altura de la barrera para garantizar que esta quede efectivamente aislada de aguas abajo, esto se muestra en la Figura 6.2.1-1.

La principal ventaja de esta estructura está en ser poco sensible a los embanques del canal aguas arriba de la barrera. Esto significa que la curva de descarga no se altera significativamente.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 6.2.1-1
ESQUEMA DE UBICACIÓN DE GRADA Y SECCIÓN DE UN AFORADOR



Fuente: Elaboración propia

Conocida la altura de h_1 del canal, la altura mínima de la barrera, necesaria para que la estructura quede aislada de aguas abajo debe ser determinada gráficamente en el ábaco de la pág. 579 del texto citado, este se presenta en la Figura 6.2.1-2 de esta metodología. Dado el caudal Q, el cálculo se realiza de la siguiente manera:

- $h_c = \left(\frac{Q}{b \cdot \sqrt{g}}\right)^{\frac{2}{3}}$
- Se calcula $X_1 = \frac{h_1}{h_c}$
- Con la curva de la Fig. 1 se determina $K = \frac{a}{h_c}$
- $a_{min} = K.h_c$

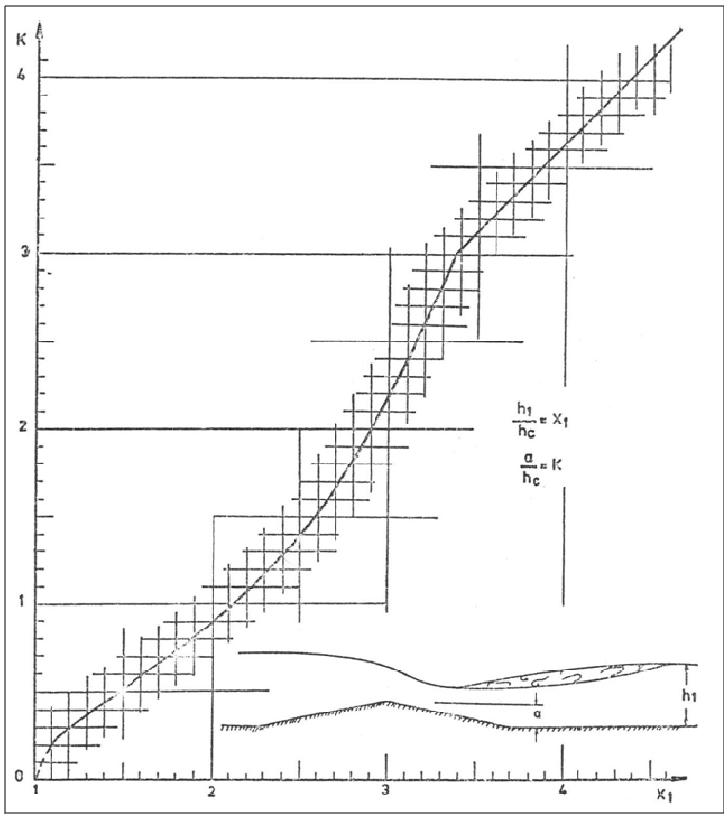
Una vez adoptado el valor de la altura de la grada, se debe calcular la altura de aguas en la sección de aguas arriba de la barrera.

Las ecuaciones son:

- $Q = mbh_v\sqrt{2gh_v}$
- $h_0 = h_v + a$
- m: coeficiente de gasto de la barrera, ábaco p. 581 F.J. Domínguez, el cual se reproduce en la Figura 6.2.1-3 dependiente del valor K.
- Como se tiene que la sección del aforador será cuadrada entonces $n = \frac{l_1}{l} = 1$

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

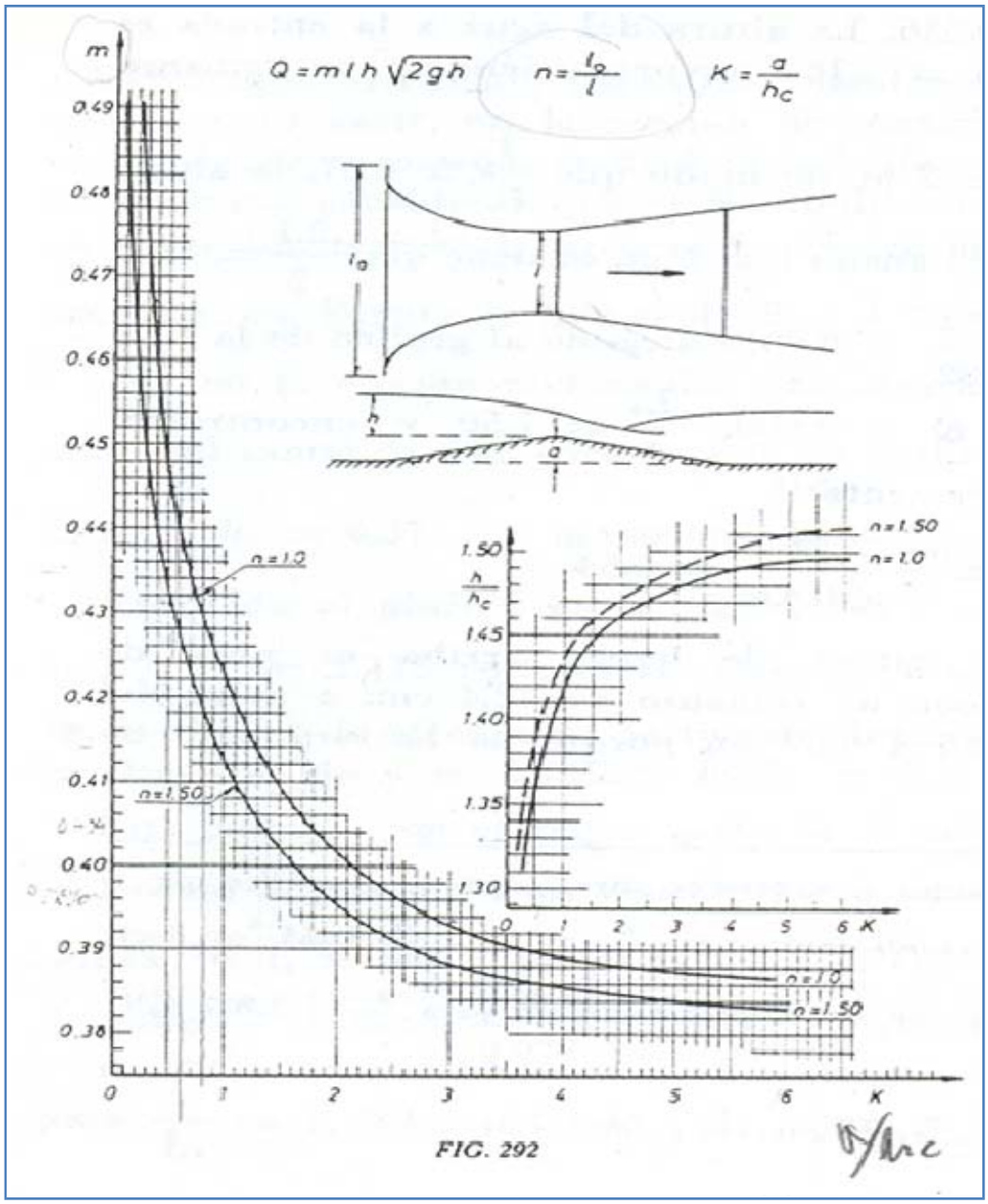
FIGURA 6.2.1-2
ABACO PARA EL CÁLCULO DE BARRERAS TRIANGULARES EN CANALES DE ANCHO CONSTANTE N1



Fuente: pág. 579 Texto Francisco Javier Domínguez

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 6.2.1-3
ABACO PARA EL CÁLCULO DE BARRERAS TRIANGULARES EN CANALES DE ANCHO CONSTANTE N2



Fuente: pág. 581 Texto Francisco Javier Domínguez

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Para determinar la curva de aforo se utiliza la expresión desarrollada experimentalmente por el ingeniero Alfonso Ugarte (1997):

$$Q = 1.83 \frac{b h_v^{1.56}}{a^{0.062}} \text{ con } 5 \geq K \geq 0{,}5$$

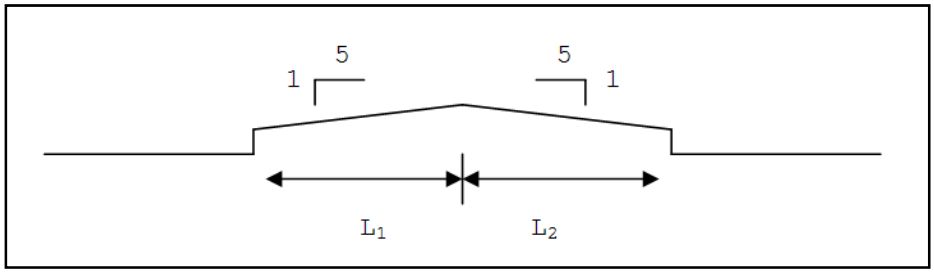
Esta expresión permite calcular h_v como:

$$h_v = \left(\frac{Q a^{0{,}062}}{1{,}83 b} \right)^{1/1{,}56}$$

Dimensiones de la barrera

Se adoptan las recomendaciones de F.J. Domínguez para acortar las dimensiones de la barrera (p. 577 del texto “Hidráulica” de F.J. Domínguez IVª Edición). Ver Figura 6.2.1-4.

FIGURA 6.2.1-4
ESQUEMA BARRERA



$L_1 \geq 1{,}5\ h_c$ $\qquad$ $L_1 < 5a$

$L_2 \geq 3\ h_c$ $\qquad$ $L_2 < 5^a$

Fuente: Hidráulica, Francisco Javier Domínguez

Luego de esta metodología se procede a diseñar la barrera en cada uno de los canales. Sin embargo se necesitan algunos datos presentados en los siguientes acápites de este capítulo.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

6.2.2. Resumen de los Canales.

En el Cuadro 6.2.2-1 se presenta el resumen de los canales proyectados anteriormente:

CUADRO 6.2.2-1
RESUMEN DE LOS CANALES PROYECTADOS

Canal	Tramo	Caudal (m³/s)	Longitud Canal (km)	Altura normal (m)	Caudal Máximo (m³/s)
Matriz Ribera Izquierda	1	1,50	32,7	0,92	2,71
Matriz Ribera Izquierda	2	0,50	25,33	0,55	1,10
Matriz Ribera Derecha	1	3,00	28,9	1,25	4,54
Matriz Ribera Derecha	2	1,50	17,7	0,92	2,71
Derivado 1	-	0,40	14,2	0,49	0,82
Derivado 2	-	0,50	20,2	0,55	1,10

Fuente: Elaboración Propia

6.2.3. Ubicación de los Aforadores.

Los aforadores serán instalados en los lugares resumidos en el Cuadro 6.2.3-1

CUADRO 6.2.3-1
UBICACIÓN Y CAPACIDAD MÁXIMA DE LOS AFORADORES PROYECTADOS

Aforador	Tramo	Metraje (km)	Máxima Capacidad (m³/s)
Aforador Matriz Izquierdo Nº1	1	0,00	3,00
Aforador Matriz Izquierdo Nº2	2	32,70	1,50
Aforador Matriz Derecho Nº1	1	0,00	5,00
Aforador Matriz Derecho Nº2	2	28,90	3,00

Fuente: Elaboración Propia

Los aforadores se proyectarán con una sección rectangular para facilitar su construcción y diseño, y luego de realizar los cálculos indicados por la metodología se resumen las dimensiones de construcción en el **Cuadro 6.2.3-2**

CUADRO 6.2.3-2
RESUMEN DE LOS AFORADORES PROYECTADOS

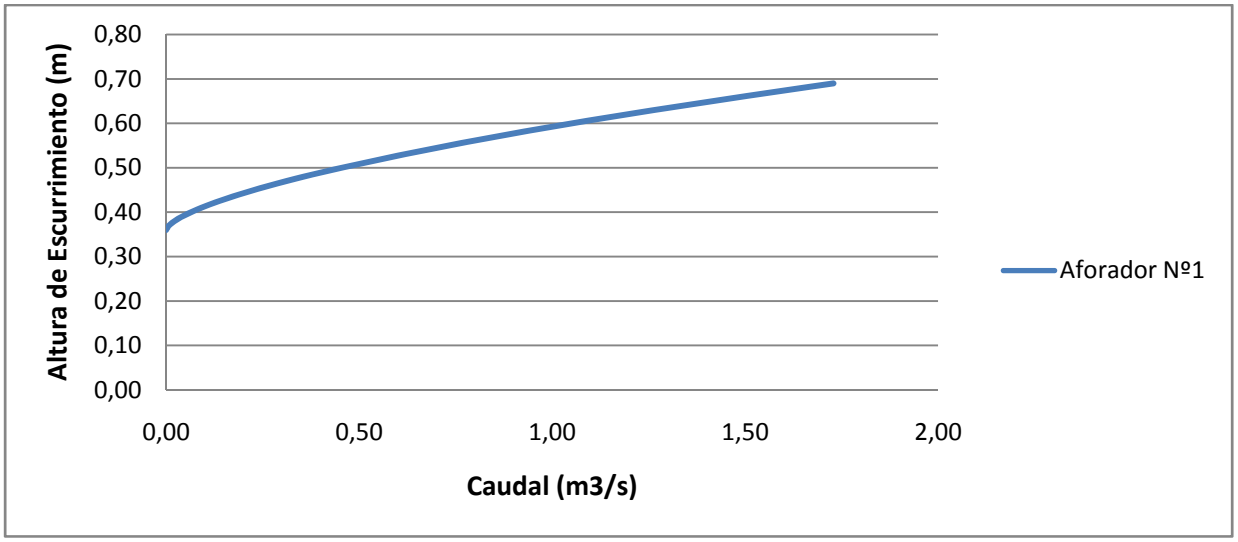
Aforador	Ancho basal (m)	Altura normal (m)	Altura Crítica (m)	Altura barrera (m)	L1 (m)	L2 (m)
Aforador Nº1	5,00	0,56	0,21	0,36	0,32	0,63
Aforador Nº2	3,50	0,36	0,13	0,24	0,20	0,39
Aforador Nº3	6,50	0,73	0,28	0,42	0,42	0,84
Aforador Nº4	5,00	0,56	0,21	0,17	0,32	0,63

Fuente: Elaboración Propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

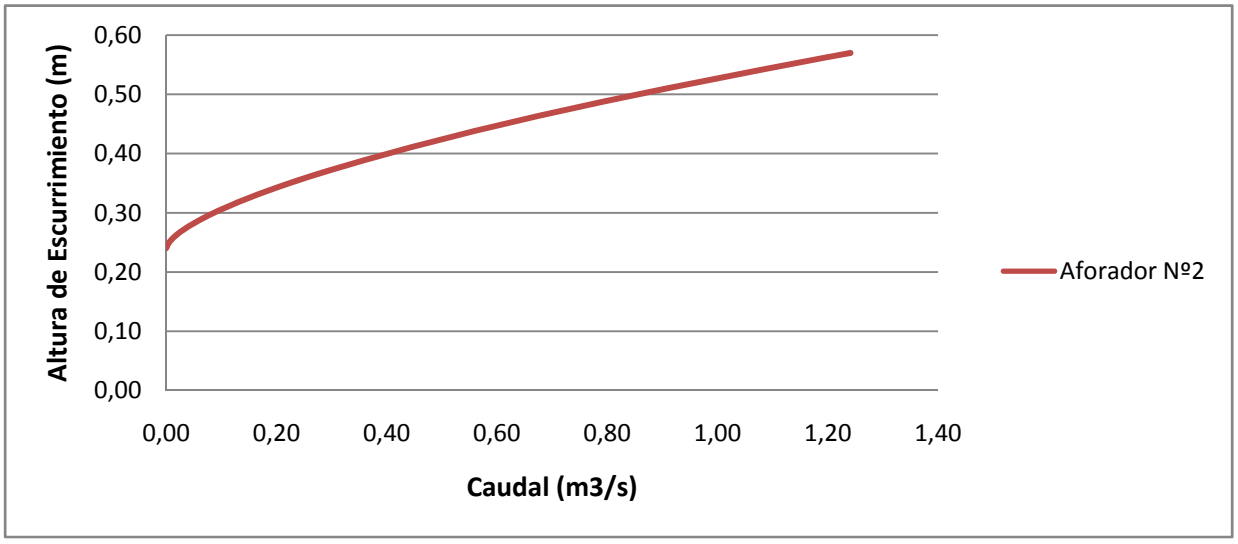
Con estos valores, se construye la curva de descarga del aforador y se puede obtener inmediatamente el caudal del canal, con solo observar la altura de escurrimiento aguas arriba de la barrera. Esta curva se muestra para los cuatro aforadores diseñados en la Figura 6.2.3-1 a la Figura 6.2.3-4.

FIGURA 6.2.3-1
CURVAS DE DESCARGA PARA AFORADOR Nº 1



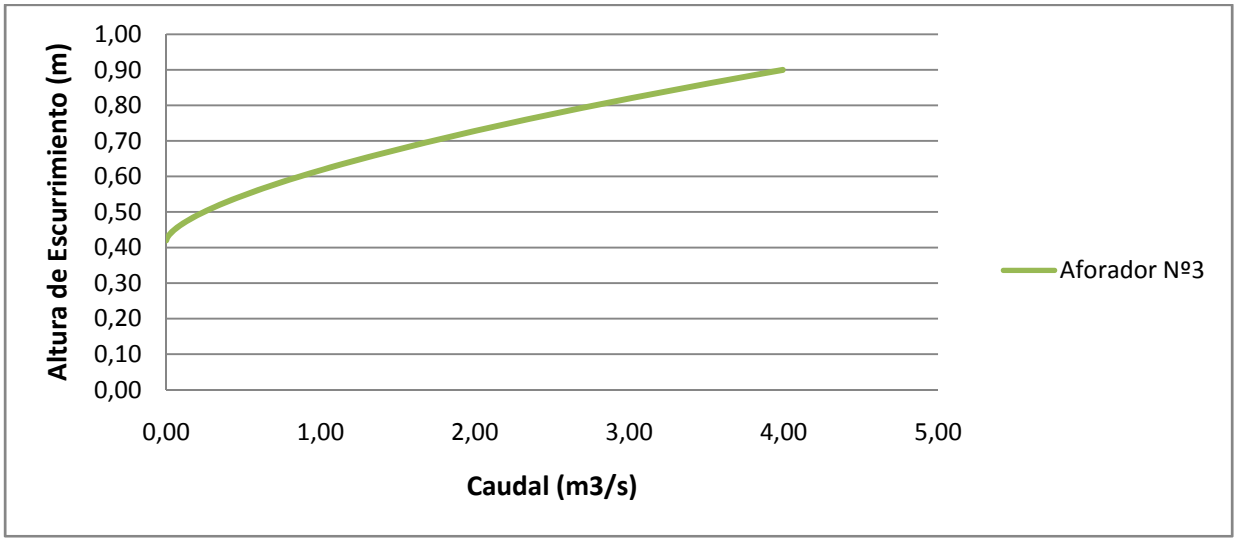
Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 6.2.3-2
CURVAS DE DESCARGA PARA AFORADOR Nº 2



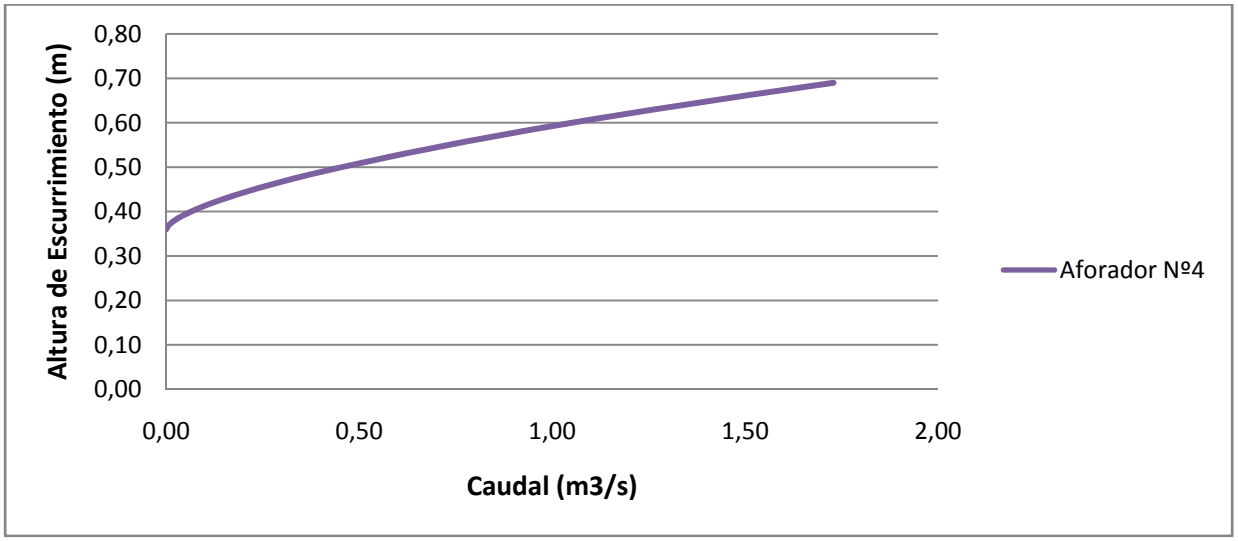
Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 6.2.3-3
CURVAS DE DESCARGA PARA AFORADOR Nº 3



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 6.2.3-4
CURVAS DE DESCARGA PARA AFORADOR Nº 4



Fuente: Elaboración propia.

6.2.4. Sistema de Conexión Remoto.

Para poder realizar este diseño será necesario tener en consideración los siguientes criterios.

- Se instalará un sistema interconectado por medio de la red de Internet, debido a su simplicidad y posibilidad de acceder desde cualquier parte, a cualquier hora.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

- Existe una señal de 3g de celulares en toda la zona de riego, sin embargo la señal no es de muy buena calidad en lugares muy bajos, aunque puede instalarse una antena para mejorar este problema. Si no existiese posibilidad de conectarse a la señal 3g en el lugar de instalación será necesario considerar una conexión satelital a internet, lo cual aumentaría los costos considerablemente.
- Debido a que los canales se encuentran en zonas donde no existen cables de electricidad se contará con la energía solar para el funcionamiento de los componentes eléctricos mediante paneles solares y baterías de ciclo profundo. En caso de que exista una línea de Alta tensión se evaluará la posibilidad de conectarse a esta línea.
- Se considerará para medir la altura del curso del agua un medidor de caudal ultrasónico, el cual registra los datos en un data Logger con capacidad para datos de hasta 1 año, según el intervalo de medidas que se establezca.
- Este medidor estará conectado directamente a un computador, el cual estará conectado a la red de internet que esté disponible, satelital o 3g.
- Se podrá acceder al computador por medio de escritorio remoto y red virtual en cualquier momento y descargar los datos, e incluso ver el caudal instantáneo que está pasando.
- Como el sistema estará energizado completamente con paneles solares puede estar prendido y funcionando siempre. Incluso la computadora se puede activar mediante internet para ahorrar consumo de las baterías.

6.3. PRESUPUESTO

6.3.1. Presupuesto de las Obras Civiles

Las obras civiles contemplan el trabajo de construcción de la sección rectangular en hormigón armado, mano de obra, transporte de materiales, etc. Además contempla una instalación de un cerco para la seguridad de la caseta para que no sea víctima de destrozos o robo de los materiales. Se ha estimado un costo aproximado de $8.000.000 para cada unos de los aforadores en obras civiles.

6.3.2. Presupuesto de Materiales Eléctricos

El costo asociado a la instalación de los materiales eléctricos e instrumentos de estos aforadores se muestra en el cuadro siguiente.

CUADRO 6.3.2-1

PRESUPUESTO PRELIMINAR DE MATERIALES ELÉCTRICOS DE UN AFORADOR

Componente	Precio ($)
Baterías y paneles solares	140.000
cargador + cables	45.000
caseta	385.000

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 6.3.2-1
PRESUPUESTO PRELIMINAR DE MATERIALES ELÉCTRICOS DE UN AFORADOR

Componente	Precio ($)
antena	35.000
acceso red 3g	35.000
computador	300.000
medidor ultrasónico + datalogger	3.000.000
Total Materiales Eléctricos	**3.940.000**
Obras civiles	**8.000.000**
SubTotal	**11.940.000**
Imprevistos (10%)	1.194.000
COSTO TOTAL POR AFORADOR	**13.134.000**

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.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

7. ALTERNATIVAS DE NEGOCIO DE HIDROGENERACIÓN

7.1. COSTOS DE MINICENTRALES HIDROELÉCTRICAS (MCH)

En el Estudio "Proyecto de Mejoramiento del Sistema de Riego Río El Carmen, Región de Atacama" para la CNR se analizaron 6 alternativas de MCH según los escenarios de altura de muros analizados. A partir de dicho análisis, se obtuvo el costo total de las obras asociadas a la MCH sin su costo asociado a la transmisión.

Para estimar los costos de transmisión, se consultó el precio unitario de la línea del estudio “Proyecto de Prefactibilidad Mejoramiento de Canales Arriba de Catemu, Abajo de Catemu y Pepino, Segunda Sección Río Aconcagua”, dicho precio fue de $ 25.000/km. Dado que en el actual proyecto la distancia para el enlace es de 23 km (Huedque – Cauquenes) y que la Línea en Catemu es cercana al Kilómetro, se consideró un valor de la Línea más bajo, por los efectos de la economía a escala, igual a $ 20.000/km. Finalmente los costos de cada MCH se presentan en el Cuadro 7.1-1.

CUADRO 7.1-1
COSTOS TOTALES ALTERNATIVAS DE MCH EL CARMEN MÁS LÍNEA DE TRANSMISIÓN

Alternativas de MCH	Costo Total sin Línea (Base El Carmen) (U$)	Costo Total Línea (base Catemu) (U$)	Costo Total (U$)	Costo Total +Op. y Mant. (U$)	P instalada (kW)	Costo Unitario (US$/kW)
1	420.367	966.387	1.386.753	1.410.328	104	13.566
4	627.937		1.594.323	1.621.427	157	10.345
2	703.298		1.669.685	1.698.069	194	8.757
3	753.104		1.719.490	1.748.721	228	7.676
5	1.110.211		2.076.598	2.111.900	289	7.310
6	1.171.550		2.137.936	2.174.281	316	6.874

Fuente: Proyecto de Mejoramiento del Sistema de Riego Río El Carmen, Región de Atacama

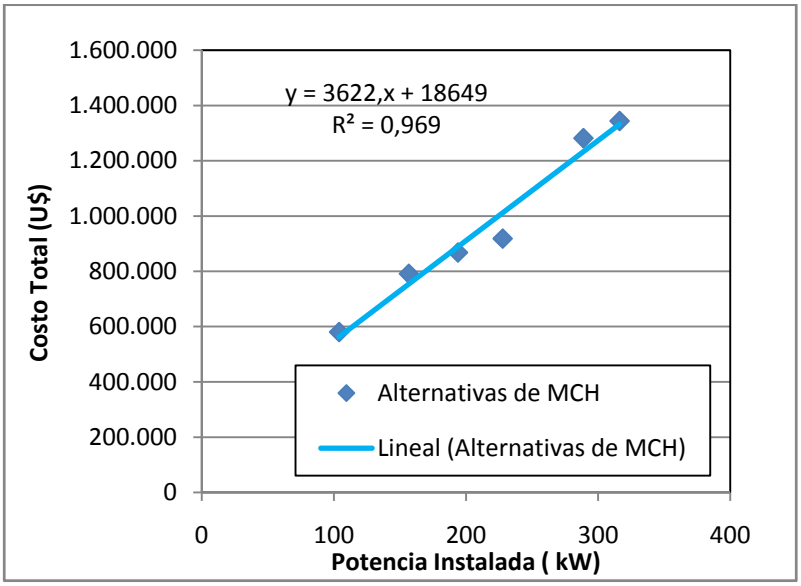
Con los antecedentes anteriores se generó una correlación entre la Potencia instalada y el Costo Total de las MCH (Figura 7.1-1). A partir de esta correlación, se obtuvo una curva de tendencia que se utilizó para estimar los Costos de las MCH propuestas en Huedque. En el Cuadro 7.1-2 se presentan los costos totales obtenidos.

CUADRO 7.1-2
COSTOS TOTALES MCH HUEDQUE

Escenario	Potencia Instalada (kW)	Costo Total +Op. y Mant. (U$)	Costo Unitario (US$/kW)	Costo Total +Op. y Mant. ($)
1	410	2.501.878	6,102	1.191
2	360	2.320.766	6,447	1.105
3	320	2.175.876	6,800	1.036
4	290	2.067.209	7,128	984
5	190	1.704.986	8,974	812

Fuente: Elaboración propia

FIGURA 7.1-1
CORRELACIÓN POTENCIA INSTALADA COSTOS TOTALES



Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

7.2. FACTIBILIDAD DE LA GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA

En el Cuadro 7.2-1 se han resumido los resultados estimados de la generación hidroeléctrica en el embalse, bajo los 5 escenarios analizados, en la cual la operación de la central queda supeditada a las entregas de agua para riego.

CUADRO 7.2-1
RESUMEN RESULTADOS GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA EN EL EMBALSE

Escenario	V de regulación (hm^3)	Q de Diseño (m^3/s)	Q de generación promedio (m^3/s)	Altura de Diseño del Embalse (m)	Altura promedio del Embalse (m)	Potencia Instalada (kW)	Energía Generada (MWh/año)	Factor de Planta	Prom. Caudal Generado / Caudal de Diseño	Prom. Altura Neta / Altura de Diseño
1	37,8	2,0	1,5	25	18,3	410	2200	0,57	0,75	0,73
2	34,5	2,0	1,4	22	17,7	360	1830	0,58	0,70	0,80
3	31,4	2,0	1,3	20	17,1	320	1650	0,58	0,65	0,86
4	28,1	1,8	1,2	20	16,5	290	1460	0,57	0,67	0,83
5	18,7	1,5	0,9	15	14,3	190	960	0,57	0,60	0,95

Fuente**:** Elaboración propia

Para la evaluación de beneficios hidroeléctricos, se considera el valor de la generación anual producida por las diferentes alternativas de central. Para esto, se considera el precio medio de la energía para el Sistema Interconectado Central (SIC), el que asciende a la suma de 36,45 $/kWh (precio nudo Charrúa) para el intervalo de tiempo comprendido entre los meses de Abril del año 2011 a Octubre del año 2012[1], y un beneficio producto de la potencia instalada de 47.278,52 $/kW/año. De esta forma, en el Cuadro 7.2-2 se presenta el beneficio anual asociado a la venta de energía y potencia.

Para el caso de las centrales hidroeléctricas, antes de considerar su inclusión dentro del proyecto, se determina la viabilidad de las mismas, mediante el uso del indicador Costo/Potencia (Razón C/P). A priori, se estima que una central es económicamente viable cuando el indicador Razón CP es inferior a US$ 5.000, y sólo en esos casos se debería continuar con un análisis tradicional de VAN y TIR. Por esta razón se presenta en el Cuadro 7.2-3 un resumen con el costo de las alternativas, separando el costo de la central e instalaciones anexas, la potencia instalada y la razón C/P.

[1] http://www.cne.cl/tarificacion/electricidad/precios-de-nudo-de-corto-plazo

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 7.2-2
BENEFICIO ANUAL ASOCIADO A LA VENTA DE ENERGÍA Y POTENCIA

Escenario	Potencia Instalada (kW)	Energía Generada (MWh/año)	Beneficio por Potencia Instalada (Mill$/año)	Beneficio por Venta de Energía (Mill$/año)	Beneficio Anual (Mill$/año)
1	410	2200	1,64	88,1	89,7
4	360	1830	1,44	73,3	74,7
2	320	1650	1,28	66,1	67,4
3	290	1460	1,16	58,5	59,6
5	190	960	0,76	38,4	39,2

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 7.2-3
RAZÓN COSTO / POTENCIA MCH

Escenario	Costo Total MCH (Millones US$)	Potencia Instalada (MW)	Razón C/P (Millones US$ / MW)	Razón C/P (US$ / kW)
1	2,50	0,41	6,10	6.102
2	2,32	0,36	6,45	6.447
3	2,18	0,32	6,80	6.800
4	2,07	0,29	7,13	7.128
5	1,70	0,19	8,97	8.974

Fuente**:** Elaboración propia

Al analizar la razón C/P, se concluye que es poco recomendable realizar su análisis en forma más detallada. A pesar de lo anterior, se evaluó su viabilidad por medio de una segunda alternativa, la cual consiste en determinar el costo de venta mínimo de la energía, para posteriormente compararlo con el precio medio de energía del SIC, valor que anteriormente se indicó asciende a 36,45 $/MWh.

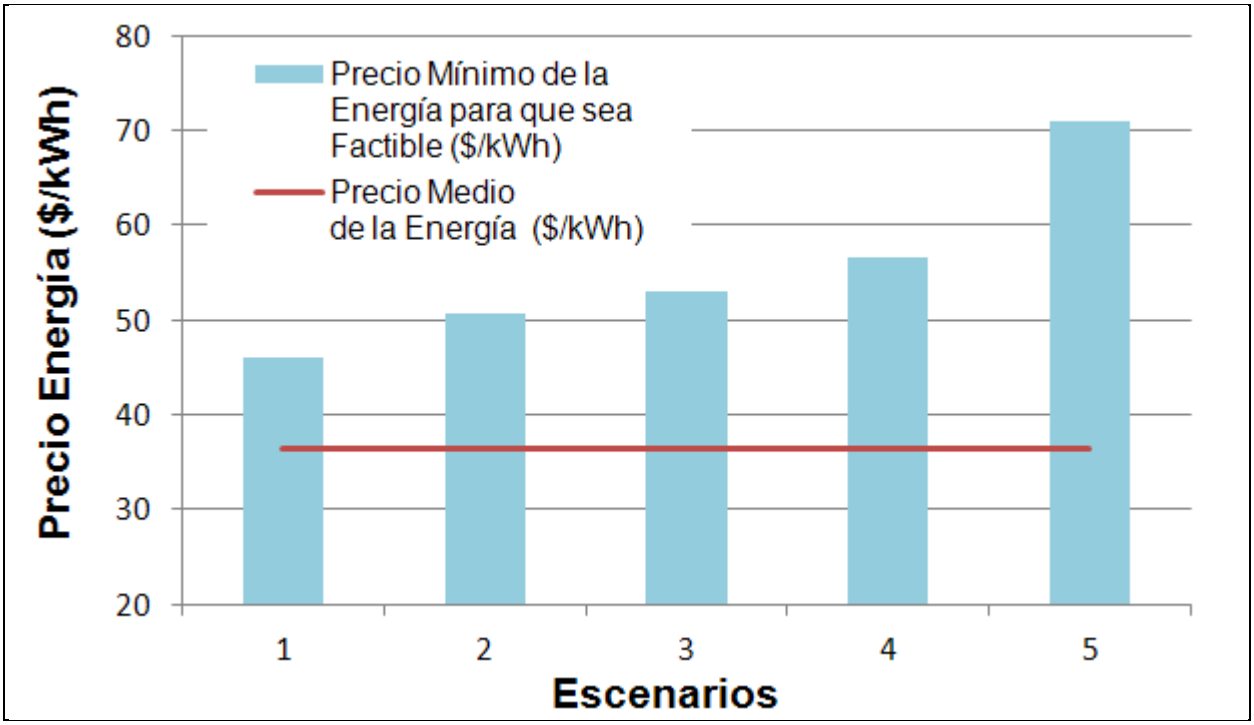
Con el fin anteriormente descrito, se suma el valor actualizado de construcción de la central (en un período de N años) en conjunto con el costo actualizado de operación de la misma (durante 30-N años). Posteriormente, el valor de esta suma se compara con el valor actualizado de la potencia instalada y de la venta de energía que se produce en el período de evaluación del proyecto (30-N años). De esta manera se calcula el costo de la energía que hace que la inversión se recupere completamente, o sea, el precio mínimo de la energía. De esta manera, si este precio es mayor que el precio medio de la energía del SIC, es infactible que el proyecto pueda financiarse. La metodología antes descrita se presenta en forma matemática en la siguiente ecuación, y los resultados del cálculo se presentan en la Figura 7.2-1 para precios privados:

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

$$\sum_{i=1}^{N} \frac{I_i}{(1+r)^i} + \sum_{i=N+1}^{30} \frac{O_i}{(1+r)^i} = \sum_{i=N+1}^{30} \frac{B_{POT.i}}{(1+r)^i} + C_{Min} \cdot \sum_{i=N+1}^{30} \frac{E_i}{(1+r)^i}$$

La tasa de descuento es de r = 8%. En el Anexo F.7-1 se presentan los cálculos de cada escenario y los resultados para r =10 y 12%.

FIGURA 7.2.1-1
PRECIO MÍNIMO ENERGÍA PARA QUE UNA MCH SEA FACTIBLE
PRECIOS PRIVADOS (r =8%)



Fuente: Elaboración propia

7.3. CONCLUSIONES

Las conclusiones obtenidas a partir de los resultados obtenidos de la simulación, son las siguientes:

- La operación de la mini central hidroeléctrica debe estar supeditada a las demandas de riego y al uso de los derechos de agua de los regantes.
- Por la misma razón anterior, en el Cuadro 7.2-2 se puede apreciar que 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.
- A partir de los resultados del Cuadro 7.2-3, al analizar la razón C/P, se concluye que es poco recomendable realizar su análisis en forma más detallada, conclusión que se refuerza al considerar los bajos factores de planta que tienen las MCH.
- A partir de los resultados del Figura 7.2-1, al analizar el precio mínimo requerido para la energía para que el proyecto sea rentable y al compararlo con el precio medio de energía del SIC (36,45 $/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.
- Por lo anterior, una MCH a pie del embalse Huedque estaría restringida a un uso local, cercano al embalse, o bien para abastecer las instalaciones y operación propia del embalse.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

8. INTERFERENCIAS

8.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

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 rio Huedque con la Ruta M-870). Desde estos 1.600 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.

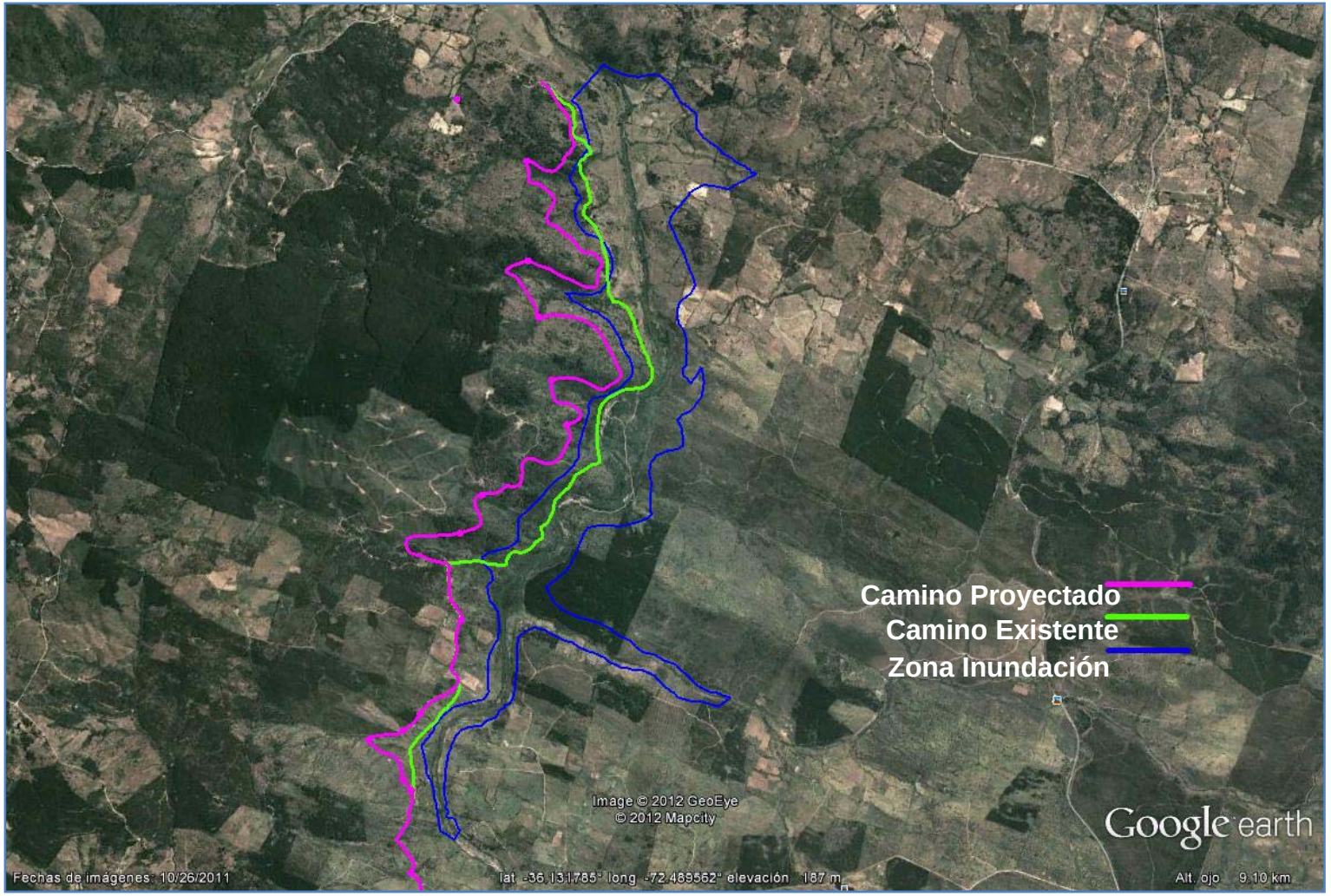
Parte del trazado fue proyectado a lo largo de un camino interior, cuyo mejoramiento está considerado dentro del presente estudio.

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.

En la Figura 8.1-1 se aprecia el camino existente y el canal proyectado, en conjunto con el área de inundación.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 8.1-1
CAMINO EXISTENTE, CAMINO PROYECTADO Y ZONA DE INUNDACION



Fuente: Elaboración Propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

8.2. TIPO DE CAMINO A PROYECTAR

8.2.1. Categoría del Camino

En este diseño se considerará el sistema de clasificación para caminos del Manual de Carreteras. (MCV3) Volumen 3, Capítulo 3.103.2, de acuerdo a la tabla 3.103.201-A. que se presenta en el Cuadro 8.2.1-1.

En este caso, se tiene que el tipo de camino considerado clasifica en la categoría de **Local** lo que permite velocidades de entre 40 y 70 km/h en el proyecto.

CUADRO 8.2.1-1
CLASIFICACIÓN FUNCIONAL PARA DISEÑO CARRETERAS Y CAMINOS RURALES

Categoría	Sección Transversal		Velocidades de Proyecto (km/h)	Código Tipo
	Nº Pistas	Nº Calzadas		
Autopista	4 ó + UD	2	120-100-80	A(n)-xx
Autorruta	4 ó + UD	2	100-90-80	AR(n)-xx
Primario	4 ó + UD	2 (1)	100-90-80	P(n)-xx
	2 BD	1	100-90-80	P(2)-xx
Colector	4 ó + UD	2 (1)	80-70-60	C(n)-xx
	2 BD	1	80-70-60	C(2)-xx
Local	2 BD	1	70-60-50-40	L(2)-xx
Desarrollo	2 BD	1	50-40-30*	D-xx
- UD: Unidireccionales - BD: Bidireccionales		- (n) Número Total de Pistas - xx Velocidad de Proyecto (km/h) *Menor que 30 km/h en sectores puntuales conflictivos		

Fuente: Manual de Carreteras

8.2.2. Clasificación del Camino

En el MCV3 además, se describe la clasificación de los caminos de acuerdo al terreno en donde se emplazarán y a las velocidades del proyecto que fueron consideradas. Las velocidades de proyecto, V_p, más altas corresponden a trazados en terrenos llanos, las intermedias en terrenos ondulados y las más bajas a terrenos montañosos o cuyo entorno presenta limitaciones severas para el trazado. En este caso, se puede considerar que el terreno en el que se encuentra este proyecto clasifica de acuerdo a lo descrito en el Capítulo 3.103.2 del Manual de Carreteras como **Terreno Ondulado**.

El trazado de la alternativa está constituido por un relieve con frecuentes cambios de cota que si bien no son demasiado importantes en términos absolutos, son repetitivos, lo que obliga a emplear frecuentemente pendientes de distinto sentido las cuales pueden

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

fluctuar entre 3 y 7%. Salvo en este caso, dos excepciones, una en el empalme del camino a Combarbalá en donde la pendiente alcanza 10%, y el km 2,6 donde supera el 15%.

8.2.3. Parámetros de Diseño

Los parámetros básicos para el diseño del camino, tanto en lo referente al trazado en planta, así como en alzado serán tomados como referencia desde la tabla 3.201.5.A del MCV3, expuesta en el Cuadro 8.2.3-1.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 8.2.3-1
PARÁMETROS DE DISEÑO DE CAMINOS ALTERNATIVOS

Categoría Carreteras y Caminos			Desarrollo	Locales		Colectores		Primarios/Autorrutas		Autopistas				REF. 3.100
Velocidad de Proyecto		Vp (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	(110)	120	(130)	3.103/3.201.301
Visib.	Distancia de Parada i=0%	Dp (m)	25	38	52	70	90	115	145	175	210	250	300	3.202.2
Visib.	Distancia de Adelantamiento (1)	Da (m)	180	240	300	370	440	500	550	600	650	(1)	(1)	3.202.3
Planta	Alineaciones Rectas	Lr(m)	Lr = | 20 Vp Km/h | Para todo V.; Lr mínimo 3.203.203											3.203.2
Planta	Radio Mínimo en Curva	Rm (m)	25	50	80	120	180	250	330	425	540	700	900	3.203.302
Planta	Radio Mínimo en Curva al final recta: 400 m < Lr ≤ 600 m	R'm (m)	R' min ≥ Rm (V+10)									R' min ≥ Rm (V+5)		3.201.301 (2)
Planta	Radio Mínimo en Curva al final recta: Lr ≥ 600 m	R'm (m)	R' min ≥ Rm (V+20)							R' min ≥ Rm (V+15)		R' min ≥ Rm (V+10)		3.201.301 (2)
Planta	Peralte Máximo	P (%)	7	7	7	7	7	7/8	8	8	8	8	7	3.203.302
Planta	Pendiente Relativa de Borde (2)	Δ (%)	0,7 - 1,5			0,6 - 1,3 -(1,3)		0,5 - 0,9 -(0,9)		0,35 - 0,8 - (0,8)			(0,8)	3.203.305 (3)
Planta	Desarrollo Mín. ω = 9º y Rm	D (m)	-	7	12	17	26	35	47	60	76	100	130	3.203.303 (4)
Planta	Radio lím. Contra Peralte (3)	RL (m)	-	-	-	> 3500			> 7500					3.203.303 (3)
Planta	Parámetro Mín. Clotoide; R=Rmín.	A (m) (4)	-	29	37	48/68	60/83	83/125	110/144	142/173	190/195	-/234	-/305	3.203.403 (1)
Planta	Cond. Adicionales A	-	Por desarrollo Peralte - Por Longitud L máx.< 1,5 L mín. - Siempre A < R											3.203.403
Alzado	Pendiente Máxima (5)	i (%)	10 - 12	10 - 9	9	8	8	8 - 6 - 5	5	4,5	-	4	4	3.204.301
Alzado	Curva Vertical Convexa (V*=Vp)	Kv (m)	300	400	700	1200	1800	300	4700	6850	9850	14000	16000	3.204.301 (1)
Alzado	Curva Vertical Cóncava (Vp)	Kc (m)	400	600	1000	1400	1900	2600	3400	4200	5200	6300	6300	3.204.301 (2)
Alzado	Curva Vertical Cóncava (Ilum. Artif.)	Kci (m)	250	400	650	950	1300	1700	2100	2600	3200	3700	3700	3.204.301 (3)
Alzado	C. Vertical Convexa x. Adelant. (6)	Ka (m)	3500	6300	9800	14900	21000	27200	33900	39100	45900	-	-	3.204.405
Alzado	Long. Mín. Curva Vertical	2T (m)	En general 2T min. ≥ V (km/h); Si 2T mín. Controla K min. = Vφ - Salvo casos 3.204.406											3.204.404

(1) Distancia Visibilidad adelantamiento requerida sólo en caminos Bidireccionales - No corresponde para V > 100 KPH. Salvo (110) si Vp = 100 y se trata de una pendiente > 6%

(2) Valores de Δ Normal y Máximo, en () Máximo para n > 1

(3) Para Radios Límite en Contraperalte en Tramos Singulares. Ver Tabla 3.203.303 (3) A

(4) Primer Valor Calzada Bidireccional / Segundo, Calzada Unidireccional-Ambas consideran Jmáx y Δmáx. Para R >Rmín. Ver Lámina 3.203.403 (1) A

(5) Pendiente Máxima hasta 2500 m.s.n.m. - Mayor valor corresponde a Menor Categoría de Carretera.

(6) Considerar sólo en caminos Bidireccionales - No corresponde para V > 100 KPH.

Vp (110) y (130) No corresponden a una Velocidad de Proyecto de las Categorías - Se dan relación con la V85% ó V* de un cierto tramo. Para (130) Kv indicado corresponde a V* = Vp+10.

Fuente: Manual de Carreteras

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Si consideramos que el camino será de tipo **Local**, con una velocidad media de Proyecto de **70 km/h**, salvo algunos casos en donde se tendrá una velocidad de **40 km/h** se aplicarán los siguientes parámetros mínimos para su Proyección.

8.2.3.1. Para Velocidad de Proyecto de 70 km/h

- *Distancia de parada 90 m*
- *Distancia de adelantamiento 440 m*
- *Radio mínimo en curva 180 m*
- *Pendiente Máxima 8%*

8.2.3.2. Para Velocidad de Proyecto de 40 km/h

- *Distancia de parada 38 m*
- *Distancia de adelantamiento 240 m*
- *Radio mínimo en curva 50 m*
- *Pendiente Máxima 10%*

8.3. COSTOS DE CONSTRUCCIÓN

El costo de variante de camino se presenta en el Cuadro 8.3-1. El valor de la UF es de $22.463. Día 01/03/2012.

CUADRO 8.3-1
COSTO DE CONSTRUCCION

9	Construcción de caminos	Unidad	P. Unitario	Cantidad	Valor ($)
9.1	Excavaciones abiertas en roca	m³	15.085	16.865	$ 254.400.983
9.2	Excavaciones en material común	m³	2.952	39.351	$ 116.162.676
9.3	Relleno Terraplén	m³	5.422	33.729	$ 182.878.638
TOTAL					$ 553.442.297

Fuente: Elaboración Propia

8.4. PLANOS

El listado de planos donde se muestran los caminos alternativos e interferencias es el indicado en el Cuadro 8.4-1

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 8.4-1
PLANOS

Nombre Plano	Descripción
PAC-HDQ-01	PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL TRAZADO PROYECTO CAMINO HUEDQUE LAMINA 1-12
PAC-HDQ-02	PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL TRAZADO PROYECTO CAMINO HUEDQUE LAMINA 2-12
PAC-HDQ-03	PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL TRAZADO PROYECTO CAMINO HUEDQUE LAMINA 3-12
PAC-HDQ-04	PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL TRAZADO PROYECTO CAMINO HUEDQUE LAMINA 4-12
PAC-HDQ-05	PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL TRAZADO PROYECTO CAMINO HUEDQUE LAMINA 5-12
PAC-HDQ-06	PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL TRAZADO PROYECTO CAMINO HUEDQUE LAMINA 6-12
PAC-HDQ-07	PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL TRAZADO PROYECTO CAMINO HUEDQUE LAMINA 7-12
PAC-HDQ-08	PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL TRAZADO PROYECTO CAMINO HUEDQUE LAMINA 8-12
PAC-HDQ-09	PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL TRAZADO PROYECTO CAMINO HUEDQUE LAMINA 9-12
PAC-HDQ-10	PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL TRAZADO PROYECTO CAMINO HUEDQUE LAMINA 10-12
PAC-HDQ-11	PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL TRAZADO PROYECTO CAMINO HUEDQUE LAMINA 11-12
PAC-HDQ-12	PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL TRAZADO PROYECTO CAMINO HUEDQUE LAMINA 12-12
PAC-HDQ-13	PERFILES TRANSVERSALES TRAZADO PROYECTO CAMINO HUEDQUE LAMINA 1-2
PAC-HDQ-14	PERFILES TRANSVERSALES TRAZADO PROYECTO CAMINO HUEDQUE LAMINA 2-2

Fuente: Elaboración Propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

9. EXPROPIACIONES

9.1. ÁREA DE INUNDACIÓN

El área de expropiación objeto del presente análisis, corresponde al área de inundación 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).

A continuación se describen en mayor detalle aquellos aspectos correspondientes a la propiedad de la tierra en los predios factibles de ser expropiadas ante una eventual construcción de la obra (por encontrarse dentro de la zona máxima de inundación).

La distribución espacial de las propiedades así como los límites prediales (de acuerdo al S.I.I.) del área de estudio pueden verse en el **Plano EXP-HDQ-01** de la presente entrega, en el cual se indica también el Rol y el nombre del propietario.

La información de aquellas propiedades factibles de ser expropiadas, se resume a continuación en el Cuadro 9-1.

Los datos de las propiedades expuestos en el Cuadro 9-1 corresponden aquellos proporcionados por el Servicio de Impuestos Internos a través de su portal web (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 preliminar estimada de 650 ha.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 9-1.
SUPERFICIES DE LAS PROPIEDADES POTENCIALMENTE EXPROPIABLES

Nº ROL DE AVALUO SEGUN SII	NOMBRE DEL PROPIETARIO SEGÚN SII	NOMBRE Y DIRECCIÓN DE LA PROPIEDAD	COMUNA	SUPERFICIE TOTAL EXPROPIACIÓN (ha)	SUPERFICIE PREDIAL TOTAL (ha)
311-110	FUND DE BENEFICENCIA HOGAR DE CRIS	SN JUAN	QUIRIHUE	7,22	131,46
314-95	YANEZ VASQUEZ GABRIEL	HUEDQUE-COMUNA QUIRIHUE	QUIRIHUE	189,78	1543,76
315-100	HERNANDEZ BUSTOS TRINIDAD	ESPINAL	QUIRIHUE	0,18	63,32
315-166	MOLINA MOLINA ROSALBE Y OTROS	SAN GREGORIO Y RAYA	QUIRIHUE	3,71	124,86
315-43	GARRIDO BUSTOS DEYANIRA DEL CARM	SC SAN JUAN LA RAYA HJ 1	QUIRIHUE	5,21	41,45
315-55	MOLINA MOLINA RAUL	SN GREGORIO Y RAYA	QUIRIHUE	0,01	8,10
315-57	MOLINA BUSTOS PEDRO	SAN JUAN LA RAYA	QUIRIHUE	0,45	39,78
315-71	BUSTOS HERNANDEZ LUIS EDUARDO	EL MAITEN	QUIRIHUE	5,11	33,35
315-75	RIVAS CRISOSTO TRINIDAD Y OTROS	SAN JUAN LA RAYA	QUIRIHUE	0,98	13,09
315-91	ESCALONA GALLARDO HECTOR	EL QUILLAY	QUIRIHUE	0,10	2,27
315-92	ESCALONA GALLARDO HECTOR	EL BOLDO	QUIRIHUE	0,21	2,25
315-93	TORRES HIPOLITO DEL CARMEN	SAN JUAN LA RAYA	QUIRIHUE	0,25	3,62
315-99	MOLINA CISTERNA PORFIRIA MERCEDE Y	ARICA SN JUAN LA RAYA	QUIRIHUE	6,54	32,85
316-100	YEVENES CARMONA MANUEL JESUS	EL PERAL HIJ 7	QUIRIHUE	7,71	14,93
316-101	YEVENES CANALES NICOLAS	SAN JUAN	QUIRIHUE	3,95	4,51
316-102	HERNANDEZ YEVENES RAMIRO	LA RAYA HIJ 1	QUIRIHUE	0,24	9,83
316-106	MOLINA BUSTOS MARTA Y OT	LA RAYA	QUIRIHUE	2,96	68,15
316-11	BARRERA RIVAS CRESCENTE	EL RINCON	QUIRIHUE	0,27	10,52
316-23	VERA DE LA PORTE CARLOS HUGO Y	SAN JUAN	QUIRIHUE	26,80	154,86
316-50	MOLINA MOLINA RAUL	LOS PERALES	QUIRIHUE	11,42	187,83
316-51	ARAVENA INOSTROZA MANUEL ANTONIO	SAN LUIS HJ 4 LT AB	QUIRIHUE	5,95	14,60
316-59	HERNANDEZ MOLINA JUAN ESTEBAN	SAN JOSE	QUIRIHUE	1,29	30,11
316-91	MOLINA CISTERNA CEFERINO DEL CAR Y	STA ROSA	QUIRIHUE	42,66	198,32
529-79	AGRICOLA Y FORESTAL AGUA BUENA I	EL CHOCO	CAUQUENES	4,18	141,94
531-10	ROCHA REYES ABELARDO ANTONIO	LA RAYA C A QUIRIHUE	CAUQUENES	1,45	17,94
531-14	VELSQUEZ HOTUS ALICIA LORENA	SANTA ANA LA RAYA	CAUQUENES	19,28	361,83

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 9-1.
SUPERFICIES DE LAS PROPIEDADES POTENCIALMENTE EXPROPIABLES

Nº ROL DE AVALUO SEGUN SII	NOMBRE DEL PROPIETARIO SEGÚN SII	NOMBRE Y DIRECCIÓN DE LA PROPIEDAD	COMUNA	SUPERFICIE TOTAL EXPROPIACIÓN (ha)	SUPERFICIE PREDIAL TOTAL (ha)
531-153	SUC. RETAMAL MOLINA EDUARDO A	VNA STO TOMAS	CAUQUENES	0,46	5,06
531-24	SANHUEZO SALGADO GERARDO ENRIQUE Y	EL CARMEN	CAUQUENES	10,88	45,03
531-262	SUCESION LUIS VERA	SAN LUIS	CAUQUENES	9,29	116,12
531-263	SUC. URRUTIA VERA JULIO CESAR	LONCUALHUE	CAUQUENES	58,99	169,50
531-267	CISTERNA JUAN Y OT	SN LUIS	CAUQUENES	35,00	47,45
531-268	MOLINA CISTERNAS JOSE L Y OT	SN LUIS	CAUQUENES	23,86	66,65
531-273	MEDINA BUSTOS MARCELO ANDRES	EL REFUGIO	CAUQUENES	27,38	30,14
531-292	RETAMAL MOLINA ARMANDO	SAN LUIS	CAUQUENES	3,11	15,68
531-531	RETAMAL MOLINA SARA AYDEE	VINA STO TOMAS HIJ 4	CAUQUENES	2,03	8,89
531-532	VERA RETAMAL EBERTO A	LA RAYA LT 3	CAUQUENES	6,22	15,36
531-533	VERA RETAMAL MARISOL	VINA STO TOMAS HJ 2 B	CAUQUENES	4,72	31,12
531-63	CASTILLO DIAZ SONIA Y OTS	CANCHA LOS HUEVOS	CAUQUENES	33,96	144,96
531-73	SUC.BUSTOS VERA JUAN RAUL	EX SUBD CORONEL	CAUQUENES	0,04	34,86
531-76	DIAZ LOPEZ CARMEN ROSA	BUENA VISTA	CAUQUENES	27,28	155,02
SR	Sin Información	Sin Información	CAUQUENES	22,06	22,06
VP-A	Sin Información	Sin Información	QUIRIHUE	1,47	357,82
VP-B	Sin Información	Sin Información	QUIRIHUE	13,00	8794,99
VP-C	Sin Información	Sin Información	QUIRIHUE	17,70	24,85
VP-E	Sin Información	Sin Información	QUIRIHUE	4,71	10,00

Fuente: Elaboración propia a partir de S.I.I.

9.2. FAJA DE CANALES

Se ha calculado el área de las expropiaciones correspondientes a la construcción de los canales. El resumen de área se observa en el Cuadro 9.2 y el detalle completo de los predios se encuentra en el Anexo F.9-1

CUADRO 9.2
RESUMEN DE EXPROPIACIONES FAJA DE CANALES

Nombre Canal	Cantidad de Predios	Área (ha)
Canal Derecho Tramo 1	86	26,88
Canal Derecho Tramo 2	60	32,01
Canal Izquierdo Tramo 1	86	32,09
Canal Izquierdo Tramo 2	36	27,02
Canal Derivado 1	21	13,18
Canal Derivado 2	31	16,86
Total	**320**	**148,05**

Fuente: Elaboración Propia

9.3. PLANOS

El listado de planos de este informe es el indicado en el Cuadro 9.3

CUADRO 9.3
PLANOS

NOMBRE	DESCRIPCIÓN
EXP-HDQ-01	EXPROPIACIONES ZONA DE INUNDACION, OBRAS MURO
EXP-HDQ-02	EXPROPIACIONES CANAL MATRIZ DERECHA TRAMO 1 LAMINA 1-2
EXP-HDQ-03	EXPROPIACIONES CANAL MATRIZ DERECHA TRAMO 1 LAMINA 2-2
EXP-HDQ-04	EXPROPIACIONES CANAL MATRIZ DERECHA TRAMO 2 LAMINA 1-2
EXP-HDQ-05	EXPROPIACIONES CANAL MATRIZ DERECHA TRAMO 2 LAMINA 2-2
EXP-HDQ-06	EXPROPIACIONES CANAL MATRIZ IZQUIERDA TRAMO 1 LAMINA 1-2
EXP-HDQ-07	EXPROPIACIONES CANAL MATRIZ IZQUIERDA TRAMO 1 LAMINA 2-2
EXP-HDQ-08	EXPROPIACIONES CANAL MATRIZ IZQUIERDA TRAMO 2 LAMINA 1-2
EXP-HDQ-09	EXPROPIACIONES CANAL MATRIZ IZQUIERDA TRAMO 2 LAMINA 2-2
EXP-HDQ-10	EXPROPIACIONES CANAL DERIVADO 1
EXP-HDQ-11	EXPROPIACIONES CANAL DERIVADO 2

Fuente: Elaboración Propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

10. PRECIOS UNITARIOS, PRESUPUESTOS, COSTOS DE OPERACIÓN

10.1. PRECIOS UNITARIOS

Los precios unitarios, en adelante PU, que se utilizaron para el proyecto Embalse Rio Huedque, se preparó a partir de información disponible en la base de datos del Consultor, en proyectos ejecutados en diciembre de 2003. Cada uno de los precios de referencia, conservaron indicadores y variaciones económicas actualizadas a Marzo de 2012, que se presentan en el Cuadro 10.1-1.

CUADRO 10.1-1
VARIACIÓN INDICADORES ECONÓMICOS

	Diciembre de 2003 pesos Chilenos	Marzo de 2012 pesos Chilenos
Valor Dólar	621	476
Valor UF	16.920	22.463

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se muestran los PU de las principales partidas de las obras de arte del embalse, actualizados a Marzo de 2012 y adaptados a la zona geográfica de ubicación del proyecto. El análisis de los precios unitarios se establece solo para las partidas principales, cuyo resultado en pesos chilenos se presenta en el Anexo F.10-1

Se presenta en el Cuadro 10.1-2 la lista de precios unitarios adoptados, en que dichos precios son costos directos, es decir, no incluyen gastos generales, utilidades ni tampoco IVA.

CUADRO 10.1-2
PRECIOS UNITARIOS ($)

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRIVADO	SOCIAL
0001	Instalación de Faenas para Construcción de Embalse y Red de Riego	Gl	$ 484.000.000	$ 450.000.000
0002	Limpieza / Despeje (escarpe) 30 cm	m²	$ 1.794	$ 1.599
0003	Excavaciones en material común	m³	$ 2.952	$ 2.793
0004	Relleno presa	m³	$ 5.692	$ 5.488
0005	Pared moldeada	m³	$ 296.550	$ 283.979
0006	Enrocado de protección e=0,50 m	m²	$ 25.004	$ 18.843
0007	Excavaciones abiertas en roca	m³	$ 9.807	$ 9.731
0008	Hormigón H-30	m³	$ 142.918	$ 135.029

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 10.1-2
PRECIOS UNITARIOS ($)

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRIVADO	SOCIAL
0009	Metros Túnel con refuerzo	ml	$ 511.637	$ 511.478
00010	Metros Túnel sin refuerzo	ml	$ 484	$ 325
00011	Excavaciones en material fluvial	m³	$ 3.835	$ 3.715
00012	Cruce de Quebradas Tipo para caminos	un	$ 5.000.000	$ 5.000.000
00013	Puente cruce Rio Huedque	un	$ 46.000.000	$ 45.700.000
00014	Relleno Terraplén	m³	$ 5.422	$ 4.001
00015	Hormigón H-10	m³	$ 94.371	$ 86.482
00016	Armadura Refuerzo	kg	$ 1.369	$ 1.311
00017	Excavación Subterránea en Roca	m³	$ 82.459	$ 81.766
00018	Tubería Spiropecc DN 600	m	$ 39.428	$ 39.428
00019	Tubería Spiropecc DN 900	m	$ 61.720	$ 61.720
00020	Excavación en zanja terreno tipo III Prof = 0 - 2,5 m	m^3	$ 2.806	$ 2.544
00021	Sifón Matriz Izquierdo	Gl	$ 6.000.000	$ 6.000.000
00022	Sifón Matriz Derecho	Gl	$ 33.000.000	$ 33.000.000
00023	Túnel en Roca	Gl	$ 28.000.000	$ 28.000.000
00024	Tubería Acero d = 0,9 m	m	$ 176.535	$ 176.535
00025	Tubería Acero d = 1,2 m	m	$ 314.168	$ 314.168
00026	Tubería Acero d = 1,3 m	m	$ 335.919	$ 335.919
00027	Tubería Acero d = 1,4 m	m	$ 358.402	$ 358.402
00028	Tubería Acero d = 1,5 m	m	$ 380.883	$ 380.883
00029	Tubería Acero d = 1,6 m	m	$ 403.853	$ 403.853
00030	Tubería Acero d = 1,8 m	m	$ 445.012	$ 445.012
00031	Suministro e Instalación de Válvulas	Gl	$ 120.000.000	$ 120.000.000

Fuente: Elaboración propia.

10.2. PRESUPUESTOS

En los Cuadros 10.2-1 a 10.2-5 se presentan los presupuestos para cada uno de los escenarios del proyecto.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

10.2.1. Escenario 1

CUADRO 10.2.1-1
PRESUPUESTO DETALLADO ESCENARIO 1

ITEM	Descripción	Unidad	P. Unitario	Cantidad	P. Total
1	**Instalaciones Temporales**				**$ 484.000.000**
1.1	Instalación de Faenas	GL	484.000.000	1	484.000.000
2	**Preparación del terreno**				**$ 271.795.202**
2.1	Limpieza / Despeje (escarpe) 30 cm	m²	1.794	113.989	204.496.139
2.2	Excavaciones en material común	m³	2.952	22.798	67.299.064
3	**Volumen Presa Homogénea**				**$ 6.514.230.949**
3.1	Relleno presa	m³	5.692	1.144.454	6.514.230.949
4	**Enrocado de Protección muro aguas arriba**				**$ 628.776.403**
4.1	Enrocado de protección e=0,50 m	m²	25.004	25.147	628.776.403
5	**Vertedero y colchón**				**$ 4.707.888.712**
5.1	Excavaciones abiertas en roca	m³	9.807	297.686	2.919.406.602
5.2	Hormigón H-30	m³	142.918	8.461	1.209.295.097
5.3	Armadura Refuerzo	kg	1.369	423.073	579.187.012
6	**Túnel de Desvío**				**$ 3.048.066.997**
6.1	Excavaciones abiertas en roca	m³	9.807	1.285	12.603.956
6.2	Excavación Subterránea en Roca	m³	82.459	35.986	2.967.336.590
6.3	Metros Túnel con refuerzo	ml	511.637	10	5.116.370
6.4	Enrocado de protección e=0,50 m	m²	25.004	2.520	63.010.080
7	**Red de Canales**				**$ 1.152.754.183**
7.1	Excavación en zanja terreno tipo III Prof = 0 - 2,5 m	m^3	2.806	397.896	1.085.754.183
7.2	Sifón Matriz Izquierdo	Gl	6.000.000	1	6.000.000
7.3	Sifón Matriz Derecho	Gl	33.000.000	1	33.000.000
7.4	Túnel en Roca	Gl	28.000.000	1	28.000.000
8	**Construcción de caminos**				**$ 464.431.466**
8.1	Excavaciones abiertas en roca	m³	9.807	16.865	165.390.152
8.2	Excavaciones en material común	m³	2.952	39.351	116.162.676
8.3	Relleno Terraplén	m³	5.422	33.729	182.878.638
9	**Obras de Cruce**				**$ 70.000.000**
9.1	Cruce de Quebradas Tipo para caminos	un	5.000.000	14	70.000.000
10	**Obras de Entrega**				**$ 464.536.448**
10.1	Tubería Acero d = 1,8 m	m	445.012	609	271.012.308
10.2	Tubería Acero d = 1,6 m	m	403.853	-	0
10.3	Tubería Acero d = 1,5 m	m	380.883	40	15.235.320
10.4	Tubería Acero d = 1,4 m	m	358.402	-	0
10.5	Tubería Acero d = 1,3 m	m	335.919	-	0
10.6	Tubería Acero d = 1,2 m	m	314.168	-	0
10.7	Tubería Acero d = 0,9 m	m	176.535	-	0
10.8	Suministro e Instalación de Válvulas	Gl	120.000.000	1	120.000.000
10.9	Hormigón H-30	m³	142.918	408	58.288.820
11	**Total Costo Directo**	$			**$ 17.806.480.360**
12	**Gastos Generales, Utilidades e Imprevistos (45%)**	**45%**			8.012.916.162
13	**Contingencia (15%)**	**15%**			2.670.972.054

CUADRO 10.2.1-1
PRESUPUESTO DETALLADO ESCENARIO 1

ITEM	Descripción	Unidad	P. Unitario	Cantidad	P. Total
14	**Sub-Total Neto**	$			**$ 28.490.368.576**
15	**Expropiaciones**				**$ 536.962.807**
15.1	Zona de inundación praderas y matorrales	ha	600.000	478,3	385.284.511
15.2	Zona de inundación plantaciones	ha	2.000.000	72,7	151.678.296
16	**TOTALES NETO**				**$ 29.027.331.383**
17	Nota : Valores Netos no consideran IVA				**60,95 MM. US**

Fuente: Elaboración propia.

10.2.2. Escenario 2

CUADRO 10.2.2-1
PRESUPUESTO DETALLADO ESCENARIO 2

ITEM	Descripción	Unidad	P. Unitario	Cantidad	P. Total
1	**Instalaciones Temporales**				**$ 484.000.000**
1.1	Instalación de Faenas	GL	484.000.000	1	484.000.000
2	**Preparación del terreno**				**$ 251.494.590**
2.1	Limpieza / Despeje (escarpe) 30 cm	m²	1.794	105.475	189.222.150
2.2	Excavaciones en material común	m³	2.952	21.095	62.272.440
3	**Volumen Presa Homogénea**				**$ 5.627.538.100**
3.1	Relleno presa	m³	5.692	988.675	5.627.538.100
4	**Enrocado de Protección muro aguas arriba**				**$ 571.696.772**
4.1	Enrocado de protección e=0,50 m	m²	25.004	22.864	571.696.772
5	**Vertedero y colchón**				**$ 4.470.909.783**
5.1	Excavaciones abiertas en roca	m³	9.807	267.744	2.625.765.408
5.2	Hormigón H-30	m³	142.918	8.730	1.247.607.697
5.3	Armadura Refuerzo	kg	1.369	436.477	597.536.678
6	**Túnel de Desvío**				**$ 3.048.066.997**
6.1	Excavaciones abiertas en roca	m³	9.807	1.285	12.603.956
6.2	Excavación Subterránea en Roca	m³	82.459	35.986	2.967.336.590
6.3	Metros Túnel con refuerzo	ml	511.637	10	5.116.370
6.4	Enrocado de protección e=0,50 m	m²	25.004	2.520	63.010.080
7	**Red de Canales**				**$ 1.005.161.052**
7.1	Excavación en zanja terreno tipo III Prof = 0 - 2,5 m	m^3	2.806	333.954	938.161.052
7.2	Sifón Matriz Izquierdo	Gl	6.000.000	1	6.000.000
7.3	Sifón Matriz Derecho	Gl	33.000.000	1	33.000.000
7.4	Túnel en Roca	Gl	28.000.000	1	28.000.000
8	**Construcción de caminos**				**$ 464.431.466**
8.1	Excavaciones abiertas en roca	m³	9.807	16.865	$ 165.390.152
8.2	Excavaciones en material común	m³	2.952	39.351	$ 116.162.676
8.3	Relleno Terraplén	m³	5.422	33.729	$ 182.878.638
9	**Obras de Cruce**				**$ 70.000.000**
9.1	Cruce de Quebradas Tipo para	un	5.000.000	1	70.000.000

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 10.2.2-1
PRESUPUESTO DETALLADO ESCENARIO 2

ITEM	Descripción	Unidad	P. Unitario	Cantidad	P. Total
	caminos				
10	**Obras de Entrega**				**$ 440.498.312**
10.1	Tubería Acero d = 1,8 m	m	445.012	266	118.373.192
10.2	Tubería Acero d = 1,6 m	m	403.853	-	0
10.3	Tubería Acero d = 1,5 m	m	380.883	340	129.500.220
10.4	Tubería Acero d = 1,4 m	m	358.402	40	14.336.080
10.5	Tubería Acero d = 1,3 m	m	335.919	-	0
10.6	Tubería Acero d = 1,2 m	m	314.168	-	0
10.7	Tubería Acero d = 0,9 m	m	176.535	-	0
10.8	Suministro e Instalación de Válvulas	Gl	120.000.000	1	120.000.000
10.9	Hormigón H-30	m³	142.918	408	58.288.820
11	**Total Costo Directo**	$			**$ 16.433.797.072**
12	**Gastos Generales, Utilidades e Imprevistos (45%)**	**45%**			7.395.208.682
13	**Contingencia (15%)**	**15%**			2.465.069.561
14	**Sub-Total Neto**	$			**$ 26.294.075.315**
15	**Expropiaciones**				**$ 484.682.668**
15.1	Zona de inundación praderas y matorrales	ha	600.000	428,8	348.313.257
15.2	Zona de inundación plantaciones	ha	2.000.000	65,2	136.369.411
16	**TOTALES NETO**				**$ 26.778.757.983**
17	Nota: Valores Netos no consideran IVA				**56,23 MM. US**

Fuente: Elaboración propia

10.2.3. Escenario 3

CUADRO 10.2.3-1
PRESUPUESTO DETALLADO ESCENARIO 3

ITEM	Descripción	Unidad	P. Unitario	Cantidad	P. Total
1	**Instalaciones Temporales**				**$ 484.000.000**
1.1	Instalación de Faenas	GL	484.000.000	1	484.000.000
2	**Preparación del terreno**				**$ 233.265.809**
2.1	Limpieza / Despeje (escarpe) 30 cm	m²	1.794	97.830	175.506.988
2.2	Excavaciones en material común	m³	2.952	19.566	57.758.821
3	**Volumen Presa Homogénea**				**$ 4.832.473.828**
3.1	Relleno presa	m³	5.692	848.994	4.832.473.828
4	**Enrocado de Protección muro aguas arriba**				**$ 520.205.175**
4.1	Enrocado de protección e=0,50 m	m²	25.004	20.805	520.205.175
5	**Vertedero y colchón**				**$ 4.475.553.862**
5.1	Excavaciones abiertas en roca	m³	9.807	266.751	2.616.027.057
5.2	Hormigón H-30	m³	142.918	8.798	1.257.332.481
5.3	Armadura Refuerzo	kg	1.369	439.879	602.194.324
6	**Túnel de Desvío**				**$ 3.048.066.997**

CUADRO 10.2.3-1
PRESUPUESTO DETALLADO ESCENARIO 3

ITEM	Descripción	Unidad	P. Unitario	Cantidad	P. Total
6.1	Excavaciones abiertas en roca	m³	9.807	1.285	12.603.956
6.2	Excavación Subterránea en Roca	m³	82.459	35.986	2.967.336.590
6.3	Metros Túnel con refuerzo	ml	511.637	10	5.116.370
6.4	Enrocado de protección e=0,50 m	m²	25.004	2.520	63.010.080
7	**Red de Canales**				**$ 950.108.641**
7.1	Excavación en zanja terreno tipo III Prof = 0 - 2,5 m	m^3	2.806	306.540	883.108.641
7.2	Sifón Matriz Izquierdo	Gl	6.000.000	1	6.000.000
7.3	Sifón Matriz Derecho	Gl	33.000.000	1	33.000.000
7.4	Túnel en Roca	Gl	28.000.000	1	28.000.000
8	**Construcción de caminos**				**$ 464.431.466**
8.1	Excavaciones abiertas en roca	m³	9.807	16.865	$ 165.390.152
8.2	Excavaciones en material común	m³	2.952	39.351	$ 116.162.676
8.3	Relleno Terraplén	m³	5.422	33.729	$ 182.878.638
9	**Obras de Cruce**				**$ 70.000.000**
9.1	Cruce de Quebradas Tipo para caminos	un	5.000.000	1	70.000.000
10	**Obras de Entrega**				**$ 438.931.474**
10.1	Tubería Acero d = 1,8 m	m	445.012	265	117.705.674
10.2	Tubería Acero d = 1,6 m	m	403.853	-	0
10.3	Tubería Acero d = 1,5 m	m	380.883	340	129.500.220
10.4	Tubería Acero d = 1,4 m	m	358.402	-	0
10.5	Tubería Acero d = 1,3 m	m	335.919	40	13.436.760
10.6	Tubería Acero d = 1,2 m	m	314.168	-	0
10.7	Tubería Acero d = 0,9 m	m	176.535	-	0
10.8	Suministro e Instalación de Válvulas	Gl	120.000.000	1	120.000.000
10.9	Hormigón H-30	m³	142.918	408	58.288.820
11	**Total Costo Directo**	$			**$ 15.517.037.251**
12	**Gastos Generales, Utilidades e Imprevistos (45%)**	**45%**			6.982.666.763
13	**Contingencia (15%)**	**15%**			2.327.555.588
14	**Sub-Total Neto**	$			**$ 24.827.259.602**
15	**Expropiaciones**				**$ 454.077.256**
15.1	Zona de inundación praderas y matorrales	ha	600.000	396,0	328.027.262
15.2	Zona de inundación plantaciones	ha	2.000.000	60,2	126.049.994
16	**TOTALES NETO**				**$ 25.281.336.858**
17	Nota: Valores Netos no consideran IVA				**53,08 MM. US**

Fuente: Elaboración propia.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

10.2.4. Escenario 4

CUADRO 10.2.4-1
PRESUPUESTO DETALLADO ESCENARIO 4

ITEM	Descripción	Unidad	P. Unitario	Cantidad	P. Total
1	**Instalaciones Temporales**				**$ 484.000.000**
1.1	Instalación de Faenas	GL	484.000.000	1	484.000.000
2	**Preparación del terreno**				**$ 221.682.437**
2.1	Limpieza / Despeje (escarpe) 30 cm	m²	1.794	92.972	166.791.768
2.2	Excavaciones en material común	m³	2.952	18.594	54.890.669
3	**Volumen Presa Homogénea**				**$ 4.463.640.217**
3.1	Relleno presa	m³	5.692	784.195	4.463.640.217
4	**Enrocado de Protección muro aguas arriba**				**$ 494.855.769**
4.1	Enrocado de protección e=0,50 m	m²	25.004	19.791	494.855.769
5	**Vertedero y colchón**				**$ 4.174.603.731**
5.1	Excavaciones abiertas en roca	m³	9.807	243.349	2.386.523.643
5.2	Hormigón H-30	m³	142.918	8.460	1.209.023.267
5.3	Armadura Refuerzo	kg	1.369	422.978	579.056.820
6	**Túnel de Desvío**				**$ 3.048.066.997**
6.1	Excavaciones abiertas en roca	m³	9.807	1.285	12.603.956
6.2	Excavación Subterránea en Roca	m³	82.459	35.986	2.967.336.590
6.3	Metros Túnel con refuerzo	ml	511.637	10	5.116.370
6.4	Enrocado de protección e=0,50 m	m²	25.004	2.520	63.010.080
7	**Red de Canales**				**$ 913.201.107**
7.1	Excavación en zanja terreno tipo III Prof = 0 - 2,5 m	m^3	2.806	286.636	846.201.107
7.2	Sifón Matriz Izquierdo	Gl	6.000.000	1	6.000.000
7.3	Sifón Matriz Derecho	Gl	33.000.000	1	33.000.000
7.4	Túnel en Roca	Gl	28.000.000	1	28.000.000
8	**Construcción de caminos**				**$ 464.431.466**
8.1	Excavaciones abiertas en roca	m³	9.807	16.865	$ 165.390.152
8.2	Excavaciones en material común	m³	2.952	39.351	$ 116.162.676
8.3	Relleno Terraplén	m³	5.422	33.729	$ 182.878.638
9	**Obras de Cruce**				**$ 70.000.000**
9.1	Cruce de Quebradas Tipo para caminos	un	5.000.000	1	70.000.000
10	**Obras de Entrega**				**$ 417.517.245**
10.1	Tubería Acero d = 1,8 m	m	445.012	-	0
10.2	Tubería Acero d = 1,6 m	m	403.853	263	106.213.339
10.3	Tubería Acero d = 1,5 m	m	380.883	340	129.500.220
10.4	Tubería Acero d = 1,4 m	m	358.402	-	0
10.5	Tubería Acero d = 1,3 m	m	335.919	-	0
10.6	Tubería Acero d = 1,2 m	m	314.168	40	12.566.720
10.7	Tubería Acero d = 0,9 m	m	176.535	-	0
10.8	Suministro e Instalación de Válvulas	Gl	120.000.000	1	120.000.000
10.9	Hormigón H-30	m³	142.918	345	49.236.966
11	**Total Costo Directo**	$			**$ 14.751.998.968**
12	**Gastos Generales, Utilidades e Imprevistos (45%)**	**45%**			6.638.399.536
13	**Contingencia (15%)**	**15%**			2.212.799.845

CUADRO 10.2.4-1
PRESUPUESTO DETALLADO ESCENARIO 4

ITEM	Descripción	Unidad	P. Unitario	Cantidad	P. Total
14	**Sub-Total Neto**	$			**$ 23.603.198.349**
15	**Expropiaciones**				**$ 438.514.128**
15.1	Zona de inundación praderas y matorrales	ha	600.000	380,5	317.296.574
15.2	Zona de inundación plantaciones	ha	2.000.000	57,9	121.217.554
16	**TOTALES NETO**				**$ 24.041.712.477**
17	Nota: Valores Netos no consideran IVA				**50,48 MM. US**

Fuente: Elaboración propia

10.2.5. Escenario 5

CUADRO 10.2.5-1
PRESUPUESTO DETALLADO ESCENARIO 5

ITEM	Descripción	Unidad	P. Unitario	Cantidad	P. Total
1	**Instalaciones Temporales**				**$ 484.000.000**
1.1	Instalación de Faenas	GL	484.000.000	1	484.000.000
2	**Preparación del terreno**				**$ 193.601.780**
2.1	Limpieza / Despeje (escarpe) 30 cm	m²	1.794	81.195	145.664.148
2.2	Excavaciones en material común	m³	2.952	16.239	47.937.633
3	**Volumen Presa Homogénea**				**$ 3.313.922.445**
3.1	Relleno presa	m³	5.692	582.207	3.313.922.445
4	**Enrocado de Protección muro aguas arriba**				**$ 404.497.889**
4.1	Enrocado de protección e=0,50 m	m²	25.004	16.177	404.497.889
5	**Vertedero y colchón**				**$ 4.286.204.100**
5.1	Excavaciones abiertas en roca	m³	9.807	255.072	2.501.491.104
5.2	Hormigón H-30	m³	142.918	8.444	1.206.746.584
5.3	Armadura Refuerzo	kg	1.369	422.181	577.966.412
6	**Túnel de Desvío**				**$ 3.048.066.997**
6.1	Excavaciones abiertas en roca	m³	9.807	1.285	12.603.956
6.2	Excavación Subterránea en Roca	m³	82.459	35.986	2.967.336.590
6.3	Metros Túnel con refuerzo	ml	511.637	10	5.116.370
6.4	Enrocado de protección e=0,50 m	m²	25.004	2.520	63.010.080
7	**Red de Canales**				**$ 534.081.171**
7.1	Excavación en zanja terreno tipo III Prof = 0 - 2,5 m	m^3	2.806	173.940	528.081.171
7.2	Sifón Matriz Izquierdo	Gl	6.000.000	1	6.000.000
7.3	Sifón Matriz Derecho	Gl	33.000.000	-	0
7.4	Túnel en Roca	Gl	28.000.000	-	0
8	**Construcción de caminos**				**$ 464.431.466**
8.1	Excavaciones abiertas en roca	m³	9.807	16.865	$ 165.390.152
8.2	Excavaciones en material común	m³	2.952	39.351	$ 116.162.676
8.3	Relleno Terraplén	m³	5.422	33.729	$ 182.878.638
9	**Obras de Cruce**				**$ 70.000.000**
9.1	Cruce de Quebradas Tipo para	un	5.000.000	1	70.000.000

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 10.2.5-1
PRESUPUESTO DETALLADO ESCENARIO 5

ITEM	Descripción	Unidad	P. Unitario	Cantidad	P. Total
	caminos				
10	**Obras de Entrega**				**$ 381.858.051**
10.1	Tubería Acero d = 1,8 m	m	445.012	-	0
10.2	Tubería Acero d = 1,6 m	m	403.853	-	0
10.3	Tubería Acero d = 1,5 m	m	380.883	340	129.500.220
10.4	Tubería Acero d = 1,4 m	m	358.402	-	0
10.5	Tubería Acero d = 1,3 m	m	335.919	263	88.346.697
10.6	Tubería Acero d = 1,2 m	m	314.168	-	0
10.7	Tubería Acero d = 0,9 m	m	176.535	40	7.061.400
10.8	Suministro e Instalación de Válvulas	Gl	120.000.000	1	120.000.000
10.9	Hormigón H-30	m^3	142.918	259	36.949.734
11	**Total Costo Directo**	$			**$ 13.180.663.898**
12	**Gastos Generales, Utilidades e Imprevistos (45%)**	**45%**			5.931.298.754
13	**Contingencia (15%)**	**15%**			1.977.099.585
14	**Sub-Total Neto**	$			**$ 21.089.062.237**
15	**Expropiaciones**				**$ 349.816.720**
15.1	Zona de inundación praderas y matorrales	ha	600.000	317,1	248.233.664
15.2	Zona de inundación plantaciones	ha	2.000.000	48,2	101.583.056
16	**TOTALES NETO**				**$ 21.438.878.957**
17	Nota: Valores Netos no consideran IVA				**45,01 MM. US**

Fuente: Elaboración propia

10.2.6. Resumen de los Presupuestos.

El resumen de los presupuestos de cada escenario se presenta en el Cuadro 10.2-6 y Figura 10.2.6-1. Los resultados obtenidos están acorde a las dimensiones de cada escenario, mientras menor el tamaño del muro y la red de canales menor es el costo de su construcción.

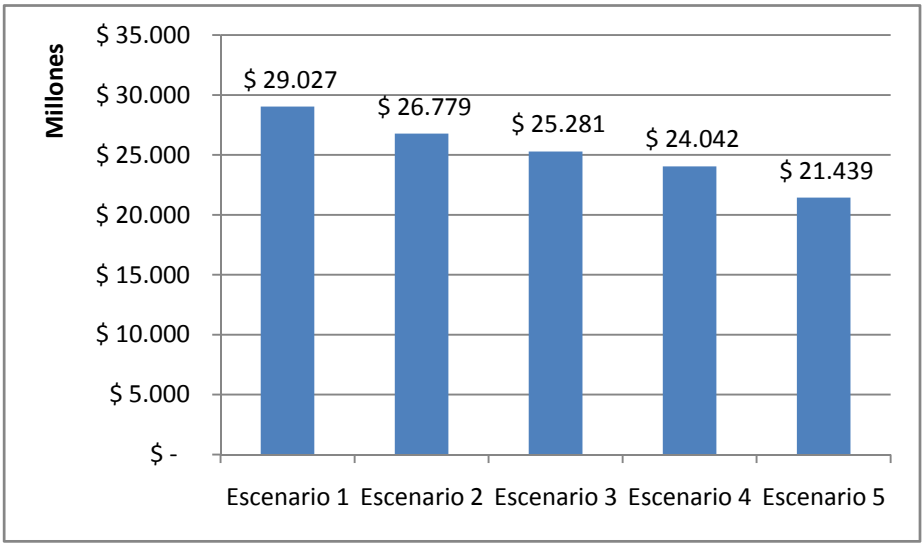
CUADRO 10.2.6-1
RESUMEN DE LOS PRESUPUESTOS

Escenario	Costo Total Neto ($CLP)	Costo Total Neto Millones $US
1	$ 29.027.331.383	60,38
2	$ 26.778.757.983	54,95
3	$ 25.281.336.858	51,61
4	$ 24.041.712.477	48,64
5	$ 21.438.878.957	43,44

Fuente: Elaboración propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 10.2.6-1
RESUMEN DE LOS PRESUPUESTOS POR ESCENARIO



Fuente: Elaboración propia.

10.2.7. Gráficos de Interés

Se obtuvieron resultados interesantes a partir de los gráficos de las Figura 10.2.7-1 a 10.2.7-4, los cuales se indican a continuación:

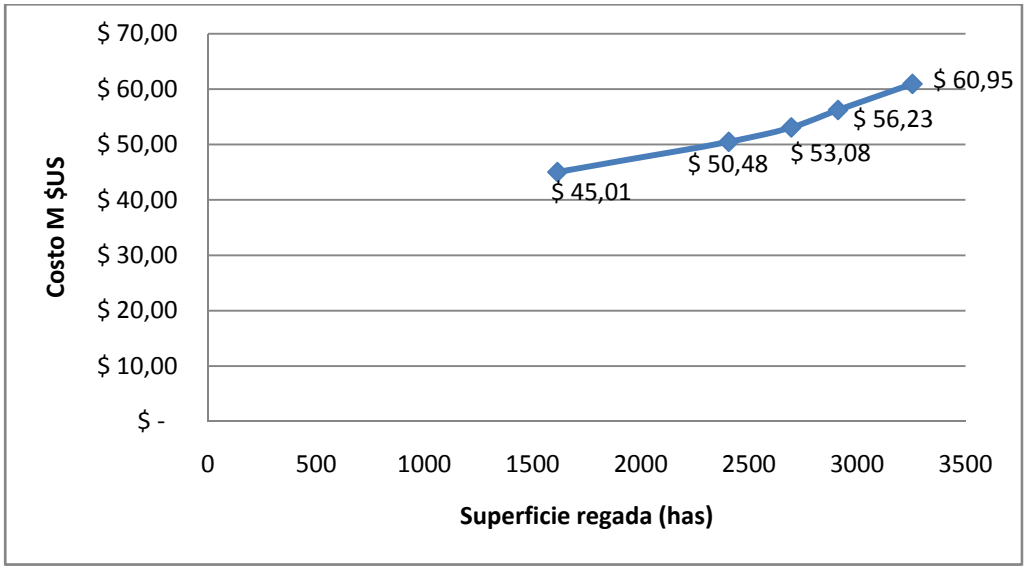
- Mientras mayor el área regada mayor es el costo de las obras proyectadas (Figura 10.2.7-1), sin embargo, el costo por área regada disminuye (Figura 10.2.7-4). La tasa de disminución es alta hasta las 2.500 ha, luego la tasa baja.

- El costo de la obra aumenta a medida que el volumen útil se incrementa (Figura 10.2.7-2), de manera contraría lo hace el costo por metro cúbico (Figura 10.2.7-3).

- Respecto al costo por el metro cúbico se puede indicar que la variación entre el escenario 1, 2, 3 y 4 es casi nula (de 1,6 a 1,78 US$/m$^{3)}$, sin embargo, al disminuir la altura del muro de el escenario 4 al 5 la variación es de los 1,78 US$/m^3 a los 2,38 US$/m^3.

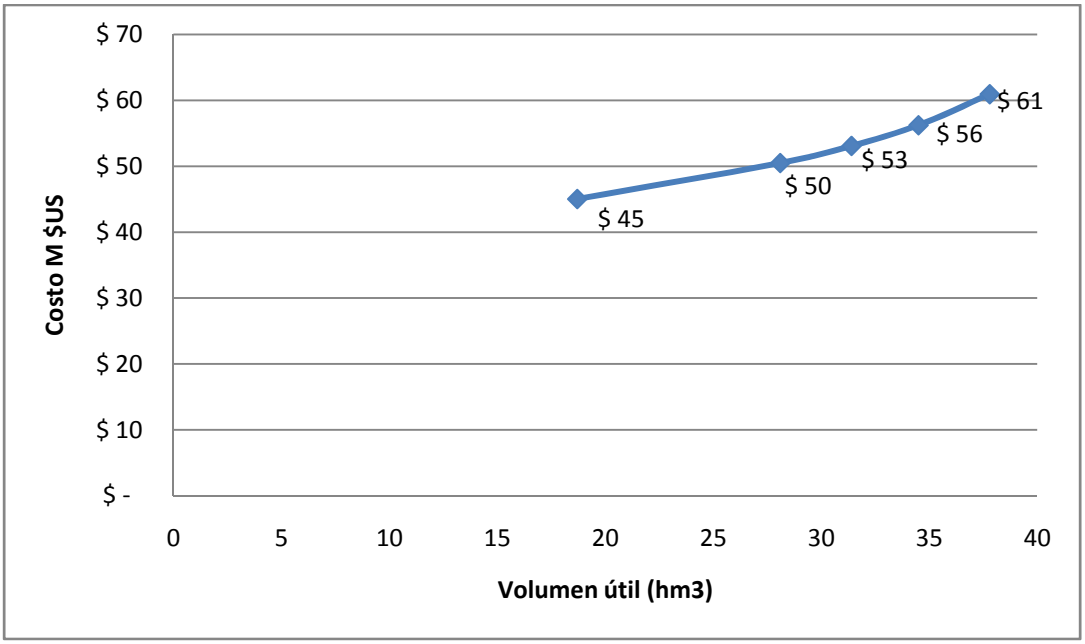
ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 10.2.7-1
SUPERFICIE DE RIEGO VS COSTO (MILLONES DE DOLARES)



Fuente: Elaboración propia.

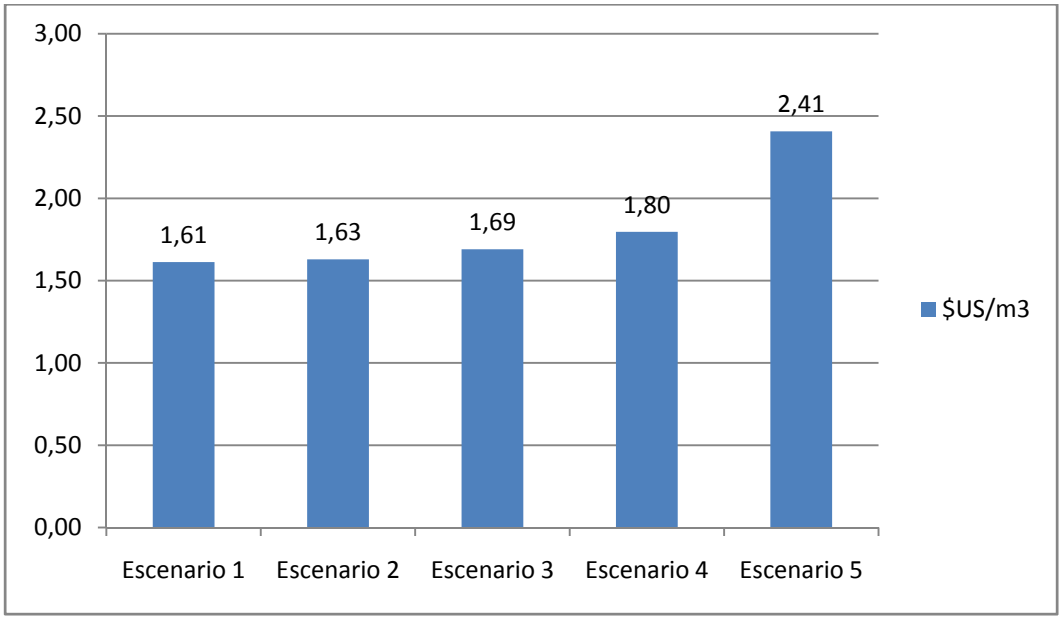
FIGURA 10.2.7-2
VOLUMEN UTIL VS COSTO (MILLONES DE DOLARES)



Fuente: Elaboración propia.

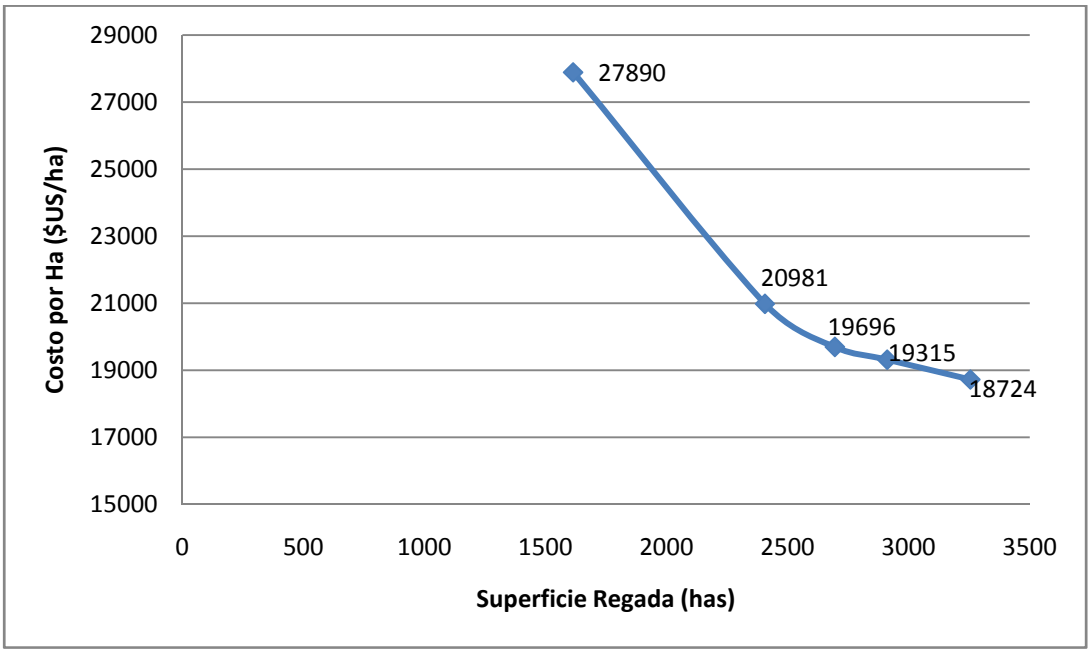
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 10.2.7-3
VALOR POR METRO CÚBICO DE AGUA (DOLARES)



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 10.2.7-4
COSTO POR HECTAREA REGADA (DOLARES/HA)



Fuente: Elaboración propia.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

10.3. COSTOS DE OPERACIÓN

El costo de operación del embalse se ha estimado como el 1% de los costos directos del embalse. El costo de operación se resume en el Cuadro 10.3-1.

CUADRO 10.3-1
RESUMEN DE LOS PRESUPUESTOS

Costo	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5
Costos Directo	$17.806.480.360	$16.433.797.072	$15.517.037.251	$14.751.998.968	$ 13.180.663.898
Costo de Operación	$ 178.064.804	$ 164.337.971	$ 155.170.373	$ 147.519.990	$ 131.806.639

Fuente: Elaboración propia.

10.4. PROGRAMA DE CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS

Se propone un Programa de Construcción, que se indica en el Cuadro 10.4-1. En el Anexo F.12-1 se presentan el programa completo realizado.

CUADRO 10.4-1
PROGRAMA DE CONSTRUCCIÓN (MES)

ACTIVIDAD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Instalación de faenas	X	X	X																					
Preparación del terreno		X	X	X																				
Construcción Presa Homogénea						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Enrocado de Protección muro aguas arriba																				X	X	X		
Vertedero y colchón															X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Túnel de Desvío		X	X	X	X																			
Red de Canales					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Construcción de caminos		X	X	X																				
Obras de Cruce																							X	X
Obras de Entrega																							X	X
Expropiaciones	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Fuente: Elaboración propia.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

11. ANÁLISIS DE EFECTO REGULADOR DE CRECIDAS DEL EMBALSE

11.1. METODOLOGÍA

11.1.1. Objetivo

El objetivo de este acápite 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.

11.1.2. Consideraciones Generales

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.

11.1.3. Procedimiento de Cálculo

Las ecuaciones para simular el paso de una crecida por un embalse con vertedero libre o sin control son las siguientes:

(1) $$Q_{EF} = m \cdot L \cdot h\sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad ; \quad g, m, l \; son \; constantes$$

(2) $$Vol_{final}(t) = Vol_{inicial}(t) + Q_{AF}(t) \cdot \Delta t - Q_{EF}(t) \cdot \Delta t$$

(3) $$h = f(Vol) \quad ; \quad curva \; de \; embalse$$

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

La ecuación (1) representa el caudal de salida del vertedero, en donde:

Donde:

Q_{EF}: $caudal\ de\ salida\ [m^3/s]$

L: $ancho\ del\ vertedero\ [m]$

h: $altura\ de\ agua\ del\ embalse\ sobre\ la\ cota\ del\ vertderero\ [m]$

m: $coeficiente\ de\ gasto$

El coeficiente de gasto “m” para los vertederos tipo Ogee varia con la carga relativa $h/Hd = \lambda$, donde H_d corresponde a la altura de escurrimiento de diseño. Según capitulo de Diseño de Obras (Mery, 2007), los antecedentes experimentales permiten establecer la siguiente ecuación para el coeficiente de gasto:

$$\boldsymbol{m = \frac{2}{3 * \sqrt{3}} * (1 + \frac{4\lambda}{9 + 5\lambda})}$$

La ecuación (2) representa el volumen del embalse en el tiempo “t” en donde:

$Q_{AF}(t)$: $hidrograma\ de\ crecidas$

$\Delta t = 1 \cdot hora = 3.600 \cdot s$

La ecuación (3) representa la altura del embalse en relación con el volumen almacenado determinada más adelante.

Como estas ecuaciones no son lineales, se debe usar un método iterativo para poder resolverlos. El procedimiento es el explicado a continuación.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

11.1.4. Método de Balance

Se realizó un balance según la expresión de Goodrich para rastreo de crecida en embalses sin compuertas, que se define a continuación:

$$\frac{2 \cdot S_{i+1}}{\Delta t} + Q_{i+1} = I_i + I_{i+1} + \left(\frac{2 \cdot S_i}{\Delta t} - Q_i\right)$$

Donde:

I_i = Caudal de Ingreso en el tiempo i $[m^3/s]$

I_{i+1} = Caudal de Ingreso en el tiempo $i + 1$ $[m^3/s]$

S_i = Volumen de almacenamiento en el tiempo i $[m^3]$

S_{i+1} = Volumen de almacenamiento en el tiempo $i + 1$ $[m^3]$

Q_i = Ingreso Entrada en el tiempo i $[m^3/s]$

Q_{i+1} = Ingreso Entrada en el tiempo $i + 1$ $[m^3/s]$

11.1.4.1. Cálculo de Función Almacenamiento-Caudal de Salida

Para generar la función almacenamiento-caudal lo primero que se debe hacer es calcular la diferencia entre la cota del embalse y la cota del vertedero hasta el valor máximo, es decir el coronamiento.

Con esa diferencia de cotas, que representa la altura de agua del embalse por sobre el nivel del vertedero se calcula el caudal de salida usando la ecuación (1), para cada una de ellas.

Luego se procede a calcular el valor de:

$$\frac{2 \cdot S}{\Delta t} + Q$$

en donde “S” es el almacenamiento del embalse, obtenido de las curvas de embalse, "Δt" el intervalo de tiempo considerado y “Q” el caudal de salida del vertedero.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

11.1.4.2. Cálculo del Caudal de Salida del Embalse

El volumen en el tiempo "$i = 1$" corresponde a la diferencia entre el volumen máximo a nivel del vertedero y el volumen de regulación disponible. Para este análisis se ha considerado el caso más desfavorable que es cuando el volumen de regulación es cero, es decir, el embalse está completamente lleno.

Para calcular el caudal evacuado "$\boldsymbol{Q_{i+1}}$" por el vertedero se necesita la altura de agua en el tiempo "i", la cual se calcula como sigue a continuación.

La altura de agua sobre el vertedero se calcula interpolando, dando como conocido "x" el valor del resultado de "$\boldsymbol{I_i + I_{i+1} + \left(\frac{2 \cdot S_i}{\Delta t} - Q_i\right)}$" en la función almacenamiento-caudal obtenida anteriormente.

Con el valor de la altura se calcula el caudal de salida con la ecuación (1)

El volumen en el tiempo "$i = i + 1$" se determina usando la expresión:

$$\boldsymbol{S_{i+1} = \left(I_i + I_{i+1} + \left(\frac{2 \cdot S_i}{\Delta t} - Q_i\right) - Q_{i+1}\right) * \frac{\Delta t}{2}}$$

11.2. CARACTERÍSTICAS PRELIMINARES DEL EMBALSE Y VERTEDERO

En caso de una altura pequeña de caudal vertido el coeficiente de gasto toma su valor mínimo, m = 0,385. En caso que la altura del caudal vertido sea igual a la altura de diseño el coeficiente de gasto toma el máximo valor, m = 0,495. Para efectos de esta evaluación se considera que no se encuentra en óptimas condiciones y que no permite alcanzar la altura máxima de diseño, por lo que se considera apropiado un coeficiente de descarga de 0,450. En el Cuadro 11.2-1 se resume el efecto regulador del embalse.

CUADRO 11.2-1
CARACTERÍSTICAS PRELIMINARES DEL VERTEDERO

Parámetro	Unidad	Valor
m	-	0,45
L	m	80
Cota Vertedero	m	184,38
Cota Coronamiento	m	191
Cota Fondo	m	156
H Vertedero	m	28,38
H Coronamiento	m	35
Vol. Vertedero	hm^3	49,1
Vol. Max	hm^3	80,4

Fuente: Elaboración propia

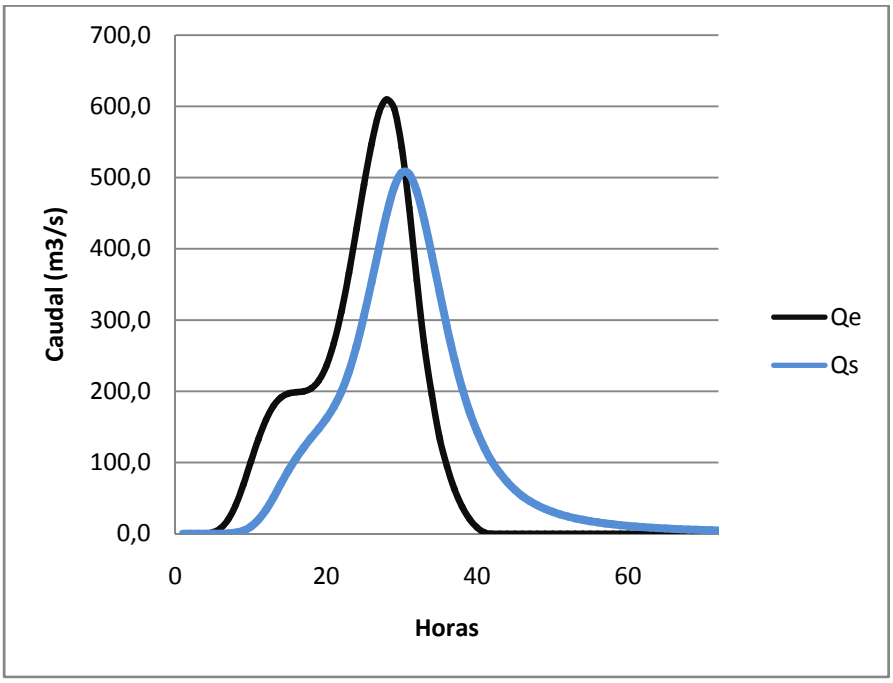
ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Dado que de acuerdo a la simulación realizada, prácticamente todos los años el embalse estará a plena capacidad durante el invierno, de modo que se considerará un volumen de regulación de 0 hm3, el caso más desfavorable, es decir, cuando el embalse está completamente lleno.

11.3. CÁLCULOS Y RESULTADOS

El efecto regulador del embalse se calculó para distintos periodos de retorno de la crecida desde 20 años, hasta 10.000 años. En las Figuras 11.3-1 a 11.3-4 se presentan los hidrogramas de entrada y de salida para las crecidas más relevantes.

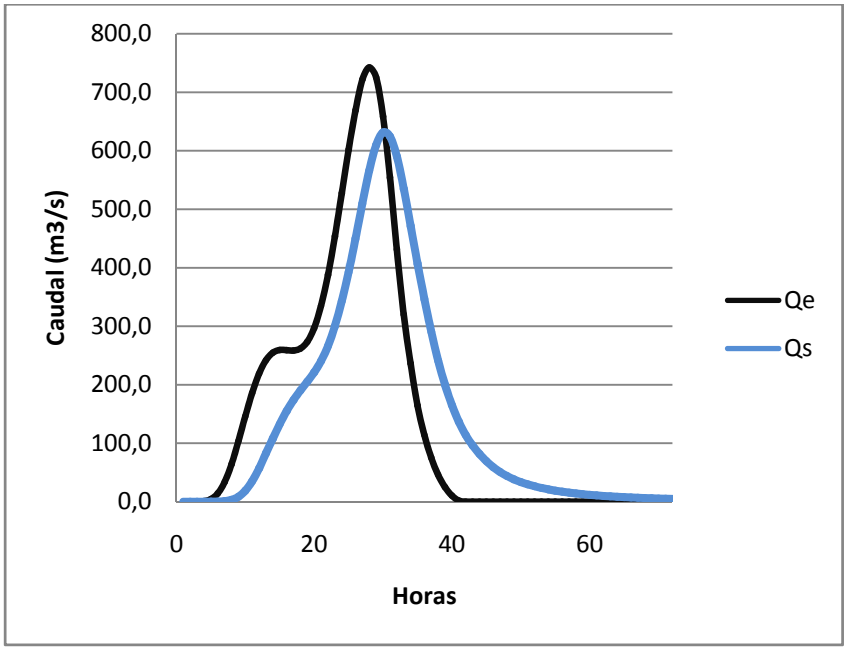
FIGURA 11.3-1
HIDROGRAMA DE ENTRADA/SALIDA T=20



Fuente: Elaboración Propia

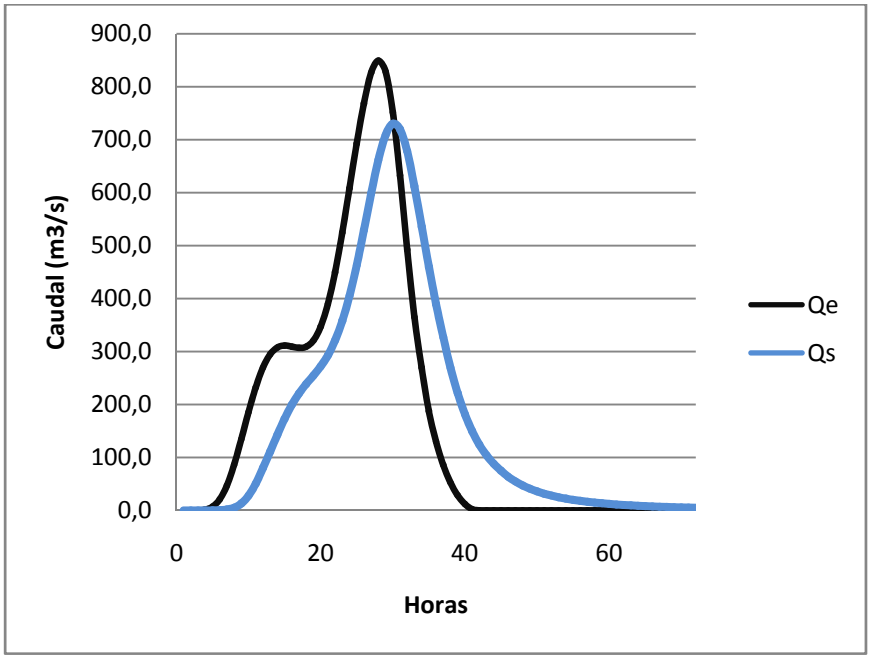
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 11.3-2
HIDROGRAMA DE ENTRADA/SALIDA T=50



Fuente: Elaboración Propia

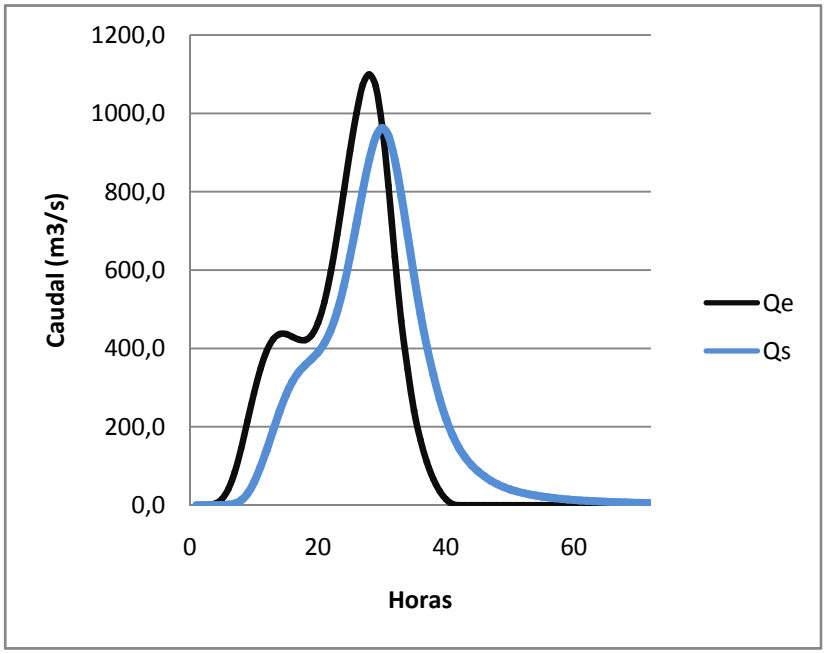
FIGURA 11.3-3
HIDROGRAMA DE ENTRADA/SALIDA T=100



Fuente: Elaboración Propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 11.3-4
HIDROGRAMA DE ENTRADA/SALIDA T=500



Fuente: Elaboración Propia

En el Cuadro 11.3-1 se muestran los resultados obtenidos al realizar la estimación del efecto regulador del embalse para las distintas crecidas pluviales. En la Figura 11.3-5 se muestra la variación de los caudales máximos de entrada y salida para las distintas crecidas afluentes al embalse.

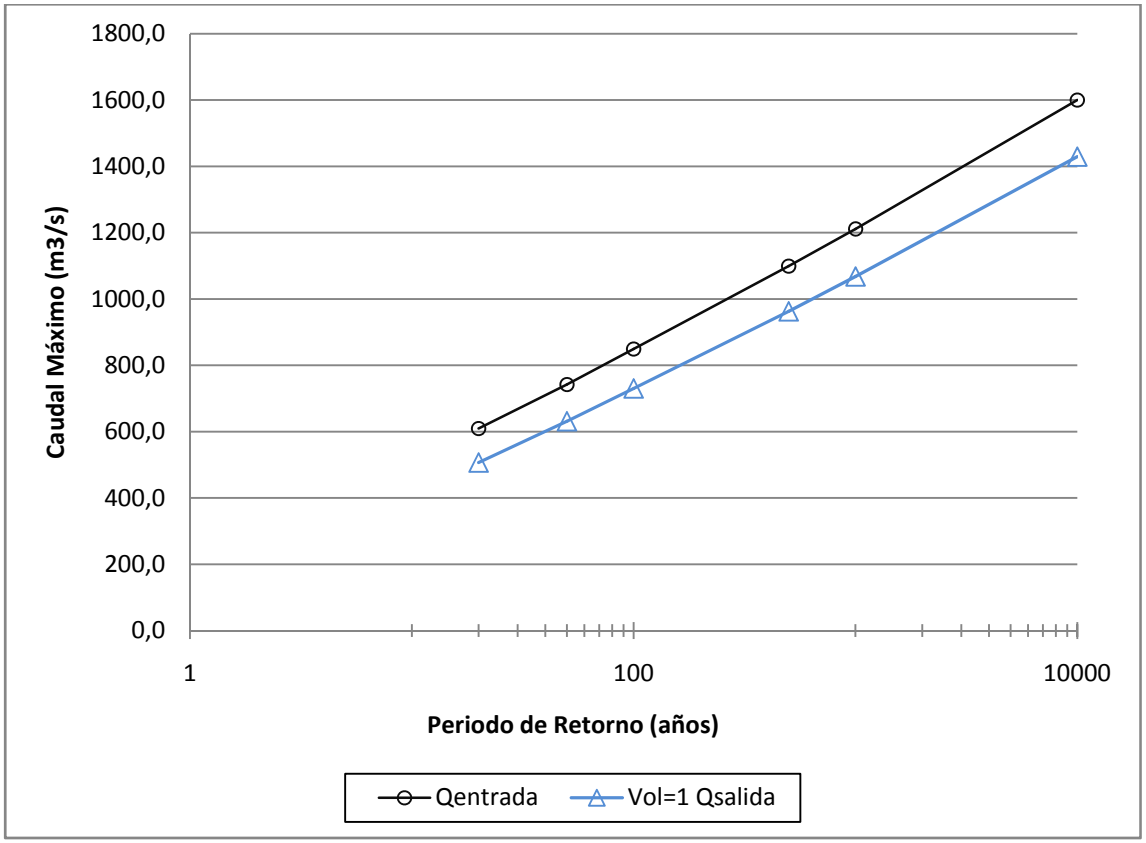
CUADRO 11.3-1
CAUDALES MÁXIMOS DE ENTRADA/SALIDA

T	Qentrada	Vol=1 Qsalida	Vol=1 % de regulación
años	m^3/s	m^3/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%
1.000	1211,1	1068,1	12%
10.000	1600,3	1429,50	11%

Fuente: Elaboración Propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 11.3-5
CAUDALES MÁXIMOS ENTRADA Y SALIDA



Fuente: Elaboración Propia

11.4. CONCLUSIONES

Dado los resultados, se aprecia que el efecto regulador del embalse, independientemente del tamaño de la crecida, tendría un valor de amortiguamiento 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 m³/s peak, el amortiguamiento de la crecida sería de unos 1000 m³/s, que tendría prácticamente el mismo efecto destructor que la crecida sin control.

El desarrollo y cálculos de este capítulo se pueden encontrar en el Anexo F.11-1.

11.5. BIBLIOGRAFÍA

Hidrología Aplicada (Ven Te Chow, David R. Maidment, Larry W. Mays)

1. EVALUACIÓN ECONÓMICA

1.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta la evaluación económica del proyecto, considerándose los costos y beneficios presentados en el presente estudio. El análisis incluye el cálculo de los indicadores para diferentes alternativas de embalse, para luego desarrollar un análisis de sensibilidad a la mejor alternativa. Se considera no sólo la evaluación mediante el método del presupuesto, sino que también mediante el método del valor incremental de la tierra y de las transacciones. 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).

1.2. INDICADORES DE RENTABILIDAD

Los indicadores de rentabilidad determinados corresponden al Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR), VAN/Inversión (VAN/I) y razón n/k que es la razón entre los flujos positivos y los flujos negativos. Estos indicadores son comúnmente utilizados en este tipo de evaluación. Los parámetros básicos de ingreso para el cálculo de estos indicadores son los costos de inversión y mantenimiento, el beneficio anual esperado y las tasas de descuento, la que según MIDEPLAN es de 6% a precios sociales para el proceso presupuestario 2012. A precios privados se considera una tasa de descuento del 12%, basándose en los requerimientos de la CNR. Se consideró como horizonte de evaluación un período de 30 años. Debe hacerse notar que no se incluyen impuestos de ningún tipo.

En general, el VAN se calcula con la siguiente ecuación:

$$VAN = \sum_{i=1}^{30} \left(\frac{B_i - O_i - I_i}{(1+r)^i} \right) - I$$

donde:

VAN : Valor actual neto

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

B : Beneficios del proyecto

I : Inversión inicial

O_i : Operación y mantención anual al año i

I_i : Inversión anual (durante el período de construcción)

r : Tasa de descuento

Por otra parte, la TIR se calcula como la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero:

$$\sum_{i=1}^{30}\left(\frac{B_i - O_i - I_i}{(1+TIR)^i}\right) - I = 0$$

Adicionalmente el IVAN se calcula como la razón entre el VAN calculado anteriormente y la inversión actualizada (I_{act}) dada por:

$$I_{act} = \sum_{i=1}^{30}\frac{I_i}{(1+r)^i} + I$$

1.3. MÉTODOS DE EVALUACIÓN

La evaluación económica se realiza con tres métodos:

A. **Método del Presupuesto:** Es el método más tradicional utilizado, en el cual el agua es considerada un insumo de la producción de otro bien, en este caso los cultivos regados. De esta forma, el beneficio del proyecto se traduce en las diferencias de la producción agrícola, en términos de los márgenes netos económicos, que se estiman a raíz de la utilización del agua en situaciones Con y Sin Proyecto.

B. **Método del Valor Incremental de la Tierra:** Este método se basa en el enfoque de los Precios Hedónicos, en el cual el precio de un bien se debe a una serie de tributos de dicho bien, entre los que se encuentran la disponibilidad de agua, el tipo de suelo, la aptitud de uso y los cultivos que en la práctica se desarrollan. En un escenario con proyecto cada una de las características mencionadas deberían incrementar el valor de la tierra, por lo que se asume que este correspondería a su beneficio.

C. **Método de las Transacciones de los Derechos de Aprovechamiento de Aguas:** En este caso se considera el mercado del agua para determinar el valor económico del agua asociada al proyecto, en cuanto a un mayor

volumen disponible o el costo evitado para la compra de nuevos derechos de aprovechamiento de aguas.

Cabe destacar que los métodos del valor incremental de la tierra y las transacciones de los derechos de aprovechamiento de aguas son utilizados como chequeo al método del presupuesto, el cual determina la rentabilidad directa del proyecto.

1.4. ESCENARIOS DE EVALUACIÓN

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

1. **Evaluación para Uso en Riego:** Corresponde a evaluar los beneficios de evaluar el proyecto en su totalidad

2. **Evaluación para Uso en Riego y Agua Potable:** Este escenario considera la inclusión de los beneficios de entregar un caudal firme a sistemas de APR locales, ya sea existentes o por construir. Este escenario se construirá a partir de la determinación del volumen óptimo del embalse.

1.5. COSTOS

1.5.1. Introducción

Los costos considerados en el análisis económico son los siguientes:

- Obras de riego, en este caso el muro de embalse y los canales
- Estudio y mitigación de impacto ambiental
- Expropiaciones y servidumbres.
- Costos de operación y mantenimiento de las obras de riego.

1.5.2. Costo de las Obras de Riego

En el Cuadro 1.5.2-1 se presentan en forma resumida los costos de las obras civiles, tanto a precios de mercado como sociales.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 1.5.2-1
COSTO OBRAS CIVILES ($)

Volumen (hm^3)	Mercado	Social
37,8	28.490.368.576	27.220.775.614
34,5	26.294.075.315	25.121.919.304
31,4	24.827.259.602	23.730.882.327
28,1	23.603.198.349	22.554.694.968
18,7	21.089.062.237	20.193.760.109

Fuente: Elaboración propia

1.5.3. Costos Ambientales

En el Cuadro 1.5.3-1 se presentan en forma resumida los costos ambientales determinados en el EAA, asociados a los diferentes volúmenes de embalse.

CUADRO 1.5.3-1
RESUMEN COSTOS AMBIENTALES ($)

Escenario de proyecto	Año 0 (construcción)	Año 1 (operación)	Total
1	1.288.740.603	729.120.405	2.017.861.008
2	998.172.145	564.727.826	1.562.899.971
3	791.668.304	447.895.809	1.239.564.113
4	702.629.188	397.520.864	1.100.150.051
5	434.642.981	245.904.463	680.547.445

Fuente: Elaboración propia

1.5.4. Expropiaciones

En el Cuadro 1.5.4-1 se presentan en forma resumida los costos de las expropiaciones. Estos costos fueron calculados considerando que el valor de la tierra es en promedio igual a $ 600.000 por hectárea de praderas y matorrales, y que en promedio la tierra cultivada (de secano) se vende por $ 2.000.000 por hectárea, al igual que en el estudio de expropiaciones presentado anteriormente.

CUADRO 1.5.4-1
COSTO EXPROPIACIONES ($)

Volumen (hm^3)	Expropiaciones
37,8	536.962.807
34,5	484.682.668
31,4	454.077.256
28,1	438.514.128
18,7	349.816.720

Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

1.5.5. Costos de Operación

En el Cuadro 1.5.5-1 se presentan en forma resumida los costos de operación de las obras, definido como un 1% del costo directo de las obras.

CUADRO 1.5.5-1
COSTO OPERACIÓN Y MANTENCIÓN OBRAS CIVILES

Volumen (hm^3)	Mercado	Social
37,8	178.064.804	170.129.848
34,5	157.011.996	157.011.996
31,4	148.318.015	148.318.015
28,1	140.966.844	140.966.844
18,7	126.211.001	126.211.001

Fuente: Elaboración propia

1.6. BENEFICIOS

1.6.1. Generalidades

En esta sección se presentan y describen brevemente los beneficios considerados para la evaluación, los cuales pueden resumir en los siguientes ámbitos:

- Riego.
- 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.
- Generación Hidroeléctrica

1.6.2. Beneficios Derivados del Riego

En forma resumida se presentan en el Cuadro 1.6.2-1 los beneficios asociados al riego para los diferentes tamaños de embalse, tanto a precios de mercado como sociales. El cálculo de los beneficios agroeconómicos se presentó en extenso en el volumen Estudio Agroeconómico, por lo que su cálculo no se presenta en este capítulo de evaluación económica.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 1.6.2-1
BENEFICIOS ASOCIADOS AL RIEGO ($)

Año	Precios de Mercado					Precios Sociales				
	A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	-9,218,594,315	-8,354,987,700	-7,552,381,068	-6,693,511,834	-4,343,594,473	-8,279,741,913	-7,512,170,409	-6,798,924,091	-6,035,811,034	-3,947,957,811
2	-978,426,164	-870,408,932	-770,111,143	-662,864,217	-368,743,289	-917,291,815	-823,621,369	-736,790,368	-644,112,272	-389,824,311
3	-2,062,833,489	-1,856,433,990	-1,664,686,713	-1,459,540,338	-896,734,532	-1,717,247,164	-1,550,985,918	-1,396,680,120	-1,231,760,437	-778,858,551
4	-1,484,224,575	-1,333,749,238	-1,193,911,554	-1,044,215,073	-632,708,191	-833,005,887	-750,519,109	-674,017,882	-592,269,223	-366,445,507
5	1,976,915,056	1,797,528,203	1,631,045,431	1,453,254,899	969,118,834	2,935,054,580	2,659,982,174	2,404,395,911	2,131,053,909	1,385,767,594
6	4,789,358,079	4,346,993,779	3,936,216,396	3,497,148,420	2,298,204,791	6,110,156,490	5,538,982,943	5,008,290,667	4,440,668,426	2,890,287,988
7	5,295,071,983	4,802,905,351	4,345,761,463	3,856,977,051	2,522,008,975	6,783,198,350	6,147,005,638	5,555,779,825	4,923,250,561	3,195,284,149
8	5,988,724,434	5,438,050,792	4,926,436,251	4,379,245,738	2,884,478,246	7,702,304,368	6,987,109,587	6,322,332,002	5,610,936,926	3,667,193,215
9	6,418,717,189	5,828,380,480	5,279,839,200	4,693,054,027	3,089,955,329	8,609,081,726	7,810,889,118	7,068,839,669	6,274,589,915	4,104,155,349
10	6,515,620,739	5,920,278,825	5,367,077,647	4,775,295,902	3,158,526,558	8,712,006,755	7,908,080,112	7,160,692,215	6,360,718,315	4,174,622,455
11	6,301,067,889	5,725,713,907	5,191,121,708	4,619,293,423	3,057,116,851	8,493,848,025	7,710,225,226	6,981,740,425	6,202,035,351	4,071,395,109
12	6,493,093,483	5,897,758,352	5,344,563,489	4,752,788,516	3,136,037,698	8,689,126,881	7,885,212,501	7,137,836,021	6,337,874,363	4,151,811,995
13	6,485,488,452	5,893,788,416	5,343,977,866	4,755,831,718	3,149,009,387	8,681,182,967	7,880,910,453	7,136,924,588	6,340,598,515	4,164,483,127
14	126,952,218	113,984,873	102,980,645	92,569,029	66,431,570	854,176,115	766,035,722	685,052,479	599,630,290	368,551,862
15	3,777,269,016	3,432,959,977	3,113,473,089	2,772,291,255	1,841,164,650	4,273,063,112	3,874,623,886	3,504,749,112	3,109,563,273	2,030,969,785
16	3,167,072,261	2,877,469,091	2,608,913,953	2,322,343,635	1,540,634,439	3,809,701,695	3,452,638,412	3,121,285,081	2,767,403,822	1,801,819,892
17	4,111,375,912	3,736,915,275	3,389,356,928	3,018,075,500	2,004,596,239	4,952,091,046	4,492,198,966	4,065,110,927	3,608,578,223	2,362,139,374
18	4,794,714,193	4,353,378,704	3,943,559,155	3,505,518,217	2,309,384,566	5,872,856,569	5,324,705,521	4,815,447,439	4,270,807,990	2,783,308,599
19	5,649,846,770	5,138,940,014	4,664,348,871	4,156,856,657	2,770,703,932	7,001,065,626	6,358,893,218	5,762,100,245	5,123,601,598	3,379,302,922
20	5,839,357,458	5,307,791,593	4,813,966,598	4,285,850,906	2,843,272,232	7,342,097,189	6,665,174,723	6,036,029,073	5,362,840,303	3,523,629,257
21	5,854,428,195	5,321,115,662	4,825,664,500	4,295,805,152	2,848,455,826	7,579,124,587	6,880,274,073	6,230,713,175	5,535,634,176	3,636,531,344
22	-2,671,349,530	-2,408,215,650	-2,164,494,863	-1,904,610,685	-1,191,217,357	-204,588,909	-175,117,869	-148,862,551	-122,046,897	-46,041,966
23	1,559,519,787	1,422,250,609	1,294,297,557	1,157,000,204	783,702,666	3,375,714,497	3,065,385,296	2,776,221,310	2,465,970,693	1,619,760,440
24	599,418,843	551,562,004	506,669,532	458,210,812	327,976,263	2,535,328,258	2,303,217,420	2,086,723,220	1,854,207,334	1,220,679,739
25	1,028,377,596	941,209,027	859,835,504	772,404,310	535,540,858	3,070,348,934	2,788,996,525	2,526,803,914	2,245,465,625	1,478,359,662
26	3,926,445,161	3,570,387,041	3,239,440,335	2,885,336,426	1,918,854,952	6,026,207,563	5,470,527,699	4,953,715,060	4,400,311,928	2,888,835,053
27	-591,532,729	-541,286,127	-493,437,493	-440,744,188	-294,226,237	105,355,629	83,191,182	63,632,249	44,072,215	-6,806,994
28	3,395,831,758	3,086,927,042	2,800,401,959	2,494,563,385	1,660,136,137	3,853,805,380	3,494,213,967	3,160,506,921	2,804,101,892	1,831,612,914
29	3,085,436,489	2,804,552,984	2,544,115,946	2,266,250,253	1,508,356,960	3,699,918,136	3,354,142,032	3,033,297,186	2,690,683,639	1,755,928,231
30	3,881,222,415	3,524,348,269	3,193,163,134	2,839,437,865	1,873,992,352	4,690,805,142	4,251,334,105	3,843,258,275	3,407,111,393	2,216,448,265

Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

1.6.3. Beneficio Asociado el Valor Incremental de la Tierra

El paso desde una situación Sin Proyecto a una Con Proyecto implica un cambio en el uso del suelo, incrementando su valor productivo y por ende comercial. Es así como la incorporación de nuevas zonas a partir de la habilitación de terrenos sin uso y la implementación de cultivos intensivos justifica esta variación.

El Cuadro 1.6.3-1 resume la variación del uso del suelo según el tamaño de embalse y escenario, cuyo cambio desde la Situación Actual se estabiliza el año 7, según la gradualidad de incorporación prevista en el estudio agroeconómico.

CUADRO 1.6.3-1
CAMBIO DEL USO DEL SUELO EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Alternativa	Superficies (ha)		
	Riego	Secano y Sin Uso	Total
SA-SCP	133,4	5.037,6	5.171,0
A-1	3.254,6	1.916,4	5.171,0
A-2	2.964,7	2.206,3	5.171,0
A-3	2.694,8	2.476,2	5.171,0
A-4	2.405,4	2.765,6	5.171,0
A-5	1.613,6	3.557,4	5.171,0

Fuente: Elaboración propia a partir de Estudio Agroeconómico

Posteriormente se calcula el beneficio asociado al incremento de superficie multiplicando por el valor esperado de venta. Al igual que en la evaluación de las expropiaciones, se consideró que el valor de la tierra de secano es en promedio igual a $ $ 2.000.000 por hectárea. Por otra parte, para la superficie bajo riego, se tienen los valores de transacciones obtenidos de la base de datos de ODEPA con un valor igual a 117,5 UF/ha, que en términos de la UF se adoptó igual a $ 2.600.000/ha.

1.6.4. Beneficio Asociado a las Transacciones de los Derechos de Aguas

Para evaluar los beneficios asociados a la disponibilidad de recursos hídricos, se determina el valor del caudal equivalente medio asociado al proyecto, el que se muestra en el Cuadro 1.6.4-1. Estos valores se determinaron como el promedio del caudal efluente desde cada uno de los embalses considerados.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 1.6.4-1
CAUDAL MEDIO ASOCIADO A CADA ALTERNATIVA

Alternativas	Volumen (hm^3)	Caudal Asociado (L/s)
SA-SCP	-	207,40
A-1	37,8	1.175,0
A-2	34,5	1.072,0
A-3	31,4	975,0
A-4	28,1	871,0
A-5	18,7	586,0

Fuente: Elaboración propia

El siguiente elemento a considerar es la evaluación del valor del agua. Con este fin se utilizó la información contenida en el estudio tarifario del sistema de agua potable de la comuna de Cauquenes[1], en el que se consignan las ventas de agua mostradas en el Cuadro 1.6.4-2. Usando los valores del Cuadro 1.6.4-2 se preparó la Figura 1.6.4-1, en la que se muestran los valores medidos, además de una proyección del valor de venta del agua hasta el año 2012. Con el fin de tomar en cuenta que el incremento del valor del agua no es necesariamente lineal, se determinó el promedio móvil del valor de venta. Usando esta información se determinó que al año 2012 el valor de venta del agua sería de 68,7 UF/L/s. Con este valor se determinaron los beneficios diferenciales asociados a las transacciones de derechos de aprovechamiento de aguas evitadas debido al proyecto.

CUADRO 1.6.4-2
CAUDAL MEDIO ASOCIADO AL ESCENARIO

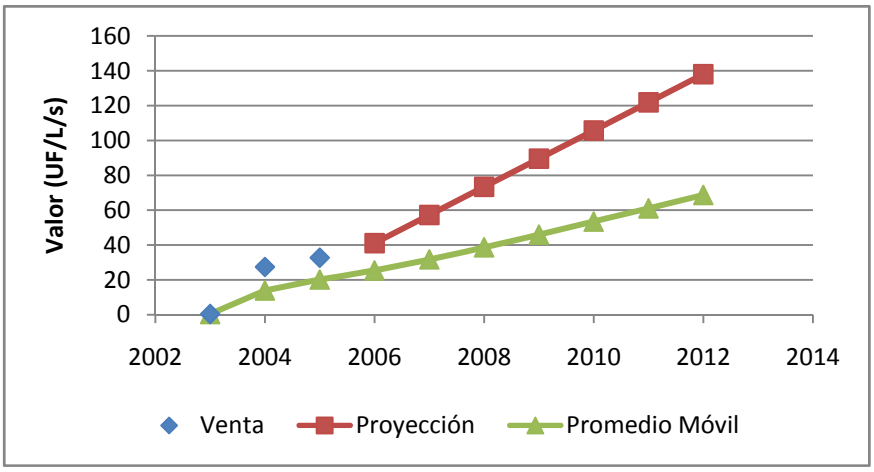
Año	Valor de Venta (UF/L/s)
2003	0,4
2004	27,4
2005	32,8

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes ANSM S.A.

[1] Realizado por la empresa Aguas Nuevo sur del Maule S.A. para la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), periodo 2008-2012.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 1.6.4-1
VALOR DE VENTA DEL AGUA



Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes ANSM S.A.

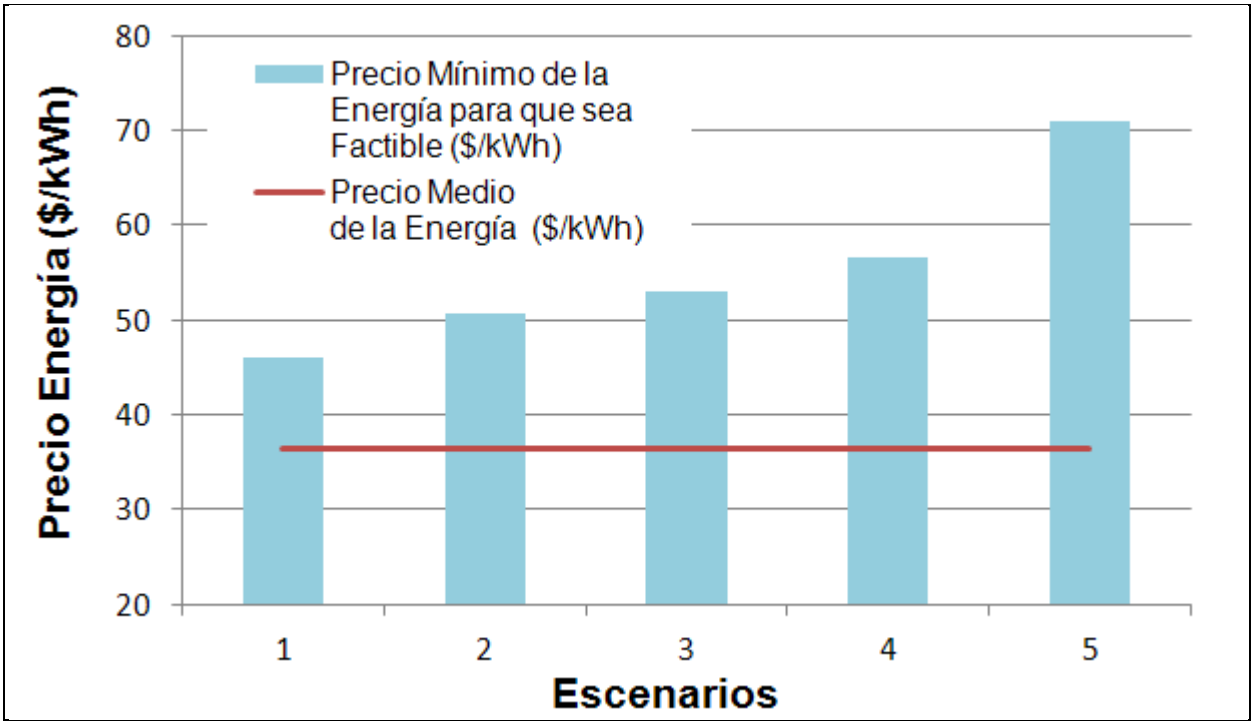
1.6.5. Beneficio Asociado a la Generación Hidroeléctrica

En lo que respecta a la generación de energía eléctrica, en el Capítulo 7 de la Parte F, se mostró que al calcular el costo mínimo de venta de la energía, definido por:

$$\sum_{i=1}^{N} \frac{I_i}{(1+r)^i} + \sum_{i=N+1}^{30} \frac{O_i}{(1+r)^i} = \sum_{i=N+1}^{30} \frac{B_{POT.i}}{(1+r)^i} + C_{Min} \cdot \sum_{i=N+1}^{30} \frac{E_i}{(1+r)^i}$$

Donde I_i es la inversión, O_i es el costo de operación, B_{pot} es el costo de venta de la potencia anual, Ei es la energía anual generada, y C_{min} es el costo de venta mínima de la energía que hace que el proyecto pague todos sus costos. En la Figura 1.6.5-1 se reproduce la figura que muestra el costo mínimo de la energía, en conjunto con el costo de venta medio esperado. Se observa claramente que el valor mínimo de venta es mayor a lo que se puede conseguir, lo que muestra que el proyecto no es rentable.

FIGURA 1.6.5-1
PRECIO MÍNIMO ENERGÍA PARA QUE UNA MCH SEA FACTIBLE
PRECIOS PRIVADOS



Fuente: Elaboración propia

1.7. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA

1.7.1. Introducción

En lo que sigue se presentan los resultados de la evaluación económica para los 5 escenarios anteriormente descritos, con sus respectivos costos y beneficios.

1.7.2. Resultados

En este acápite se presentan los resultados de la evaluación económica realizada con los métodos del Presupuesto (Cuadro 1.7.2-1) a precios privados y sociales, Valor Incremental de la Tierra (Cuadro 1.7.2-2) y de las Transacciones de los Derechos de Aprovechamiento de Aguas (Cuadro 1.7.2-3), para las cinco alternativas de tamaño de embalse considerados.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 1.7.2-1
RESULTADOS EVALUACIÓN ECONÓMICA
MÉTODO DEL PRESUPUESTO

Alternativa	Precios de Mercado					
	V Útil (hm^3)	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^3)	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 1.7.2-2
RESULTADOS EVALUACIÓN ECONÓMICA
MÉTODO DEL VALOR INCREMENTAL DE LA TIERRA

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

Fuente: Elaboración propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 1.7.2-3
RESULTADOS EVALUACIÓN ECONÓMICA
MÉTODO DE LAS TRANSACCIONES DE DERECHOS DE AGUAS

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

Fuente: Elaboración propia

Al analizar los resultados se observa que a precios de mercado el proyecto no es rentable, bajo ninguna de las condiciones de evaluación. Por otra parte, a precios sociales el proyecto es rentable para las alternativas A1 y A2, pero con valores marginalmente superiores a los estándares impuestos, siendo la mejor evaluada la alternativa A1, que a precios sociales tiene un VAN de MM $701,6 y una TIR de 6,13%.

Con respecto al método de chequeo del valor incremental de la tierra, la alternativa A1 es la que obtiene mejores resultados, seguida muy de cerca por la alternativa A2, situación que se replica en el caso del método de las transacciones de derechos de aprovechamiento de aguas.

La evaluación económica se presenta en forma electrónica en el Anexo “G.1-1 Evaluación Económica Huedque”.

1.8. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Al hacer cualquier evaluación económica, siempre hay un elemento de incertidumbre asociado a las variables y alternativas que se estudian, lo que dificulta una toma de decisiones con mayor certeza. Una forma de disminuir o dimensionar esta incertidumbre es a través un análisis de sensibilidad, el que busca identificar las variables que más afectan el resultado económico de un proyecto y la magnitud de su incidencia.

Dado que el mejor proyecto es el A1, o sea un embalse de 37,8 hm^3 de volumen útil, el análisis de sensibilidad sólo se realiza para este volumen a precios sociales.

Como primer paso, el Cuadro 1.8-1 muestra el cambio que experimenta el VAN, a precios sociales, ante la variación de 10% de las partidas involucradas en la evaluación económica, esto para saber las que tienen mayor repercusión en la rentabilidad del proyecto.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 1.8-1
ANÁLISIS DE INCIDENCIA DE LAS VARIABLES EN LA RENTABILIDAD DEL PROYECTO

Ítem Evaluación		Variación	VAN0	VAN1	ΔVAN	Elasticidad
Beneficios Agrícolas		10,00%	701.611.987	3.789.810.382	3.088.198.395	44,02
Inversión	Obras Riego	10,00%	701.611.987	-2.065.069.925	-2.766.681.912	-39,43
	Expropiaciones	10,00%	701.611.987	647.915.706	-53.696.281	-0,77
Costos Operación Obras Riego		10,00%	701.611.987	467.431.124	-234.180.863	-3,34
Costos Ambientales		10,00%	701.611.987	503.952.983	-197.659.004	-2,82

Fuente: Elaboración propia

Del Cuadro anterior se puede observar, como era de esperar, que la rentabilidad del proyecto depende muy fuertemente de la variabilidad de los beneficios agrícolas, cuya elasticidad con respecto al VAN social igual a 44,02, seguido por el costo de la obra de riego con una elasticidad de -39,43, siendo las únicas variables realmente relevantes. Con estos resultados se analizó la variación del VAN social ante un cambio de 10% superior e inferior de los beneficios agrícolas y el costo de las obras de riego y el cambio necesario en cada una para que el VAN sea igual a cero, es decir la variación límite para que el proyecto sea rentable (Cuadro 1.8-2).

CUADRO 1.8-2
RESULTADOS ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD BENEFICIO AGRÍCOLA Y COSTOS DE LAS OBRAS DE RIEGO

Item Evaluación	VAN Social Según Variación ($)		Variación para VAN=0 (%)
	10%	-10%	
Beneficio Agrícola	3.789.810.382	-2.386.586.408	-2,27%
Costo Obras Riego	-2.065.069.925	3.468.293.899	2,54%

Fuente: Elaboración propia

Las variaciones necesarias son muy bajas, lo que es coherente con la rentabilidad calculada de las alternativas, ya que, tal como indica la TIR, con una tasa de descuento mayor a 6,13% el proyecto deja de ser rentable. Lo anterior debe ser un aspecto a tener muy presente al momento de realizar nuevos estudios en la zona, ya que demuestra que existe un riesgo significativo que la variabilidad de los datos provoque que el proyecto sea no rentable.

Por otra parte se ha evaluado el cambio del VAN social ante una variación de la tasa de descuento y el periodo de ejecución de las obras, resultados que se muestran en el

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Cuadro 1.8-3. En este caso destaca que a medida que el proyecto demora más en ejecutarse el VAN social disminuye.

CUADRO 1.8-3
RESULTADOS ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD
BENEFICIO AGRÍCOLA Y COSTOS DE LAS OBRAS DE RIEGO

Item Evaluación	Valor	VAN Social ($)
Tasa de Descuento Social	**4%**	13.470.715.235
	8%	-8.293.958.299
Período de Ejecución de las Obras	**2 Años**	-614.480.852
	3 Años	-1.895.584.994

Fuente: Elaboración propia.

Un análisis de sensibilidad adicional consiste en modificar la gradualidad de los cambios en la Situación Con Proyecto, los que se desprenden de la incorporación de los cultivos que conforman el nuevo uso del suelo.

Dada lo anterior se confeccionó un escenario denominado “temprano” en donde la incorporación de los cultivos fuera más rápida que la estimada inicialmente, y otro “tardío” en el cual los cambios se producen en forma más lenta. El Cuadro 1.8-4 muestra las tasas de incorporación utilizadas en cada caso.

Estas tasas tienen repercusión en la gradualidad de la incorporación de la superficie, costos indirectos, habilitación de suelos, inversión en riego tecnificado, asistencia técnica y la estabilización de los márgenes brutos.

Los flujos agroeconómicos a partir de este análisis se resumen en el Cuadro 1.8-2 para precios sociales.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 1.8-4
TASAS DE INCORPORACIÓN CULTIVOS ESCENARIOS DE INCORPORACIÓN AGRÍCOLA

Año	C. Anuales y frutales existentes E1 Y E2			Año	C. anuales y frutales existentes E3, E4 Y E5		
	Inicial	Temprano	Tardío		Inicial	Temprano	Tardío
0	0	0	0	0	0	0	0
1	15	10	5	1	10	20	5
2	40	30	10	2	35	50	15
3	60	60	30	3	70	100	25
4	80	100	45	4	85	100	50
5	90	100	60	5	100	100	75
6	100	100	75	6	100	100	90
7	100	100	90	7	100	100	100
8	100	100	100	8	100	100	100
9	100	100	100	9	100	100	100
Año	Frutales			Año	Alfalfa		
	Inicial	Temprano	Tardío		Inicial	Temprano	Tardío
0	0	0	0	0	0	0	0
1	5	20	5	1	10	50	15
2	15	40	10	2	30	100	40
3	25	70	20	3	60	100	60
4	50	100	35	4	100	100	80
5	75	100	50	5	100	100	90
6	90	100	65	6	100	100	100
7	100	100	80	7	100	100	100
8	100	100	90	8	100	100	100
9	100	100	100	9	100	100	100

Fuente: Elaboración propia

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 1.8-2
FLUJOS AGROECONÓMICOS ESCENARIOS DE INCORPORACIÓN AGRÍCOLA A PRECIOS SOCIALES

Año	Precios Sociales								
	Evaluación Inicial			Evaluación Escenario Temprano			Evaluación Escenario Tardío		
	SCP	SA-SSP	Flujo Neto	SCP	SA-SSP	**Flujo Neto**	**SCP**	**SA-SSP**	**Flujo Neto**
0	447.543.063	447.543.063	0	447.543.063	447.543.063	0	447.543.063	447.543.063	0
1	-8.077.064.147	202.677.766	-8.279.741.913	-8.704.418.776	202.677.766	-8.907.096.541	-8.086.733.988	202.677.766	-8.289.411.754
2	-772.370.295	144.921.520	-917.291.815	-1.307.833.196	144.921.520	-1.452.754.716	-598.076.712	144.921.520	-742.998.233
3	-1.543.731.355	173.515.809	-1.717.247.164	-2.481.988.748	173.515.809	-2.655.504.557	-1.529.404.020	173.515.809	-1.702.919.828
4	-693.409.642	139.596.244	-833.005.887	-1.167.102.939	139.596.244	-1.306.699.183	-268.782.344	139.596.244	-408.378.588
5	3.117.859.060	182.804.480	2.935.054.580	3.751.489.368	182.804.480	3.568.684.888	3.594.246.536	182.804.480	3.411.442.056
6	6.657.787.940	547.631.449	6.110.156.490	7.071.976.095	547.631.449	6.524.344.646	6.816.690.877	547.631.449	6.269.059.427
7	6.929.060.225	145.861.875	6.783.198.350	7.263.541.274	145.861.875	7.117.679.399	6.906.606.992	145.861.875	6.760.745.117
8	7.930.847.370	228.543.001	7.702.304.368	7.972.263.724	228.543.001	7.743.720.722	7.671.908.088	228.543.001	7.443.365.086
9	8.765.594.306	156.512.580	8.609.081.726	8.809.254.045	156.512.580	8.652.741.465	8.431.976.098	156.512.580	8.275.463.518
10	8.871.422.801	159.416.045	8.712.006.755	8.877.635.254	159.416.045	8.718.219.208	8.830.869.288	159.416.045	8.671.453.242
11	8.654.096.822	160.248.797	8.493.848.025	8.654.096.822	160.248.797	8.493.848.025	8.635.459.463	160.248.797	8.475.210.666
12	8.942.299.273	253.172.391	8.689.126.881	8.942.299.273	253.172.391	8.689.126.881	8.942.299.273	253.172.391	8.689.126.881
13	8.906.045.231	224.862.264	8.681.182.967	8.785.478.302	224.862.264	8.560.616.038	8.906.045.231	224.862.264	8.681.182.967
14	2.127.349.131	1.273.173.016	854.176.115	2.046.971.179	1.273.173.016	773.798.162	2.167.538.108	1.273.173.016	894.365.091
15	4.459.863.093	186.799.982	4.273.063.112	4.299.107.188	186.799.982	4.112.307.206	4.459.863.093	186.799.982	4.273.063.112
16	5.184.894.727	1.375.193.032	3.809.701.695	5.144.705.750	1.375.193.032	3.769.512.718	5.265.272.679	1.375.193.032	3.890.079.647
17	5.033.208.870	81.117.824	4.952.091.046	5.234.153.751	81.117.824	5.153.035.927	5.113.586.822	81.117.824	5.032.468.999
18	6.205.120.686	332.264.117	5.872.856.569	6.325.687.615	332.264.117	5.993.423.498	6.205.120.686	332.264.117	5.872.856.569
19	7.150.289.685	149.224.059	7.001.065.626	7.230.667.638	149.224.059	7.081.443.579	7.110.100.709	149.224.059	6.960.876.650
20	7.474.030.858	131.933.669	7.342.097.189	7.474.030.858	131.933.669	7.342.097.189	7.393.652.905	131.933.669	7.261.719.236
21	7.745.794.109	166.669.522	7.579.124.587	7.488.428.846	166.669.522	7.321.759.323	7.665.416.157	166.669.522	7.498.746.634
22	-36.977.071	167.611.839	-204.588.909	-208.553.913	167.611.839	-376.165.752	48.811.351	167.611.839	-118.800.488
23	3.606.014.577	230.300.080	3.375.714.497	3.262.860.892	230.300.080	3.032.560.812	3.606.014.577	230.300.080	3.375.714.497
24	2.736.703.090	201.374.833	2.535.328.258	2.650.914.669	201.374.833	2.449.539.836	2.908.279.933	201.374.833	2.706.905.100
25	3.273.779.680	203.430.746	3.070.348.934	3.582.154.857	203.430.746	3.378.724.111	3.445.356.522	203.430.746	3.241.925.776
26	6.200.684.613	174.477.050	6.026.207.563	6.370.869.968	174.477.050	6.196.392.918	6.240.873.589	174.477.050	6.066.396.539
27	553.833.421	448.477.793	105.355.629	560.119.721	448.477.793	111.641.928	470.312.319	448.477.793	21.834.526
28	4.051.280.886	197.475.506	3.853.805.380	4.002.022.635	197.475.506	3.804.547.129	3.960.081.997	197.475.506	3.762.606.490
29	3.817.957.647	118.039.512	3.699.918.136	4.016.635.210	118.039.512	3.898.595.698	3.731.293.395	118.039.512	3.613.253.883
30	4.940.656.365	249.851.223	4.690.805.142	5.072.559.888	249.851.223	4.822.708.665	4.945.191.002	249.851.223	4.695.339.780

Fuente: Elaboración propia

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Usando la información anterior, se presenta en el Cuadro 1.8-3 el análisis de sensibilidad para la incorporación de la tierra a la agricultura de riego, el que muestra que si la gradualidad de los cambios sucede en un periodo mayor, el efecto de disminución de los costos de inversión agrícola en los primeros años provoca que la rentabilidad del proyecto aumenta. En cambio, a medida que se estimula una incorporación rápida de los agricultores el VAN disminuye incluso volviendo le proyecto no rentable.

CUADRO 1.8-4
RESULTADOS ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD
INCORPORACIÓN DE AGRICOLA

Escenario	VAN Social ($)
Temprano	-598.728.106
Tardío	1.358.482.889

Fuente: Elaboración propia

1.9. EVALUACIÓN PARA EL USO EN AGUA POTABLE

Para el mejor embalse, se determinó que es posible destinar un caudal de 10 L/s para entrega de agua potable. Por lo anterior, se hace necesario determinar la factibilidad del proyecto de agua potable. Para esto se hace notar que los proyectos de agua potable se evalúan con un paradigma diferente, se elige el proyecto con el menor valor del parámetro CAE, o costo anual equivalente, el que se determina como:

$$CAE = VAC \cdot \frac{r \cdot (1+r)^n}{((1+r)^n - 1)}$$

Donde:

VAC	Valor actual de costos
r	Tasa social de descuento (6%)
n	Horizonte de evaluación (20 años)

En que el VAC se calcula como:

$$VAC = I_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

Donde:

Io	Inversión del proyecto
Ct	Costo de operación anual

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Para el desarrollo del proyecto **"Estudio Hidrogeológico, Varias Localidades Rurales, Región de Coquimbo"**, desarrollado por este Consultor para la DOH Coquimbo el año 2010, se determinó que en promedio el costo de 1 L/s instalado de APR captando aguas subterráneas es del orden de 31 millones a precios privados y 30 millones a precios sociales, con un costo de operación anual cercano al 10% del costo de inversión. Adicionalmente, al año 10 es necesario reponer equipos, lo que se estima como un 20% del costo de inversión.

Ahora bien, para el caso del embalse, se considera que la entrega se puede realizar con tuberías. Para fines de análisis se propone considerar que se entrega con una tubería matriz, que en promedio entrega agua cada 1 km. Por otra parte, desde ese punto, se consideran 2 km de tubería por sistema. Para este caso no se considera el costo del sistema de distribución, ya que es el mimo para el sistema tradicional con aguas subterráneas que para el sistema con tuberías. En forma preliminar, se postula que en este caso el costo de inversión viene dado por:

$$I = I_{Base} + C_{TP} \cdot L_{TP} + C_{TS} \cdot L_{TS}$$

Donde:

I_{Base}	Inversión base
C_{TP}	Costounitariotubería principal
L_{TP}	Longitudtubería principal
C_{TS}	Costounitariotuberíasecundaria
L_{TS}	Longitudtuberíasecundaria

Preliminarmente se estimaron estos costos en:

- Precios privados: 21 millones de inversión base, 52.500 $/m la tubería principal y 18.375 $/m la tubería secundaria.
- Precios privados: 20 millones de inversión base, 50.000 $/m la tubería principal y 16.667 $/m la tubería secundaria.

Para la tubería se considera además un 2% como costo de inversión.

Ahora bien, el proyecto se parametriza en términos de población servida, arranques y caudal servido. Para esto se usa la siguiente relación:

$$Q = f_d \cdot f_h \cdot Dotación \cdot Población$$

Donde:

f_h	Coeficiente de consumo horario (1,5)
f_d	Coeficiente de consumo diario (1,5)

Dotación Dotación de diseño (120 L/hab/día)
Población Población abastecida por el proyecto

Para determinar el número de arranques, se considera que la densidad de diseño es 3,5 hab/viv, lo que se iguala a 3,5 hab/arranque. En el Cuadro 1.9-1 se muestran la población abastecida, los caudales considerados, el número de arranques y el volumen total anual explotado por alternativa.

CUADRO 1.9-1
PARÁMETROS DE DISEÑO DE LOS SISTEMAS CONSIDERADOS

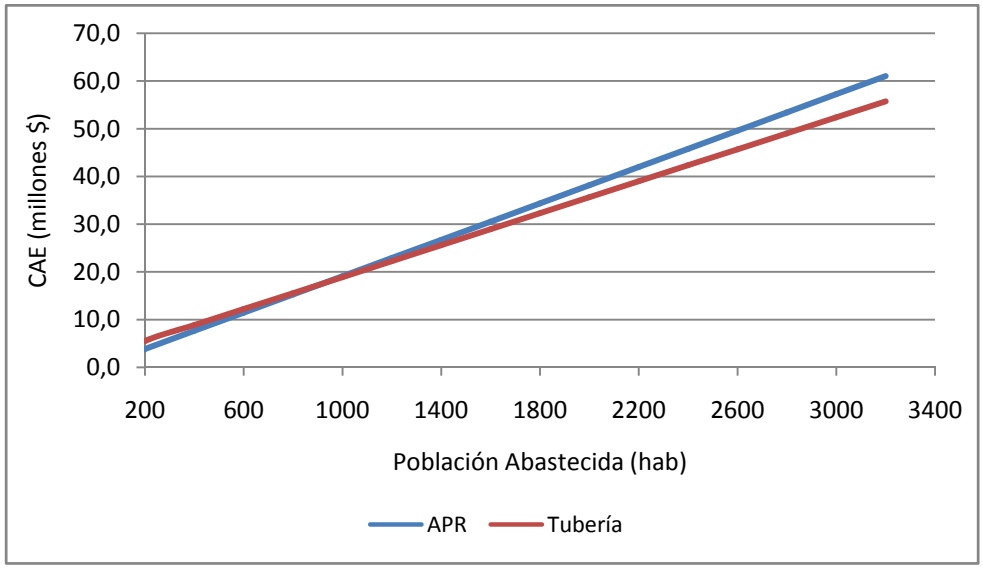
Población Abastecida (hab)	Q (L/s)	Arranques (#)	Volumen Anual (hm^3)
0	0,0	0	0,000
200	0,6	58	0,020
400	1,3	115	0,039
600	1,9	172	0,059
800	2,5	229	0,079
1000	3,1	286	0,099
1200	3,8	343	0,118
1400	4,4	400	0,138
1600	5,0	458	0,158
1800	5,6	515	0,178
2000	6,3	572	0,197
2200	6,9	629	0,217
2400	7,5	686	0,237
2600	8,1	743	0,256
2800	8,8	800	0,276
3000	9,4	858	0,296
3200	10,0	915	0,316

Fuente: Elaboración propia

Usando la información anterior se presenta en la Figura 1.9-1 la comparación del CAE para ambas alternativas a precios privados, y en la Figura 1.1-2 a precios sociales. Los resultados muestran que a precios privados el sistema tradicional es no rentable independientemente del tamaño del proyecto. Por otra parte, para una población abastecida superior a 1.000 hab, la tubería es rentable. En este segundo caso, el embalse puede vender agua para poblaciones abastecidas superiores a 1.000 hab.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 1.9-1
RESULTADOS ANÁLISIS INSTALACIÓN PROYECTOS DE AGUA POTABLE
PRECIOS PRIVADOS



CAE (millones $)

Población Abastecida (hab)	200	600	1000	1400	1800	2200	2600	3000	3200
APR	5,2	15,6	25,9	36,3	46,7	57,0	67,4	77,8	83,0
Tubería	9,7	21,5	33,3	45,1	56,9	68,7	80,5	92,3	98,1

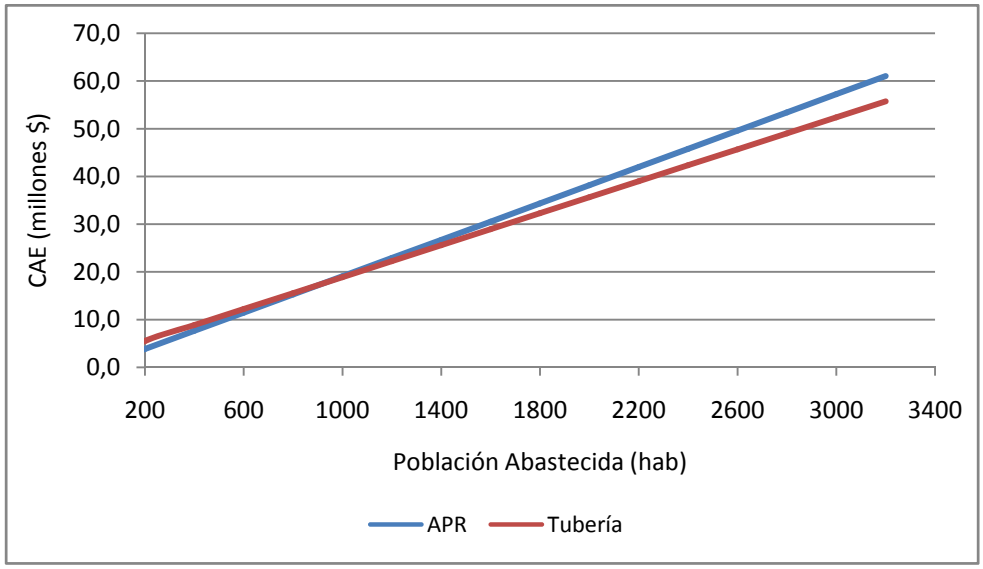
Fuente: Elaboración propia

Al analizar los resultados mostrados en la Figura 1.9-1, se observa claramente que existe un punto en el que el proyecto de APR es más económico que la tubería. Lo que ocurre es que a partir de ese punto, la venta de agua desde el embalse es económicamente factible.

A partir de lo anteriormente expuesto, se presenta en el Cuadro 1.9-2 el resultado de la evaluación económica para poblaciones abastecidas mayores a 1.000 hab. Se hace notar que dado que los sistemas de APR son subvencionados por el estado, sólo se consideran los costos de operación del sistema. En el cuadro se muestra asociada a cada población abastecida el volumen de agua anual, el valor de la tarifa, el costo de operación anual, y los indicadores VAN y Tir. Los resultados muestran que lo más rentable es entregar el mayor volumen de agua posible, lo que es consistenye con el hecho que sólo se deben pagar los gastos operacionales.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

FIGURA 1.9-2
RESULTADOS ANÁLISIS INSTALACIÓN PROYECTOS DE AGUA POTABLE
PRECIOS SOCIALES



CAE (millones $)

Población Abastecida (hab)	200	600	1.000	1.400	1.800	2.200	2.600	3.000	3.200
APR	3,8	11,4	19,1	26,7	34,3	42,0	49,6	57,2	61,0
Tubería	5,5	12,2	18,9	25,6	32,3	39,0	45,7	52,4	55,7

Fuente: Elaboración propia

En todo caso, la estructura de costos debe ser analizada con mayor detención ya que las diferencias detectadas son marginales. En todo caso, el proyecto de tubería tiene una condición adicional que no se observa en el costo, y que es que entrega una seguridad de abastecimiento cercana al 95%, seguridad que un sistema de APR en general no puede lograr. Lo anterior justifica que se realicen estudios más detallados para determinar la utilización del embalse como obra de entrega de agua para sistemas de APR.

Se hace notar que esta evaluación se presenta en detalle en el Anexo “G.1-1 Evaluación Económica Huedque”.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 1.9-2
PARÁMETROS DE DISEÑO DE LOS SISTEMAS CONSIDERADOS

Población Abastecida (hab)	Volumen Anual (hm^3)	Tarifa ($/$m^3$)	Operación Anual (millones $)	VAN (millones $)	Tir
1.000	0,099	101,4	9,5	708,1	6,13
1.200	0,118	90,0	10,1	708,5	6,14
1.400	0,138	81,9	10,8	709,0	6,14
1.600	0,158	75,8	11,4	709,4	6,14
1.800	0,178	71,1	12,0	709,9	6,14
2.000	0,197	67,3	12,6	710,2	6,14
2.200	0,217	64,2	13,3	710,6	6,14
2.400	0,237	61,7	13,9	711,3	6,14
2.600	0,256	59,5	14,5	711,6	6,14
2.800	0,276	57,6	15,2	711,9	6,14
3.000	0,296	56,0	15,8	712,4	6,14
3.200	0,316	54,6	16,4	712,9	6,14

Fuente: Elaboración propia

1.10. OTROS USOS

En lo que respecta a otros usos, en primer lugar se hace notar que previamente se verificó que la generación hidroeléctrica no es viable, dado que el costo de instalación del proyecto es mayor al posible beneficio. Por otra parte se han identificado otros posibles beneficios, como son el turístico y el uso para combatir incendios forestales.

Para el primer caso se estima factible que en el futuro el embalse pueda ser usado con fines recreacionales, para campings, e incluso la instalación de viviendas veraniegas, pero para eso se requiere en primer lugar 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. Ahora bien, la información requerida para la evaluación escapa los alcances de este estudio, además que se requiere la inclusión de elementos probabilísticos para evaluar la ocurrencia de incendios, ya que este es un evento de infrecuente, cuya ocurrencia es incierta.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

1.11. INDICADORES ADICIONALES

1.11.1. Generación de Empleo

Un aspecto importante a destacar es la generación de mano de obra agrícola en un escenario con proyecto versus la situación actual. En el Cuadro 1.11.1-1 es posible observar el balance de la generación de empleo agrícola permanente y temporal entre la Situación Actual y la Situación Con Proyecto, en el cual destaca el crecimiento anual de 9,05% del empleo permanente femenino mensual, respectivamente. A esto se suma el aumento de las jornadas temporales anuales femeninas en un 5,56%.

CUADRO 1.11.1-1
GENERACIÓN DE EMPLEO AGRICOLA TOTAL AREA

Tipo Jornada	SA	SF	Variación		
			Nº	% Total	% Anual
Jornadas Anuales Totales					
Masculinas	153.845	564.070	410.225	266,6%	9,05%
Femeninas	30.731	70.127	39.397	128,2%	5,65%
Jornadas Anuales Permanentes					
Masculinas	40.570	138.644	98.074	241,7%	8,54%
Femeninas	14.230	34.687	20.457	143,8%	6,12%
Empleos Mensuales Permanentes					
Masculinos	141	482	341	241,8%	8,54%
Femeninas	50	121	71	142,0%	6,07%
Jornadas Anuales Temporales					
Masculinas	113.275	425.426	312.151	275,6%	9,22%
Femeninas	16.501	35.441	18.940	114,8%	5,23%

Fuente: Elaboración propia

Como se hace mención anteriormente, la demanda de mano de obra producto del desarrollo de agricultura de riego en las dimensiones propuestas requiere de un análisis pertinente de abordar en un estudio posterior de factibilidad producto que la demanda de mano de obra supera largamente a la oferta de este recurso en la zona.

1.11.2. Rentabilidad por Hectárea Regada

La rentabilidad por hectárea regada consiste en el cuociente entre el beneficio ocasionado por el proyecto y el número de hectáreas beneficiadas.

La rentabilidad para cada una de las situaciones se presenta en el Cuadro 1.11.2-1. Como se aprecia en el Cuadro indicado, en Situación Con Proyecto se produce un incremento del orden del 509,3% en relación a la rentabilidad de la situación.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 1.11.2-1
RENTABILIDAD POR HECTÁREA REGADA

Situación	Superficie Cultivadas Riego + Secano (ha)	Rentabilidad por Hectárea ($)	Incrementos (%)
Actual (Sin Proyecto)	3.623,2	67.255	-
Con Proyecto	4.668,4	823.273	1.124,1

Fuente: Elaboración propia a partir de flujos agroeconómicos.

1.11.3. Ingreso Per Cápita Asignable al Sector Agropecuario

El ingreso per cápita asignable al sector agropecuario consiste en el cuociente entre el beneficio ocasionado por el proyecto y el número de agricultores beneficiados con el mismo.

El ingreso per cápita de la Situación Con Proyecto se incrementa en 1.477,3% en relación a la Situación Actual. Esta información se presenta en el Cuadro 1.11.3-1.

CUADRO 1.11.3-1
INGRESO PER CÁPITA

Situación	Número de Agricultores	Ingreso Per Cápita ($)	Ingreso Per Cápita mensual ($)	Incrementos (%)
Actual	313	778.512	64.876	-
Con Proyecto	313	12.279.178	1.023.265	1.477,3

Fuente: Elaboración propia a partir de flujos agroeconómicos.

1.11.4. Generación de Impuestos

La generación de impuestos corresponde al impuesto generado por el incremento de la utilidad producto de la entrada en funcionamiento del embalse.

Al respecto la generación de impuestos producto de la construcción de obras se incrementa en un 1.765,3% al pasar de $48,7 millones en Situación Actual a más de $909 millones en Situación Con Proyecto (ver Cuadro 1.11.4-1).

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 7.5-1
GENERACIÓN IMPUESTOS

Situación	Impuestos ($)	Incrementos (%)
Actual	48.734.820	-
Con Proyecto	909.064.416	1.765,3

Fuente: Elaboración propia a partir de flujos agroeconómicos.

1.12. MOMENTO ÓPTIMO DE LA INVERSIÓN

Una de las tareas de la CNR es la elaboración de carteras de proyectos las que deben ser analizadas en su conjunto, y no en forma separada como se realiza el análisis de este proyecto.

El momento óptimo de inversión se obtiene al comparar el VAN de invertir en el momento n versus hacerlo en el momento n+1.

Por esta razón, y para facilitar las actividades de la CNR, se entrega en el Cuadro 1.15-1 un resumen con los indicadores VAN y Tir bajo la condición que el proyecto se realiza el año 0, un año después, o 2 años después. Los resultados muestran claramente que el proyecto deja de ser rentable a precios sociales si no se realiza el año 0, pero su realización en años posteriores debe hacerse en consideración a la cartera de proyectos vigente.

CUADRO 1.15-1
RESULTADOS MOMENTO ÓPTIMO DE LA INVERSIÓN

Año Inversión	Mercado		Social	
	VAN ($)	TIR (%)	VAN ($)	TIR (%)
0	-25.933	5,89	701,6	6,13
1	-22.576	5,79	159,6	6,03
2	-19.647	5,70	-220,9	5,95

Fuente: Elaboración propia

No obstante, este cálculo presenta algunas limitantes metodológicas, ya que la premisa fundamental para que sea posible la obtención matemática fiable del momento óptimo de inversión es que los beneficios netos anuales posibles sean independientes del momento de inicio del proyecto, es decir que su evolución y gradualidad de incorporación no dependan de la construcción del embalse, sino de la evolución de la demanda o una variación en el mercado los insumos. Un ejemplo claro de lo anterior sucede en los proyectos de agua potable o alcantarillado, en los cuales, dependiendo del año de entrada en vigencia de la obra, podrá abastecer una demanda que depende del aumento poblacional. En el

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

proyecto de embalse en estudio los beneficios agrícolas dependen en forma radical de la construcción de la obra, por lo que no resulta pertinente este cálculo. En este caso el momento de realización de la obra dependerá de la comparación del proyecto con otros dentro de la cartera del inversionista, en este caso el Estado[2].

1.13. ANÁLISIS FINANCIERO

El presente capítulo, se refiere al análisis del financiamiento que deben considerar los agricultores según el costo que tenga la obra para ellos. Se supone que la obra será construida bajo los procedimientos que establece el DFL Nº1.123 de 1981. El análisis financiero de los predios tipo se basa en los siguientes supuestos entregados por la Inspección Fiscal como metodología de trabajo:

- Las obras asociadas al riego se construyen en el primer año de análisis (año 0), correspondiendo al segundo período el inicio de la situación con proyecto.

- Los valores de ingresos agropecuarios, costos directos de la actividad agropecuaria, costos indirectos, margen neto y margen neto corregido por el efecto hidrológico, para las situaciones con y sin proyecto, corresponden a los valores de mercado determinados, para cada predio tipo, en la estudio agroeconómico del estudio.

- El capital de trabajo considerado para la situación actual optimizada corresponde a un 10% de los costos indirectos e indirectos. Para la situación con proyecto se ha supuesto un capital de trabajo equivalente al diferencial entre costos directos e indirectos de la situación proyectada y el 90% de estos mismos costos en situación actual El capital de trabajo es financiado mediante crédito, cuya amortización es a 10 años, en cuotas iguales.

- Los costos financieros se han estimado considerando una tasa del 10% anual sobre el saldo insoluto de la deuda.

- Se ha supuesto que la realización del proyecto debe permitir, a cada predio tipo, entregar al propietario una cierta rentabilidad por su actividad, que representa su sustento familiar. De esta forma se ha definido, para el diferencial de flujos entre las situaciones con proyecto y actual optimizada, una rentabilidad por predio, diferenciada por estrato de tamaño y nivel tecnológico. El factor así definido se aplica anualmente a la utilidad después del impuesto. Dado el nivel tecnológico existente, se adopta para todos los estratos una utilidad de 10%.

[2] Referencias a esta justificación se encuentran disponibles en a) Brealey, R. y Myers, S. "Fundamentos de Financiación Empresarial"- 8a Edición. Mc Graw-Hill, 2006. b) Fontaine, E.R., "Evaluación Social de Proyectos", Publisher México: Pearson Educación de México, Edición 13a. Ed. 2008 y c) Contreras, E. "Apuntes de Evaluación de Proyectos". Universidad de Chile - Departamento de Ingeniería Industrial FCFM, Magister en Gestión y Políticas Pùblicas. 2012.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

Al aplicar la metodología de trabajo previamente descrita se obtuvieron los resultados presentados en el Cuadro 1.13-1. El detalle se presenta en el Anexo “G.1-2 Evaluación FinancieraHuedque”.

Al analizar los resultados presentados, se llegó a las siguientes conclusiones:

- Se observa que en todos los casos en algunos años no es posible pagar las obras a los regantes, aunque en el contexto global en la mayoría de los casos están dispuestos a pagar, estos no tienen la suficiente capacidad económica para hacerlo. Por lo que en caso de construir la obra se necesitaría para la mayoría de los estratos subsidios cercanos al 100 %. Lo anterior es concordante con la rentabilidad marginal del proyecto a precios sociales.

- Lo anterior se debe entre otras razones a la rigidez en exigir que el préstamo debe amortizarse en 10 años.

- Un segundo efecto que debe tenerse en cuenta que dada la característica de agricultura de subsistencia la posibilidad de que los agricultores paguen un 20% de impuesto es remota.

- Aún con todas las simplificaciones, se observa que todos los estratos tienen problemas de flujo de caja en algún momento del proyecto.

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

CUADRO 1.13-1
RESULTADOS ANÁLISIS FINANCIERO
NIVEL DE PREDIO PROMEDIO POR ESTRATO

Ubicación	Nivel	Estrato	Costo ($/ha) (1)	Capacidad de Pago ($/ha) (2)	Valor a Subsidiar ($) (1)-(2)	Subsidio (%)
Lomaje	Bajo	1	653.064	8.676	644.388	98,7
		2	653.064	5.107	647.957	99,2
		3	653.064	5.376	647.688	99,2
		4	653.064	12.603	640.461	98,1
		5	653.064	16.926	636.139	97,4
	Medio	3	653.064	15.281	637.783	97,7
		4	653.064	11.296	641.768	98,3
		5	653.064	5.146	647.918	99,2
Planicie	Bajo	1	653.064	4.135	648.930	99,4
		2	653.064	45	653.019	100,0
		3	653.064	5.252	647.812	99,2
		5	653.064	57.465	595.600	91,2
	Medio	4	653.064	17.701	635.363	97,3
		5	653.064	27.012	626.052	95,9

Fuente: Elaboración propia

1.14. RECOMENDACIÓN DEL PROYECTO

De acuerdo a lo presentado en los cuadros 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 y la magnitud de las inversiones, tanto en obras extraprediales como también intraprediales. El volumen de embalse más rentable es 37,8 hm3 (alternativa A-1), que a precios sociales tiene un VAN de MM $701,6 y una TIR de 6,13%.

Para el caso de los métodos de chequeo del valor incremental de la tierra y de las transacciones de derechos de aprovechamiento de aguas el proyecto resulta conveniente con respecto a la situación actual, siendo el volumen que entrega mejores resultados 37,8 hm^3.

Se recomienda continuar con el proyecto, considerando un embalse de 37,8 hm^3 de volumen útil. También se recomienda analizar en mayor detalle el uso del embalse para suministro de sistemas de APR, y los otros usos deberían analizarse con un mayor detalle, desarrollando estudios específicos, lo que cobra mayor relevancia dado el riego significativo del éxito del proyecto mostrado en el análisis de sensibilidad.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

2. 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 Nº 1, ubicada más aguas arriba, resultó la más conveniente. Esto se fundamenta principalmente en que la alternativa Nª 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 sondajes 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, Cl, 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 m3/s) y para el vertedero, período de retorno de 1000 años (1.211 m3/s). De igual forma, el estudio sedimentológico permitió definir un volumen muerto del embalse de 3,3 Hm3.

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 Nº 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 m³.

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 Hm3.

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

Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl

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 hm3 de volumen útil, que tiene la potencialidad de beneficiar a un total de 313 predios agrícolas.

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.
Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego
Mª Luisa Santander 0231, Providencia, Santiago, Chile. Fono (56 2) 341 4800 Fax (56 2) 274 5023 e-mail: oficina@arrauingenieria.cl