

GOBIERNO DE CHILE
COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO

**ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA TRASVASE RECURSOS
HÍDRICOS HACIA LOS VALLES DE LIGUA Y PETORCA DESDE EL
SISTEMA PUTAENDO, V REGIÓN**

INFORME FINAL
FEBRERO 2009

Jorquera&Asociados S.A.

**ANALISIS DE FACTIBILIDAD TECNICA
TRASVASE DE RECURSOS HIDRICOS HACIA LOS
VALLES DE LIGUA Y PETORCA DESDE EL
SISTEMA PUTAENDO,
V REGION**

A. INTRODUCCIÓN	A- 1
B. TRAZADO DE CANALES DE TRASVASE. EMBALSE CHACRILLAS. CUBICACION Y PRESUPUESTOS.	B- 1
C. MODELACIÓN HIDROLOGICO OPERACIONAL SISTEMA TRASVASE PUTAENDO-LA LIGUA	C- 1
D. ANTECEDENTES HIDROLÓGICOS	D- 1
E. DERECHOS DE AGUA	E- 1
F. RESUMEN DE ALTERNATIVAS DE OBRAS Y SU VALORACIÓN.	F- 1
G. ALTERNATIVAS PRELIMINARES DE GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA	G- 1
H. PLANOS	H- 1
I. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	I- 1
J. ANEXOS	J- 1
K. PROFESIONALES QUE PARTICIPARON EN EL ESTUDIO	K- 1



A. INTRODUCCIÓN

La Comisión Nacional de Riego, en Septiembre de 2008 llamo a licitación pública para el "ESTUDIO DE ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE TRASVASE DE RECURSOS HÍDRICOS HACIA LOS VALLES DE LIGUA Y PETORCA DESDE EL SISTEMA PUTAENDO, en el nivel de perfil. Este contrato fue asignado al consultor Luis Antonio Jorquera Galaz. La fecha de inicio de los trabajos fue establecida el 31 Octubre de 2008 por la carta ORD 4228 de la CNR.

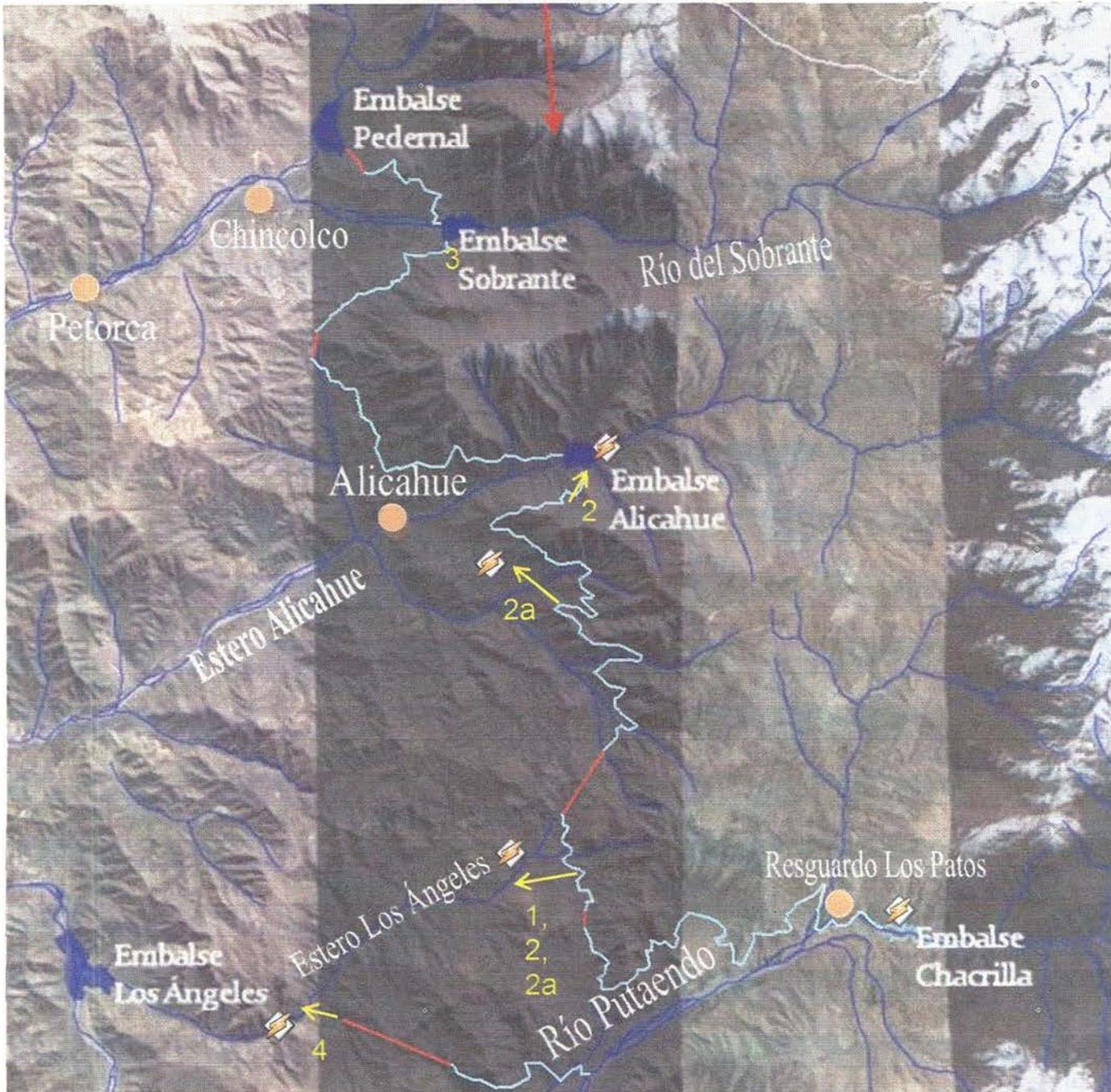
El Consultor, de acuerdo a las modalidades expresadas en su propuesta, debió estudiar la factibilidad técnica y económica a nivel de perfil, de proyectar un canal de trasvase desde un Embalse Chacrillas con una nueva capacidad de 84 Hm³ (está actualmente diseñado para 27 Hm³) que permita aprovechar los eventuales recursos hídricos excedentes del sistema actual y potencial del valle de Putaendo, para alimentar el sistema altamente deficitario de riego de Ligua – Petorca.

Se incluyó el análisis del escenario con los embalses proyectados en los valles de Ligua y Petorca, Los Ángeles, Alicahue y Pedernales, actuando ahora como embalses de cola del sistema, alimentados mediante el Canal de Trasvase.

Los aspectos principales de la consultoría son los siguientes:

- a) El costo de aumentar la altura de la presa de Chacrillas para llegar a la capacidad de 84Hm³, la disponibilidad del recurso hídrico y la situación de los derechos de aprovechamiento del agua para esta mayor capacidad;
- b) La factibilidad física y costo preliminar de un canal de trasvase;
- c) El funcionamiento del sistema utilizando los embalses indicados en Petorca y Ligua, y
- d) Costos de las obras y la cantidad de hectáreas regables con los recursos trasvasados. Con ello se obtuvo índices preliminares de costo por hectárea beneficiada. Los costos de los canales se calcularon con los precios unitarios de los canales estudiados por la DOH en 2008 para un trasvase por el valle de Catemu por un canal denominado El Paico. El costo de la ampliación de Chacrillas de 84 Hm³, con los costos unitarios de Chacrillas de 27 Hm³ y los costos de los embalses de la Ligua se toman del Plan integral de embalses para La Ligua – Petorca de la DOH (2008).

ALTERNATIVAS DE TRASVASE

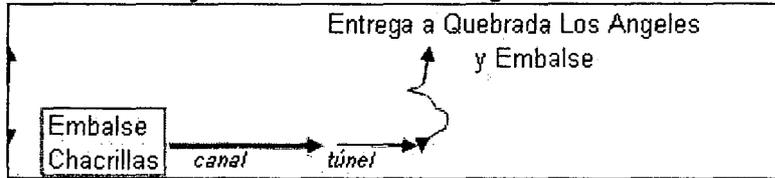


ALTERNATIVAS DE TRASVASE	Entrega	Longitud total de túnel (Km)	Longitud total canal (Km)	Longitud total (Km)
1: Canal Chacrilla – Los Ángeles	Estero Los Ángeles	0,50	34,00	34,50
2: Canal Chacrilla – Alichahue	Estero Los Ángeles y Emb. Alichahue	3,67	71,03	74,70
2a: Canal Chacrilla – Alichahue	Estero Los Ángeles y Quebrada Alichahue	3,67	40,26	43,93
3: Canal Chacrilla – Alichahue – Sobrante	Est. Los Ángeles, Embalses Alichahue y Sobrante	13,24	57,67	70,91
4: Canal Putaendo – Los Ángeles (cota 1050)	Estero Los Ángeles	3,80	19,50	23,30

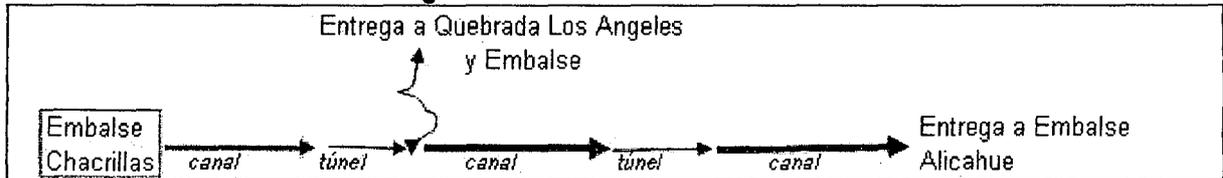
 Posible Generación Hidroeléctrica

UNIFILARES

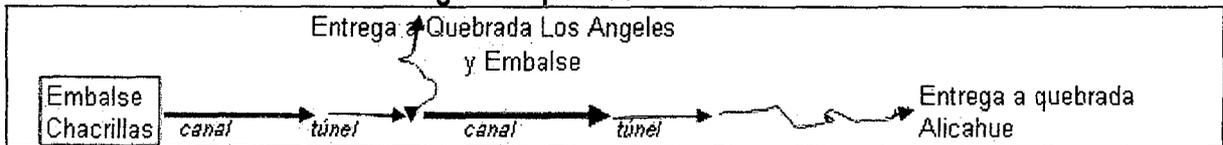
Alternativas 1 y 4 Chacrillas – Los Angeles



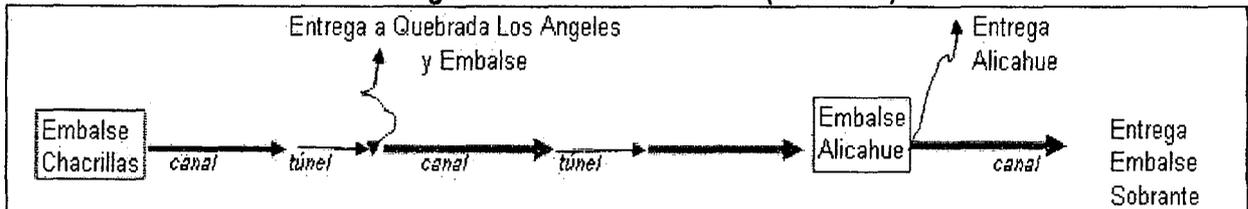
Alternativa 2 Chacrillas – Los Angeles - Alicahue



Alternativa 2a Chacrillas – Los Angeles – quebrada Alicahue



Alternativa 3 Chacrillas – Los Angeles – Alicahue – Petorca (Sobrante)



NOTA: Las imágenes satelitales con el trazado de los canales se encuentran, en una mejor definición, en la versión digital de éste trabajo

**Antecedentes existentes:**

Los antecedentes existentes utilizados en este informe, son los siguiente:

- Estudio de factibilidad del Riego de los valles de Ligua y Petorca, Consultores Ayala y Cabrera 2008. Proporcionados por DOH MOP, Borrador Informe Final.
- Plan de Inversiones en Embalses y Obras Mayores de Riego para la V Región" presentado por la Mesa Técnica de Ligua Petorca, 2008.

En estos informes se consignan los anteproyectos de los siguientes embalses:

- Embalse Los Ángeles, 51 Hm³
- Embalse Alicahue, 56 Hm³
- Embalse Sobrante, 31 Hm³
- Diseño de Embalse Chacrillas 27 Hm³, Consultores EDIC, 2002. Proporcionados por DOH MOP Informe Final.

Antecedentes que se agregan con este informe:

- a) El costo de aumentar la altura de la presa de Chacrillas desde 27 Hm³ para llegar a la capacidad de 40 y 84 Hm³, la disponibilidad del recurso hídrico y la situación de los derechos de aprovechamiento del agua para esta mayor capacidad.
- b) La factibilidad física y costo preliminar de varias alternativas de canal de trasvase.
- c) El funcionamiento del sistema utilizando los embalses en anteproyecto en Petorca y Ligua, y el embalse Chacrillas.
- d) Costos de las obras y la cantidad de hectáreas regables con los recursos trasvasados para varias alternativas.

Funcionamiento del Sistema:

Después de modelar diferentes opciones de volúmenes trasvasados, capacidades de los canales, y los costos correspondientes al nivel de perfil, se recomienda continuar los estudios del trasvase sobre la base del funcionamiento del sistema de embalses "Chacrillas – Los Angeles" y "Chacrillas – Los Angeles – Alicahue" que resultan con costos inferiores a US\$20000 por hectárea. Se descartó el trasvase a la cuenca del río Petorca por su costo superior a US\$ 34.000 por hectárea.

También se llega a la conclusión que una opción más atractiva es utilizar los mayores recursos del Embalse Chacrillas en el riego de Putaendo y Aconcagua, ya que hay superficie regable y se ahorra el alto costo de los canales de trasvase.

Más antecedentes sobre el funcionamiento del sistema, los embalses, los volúmenes de trasvase, otros aspectos operacionales se encuentran señalados en el punto 3, de la sección C "Modelación Hidrológico Operacional del Sistema de Trásvase Putaendo – La Ligua".

ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacrilas. Cubicaciones y Presupuestos

B. TRAZADO DE CANALES DE TRASVASE, EMBALSE CHACRILLAS. CUBICACIONES Y PRESUPUESTOS

INDICE de la Sección B

1.	PLANO DE SITUACION Y UBICACIÓN	2
2.	INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE CANALES	3
2.1	Recopilación de Antecedentes	4
2.2	Metodología del Trazado de Canales	5
2.3	Criterio de Diseño de Canales	5
2.4	Mecánica de Suelos	15
3.	ALTERNATIVAS DE TRASVASE	16
3.1	TRAZADO DEL CANAL CHACRILLAS – LOS ANGELES	16
3.2	TRAZADO DEL CANAL CHACRILLAS – ALICAHUE	18
3.2.1	Alternativa A	18
3.2.2	Alternativa B	19
3.3	TRAZADO DEL CANAL CHACRILLAS – ALICAHUE – PETORCA	21
3.4	TRAZADO DEL CANAL PUTAENDO – LOS ANGELES	24
3.4.1	Alternativa A	24
3.4.2	Alternativa B	25
3.5	RESUMEN ALTERNATIVAS DE TRAZADO	27
4.	PERFIL DEL EMBALSE CHACRILLAS	28
5.	CUBICACIONES Y PRESUPUESTO EMBALSE CHACRILLAS	29
6.	DETALLES DE CUBICACION Y PRESUPUESTOS	31

NOTA: Las imágenes satelitales con el trazado de los canales se encuentran, en una mejor definición, en la versión digital de éste trabajo.

ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacrilla. Cubicaciones y Presupuestos

1. PLANO DE SITUACION Y UBICACION

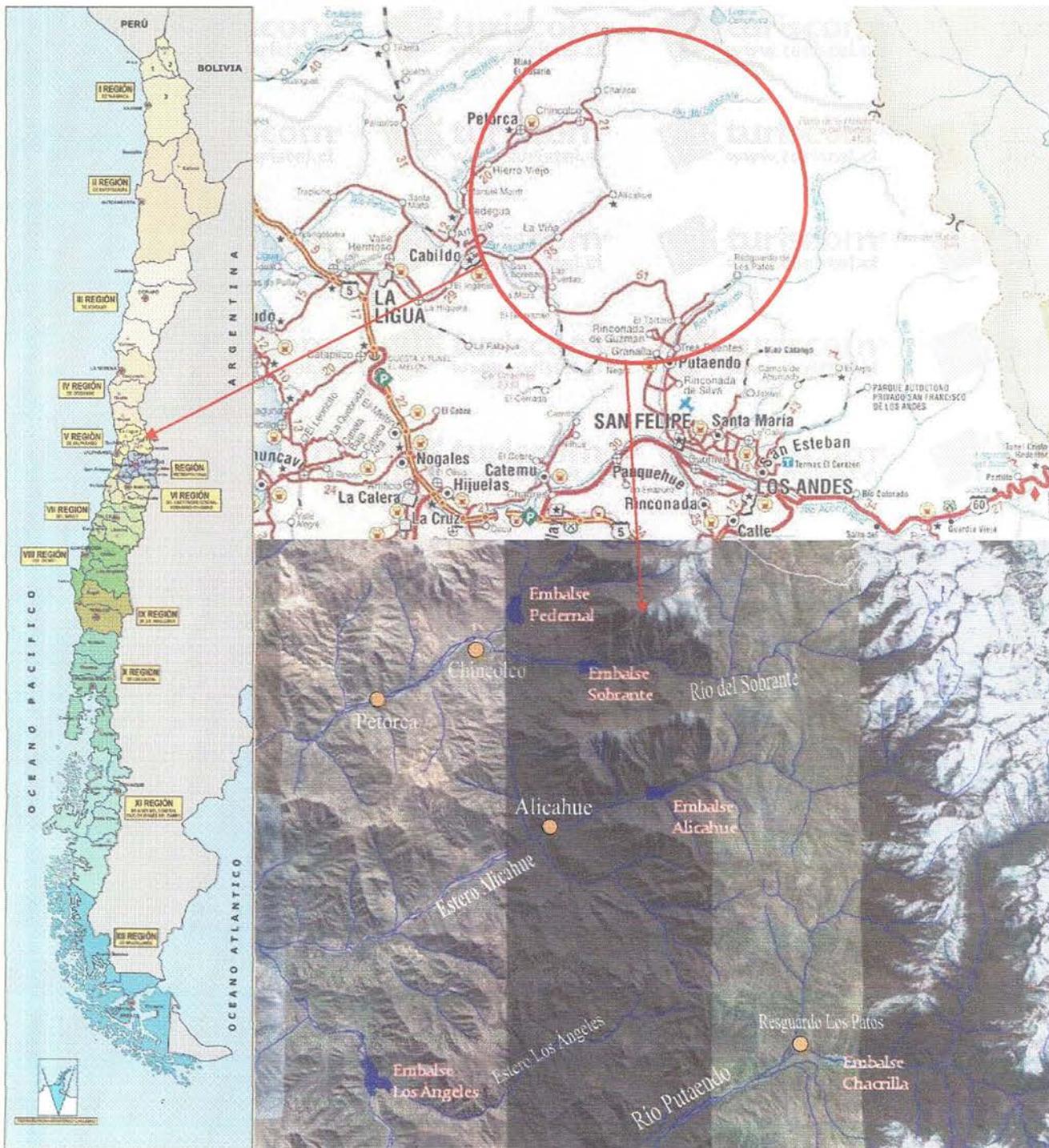


Ilustración 1.1: Plano de ubicación

2. INTRODUCCIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO

La cuenca del río Putaendo se ubica en el lado Nor-Oriental de la cuenca del río Aconcagua y comprende desde el límite con Argentina hasta la junta con el río Aconcagua en su segunda sección, a unos 13 km. aproximadamente aguas abajo del puente del Rey, la entrada sur a la ciudad de San Felipe, y abarca una extensión, aproximada, de 1.147 Km². La subcuenca del río Putaendo se forma con el estero Chalaco por el norte y el río Rocín por el oriente. Este último, con un área aportante de 691 Km², es quien alimenta el embalse Chacrillas, actualmente diseñado con una capacidad de 27 Hm³, volumen comprometido para uso del valle de Putaendo dentro del marco del manejo integral de los recursos hídricos de valle del Aconcagua. Sin embargo, a pesar del volumen comprometido y dado las características geográficas e hidrológicas de la cuenca, aún hay un volumen disponible o excedente del volumen embalsado, el cual puede ser aprovechado.

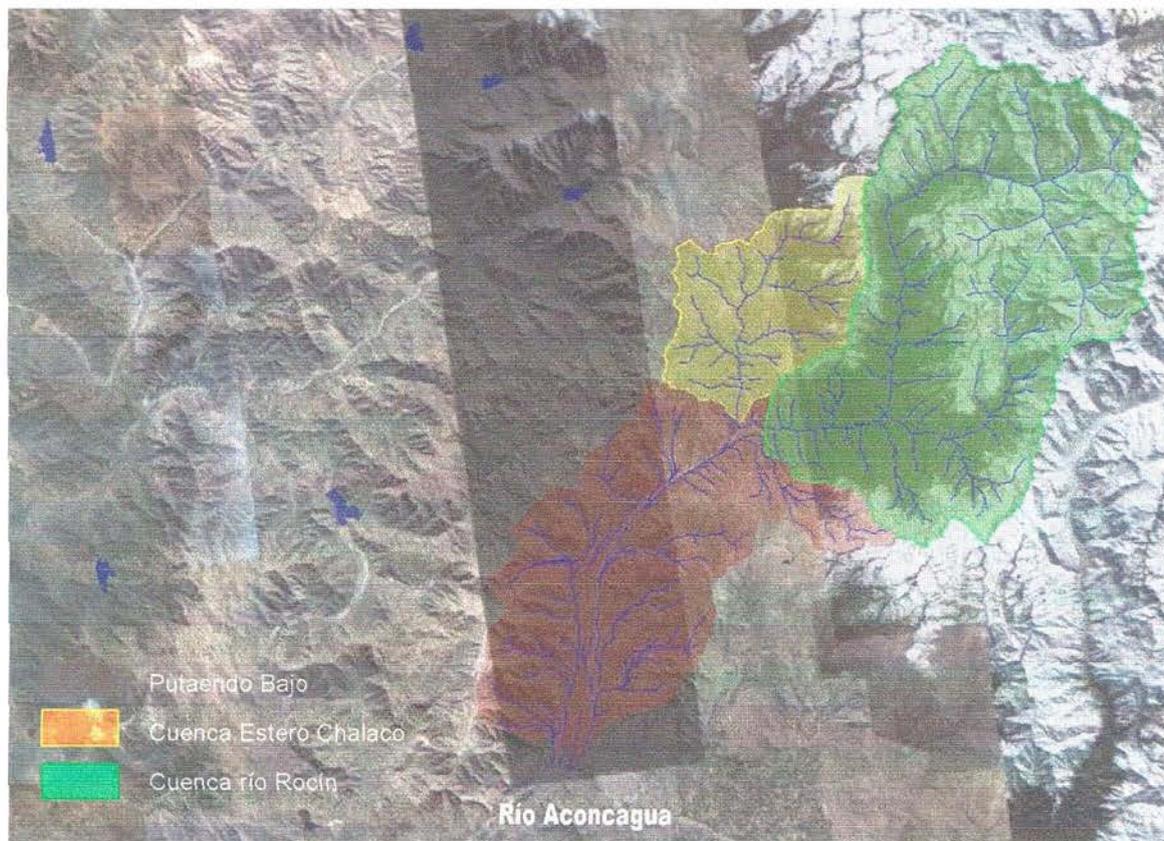


Figura 2.1: Cuenca Río Putaendo (Toda el área en colores)

A partir de lo anterior, el presente estudio tiene por objetivo analizar la factibilidad de trasvasar al sistema Ligua-Petorca los excedentes de lo que el embalse Chacrillas tiene comprometido con el valle de Putaendo. Para ello se han estudiado y cuantificado diferentes alternativas de trasvase al igual que aumentar la capacidad de almacenamiento de dicho embalse. Estas alternativas, que contemplan siempre como fuente el embalse Chacrillas o el río Putaendo, proponen diferentes puntos de entrega dentro de los valles Ligua y Petorca de las aguas trasvasadas. Estos puntos de entrega corresponden a lugares de regulación de las aguas superficiales de dichos valles, como son los embalses Los Ángeles, Alicahue, El Sobrante y Pedernal.

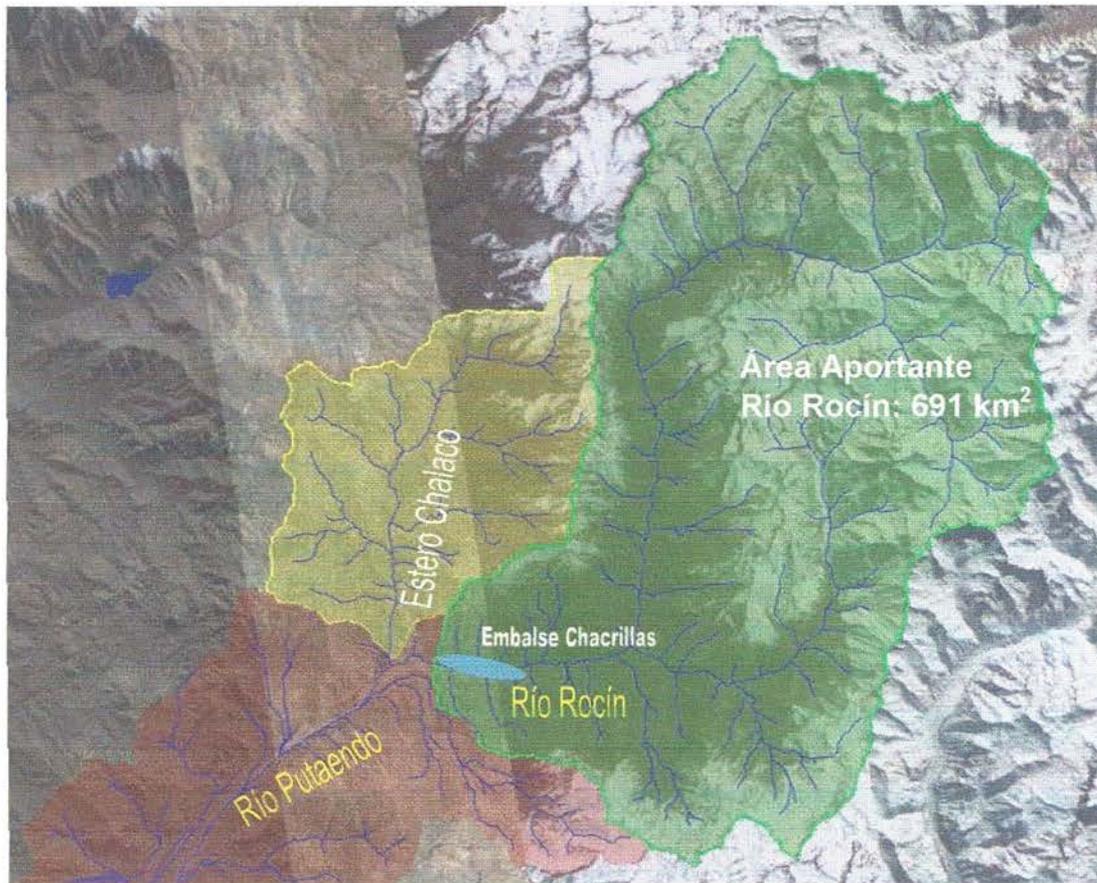


Figura 2.2: Área aportante a embalse Chacrillas

El presente estudio analiza la factibilidad técnica general de las distintas posibilidades de trasvase y los costos generales asociados a cada una de ellas. Esto quiere decir que se analizó si es posible técnicamente llevar agua de una cuenca a otra en forma gravitacional, con qué métodos y a qué puntos de entrega. Para cada una de estas alternativas se cuantificaron las obras asociadas a ella y se valorizó estimativamente en forma global, de acuerdo a la información disponible, los costos de dichas obras.

2.1 Recopilación de Antecedentes

Para los objetivos de este trabajo se debió contar con información de la zona de interés, es decir, del embalse Chacrillas como de Ligua-Petorca. Para estos se consultó diferentes estudios realizados, tales como "Embalse Chacrillas" realizado por EDIC Ingenieros 2002 "Modelación de Escenario de Regulación y Traspase de Recursos Hídricos sobre Cuenca de Putaendo con Embalse Chacrillas Ampliado" de la Comisión Nacional de Riego y "Obras de Regulación para los Valles de La Ligua y Petorca. V Región – DOH – MOP" realizado por AC Ingenieros Consultores Ltda. entre otros. Estas referencias se consultaron principalmente con el objetivo de verificar la existencia de los recursos a trasvasar, obras proyectadas y sus características, y los costos estimados para ellas. En base a la información disponible se analizó la factibilidad técnica y sus costos asociados.

ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacrilas. Cubicaciones y Presupuestos

Una de las principales herramientas utilizadas para la determinación de los posibles trazados de las conducciones de los trasvases del presente estudio es la topografía satelital digital de la zona "SRTM Worldwide Elevation Data (3 arc second resolution)". La "Shuttle Radar Topographic Mission" (SRTM) de la NASA ha proporcionado datos digitales de elevación (DEMs) para el 80% de la tierra. Estos datos son actualmente gratuitos y distribuidos por la USGS (U.S. Geological Survey) y están disponibles para la descarga desde el ftp del sitio de la USGS. Los datos de SRTM están disponibles como DEMs de 3 arco de segundo (resolución de aproximadamente 90 m.).

El error vertical de los DEM's es menor a 16 m., salvo en aquellos lugares donde existe la presencia de agua o sombras en donde no se permite cuantificar la elevación. En los lugares donde existen interferencias de envergadura, tales como ciudades con grandes edificaciones o bosques muy densos se pueden presentar errores mayores ya que la información recopilada por los satélites corresponde a la cota superior de dichas interferencias, obteniendo errores tan grandes como el tamaño de estas, obteniéndose para el caso de ciudades hasta 100 m. de error. Esto no ocurre para el caso en estudio ya que los lugares donde se proyectan las obras corresponden a sectores despoblados y de escasa vegetación, obteniendo buenos resultados.

Esta información, gestionada a través de software de sistemas de información geográfica (GIS), nos permite obtener una buena estimación de cotas, geomorfología y distancias para verificar y calcular los diferentes trazados en estudio, las cuales han sido contrastados y verificados con las planchetas de escala 1:50.000 del IGM, a fin de cerciorarse de que tales antecedentes no presentan errores significativos como los señalados en el párrafo anterior.

Una vez estudiados, calculados y valorizados se deberán chequear en terreno y verificar que los resultados obtenidos son factibles de realizar, procediendo a una segunda etapa de anteproyecto avanzado en el cual se estudiará más en profundidad la o las alternativas seleccionadas para obtener un diseño final con mayor detalle.

2.2 Metodología del Trazado de Canales

Para la determinación de los trazados de canales de las diferentes alternativas se realizó a partir de los DEM's de las zonas de interés mediante softwares GIS, teniendo claro cuál es la cota de partida de cada situación. Con estos softwares se trabajó en base a curvas de nivel por las cuales se trazaron las conducciones respetando las pendientes definidas para estas de acuerdo a los criterios de diseños de los canales para cada uno de los caudales considerados. En base a eso se estimó las longitudes de cada tramo, cota de salida y de llegada de acuerdo a la pendiente y la longitud del trazado y del tipo de conducción.

El análisis de los posibles trazados de cada uno de las aducciones propuestas, se validó sobre la cartografía base en escala 50.000 del IGM. En una segunda etapa, los trazados definidos sobre esta cartografía deberán ser validados mediante recorridos de terreno, en los cuales se revisarán las características fundamentales de las fajas propuestas para los emplazamientos de las aducciones, con el propósito de definir ajustes en el trazado, obras especiales y eventuales expropiaciones.

2.3 Criterio de Diseño de Canales

La mayor parte de los canales artificiales revestidos y construidos puede resistir la erosión de manera satisfactoria y, por consiguiente, se consideran no erosionables. Los canales artificiales no revestidos por lo general son erosionables, excepto aquellos excavados en cimentaciones firmes, como un lecho de roca. En el diseño de los canales artificiales no erosionables de este estudio, los factores de velocidad máxima permisible y de fuerza tractiva permisible no hacen parte

ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacrillas. Cubicaciones y Presupuestos

del criterio que debe ser considerado. Para estos diseños simplemente se calculan las dimensiones del canal artificial mediante una ecuación de flujo uniforme y luego se decide acerca de las dimensiones finales con base en la eficiencia hidráulica o reglas empíricas de sección óptima, aspectos prácticos constructivos y economía.

El revestir o no revestir un canal para conducir agua de riego es materia de un estudio técnico-económico. En efecto, de existir pérdidas de agua en el canal no revestido, por filtraciones motivadas por terrenos permeables, y con una napa estable o variable situada a cota inferior de la del eje hidráulico del canal, estas pérdidas obligan a considerar un mayor caudal de diseño. Esta imposición tiene como consecuencias mayores dimensiones en la sección del canal y de sus obras de arte, lo que se traduce en mayores inversiones. Cabe señalar que esta situación no se produce en el presente proyecto, por cuanto se ha fijado el caudal de diseño en bocatoma, por lo cual las eventuales filtraciones disminuyen la tasa de riego en los predios. Para resolver este aspecto se pueden considerar los ensayos de permeabilidad que se deberán realizar en el trazado de los canales, con el objetivo de cuantificar adecuadamente estas eventuales pérdidas. Alternativamente, estas pérdidas podrán estimarse utilizando la fórmula de Moritz.

$$P=0.0116\left(\frac{Q}{V}\right)^{1/2}C$$

donde,

- P: Pérdidas por filtración (m³/s/kilómetro de canal)
- Q: Caudal (m³/s)
- V: Velocidad media (m/s)
- C: Constante dependiente del tipo de suelo (pies³/pies²/24 horas)

Los valores del coeficiente C se presentan en la Tabla 2.3

Tipo de Suelo	C (pies ³ /pies ² /24 hrs)
Grava cementada y capa dura con franco arenoso	0,34
Arcilloso y franco arcilloso	0,41
Franco arenoso	0,66
Cenizas volcánicas	0,68
Arenas, cenizas volcánicas o arcilla	1,2
Arenoso sin roca	1,68
Arenoso con grava	2,2

Tabla 2.3 Coeficiente C en fórmula de Moritz

Si consideramos que el tipo de suelo donde se emplazarán los canales es del tipo es del tipo arcilloso y franco arcilloso, se tiene que las pérdidas por kilómetro de canal es del orden de los que se muestra en la tabla 2.4:

Caudal (m ³ /s)	3	4	8	12
Pérdidas por Filtración (m ³ /s/Km)	0,007	0,008	0,010	0,011
Pérdidas para Canal de 30 km (m ³ /s)	0,202	0,226	0,294	0,341
Pérdidas para Canal de 50 km (m ³ /s)	0,337	0,376	0,489	0,568

Tabla 2.4 Perdidas por filtración según formula de Moritz

Si se considera, como se verá más adelante, que la longitud de los trazados de canales son del orden de los 30 a 50 kilómetros se pueden llegar a tener pérdidas del orden los 500 l/s. Con lo anterior se tiene que es importante considerar la decisión de revestir además de las ventajas que se producen, ya que se disminuyen los costos futuros de mantención y se aumenta la vida útil del canal al asegurarse que se mantendrá la sección de diseño.

ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacrillas. Cubicaciones y Presupuestos

La ecuación de flujo uniforme o ecuación de Manning utilizada para el dimensionamiento de las diferentes alternativas de canal según el caudal a transportar está dada por la siguiente expresión:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2}$$

Con:

Q = Caudal (m³/s)

A = Área de la Sección (m²)

R = Radio Hidráulico (m) = Área/Perímetro Mojado

S = Pendiente del canal (m/m)

N = Coeficiente de Rugosidad de Manning

Los criterios utilizados para el dimensionamiento de los canales fueron:

- Cálculo de la capacidad por Manning.
- Revancha de un 20% de la altura de diseño con un valor mínimo de 0,20 m.
- Base o ancho del fondo del canal igual a un metro.
- Coeficientes de rugosidad de Manning 0,014 hormigón
- La pendiente longitudinal de la aducción se supuso de 0.1%.

A partir de la ecuación de flujo uniforme o ecuación de Manning y utilizando los criterios señalados se pueden despejar la altura normal de agua obteniéndose canales de las características presentadas en la tabla 2.5 para cada uno de los diferentes caudales.

La ilustración 2.6 grafica el corte tipo de la sección del canal propuesto con sus diferentes medidas fijas y variables (profundidad H y ancho basal B). En este esquema se ilustra la suposición realizada para el cálculo de movimientos de tierra, la que considera una pendiente del terreno natural como una ladera de 45° como la pendiente media de los terrenos por los que se emplazan los trazados de canales. Esto debido a que los canales se emplazaran principalmente en laderas de cerro. Este valor podrá ser corregido una vez revisado en terreno, pero para una primera estimación es bueno tener un valor algo conservador.

GEOMETRIA	CANAL TRAPEZIAL Aft 3 m ³ /s	CANAL TRAPEZIAL Aft 4 m ³ /s	CANAL TRAPEZIAL Aft 8 m ³ /s	CANAL TRAPEZIAL Aft 12 m ³ /s
Pendiente de Fondo (%)	0,10	0,10	0,10	0,10
Espesor Hormigón (m)	0,10	0,10	0,10	0,10
Revancha (m)	0,24	0,24	0,24	0,24
Altura Total (m) [H]	1,14	1,33	1,88	2,00
Ancho Basal (m) [B]	1,00	1,00	1,00	1,50
Talud (H/V)	0,67	0,67	0,67	0,67
Velocidad (m/s)	1,49	1,60	1,89	2,10
Diagonal (m)	1,66	1,89	2,55	2,69
Corte Estimado (m ²)	22,33	24,63	32,00	39,04
Relleno Estructural (m ²)	13,50	13,50	13,50	13,50
Longitud L (m)	1,00	1,00	1,00	1,00

Tabla 2.5: Características de los canales



ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacillas. Cubicaciones y Presupuestos

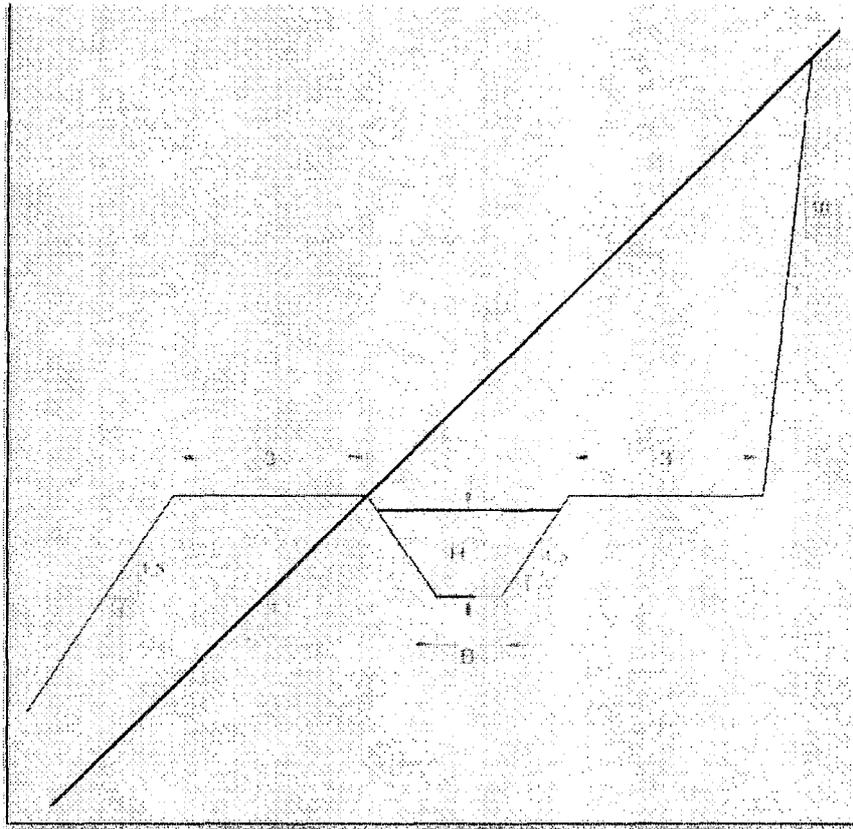


Ilustración 2.6: Corte esquemático de la sección del canal.

2.3.1 Sifones

a) Material

Para el caso de sifones enterrados, se considera solamente el empleo de hormigón, ya sea premoldeado o construido in situ, con velocidades máximas de 4 m/seg. En el caso de sifones aéreos o a la vista, se considera aceptable también el empleo de acero con velocidades máximas de 6 m/seg.

b) Pérdidas de Carga

El cálculo de las pérdidas de carga se basa en los conceptos presentados en la Figura 2.7. La pérdida total se incrementa en un 10% como margen de seguridad contra la posibilidad que el sifón produzca un efecto de remanso en el tramo del canal ubicado aguas arriba.

Otras pérdidas singulares pueden calcularse según los siguientes criterios:

- Rejas

Se recomienda la fórmula de Fellenius:

$$h_1 = KU_c^2 / 2g \text{ en que } U_c = \text{velocidad media del canal}$$

$$K = \frac{(S)^2}{S + b} \text{ sen} A$$

ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacriñas. Cubicaciones y Presupuestos

En la fórmula anterior S es el ancho de la barra, b la separación entre barras y A es el ángulo de la rejilla con respecto a la horizontal.

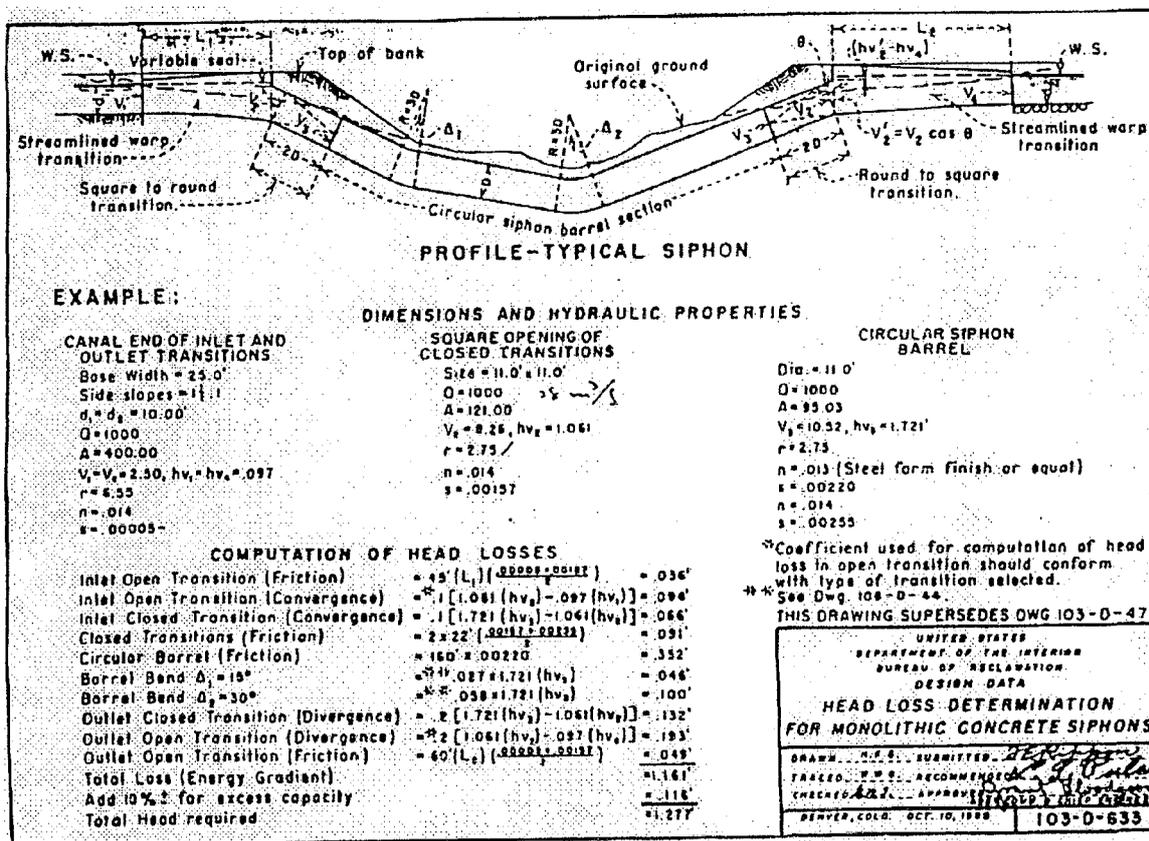


Figura 2.7: Head Loss Determination for Monolithic Concrete Siphons

- Embudo de entrada

Se utiliza la relación recomendada por el Bureau of Reclamation:

$$h_2 = 0.1U_s^2 / 2g ; U_s = \text{velocidad en el sifón}$$

- Embudo de salida

Se recomienda la relación propuesta por el Bureau of Reclamation:

$$h_3 = 0.2 \frac{U_s^2 - U_c^2}{2g} \text{ en que } U_s = \text{velocidad en el sifón y } U_c = \text{velocidad en el canal}$$

c) Sumergencia del Sifón

A la entrada del sifón, se considera aceptable para el caudal de diseño, una sumergencia que varía entre 1.1 y 1.5 dhv, siendo dhv la diferencia en alturas de velocidad.

Para caudales inferiores al de diseño, el sifón puede quedar sin sello de agua, circunstancia en la cual el flujo entrará libremente al sifón, produciéndose un resalto en su interior. El diseño se puede verificar con la Figura 2.8, para asegurar una operación satisfactoria. La capacidad del sifón se puede verificar suponiendo pérdidas de carga máximas, utilizando coeficientes de rugosidades mayores al de diseño.

ANALISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacrillas. Cubicaciones y Presupuestos

Para una pérdida de carga mínima a la salida del sifón, se procura no tener sumergencia. Si ésta es mayor que 1/6 de la altura de la boca de salida, la pérdida de carga se calcula como ensanche brusco (ver sección 7.4 de "Open Channel Flow" por F.M. Henderson).

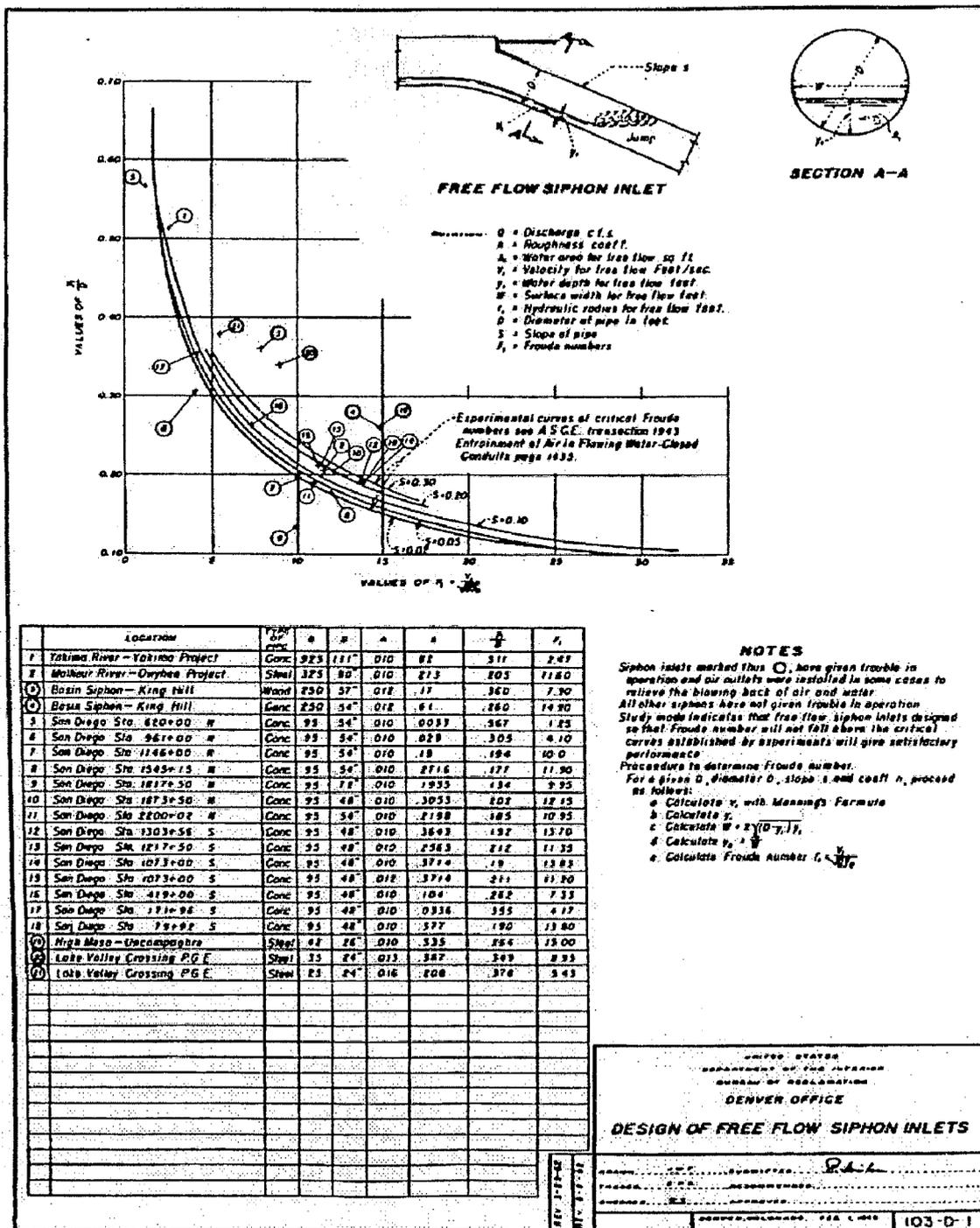


Figura 2.8: Design of Free-Flow Siphon Inlets

ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASFASE RECURSOS HIDRÁVICOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacillas. Cubicaciones y Presupuestos

d) Cámaras de Visita y de Desagüe

De acuerdo con las Especificaciones Técnicas para Proyectos de Canales de la Dirección de Obras Hidráulicas (ex Dirección de Riego), la distancia máxima entre cámaras de visita en un sifón es de 200 m.

Para los casos que no exigen estas cámaras, se considerará cámaras de desagüe que permitan el vaciamiento de la obra. Para las cámaras de desagüe que no evacúan gravitacionalmente se debe considerar el uso de equipos de bombeo de modo de producir el vaciado.

e) Cámaras de Entrada y de Salida

En los proyectos de la Dirección de Obras Hidráulicas se acostumbra diseñar las cámaras de entrada y de salida de acuerdo con criterios normalizados tanto desde el punto de vista hidráulico como estructural. En el presente caso se seguirán los criterios de diseño hidráulico corrientes, pero en cambio para el diseño de la parte estructural se empleará hormigón armado, lo cual conduce a estructuras esbeltas y livianas.

El diseño de vertederos de seguridad es analizado dentro del conjunto global de obras, ya que dado que se trata de una estructura costosa, es esencial estudiar su óptima ubicación. En el caso de disponer una reja en la entrada de un sifón, deberá proyectarse una obra de rebase en el canal, que podrá ser un vertedero lateral.

f) Estudio de Socavación.

Para la determinación de la profundidad a la que se debe situar bajo el lecho del cauce natural un sifón enterrado, se debe considerar un estudio de socavación generalizada. Este estudio es de fundamental importancia, por cuanto un descenso del lecho del cauce natural durante una crecida, puede llegar a dejar al descubierto el sifón, induciendo sobre éste solicitaciones mecánicas para las cuales no ha sido calculado.

La determinación de la profundidad de socavación se realiza mediante la aplicación de un método de estimación del gasto sólido de fondo, un tramo que se extienda hacia aguas arriba y aguas debajo de la sección de cruce del sifón.

La diferencia entre el gasto sólido de fondo calculado en la sección de aguas abajo y aguas arriba en la zona del sifón, permite estimar la cantidad de material que es arrastrado por sobre la clave de éste. Este volumen de material puede distribuirse en la sección de cruce del sifón, de manera de determinar la profundidad media de descenso del lecho.

Para el cálculo de la socavación también es posible utilizar métodos basados en el concepto de velocidad crítica de arrastre, siendo el más habitualmente utilizado el criterio de Neill (Diseño Hidráulico de Puentes, L. Ayala, 1983).

El gasto sólido de fondo puede estimarse a partir de las relaciones de Meyer-Peter y Müller (1948), Parker (1990), Parker-Klingeman y Mc Lean (1982) ó Graf y Suszka (1987), que corresponden a expresiones aplicadas a cauces de similares características a ríos chilenos.

Es importante señalar que estos métodos entregan el arrastre de fondo potencial del cauce para condiciones de escurrimiento y granulometría del lecho dadas, sobreestimando en general el valor de éste. Los resultados obtenidos deben tomarse con precaución y considerando siempre la situación directa observada en terreno.

ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASFASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacrillas. Cubicaciones y Presupuestos

Una vez determinada la socavación general del lecho, se fija la cota de la clave del conducto, considerando una revancha mínima de 1 m.

Para sifones aéreos que deban ir apoyados en cepas, es necesario estimar la socavación local al pie, según los criterios expuestos para estos efectos en el "Diseño Hidráulico de Puentes", publicación del Centro de Recursos Hidráulicos de la Universidad de Chile (1983). También puede revisarse la memoria del Depto. de Ing. Civil de la Universidad de Chile: "Socavación Local en Pilas y Estribos de Puentes" (Cabello, 1998).

2.3.2 Canoas

La sección más económica de la canoa resulta en velocidades superiores a las permitidas en un canal sin revestir, razón por la cual se diseñarán transiciones adecuadas a la entrada y salida de cada canoa. Para esto se utilizarán los criterios establecidos en la sección 11-6 del libro "Open-Channel Hydraulics" (Ven Te Chow).

El diseño asegura un escurrimiento con velocidades menores a la crítica y con Bernoulli superior a un 10% del Bernoulli crítico, de modo de evitar inestabilidad en el flujo y ondulaciones. En este sentido, el empleo de la fórmula de Manning para la pérdida de carga contempla un cálculo de verificación suponiendo un valor de "n" inferior en un 20% al valor nominal de diseño. Se considera una revancha similar a la utilizada en canales.

2.3.3 Cruce de Quebradas, Canales y Regueros

La situación de cruce de cauces naturales y artificiales se puede presentar en diversas partes del trazado de los canales. En el caso de ríos, esteros o quebradas de importancia, el canal atraviesa en sifón o canoa, en cuyo caso se calculará el eje hidráulico del cauce en crecidas. Para quebradas de menor magnitud, se considera el cruce de la quebrada en sifón, alcantarilla, canoa o la caída por vertedero en el interior del canal. En los casos relevantes, se contará con el caudal de crecida centenario entregado por el estudio hidrológico y se calculará las alturas de aguas máximas mediante el uso de la fórmula de Manning.

Para el cruce de regueros, se adoptará la solución tipificada en el Manual de Obras Tipo de la Dirección de Obras Hidráulicas.

2.3.4 Disipadores de Energía

Aparte de los disipadores de impacto, obras que a menudo van asociadas a las alcantarillas, interesa mencionar aquí las estructuras hidráulicas comúnmente usadas para la disipación de energía de caudales intermedios.

a) Rápido de Descarga y Colchón Disipador

Son estructuras que utilizan el resalto hidráulico como medio de disipación del exceso de energía. El cálculo del eje hidráulico en rápidos de descarga se recomienda realizarlo con los siguientes valores del coeficiente de rugosidad de Manning:

$n = 0,010$, para maximizar el contenido energético del flujo y diseñar el colchón disipador.

$n = 0,018$, para determinar las alturas de muro que tomen en cuenta la acción de ondas, la emulsión aire-agua, etc.

ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
 B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacrillas. Cubicaciones y Presupuestos

Para el diseño de la trayectoria al final del rápido de descarga y la fijación de revanchas, se recomienda utilizar los criterios contenidos en "Design of Small Dams" (página 390), del Bureau of Reclamation.

Para verificar la posible existencia de régimen pulsátil en el rápido de descarga, se aplican los criterios del número de Vedernikov y Montuori, como aparecen descritos en "Design of Small Canal Structures", publicación de BUREC.

Respecto a los colchones de disipación de energía, el Bureau of Reclamation ha estandarizado cuatro tipos que cubren una amplia gama de situaciones. Para su diseño, se puede utilizar las recomendaciones contenidas en el documento técnico de A.J. Peterka.

b) Caídas Dentadas

Una alternativa al colchón disipador terminal es la caída dentada, especialmente cuando la diferencia de niveles no es demasiado grande y se trata de aguas limpias. Para caídas de gran magnitud y mucho caudal, la caída dentada deja de ser económicamente atractiva debido al ancho de la obra y a los numerosos bloques requeridos. Sin embargo, las caídas dentadas son técnicamente recomendables en los casos en que existe variación en el nivel de aguas abajo.

El diseño de las caídas dentadas ha sido prácticamente estandarizado. El procedimiento aparece en varios textos, entre ellos el "Design of Small Canal Structures" del Bureau of Reclamation.

Para diferencias de cota hasta 2,5 m se estudiará la conveniencia de diseñar gradas o caídas verticales, cuyo diseño también ha sido normalizado por el Bureau of Reclamation y que forman parte también del Manual de Obras Tipo de la Dirección de Obras Hidráulicas.

2.3.5 Túneles

Debido a que no se cuenta con análisis geotécnicos de las zonas donde se emplazarían los túneles, se propuso una sección tipo para los túneles los cuales deberán ser verificados en la etapa de proyecto correspondiente.

La conducción está conformada por un túnel superior con una sección de excavación mínima constructiva de 2,5 m de ancho por 2,5 m de altura, con bóveda semicircular y paredes verticales.

Para el dimensionamiento del túnel, se han utilizado los siguientes criterios y bases de diseño:

- Ecurrimiento en túnel debe ser sub crítico (pendiente utilizada de 0,1%)
- Coeficiente de Manning en hormigón $n = 0,016$
- Coeficiente de Manning en Shotcrete $n = 0,022$
- Altura máxima de escurrimiento para caudal de diseño, $2/3$ de la altura del túnel.

Dimensiones y Capacidad de Tunel con Boveda						
Q (m ³ /s)	B (m)	H (m)	R (m)	A (m ²)	Y _{max} (m)	Y (m)
3,00	2,50	1,25	1,25	5,58	1,67	1,17
4,00	2,50	1,25	1,25	5,58	1,67	1,45
8,00	3,10	1,55	1,55	8,58	2,07	1,97
12,00	3,55	1,78	1,78	11,25	2,37	2,34

Tabla 2.9: Dimensiones del Túnel para distintos Caudales

Donde:

Q = Caudal en m³/s

B = ancho basal del túnel en metros

H = Altura muro vertical del túnel en metros

R = Radio de la bóveda en metros

A = Área de la sección del túnel en m².

Y_{max} = Altura máxima de agua al interior del túnel en metros

Y = Altura normal de agua al interior del túnel en metros para ese caudal

En base a lo anterior se obtuvo el volumen a excavar para cada una de las alternativas de caudal y de trazado, lo que se ve reflejada en los costos de cada alternativa.

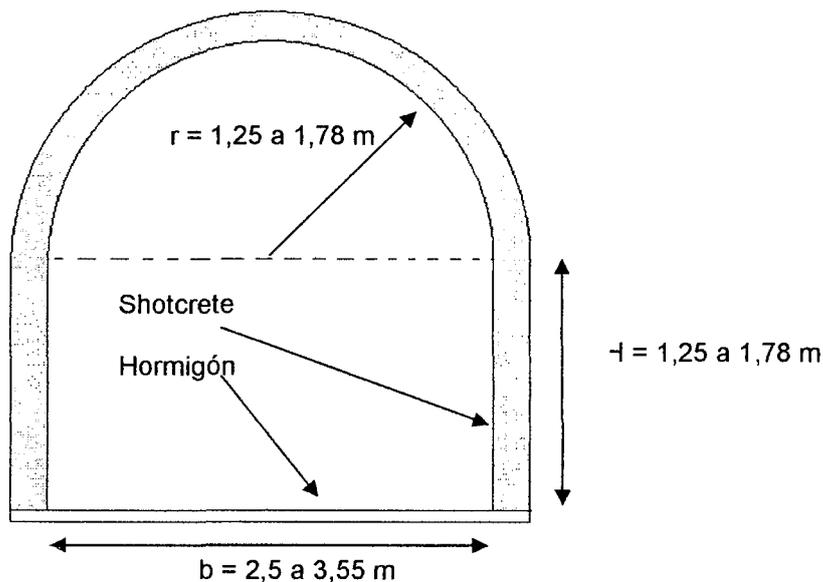


Figura 2.10: Representación hidráulica sección túnel tipo

2.3.6 Compuertas

En el cálculo hidráulico de compuertas, la ecuación fundamental es: (Henderson Pág. 203).

$$q = C_d \cdot a \cdot (2gY_1)^{1/2}$$

en que,

q: Gasto por unidad de ancho (m³/s/m)

Cd: Coeficiente de descarga

a: Apertura de la compuerta (m)

Y₁: Altura de aguas arribas (m)

A su vez, el coeficiente Cd viene dado por la relación:

$$C_d = \frac{C_c}{(1 + C_c \cdot a / Y_1)^{1/2}}$$

en que C_c es el Coeficiente de contracción de la vena.



ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO

B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacrillas. Cubicaciones y Presupuestos

Mientras en las compuertas planas, el coeficiente C_c puede suponerse constante e igual a 0,61, en las compuertas radiales dicho coeficiente depende del ángulo de apertura ϕ y de la razón a/Y_1 . Para el diseño, se considerarán las recomendaciones del libro de Henderson, Sección 6.5. En el caso de compuertas ahogadas, se considerarán para el diseño los gráficos 6-23 y 6-25 del libro de Henderson.

2.4 . Mecánica de Suelos

Por no contarse con un estudio de mecánica de suelos para los canales estudiados se trabajó en base a la hipótesis de que estos serán trazados en faldeos de cerros con pendientes pronunciadas, típicamente compuestos por suelos arcillosos y franco arcillosos de características impermeables moderada, salvo en aquellos lugares en que se atraviesan cauces naturales, los cuales presentan un material más grueso y con mejores características de absorción. Se estableció una relación de 20% suelo natural y 80% roca para efectos de la excavación de estos por el hecho de encontrarse, en su mayoría, en zonas de pendientes fuertes de carácter precordillerano, lugar donde predomina este último material.

Los antecedentes considerados para definir la calidad del terreno se presentan en la sección "J. Anexos".

3 ALTERNATIVAS DE TRASVASE

Con las metodologías y criterios expuestas anteriormente se han evaluado la factibilidad técnica de diferentes alternativas de trasvase desde el valle de Putaendo al sistema Ligua-Petorca. Se estudiaron y cuantificaron conducciones de capacidades de 3, 4, 8 y 12 m³/s para cada uno de los trazados propuestos. Dentro de las alternativas analizadas se encuentran los siguientes trazados de canales:

- Canal Chacrillas – Los Ángeles
- Canal Chacrillas – Alicahue (A y B)
- Canal Chacrillas – Alicahue – Petorca
- Canal Putaendo – Los Ángeles (Cota 950 y Cota 1.050)

* Ver “Alternativas de Traslase”, página A3 y “Unifilares”, página A4.

Estas alternativas de trazado se explicarán más en profundidad en cuanto a características del trazado, tales como cotas, longitudes y tipo de conducción, así como un resumen de los costos que involucrados en cada una de estas alternativas.

Como condición general para todas las alternativas dependientes del embalse Chacrillas se tiene que la cota de salida de los canales desde dicho embalse deberá ser al menos la cota 1.330 msnm. Esto, para garantizar al sistema Aconcagua el volumen comprometido del embalse con este valle, por lo que las obras de trasvase significarán un aumento en la cota de coronamiento del embalse, es decir, deberá aumentar su capacidad de regulación para poder entregar los excedentes disponibles, tema que se desarrolla en mayor profundidad en capítulo posterior.

3.1 TRAZADO DEL CANAL CHACRILLAS – LOS ANGELES

Esta alternativa propone el trasvase desde el embalse Chacrillas hasta la cabecera del embalse Los Ángeles en el valle de la Ligua. Para ello se estudia una combinación de canal abierto de características dependientes del caudal de porteo como los descritos anteriormente en la tabla 2.3, y un túnel de una longitud aproximada de 500 mts.

El trazado de este canal supone una cota de salida desde el embalse Chacrillas a la 1.335 msnm. en dirección poniente por la ribera norte del río Rocín. Este trazado de canal abierto tiene una extensión de 34,5 km al cual se le denomina Tramo CHLA-C1.

Una vez alcanzada dicha distancia, encontrándose en la coordenada UTM PSA56 HUSO 19 E 341.123 y N 6.403.005 y a la cota 1.300,5 msnm., el trazado del canal deberá transformarse en un túnel manteniendo la pendiente de 0,1% para poder atravesar hacia la cuenca o área aportante de embalse Los Ángeles, con una distancia aproximada de 500 m.

Este túnel, denominado Túnel CHLA-T1, de 500 metros de longitud sale a la superficie en la cota 1.300 msnm en la coordenada UTM PSA56 HUSO 19 E 340.989 y N 6.403.479 descargando las aguas al primer curso natural disponible, el que conducirá en forma natural las aguas al embalse Los Ángeles. Este esquema se representa en la figura 3.1 a través de una línea de color azul para el trazado que representa el canal y de color fucsia para el túnel. La línea en color rojo representa el límite del área aportante al embalse Los Ángeles.

Cabe destacar, que este tipo de entrega presenta el problema que la distancia que tendrá que recorrer el agua en condición de escurrimiento natural es considerable, estimándose en al menos 27 km antes de encontrarse con el embalse Los Ángeles en caso de encontrarse lleno. Esto tiene por inconveniente que en dicha distancia existe una alta probabilidad de pérdida de gran

ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacrillas. Cubicaciones y Presupuestos

parte del caudal por infiltración, estimándose en 30 a 50 lts/s/km según la fórmula de Moritz presentada en el capítulo 2.3 dependiendo del caudal entregado al cauce natural, además de ser un agente de erosión producto de la pendiente (estimada en un promedio de 5%) y velocidad (un promedio estimado de 2,5 m/s) que adquiere el agua en este trayecto, lo que significaría un mayor aporte de material sedimentario al embalse Los Ángeles, pudiendo esto acortar la vida útil estimada para este.

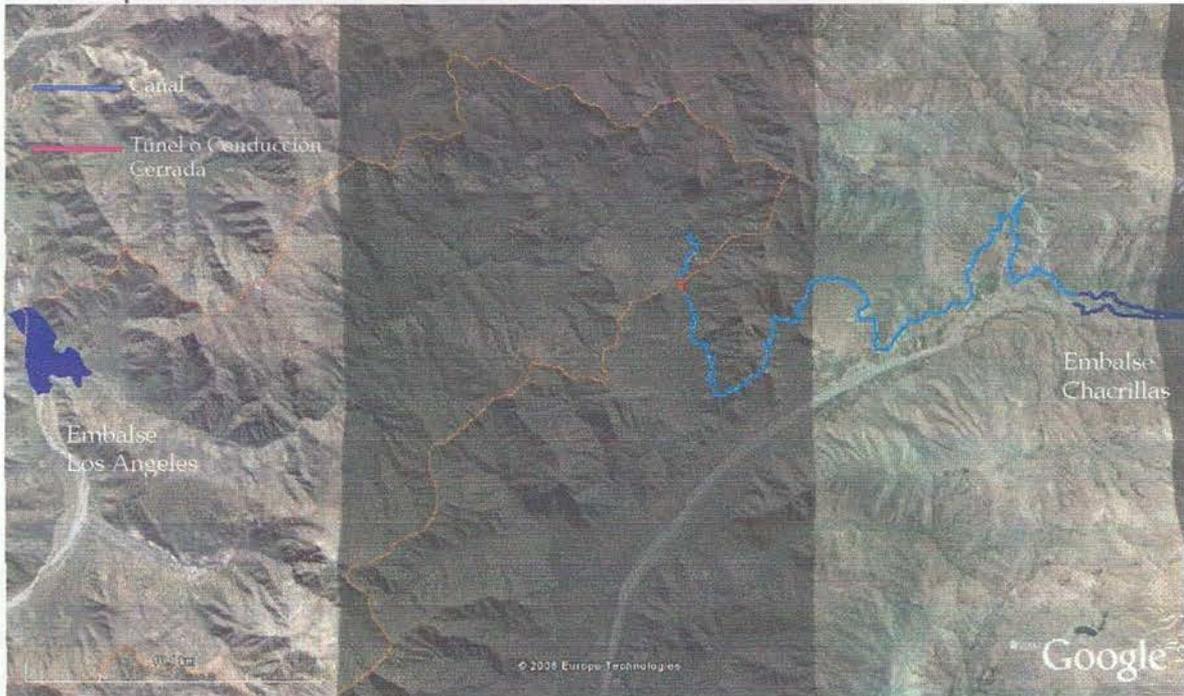
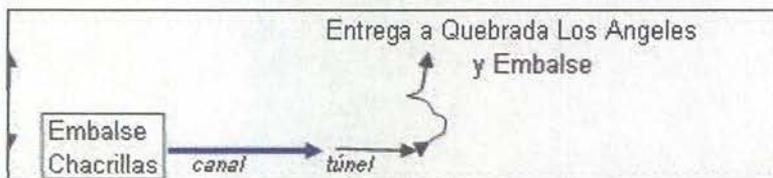


Figura 3.1. Alternativa 1: Trazado canal embalse Chacrillas a cabecera embalse Los Angeles



El resumen de los costos de esta alternativa para cada uno de los caudales propuestos se presenta en la tabla 3.2, proveniente de los cálculos de costos presentados en el anexo de presupuestos. Estos se separan en costos directos, correspondientes a los costos de las obras civiles, y costos totales, en lo que se incluyen además de los costos directos los gastos generales, utilidades, ingeniería entre otros.

CANAL CHACRILLAS -LOS ANGELES		
	COSTOS DIRECTOS (UF)	COSTOS TOTALES (UF)
CASO 3 ³ rys	677.836	1.169.606
CASO 4 ³ rys	729.183	1.258.206
CASO 8 ³ rys	940.896	1.623.515
CASO 12 ³ rys	1.132.269	1.953.729

Tabla 3.2: Resumen Estimación Costos Canal Chacrillas - Los Ángeles

NOTA: Las imágenes satelitales con el trazado de los canales se encuentran, en una mejor definición, en la versión digital de éste trabajo.

3.2 TRAZADO DEL CANAL CHACRILLAS – ALICAHUE

Esta alternativa propone el trasvase desde el embalse Chacrillas hasta el embalse Alicahue en el valle de la Ligua. Para esto se ha estudiado dos posibles alternativas dentro de la misma, las que estudian una combinación de canales abierto de características dependientes del caudal de porteo como los descritos anteriormente en la tabla 2.3, y túneles de diferentes longitudes.

3.2.1 Alternativa A (descartada por mayor costo)

El trazado de este canal supone una cota de salida desde el embalse Chacrillas a la 1.335 msnm. en dirección poniente por la ribera norte del río Rocín entrando posteriormente al valle del estero Chalaco. Este trazado de canal abierto tiene una extensión de 6 km al cual se le denomina Tramo CHA-C1.1.

Una vez alcanzada dicha distancia, encontrándose en la coordenada UTM PSA56 HUSO 19 E 352.405 y N 6.406.494 y a la cota 1.329 msnm., el trazado del canal deberá transformarse en un túnel manteniendo la pendiente de 0,1% para poder atravesar hacia la cuenca del valle La Ligua, con una distancia aproximada de 11,89 km.

Este túnel de 11,89 km. de longitud, denominado Túnel CHA-T1.1, sale a la superficie en la cota 1.317,11 msnm en la coordenada UTM PSA56 HUSO 19 E 343.542 y N 6.414.415 entregando las aguas al canal de las mismas características del tramo CHA-C1.1 denominado Tramo CHA-C1.2.

El tramo CHA-C1.2 tiene una longitud de 21,87 km el cual conduce las aguas al embalse Alicahue por las laderas de los cerros de la ribera oriente de la quebrada La Cerrada. El canal CHA-C1.2 llega al embalse Alicahue a la cota 1.295,24 msnm., lo que significa si este embalse fuese necesario aumentar la cota de su muro sería posible ya que actualmente está concebido con una cota de coronación de 1.140 msnm aprox., quedando una altura disponible de 155 m. tanto para modificaciones en el embalse como posibles cambios en las características del canal. Este esquema se representa en la figura 3.3 a través de una línea de color azul para el trazado que representa el canal y de color fucsia para el túnel.

ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacrillas. Cubicaciones y Presupuestos



Figura 3.3. Alternativa 2: Trazado canal embalse Chacrillas a embalse Alicahue

3.2.2 Alternativa B (se obtienen "Alternativa 2 y 2a" en cuadro de sección F)

El trazado de este canal supone una cota de salida desde el embalse Chacrillas a la 1.335 msnm. en dirección poniente por la ribera norte del río Rocín suponiendo el mismo trazado que el tramo 1 de la alternativa "Canal Chacrillas-Los Ángeles". Este trazado de canal abierto tiene una extensión de 34,5 km al cual se le denomina Tramo CHA-C2.1.

Una vez alcanzada dicha distancia, encontrándose en la coordenada UTM PSA56 HUSO 19 E 341.123 y N 6.403.005 y a la cota 1.300,5 msnm., el trazado del canal deberá transformarse en un túnel manteniendo la pendiente de 0,1% atravesando hacia la cuenca del embalse Los Ángeles, con una distancia aproximada de 500 m. Este túnel, denominado Túnel CHA-T2.1, de 500 metros de longitud sale a la superficie en la cota 1.300 msnm en la coordenada UTM PSA56 HUSO 19 E 340.989 y N 6.403.479 entregando las aguas al canal de las mismas características del tramo 1 denominado Tramo CHA-C2.2.

El Tramo CHA-C2.2 tiene una longitud de 5,76 km el cual conduce las aguas hasta un segundo túnel que atraviesa hacia el valle La Ligua en la cota 1.294,24 msnm. y coordenadas UTM PSA56 HUSO 19 E 340.058 y N 6.407.686 el cual se denomina Túnel CHA-T2.2.

El túnel CHA-T2.2, con una longitud total de 3,17 km sale a la superficie en la cota 1.291,07 msnm en la coordenada UTM PSA56 HUSO 19 E 341.969 y N 6.410.189 entregando las aguas al canal de las mismas características de los tramos anteriores denominado Tramo CHA-C2.3.

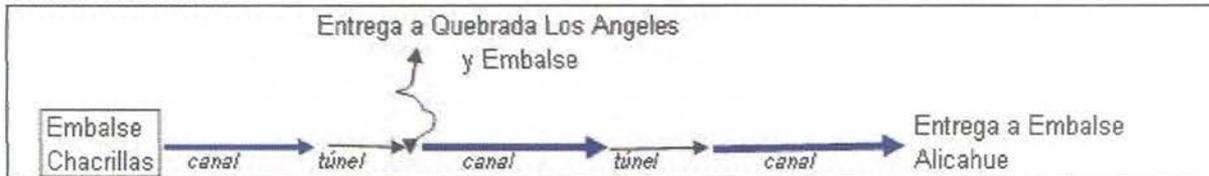
El tramo CHA-C2.3, con una longitud total de 30,77 km llega al embalse Alicahue por las laderas de los cerros de la ribera oriente de la quebrada La Cerrada. a la cota 1.260,3 msnm. Actualmente, la cota de coronación de este embalse está concebida como la 1.140 msnm aprox., quedando una altura disponible de 120 m. tanto para modificaciones en el embalse como posibles cambios en las características del canal. Este esquema se representa en la figura 3.4 a través de una línea de color azul para el trazado que representa el canal y de color fucsia para el túnel.

ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacrillas. Cubicaciones y Presupuestos

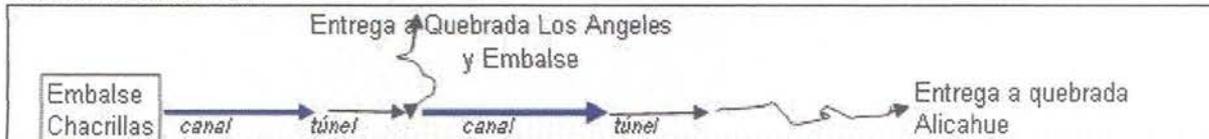


Figura 3.4. Alternativas 2 y 2a: Trazado canal embalse Chacrillas a embalse Alicahue

Unifilar Alternativa 2



Unifilar Alternativa 2a



El resumen de los costos de ambas alternativa para cada uno de los caudales propuestos se presenta en las tablas 3.5 y 3.6, proveniente de los cálculos de costos presentados en el anexo de presupuestos. Estos se separan en costos directos, correspondientes a los costos de las obras civiles, y costos totales, en lo que se incluyen además de los costos directos los gastos generales, utilidades, ingeniería entre otros. De estos dos cuadros se puede apreciar preliminarmente que para el mismo objetivo la alternativa más conveniente es la alternativa 2, ya que el costo de los túneles es muy elevado, por lo que conviene tener menos metros de túnel.

CANAL CHACRILLAS -ALICAHUE Alternativa A		
	COSTOS DIRECTOS (UF)	COSTOS TOTALES (UF)
CASO 3 ³ / ₁ yrs	2.684.146	4.631.494
CASO 4 ³ / ₁ yrs	2.725.626	4.703.068
CASO 8 ³ / ₁ yrs	4.045.274	6.980.121
CASO 12 ³ / ₁ yrs	5.222.861	9.012.047

Tabla 3.5: Resumen Estimación Costos Canal Chacrillas – Alicahue Alternativa A

ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacrillas. Cubicaciones y Presupuestos

CANAL CHACRILLAS -ALICAHUE Alternativa B		
	COSTOS DIRECTOS (UF)	COSTOS TOTALES (UF)
CASO 3 ³rys	1.886.166	3.254.580
CASO 4 ³rys	1.991.882	3.436.992
CASO 8 ³rys	2.691.516	4.644.210
CASO 12 ³rys	3.320.426	5.729.395

Tabla 3.6: Resumen Estimación Costos Canal Chacrillas – Alicahue Alternativa B

3.3 TRAZADO DEL CANAL CHACRILLAS – ALICAHUE - PETORCA

Esta alternativa, al igual que la tratada en el apartado 3.2, propone el trasvase desde el embalse Chacrillas hasta el embalse Alicahue en el valle de la Ligua, pero complementándola con obras que conduzcan las aguas hasta el valle de Petorca, específicamente a los embalse de El Sobrante y Pedernal. Para esto, escogiendo la alternativa 2 del trazado del canal Chacrillas – Alicahue dado su menor costo, se estudian una combinación de canales abierto de características dependientes del caudal de porteo como los descritos anteriormente en la tabla 2.3, y túneles de diferentes longitudes que complementan dicho trazado.

El trazado de este canal supone una cota de salida desde el embalse Chacrillas a la 1.335 msnm. en dirección poniente por la ribera norte del río Rocín suponiendo el mismo trazado que el tramo 1 de la alternativa “Canal Chacrillas-Los Ángeles”. Este trazado de canal abierto tiene una extensión de 34,5 km al cual se le denomina Tramo CHA-C2.1.

Una vez alcanzada dicha distancia, encontrándose en la coordenada UTM PSA56 HUSO 19 E 341.123 y N 6.403.005 y a la cota 1.300,5 msnm., el trazado del canal deberá transformarse en un túnel manteniendo la pendiente de 0,1% atravesando hacia la cuenca del embalse Los Ángeles, con una distancia aproximada de 500 m.

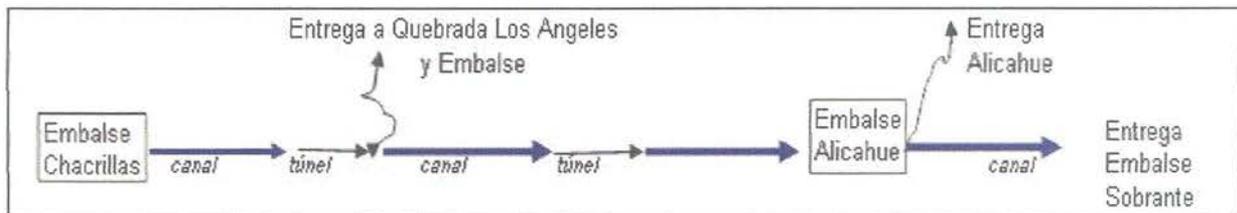
Este túnel, denominado Túnel CHA-T2.1, de 500 metros de longitud sale a la superficie en la cota 1.300 msnm en la coordenada UTM PSA56 HUSO 19 E 340.989 y N 6.403.479 entregando las aguas al canal de las mismas características del tramo 1 denominado Tramo CHA-C2.2.

El tramo CHA-C2.3, con una longitud total de 30.77 km llega al embalse Alicahue por las laderas de los cerros de la ribera oriente de la quebrada La Cerrada. a la cota 1.260,3 msnm. Actualmente, la cota de coronación de este embalse está concebida como la 1.140 msnm aprox., quedando una altura disponible de 120 m. tanto para modificaciones en el embalse como posibles cambios en las características del canal.

ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacrillas. Cubicaciones y Presupuestos



Figura 3.7. Alternativa 3: Trazado canal embalse Chacrillas a embalse Alicahue – El Sobrante - Pedernal



El agua es almacenada en el embalse Alicahue para posteriormente ser conducida al embalse de cabecera del valle de Petorca, es decir, el embalse Pedernal. Esto permite regular de mejor manera las aguas trasvasadas de una cuenca a otra y poder destinarlas de acuerdo a la necesidad del valle, además de una razón económica ya que conducir las aguas desde el valle de Putaendo hasta pedernal en un solo canal significaría muchísimos kilómetros adicionales de canal lo que aumentaría considerablemente los costos, ya que el trazado de este pasaría aguas arriba del embalse Alicahue, dando toda la vuelta por la curva de nivel correspondiente, dada la cota a la que va el canal.

Para efectos del trasvase al valle de Petorca y por las misma razón que la entrega de las aguas al embalse Alicahue, se supuso también la existencia del embalse El Sobrante, ya que a pesar de que el estudio de factibilidad establece que embalse Pedernal es mejor alternativa que El Sobrante mirado desde el punto de vista económico, eso es solo bajo la perspectiva de un sistema independiente y autónomo, pero si el sistema Ligua-Petorca recibe aguas desde Chacrilla podría justificarse su existencia de El Sobrante, materia de otro estudio.

El trazado del canal que sale del embalse Alicahue rumbo al embalse El Sobrante, supone una cota de salida de 1.120 msnm. en dirección poniente por la ribera norte del estero Alicahue, suponiendo que el embalse Alicahue mantiene su cota de coronamiento. Este trazado de canal abierto tiene una extensión de 17 km al cual se le denomina Tramo AS-C1.

ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacrilas. Cubicaciones y Presupuestos

Una vez alcanzada dicha distancia, encontrándose en la coordenada UTM PSA56 HUSO 19 E 329.494 y N 6.427.883 y a la cota 1.103 msnm., el trazado del canal deberá transformarse en un túnel manteniendo la pendiente de 0,1% para poder atravesar bajo el portezuelo de Chincolco o cuesta El Sobrante al de valle Petorca, con una distancia aproximada de 1,35 km.

Este túnel de 1,35 km. de longitud, denominado Túnel AS-T1, sale a la superficie en la cota 1.101,65 msnm en la coordenada UTM PSA56 HUSO 19 E 329.924 y N 6.429.149 entregando las aguas al canal de las mismas características del tramo AS-C1 denominado Tramo AS-C2.

El tramo AS-C2 tiene una longitud de 7,3 km el cual conduce las aguas al embalse El Sobrante por las laderas de los cerros de la ribera sur del río del mismo nombre, llegando al embalse a la cota 1.094,35 msnm. Esto significa que la cota de coronamiento de este embalse deberá ser inferior a esta última cota, hecho que es posible si se piensa que en su origen este embalse se concibió con una cota de coronamiento cercana a la 1.040 msnm. para 50 Hm³.

El agua es almacenada en el embalse El Sobrante para luego ser conducidas al embalse Pedernal con el mismo método ya descrito, es decir, a través de canales abierto. El canal que conduce desde El Sobrante a pedernal deberá salir a una cota que no signifique entregarle el agua a Pedernal muy arriba, ya que la diferencia de cota entre ambos embalses es considerable. Es por ello, que el canal que sale desde el embalse el Sobrante, denominado tramo SP-C1 que parte de la cota 940 msnm. Este canal, de una longitud total de 5,5 km, llega a la cota 934.5 msnm en la coordenada UTM PSA56 HUSO 19 E 331.815 y N 6.435.083 entregando las aguas a un cauce natural para que escurran libremente hasta el embalse Pedernal. Este escurrimiento libre tiene una longitud aproximada de 2,26 km y seguirá la pendiente del terreno, del orden del 6% hasta verter las aguas al embalse en la cota ya señalada. Esto tiene por inconveniente que para esos volúmenes de agua con esas pendientes obtienen escurrimientos con velocidades bastante altas lo que los hace muy erosivos.

El esquema de este trazado se representa en la figura 3.7 a través de una línea de color azul para el trazado que representa el canal y de color fucsia para el túnel. Los costos asociados solo a las obras de conducción para cada uno de los caudales sugeridos se muestran en las tablas 3.8 y 3.9. Estos se separan en costos directos, correspondientes a los costos de las obras civiles, y costos totales, en lo que se incluyen además de los costos directos los gastos generales, utilidades, ingeniería entre otros.

CANAL CHACRILLAS-ALICAHUE-PETORCA				
TRAMO	CASO 3 M3/S		CASO 4 M3/S	
	COSTOS DIRECTOS (UF)	COSTOS TOTALES (UF)	COSTOS DIRECTOS (UF)	COSTOS TOTALES (UF)
CANAL CHACRILLAS-ALICAHUE	1.883.489	3.254.580	1.991.882	3.436.992
CANAL ALICAHUE-SOBRANTE	661.909	1.143.704	698.991	1.206.109
CANAL SOBRANTE-PEDERNAL	93.251	160.905	101.437	175.029
UF\$	2.638.648	4.559.189	2.792.310	4.818.131

Tabla 3.8: Resumen Estimación Costos Canal Chacrilas – Alicahue caudales 3 y 4 m³/s

CANAL CHACRILLAS-ALICAHUE-PETORCA				
TRAMO	CASO 8 M3/S		CASO 12 M3/S	
	COSTOS DIRECTOS	COSTOS TOTALES	COSTOS DIRECTOS	COSTOS TOTALES
CANAL CHACRILLAS-ALICAHUE	2.691.516	4.644.210	3.320.426	5.729.395
CANAL ALICAHUE-SOBRANTE	947.777	1.635.389	1.171.336	2.021.140
CANAL SOBRANTE-PEDERNAL	127.226	219.529	150.644	259.936
UF\$	3.766.519	6.499.129	4.642.406	8.010.471

Tabla 3.9: Resumen Estimación Costos Canal Chacrilas – Alicahue caudales 8 y 12 m³/s

3.4 TRAZADO DEL CANAL PUTAENDO – LOS ANGELES

Esta alternativa propone el canal de trasvase desde el río Putaendo, aguas abajo del embalse Chacrillas después de la junta del río Rocín con el estero Chalaco, hasta la cabecera del embalse Los Ángeles en el valle de la Ligua. Para ello se estudia dos alternativas dentro de esta misma, en las que se combina un canal abierto de características dependientes del caudal de porteo como los descritos en la tabla 2.3, y un túnel de similares características a los anteriormente señalados.

3.4.1 Alternativa Cota 950

El trazado de este canal supone una bocatoma en el mismo río Putaendo a la cota 950 msnm. del cual sale el primer tramo de este trazado, denominado Tramo PLA-C1, el cual va en dirección poniente por la ribera norte del río Putaendo. Este trazado de canal abierto tiene una extensión de 8,76 km llegando al punto con coordenadas UTM PSA56 Huso 19 E 335.278 y N 6.396.247 con cota 941,24 msnm donde se encuentra con el túnel que conducirá las aguas hasta la cuenca del estero Los Ángeles.

Este túnel, denominado PLA-T1, tiene una longitud de 5 km, apareciendo a la superficie en el punto de coordenadas UTM PSA56 Huso 19 E 330.772 y N 6.398.509 y cota 936,24 msnm., descargando las aguas al primer curso natural disponible, el que conducirá en forma natural las aguas al embalse Los Ángeles. Este esquema se representa en la figura 3.10 a través de una línea de color azul para el trazado que representa el canal y de color fucsia para el túnel.

Cabe destacar, que esta alternativa de trazado presenta el inconveniente de que la distancia que tendrá que recorrer el agua desde el punto de entrega en condición de escurrimiento natural es considerable, estimándose en al menos 8,5 km antes de encontrarse con el embalse Los Ángeles en caso de encontrarse lleno. Esto tiene por inconveniente que en dicha distancia existe una alta probabilidad de pérdida de gran parte del caudal por infiltración o intervención humana, estimándose las pérdidas por infiltración del orden de 30 a 50 lts/s/km dependiendo del caudal entregado, además de ser un agente de erosión, lo que significaría un mayor aporte de material sedimentario al embalse Los Ángeles, pudiendo esto acortar la vida útil estimada para este.

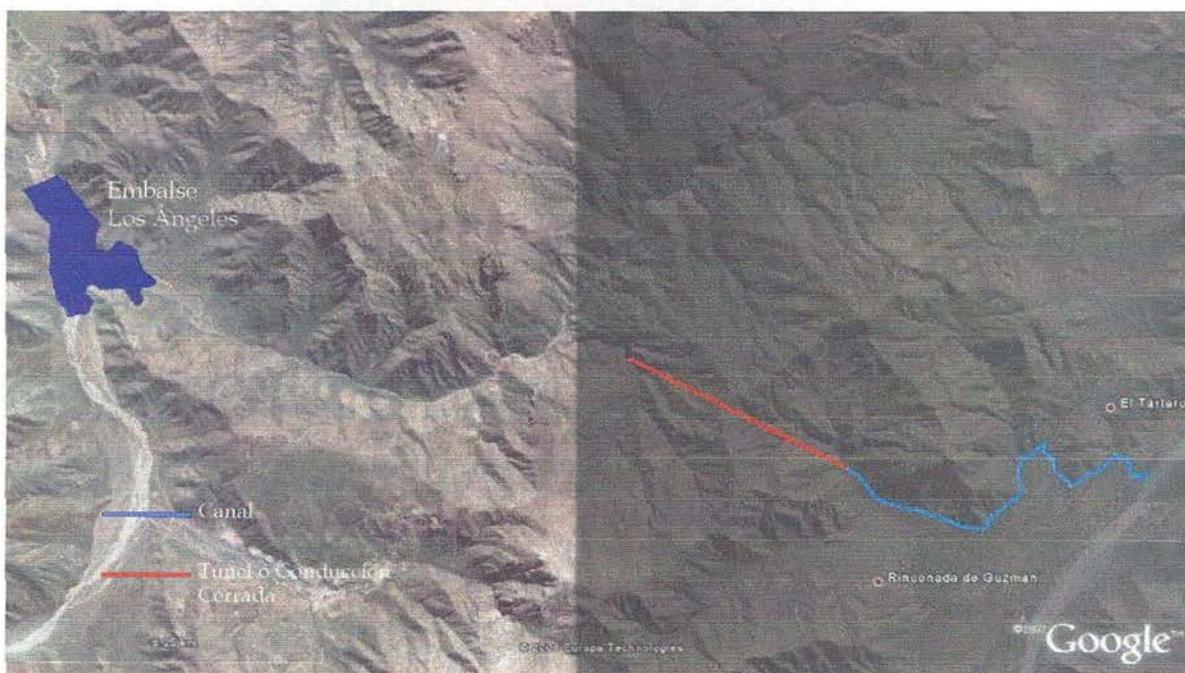


Figura 3.10. Alternativa 4: Trazado canal río Putaendo a cabecera embalse Los Ángeles (cota 950)

ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacrillas. Cubicaciones y Presupuestos

3.4.2 Alternativa Cota 1050

El trazado de este canal supone una bocatoma en el mismo río Putaendo a la cota 1050 msnm. de la cual sale el primer tramo de este trazado, denominado Tramo PLA-C2, el cual va en dirección poniente por la ribera norte del río Putaendo. Este trazado de canal abierto tiene una extensión de 19,51 km llegando al punto con coordenadas UTM PSA56 Huso 19 E 334.763 y N 6.396.794 con cota 1.030,49msnm. donde se encuentra con el túnel que conducirá las aguas hasta la cuenca del estero Los Ángeles.

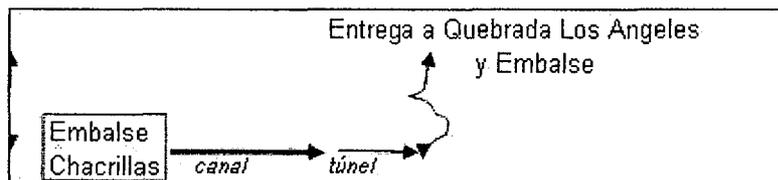
Este túnel, denominado PLA-T2, tiene una longitud de 3.8 km, apareciendo a la superficie en el punto de coordenadas UTM PSA56 Huso 19 E 331.075 y N 6.398.180 y cota 1.026,69 msnm., descargando las aguas al primer curso natural disponible, el que conducirá en forma natural las aguas al embalse Los Ángeles. Este esquema se representa en la figura 3.11 a través de una línea de color azul para el trazado que representa el canal y de color fucsia para el túnel.

Cabe destacar, que esta alternativa de trazado presenta el inconveniente de que la distancia que tendrá que recorrer el agua desde el punto de entrega en condición de escurrimiento natural es considerable, estimándose en al menos 9 km antes de encontrarse con el embalse Los Ángeles en caso de encontrarse lleno. Esto tiene por inconveniente que en dicha distancia existe una alta probabilidad de pérdida de gran parte del caudal por infiltración o intervención humana, además de ser un agente de erosión, lo que significaría un mayor aporte de material sedimentario al embalse Los Ángeles, pudiendo esto acortar la vida útil estimada para este. Otro punto a considerar, es que el embalse Los Ángeles al no ser un embalse de cabecera sino que uno lateral, no permite una muy buena regulación o un manejo más integrado de la cuenca como resulta la alternativa de trazado Chacrillas-Petorca, en la cual se encuentran todos los agentes reguladores conectados.



Figura 3.11. Alternativa 4: Trazado canal río Putaendo a cabecera embalse Los Ángeles (cota 1050)

ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacrillas. Cubicaciones y Presupuestos



El resumen de los costos de ambas alternativas para cada uno de los caudales propuestos se presenta en las tablas 3.12 y 3.13, proveniente de los cálculos de costos presentados en el anexo de presupuestos. Estos se separan en costos directos, correspondientes a los costos de las obras civiles, y costos totales, en lo que se incluyen además de los costos directos los gastos generales, utilidades, ingeniería entre otros. De estos dos cuadros se puede apreciar preliminarmente que para el mismo objetivo, la alternativa más conveniente es la alternativa 2, ya que a pesar de tener un canal de mayor longitud, el costo del túnel es superior al ahorro en kilómetros de canal.

CANAL PUTAENDO-LOS ANGELES Alternativa Cota 950		
	COSTOS DIRECTOS (UF)	COSTOS TOTALES (UF)
CASO 3 ³rys	1.105.212	1.907.043
CASO 4 ³rys	1.118.249	1.929.539
CASO 8 ³rys	1.658.745	2.862.165
CASO 12 ³rys	2.140.840	3.694.019

Tabla 3.12: Resumen Estimación Costos Canal Putaendo – Los Ángeles Alternativa A

CANAL PUTAENDO-LOS ANGELES Alternativa Cota 1050		
	COSTOS DIRECTOS (UF)	COSTOS TOTALES (UF)
CASO 3 ³rys	1.064.519	1.836.828
CASO 4 ³rys	1.093.557	1.886.932
CASO 8 ³rys	1.564.598	2.699.715
CASO 12 ³rys	1.985.713	3.426.348

Tabla 3.13: Resumen Estimación Costos Canal Putaendo – Los Ángeles Alternativa B

ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacrillas. Cubicaciones y Presupuestos

3.5 RESUMEN ALTERNATIVAS DE TRAZADO

Una vez estudiadas todas las posibilidades de trasvase entre el valle de Putaendo y los valles de La Ligua y Petorca en forma gravitacional, es importante analizar los costos asociados a las obras. Esto sin incorporar los costos de los embalses, lo cual se consigna en la sección F.

La tabla 3.14 muestra un resumen comparativo de los costos totales de todas las alternativas anteriormente presentadas, para cada uno de los caudales de trasvases propuestos.

RESUMEN COSTOS TOTALES ALTERNATIVAS DE TRAZADO				
	3 M3/S	4 M3/S	8 M3/S	12 M3/S
TRAMO	COSTO TOTAL (UF)	COSTO TOTAL (UF)	COSTO TOTAL (UF)	COSTO TOTAL (UF)
CANAL CHACRILLAS -LOS ANGELES	1.169.606	1.258.206	1.623.515	1.953.729
CANAL CHACRILLAS -ALICAHUE Alternativa A	4.631.494	4.703.068	6.980.121	9.012.047
CANAL CHACRILLAS -ALICAHUE Alternativa B	3.254.580	3.436.992	4.644.210	5.729.395
CANAL CHACRILLAS -ALICAHUE-PETORCA	4.559.188	4.818.131	6.499.129	8.010.472
CANAL PUTAENDO-LOS ANGELES Alternativa Cota 950	1.907.043	1.929.539	2.862.165	3.694.019
CANAL PUTAENDO-LOS ANGELES Alternativa Cota 1050	1.836.828	1.886.932	2.699.715	3.426.348

Tabla 3.14: Resumen Estimación Costos de Alternativas de Trazados

Las obras de arte, como sifones, canoas, cruce de quebradas, canales y regueros, y disipadores de energía están consideradas implícitamente en los costos de los canales, incrementando sus valores unitarios por metro lineal del orden de un 40%. Esto se puede apreciar si se observa el valor de metro lineal de canal de AyC para los 6m³ el cual da un valor del orden de los 310.000 pesos el metro lineal (para valores actualizados por UF) mientras que nuestros cálculos dan del orden de lo 440.000 pesos el metro lineal. Eso no incorpora el costo de los túneles.

Los perfiles de cada una de estas alternativas se encuentran en la sección "H. PLANOS".

4 PERFIL DEL EMBALSE CHACRILLAS

El embalse Chacrillas, actualmente dimensionado para una capacidad de almacenamiento de 27 Hm³, tiene su cota de vertedero en la cota 1.332 msnm. y de coronamiento a los 1.338 msnm. Este volumen de diseño corresponde a lo que el embalse tiene comprometido con el valle de Putaendo para asegurar el riego de una cantidad de hectáreas determinada. Para poder trasvasar agua desde este embalse a los otros valles es necesario aumentar su capacidad de almacenamiento y así poder captar, regular y trasvasar los excedentes no aprovechados del río Rocín por este valle.

Para ello se ha calculado la curva del embalse Chacrillas, con la finalidad de poder estimar cual debiese ser su altura para diferentes volúmenes de almacenamiento. Esta relación altura-volumen de almacenamiento se calculó en base a la topografía existente del emplazamiento que tiene actualmente el embalse, correspondiente al Estudio "Diseño Embalse Chacrillas" realizado por EDIC en 2.002.

Para el caso en estudio interesa saber qué altura alcanzará el muro del embalse Chacrillas para volúmenes de almacenamiento de 40 Hm³, 84 Hm³ y de 160 Hm³. De acuerdo a lo calculado y como lo muestra la figura 4.1, para alcanzar los volúmenes propuestos, significa subir la cota original de vertedero de embalse de los 1.332 msnm. a la cota 1.345 msnm para alcanzar los 40 Hm³, a 1.375 msnm. para el caso de los 84 Hm³, mientras que para llegar a los 160 Hm³ se requiere alcanzar la cota 1.410 msnm. aproximadamente. Esto se traduce en aumentos de altura de muro de 13, 43 y 78 metros respectivamente, quedando un muro de 105 m. de altura para el caso de 40 Hm³, de 135 m para 84 Hm³ y de 170 m para 160 Hm³.

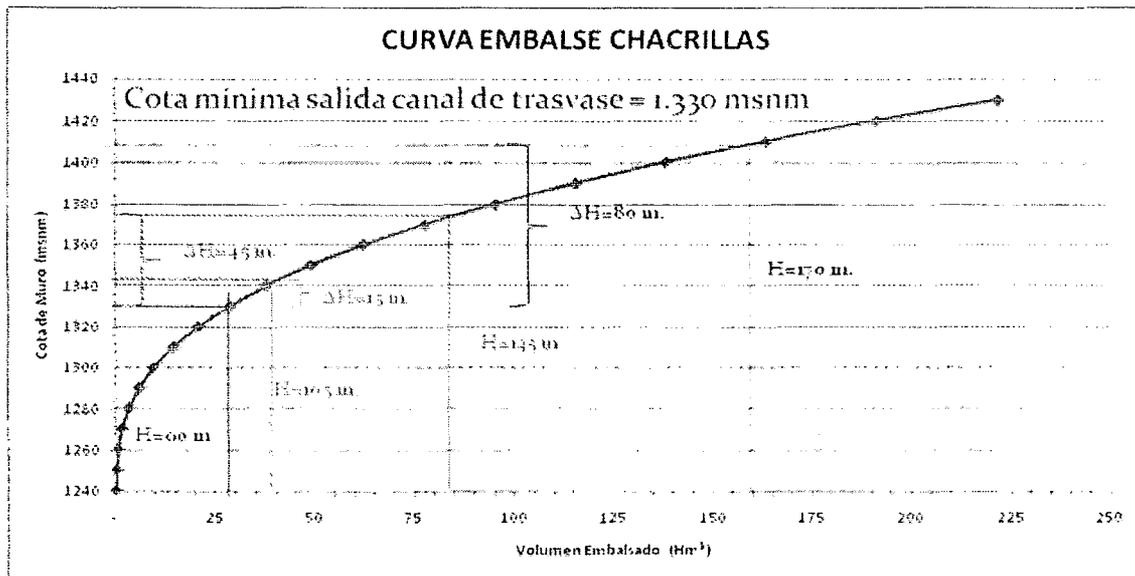


Figura 4.1: Curva de embalse Chacrillas

Para la curva de embalse obtenida de la topografía antes señalada, se tiene un ajuste de la curva con la siguiente ecuación polinómica con un R² = 99,27

$$y = -9,400E^{-11}x^6 + 6,628E^{-8}x^5 - 1,802E^{-5}x^4 + 2,379E^{-3}x^3 - 1,596E^{-1}x^2 + 5,797x + 1254$$

donde "y" es la cota de coronación del muro y "x" es el volumen embalsado. .

ANALISIS FACTIBILIDAD TRASFASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
 B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacrillas. Cubicaciones y Presupuestos

5 CUBICACIONES Y PRESUPUESTO EMBALSE CHACRILLAS

Para llevar a cabo la estimación de los costos que significaría el aumento de cota del embalse Chacrillas para cada una de las nuevas opciones, se cubicaron las diferentes partidas a partir del presupuesto original correspondiente al volumen de 27 Hm³, obtenida del informe Embalse Chacrillas.

Los volúmenes del muro del embalse para cada una de las alternativas fueron calculados en base a la topografía existente, proyectando las nuevas alturas y por consiguientes los volúmenes generados, así como las nuevas distancias del vertedero. En base a los volúmenes calculados, las superficies de muro estimadas, la altura de los muros y en función de las cantidades de las partidas del presupuesto original existente, se estimaron las cantidades de obras en forma proporcional al volumen del muro o de la superficie según sea el caso.

En las tablas 5.1 a la 5.4 se presentan los resúmenes de costos de obras para las diferentes alternativas de embalse ampliado. El detalle de las cubicaciones y presupuestos del muro y vertedero para cada alternativa se presentan en el anexo correspondiente.

Resumen Presupuesto Original Embalse Chacrillas

OBRA	COSTO (UF)
Muro de Presa y Vertedero	748.032
Túnel de Desvío y Obras de Entrega	122.420
Camino de Acceso	98.005
Expropiaciones	5.782
Instalaciones Eléctricas	676
Total	974.915

Tabla 5.1: Resumen Estimación Costos Embalse Chacrillas 27 Hm³

Resumen Presupuesto Alternativo Chacrillas 40 Hm³

OBRA	COSTO (UF)
Muro de Presa y Vertedero	873.146
Túnel de Desvío y Obras de Entrega	134.662
Camino de Acceso	98.005
Expropiaciones	6.458
Instalaciones Eléctricas	676
Total	1.112.947

Tabla 5.2: Resumen Estimación Costos Embalse Chacrillas 40 Hm³

Resumen Presupuesto Alternativo Chacrillas 84 Hm³

OBRA	COSTO (UF)
Muro de Presa y Vertedero	1.823.643
Túnel de Desvío y Obras de Entrega	146.904
Camino de Acceso	98.005
Expropiaciones	10.391
Instalaciones Eléctricas	676
Total	2.079.619

Tabla 5.3: Resumen Estimación Costos Embalse Chacrillas 84 Hm³



ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacrillas. Cubicaciones y Presupuestos

Resumen Presupuesto Alternativo Chacrillas 160 Hm³

OBRA	COSTO (UF)
Muro de Presa y Vertedero	3.110.414
Túnel de Desvío y Obras de Entrega	153.025
Camino de Acceso	98.005
Expropiaciones	15.548
Instalaciones Eléctricas	676
Total	3.377.668

Tabla 5.4: Resumen Estimación Costos Embalse Chacrillas 160 Hm³

6 DETALLES DE CUBICACION Y PRESUPUESTO

Para obtener los precios unitarios de las diferentes partidas en el cálculo de los costos de este estudio se apoyó en los precios unitarios obtenidos de estudios anteriores. Para ello se convino trabajar los costos en UF como unidad monetaria representativa en el tiempo. Por lo tanto los valores obtenidos en pesos fueron llevados a UF, lo mismo que los valores en dólares los cuales fueron llevados a pesos y luego a UF de la época a la que corresponda cada información recopilada.

Así, tanto para el cálculo de las obras de toma como para el cálculo del metro lineal de canal, se utilizó los precios unitarios de las partidas que lo componen extraídas del estudio del Estudio de Factibilidad del Riego de los Valles de Ligua y Petorca, consultores Ayala y Cabrera 2008, tabla de precios unitarios que se presenta en este anexo. A la lista de precios unitarios señalada se le actualizaron los precios de cada ítem contenido en ella a partir del valor de la UF de ese estudio, llevando lo precios de dicho listado al valor de UF de aquella época y actualizando los precios a valor peso actual de acuerdo a la UF del 2 de Noviembre del 2008, fecha de valorización del presente estudio.

Para el obtener tanto el precio unitario del m³ de túnel como el presupuesto del embalse Chacrillas para cada una de sus alternativas se utilizó la misma metodología, con la diferencia que los precios unitarios utilizados para cada uno de los ítems que componen esta partida se obtuvieron del informe final del Diseño Embalse Chacrillas realizado por EDIC el año 2002. A partir de estos valores, la gran mayoría en pesos de esa época, se convirtieron a UF con el valor correspondiente al utilizado en aquel informe y posteriormente actualizado al valor actual para poder obtener el costo en pesos corregido según sea el caso.

Para obtener los costos de expropiación se estimó una faja de expropiación de 10 metros de ancho para los canales, obteniendo el total de la suma de canales en hectáreas expropiadas. Lo mismo para las conducciones cerradas que van superficialmente, ya que esto considera la el terreno realmente utilizado más un cantidad correspondiente a las servidumbres de dicha conducción.

Para los Precios Unitarios de expropiación se supuso que solo serán laderas de cerros ya que son solo para los trazados de canales y se obtuvieron del informe "Obras De Regulación Para Los Valles De La Ligua Y Petorca. V Region – DOH – MOP" elaborado por AC Ingenieros Consultores Ltda., los que se presentan en la tabla siguiente:

Tipo	PU \$/ha
Laderas de cerros	\$ 800.000
Laderas plantables	\$ 2.500.000
Terrenos planos en producción	\$ 8.000.000
Terrenos planos sin plantación	\$ 5.000.000

Respecto de los presupuestos de las diferentes alternativas para el peralte del muro del embalse Chacrillas, se basó en el presupuesto original obtenido del estudio "Diseño Embalse Chacrillas" elaborado por EDIC en el año 2002 y se actualizaron los valores con respecto a la UF. Para las alternativas ampliadas se cubió proporcionalmente a los aumentos de obra obtenidos de la curva de embalse respecto de las partidas volumétricas o lineales según sea el caso. Todos los cálculos son una estimación de los aumentos de los costos y no pretenden ser un presupuesto oficial definitivo para cada alternativa.

Finalmente, todos los precios en el informe son expresados en UF en los respectivos cuadros resúmenes de cada alternativa, sin embargo en el presente anexo presenta tanto los valores en pesos a la fecha actual como en UF como valor de referencia para hacer las alternativas comparables en el tiempo.

A continuación se presentan todas las tablas de cálculo de las diferentes alternativas de trasvase, las listas de precios unitario utilizadas como base con sus respectivas UF para los cálculos y los cuadros de detalles de cálculo de los ítems de canales, túneles y bocatomas.

ANALISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacrilas. Cubicaciones y Presupuestos

1.- Base de Precios Unitarios de Referencia para el Estudio

RESUMEN DE PRECIOS UNITARIOS
ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL RIEGO DE LOS VALLES DE LIGUA
Y PETORCA, CONSULTORES AYALA Y CABRERA
U.F. = \$18.416.12 AL 02-05-07

Item	Designación	Precio Unitario		
		Unidad	Costo Directo	
			(\$)	(U.F.)
1	OBRAS GENERALES			
1.1	Instalación de Faenas	Gl	5% CD	
1.2	Replanteo, Trazados y Niveles de Obras	ml	1.399	0,08
§ 2	MOVIMIENTOS DE TIERRAS			
2.1	EXCAVACION 0-2 m, SIN ENTIBACIONES, SIN AGOTAMIENTO	m3	1.680	0,09
2.2	EXCAVACION 2-4 m, SIN ENTIBACIONES, SIN AGOTAMIENTO	m3	1.915	0,10
2.3	EXCAVACION 4-6 m, SIN ENTIBACIONES, SIN AGOTAMIENTO	m3	2.235	0,12
2.4	EXCAVACION >6 m, SIN ENTIBACIONES, SIN AGOTAMIENTO	m3	2.957	0,16
2.5	EXCAVACION 0-2 m, CON AGOTAMIENTO	m3	3.049	0,17
2.6	EXCAVACION 2-4 m, CON AGOTAMIENTO	m3	3.380	0,18
2.7	ENTIBACION	m2	7.535	0,41
2.8	RELLENO ESTRUCTURAL	m3	3.500	0,19
2.9	RETIRO DE EXCEDENTES A 50 KM (25% de esponjamiento)	m3	2.823	0,15
2.10	ESCARPE	m2	970	0,05
2.11	RELLENO CON BOLON	m3	6.515	0,35
2.12	EXCAVACION A MANO	m3	3.014	0,16
2.13	EXCAVACION COMUN CON MAQUINA GRANDE Y TRANSPORTE A BOTADERO 10 KM	m3	1.277	0,07
2.14	EXC.COMUN A MAQUINA, CON AGOTAMIENTO Y TRANSPORTE A BOTADERO L =10 Km	m3	3.162	0,17
2.15	SELECCION DE MATERIAL Y ACOPIO PARA MEJORAR SUELOS EN COSNTRUCCION DE TERRAPLENES	m2	1.073	0,06
2.16	COLOCACION Y DISTRIBUCION DE MATERIAL CON BULLDOZER PARA TERRAPLENES	m3	851	0,05
2.17	COLOCACION DE MATERIALES PARA TERRAPLENES CON TOLVA	m3	468	0,03
2.18	COMPACTACION RODILLADA DE TERRAPLENES POR CAPAS CONTROLADAS	m3	621	0,03
§ 2	ROCE Y DESPEJE	m2	55	0,00
3.-	HORMIGONES Y MORTEROS			
3.1.-	SUMINISTRO Y COLOCACION DE HORMIGON H - 30 PREMEZCLADO	m3	55.814	3,03
3.2.-	SUMINISTRO Y COLOCACION DE HORMIGON H - 25 PREMEZCLADO	m3	48.597	2,64
3.3.-	SUMINISTRO Y COLOCACION DE HORMIGON H - 20 PREMEZCLADO	m3	48.003	2,61
3.4.-	EMPLANTILLADO DE HORMIGON H - 5	m3	34.997	1,90
3.5.-	CONFECCION Y COLOCACION DE HORMIGON H - 20 EN SITIO	m3	57.044	3,10
3.6.-	TRATAMIENTO DE JUNTAS HORMIGON VIEJO Y NUEVO	m2	3.473	0,19
3.7.-	SUMINISTRO Y COLOCACION DE HORMIGON H - 10 PREMEZCLADO	m3	41.527	2,25
3.8.-	SUMINISTRO Y COLOCACION DE ALBAÑILERIA DE PIEDRAS	m3	72.818	3,95
§ 4	CONFECCION Y COLOCACION DE HORMIGON H - 30 EN SITIO	m3	57.220	3,11
4.-	MOLDAJES			
4.1.-	SUMINISTRO Y COLOCACION DE MOLDAJE METALICO	m2	6.188	0,34
4.2.-	CONFECCION Y COLOCACION DE MOLDAJE DE PINO - 1 USO	m2	10.131	0,55
5.-	REVESTIMIENTOS			
5.1.-	REVESTIMIENTO CON ALB. DE PIEDRAS e = 0,2m	m2	14.566	0,79
6.-	ACERO DE REFUERZO			
6.1.-	SUMINISTRO Y COLOCACION DE ARMADURA DE REFUERZO	Kg.	619	0,03
6.2.-	SUMINISTRO, TRANSPORTE Y COLOCACIÓN MALLA ACMA C-92	Kg.	454	0,02
6.3.-	SUMINISTRO, TRANSPORTE Y COLOCACIÓN MALLA ACMA C-257	Kg.	369	0,02
6.4.-	SUMINISTRO, TRANSPORTE Y COLOCACIÓN MALLA ACMA C-335	Kg.	416	0,02
7.-	ENROCADOS DE PROTECCION			
7.3	SUMINISTRO, TRANSPORTE Y COLOCACION DE ENROCADOS ENTRE 500 Kg Y 1000 Kg	m3	14.083	0,76
7.4	SUMINISTRO Y COLOCACION DE GEOTEXTIL	m2	1.750	0,10
7.5	EXPLOTACIÓN Y SELECCIÓN DE MATERIAL DE CANTERA DE 300 Kg	m3	2.863	0,16
7.6	CARGIO Y TRANSPORTE DE ENROCADO A OBRA L = 30 km DE 300 Kg	m3	2.803	0,15
8.-	PARTIDAS VARIAS			
8.1.-	CERCO METALICO	m2	31.520	1,71
8.2.-	DEMOLICION DE HORMIGONES	m3	43.265	2,35
9.-	Gastos Generales, Utilidades, Imprevistos y Otros		50%	
10.-	IVA		19%	

ANALISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO

B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacillas. Cubicaciones y Presupuestos

2.- Cubicación y Valorización de Bocatoma

CUBICACION Y VALORIZACION OBRA DE TOMA EN EL RIO PUTANEDO

Barrera de Enrocado				
Longitud Barrera (m)	85,49			
Ancho Barrera (m)	200,00			
Espesor Barrera (m)	1,60			
Ancho de Riberas (m)	6,20			
Espesor Riberas (m)	1,10			
Longitud de Riberas (m)	75,00			
Obra de Toma Transición Entrada				
Altura Sección (m)	2,50			
Ancho Inferior (m)	3,00			
Talud (m)	1,50			
Espesor Revestimiento (m)	0,20			
Longitud de Transición (m)	5,00			
Obra de Toma Sección Rectangular				
Altura Sección (m)	4,30			
Ancho Inferior (m)	3,00			
Espesor Revestimiento (m)	0,20			
Longitud de Revestimiento (m)	22,00			
PRESUPUESTO BARRERA DE ENROCADO Y OBRA DE TOMA EN RIO PETORCA				
ITEM	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (UF)	Total (UF)
ESCARPE	m2	1.763	0,053	\$ 93
EXCAVACION 0-2 m, SIN ENTIBACIONES, SIN AGOTAMIENTO	m3	12.777	0,091	\$ 1.166
RETIRO DE EXCEDENTES A 50 KM (25% de esponjamiento)	m3	18.175	0,153	\$ 2.786
RELLENO ESTRUCTURAL	m3	5.480	0,190	\$ 1.041
SUMINISTRO, TRANSPORTE Y COLOCACION DE ENROCADOS ENTRE 500 Kg Y 1000 Kg	m3	29.230	0,765	\$ 22.352
SUMINISTRO Y COLOCACION DE HORMIGON H - 25 PREMEZCLADO	m3	57	2,639	\$ 151
SUMINISTRO, TRANSPORTE Y COLOCACION MALLA ACMA C-335	Kg.	570	0,023	\$ 13
CONFECCION Y COLOCACION DE MOLDAJE DE PINO - 1 USO	m2	189	0,550	\$ 104
TOTAL COSTO DIRECTO				\$ 27.707

ANALISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
 B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacillas. Cubicaciones y Presupuestos

3.- Detalle de Presupuestos de Metro Lineal Obras de Conducción Abiertas y Cerradas UF al 02/11/08: \$ 21.224

Tabla A3.1: Cálculo del Costo del Metro Lineal de Canal Trapecial para 3 m³/s

CANAL TRAPECIAL Alt 3 m ³ /s	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	TOTAL
EXCAVACION A MANO	m ³	0,43	\$ 3.474	\$ 1.500
EXCAVACION COMUN CON MAQUINA (20% DEL TOTAL)	m ³	4,47	\$ 1.472	\$ 6.572
EXCAVACIÓN EN ROCA (80% DEL TOTAL)	m ³	17,86	\$ 9.211	\$ 164.522
RELLENO ESTRUCTURAL	m ³	13,50	\$ 4.034	\$ 54.454
RETIRO DE EXCEDENTES A 50 KM (25% de esponjamiento)	m ³	28,45	\$ 3.253	\$ 92.551
CONFECCION Y COLOCACION DE HORMIGON H - 20 EN SITIO	m ³	0,43	\$ 65.741	\$ 28.381
SUMINISTRO, TRANSPORTE Y COLOCACIÓN MALLA ACMA C-335	Kg.	23,05	\$ 480	\$ 11.065
TOTAL COSTO DIRECTO				\$ 359.044
TOTAL COSTO DIRECTO UF				16,92

Tabla A3.2: Cálculo del Costo del Metro Lineal de Canal Trapecial para 4 m³/s

CANAL TRAPECIAL Alt 4 m ³ /s	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	TOTAL
EXCAVACION A MANO	m ³	0,48	\$ 3.474	\$ 1.658
EXCAVACION COMUN CON MAQUINA (20% DEL TOTAL)	m ³	4,93	\$ 1.472	\$ 7.251
EXCAVACIÓN EN ROCA (80% DEL TOTAL)	m ³	19,71	\$ 9.211	\$ 181.528
RELLENO ESTRUCTURAL	m ³	13,50	\$ 4.034	\$ 54.454
RETIRO DE EXCEDENTES A 50 KM (25% de esponjamiento)	m ³	31,39	\$ 3.253	\$ 102.122
CONFECCION Y COLOCACION DE HORMIGON H - 20 EN SITIO	m ³	0,48	\$ 65.741	\$ 31.383
SUMINISTRO, TRANSPORTE Y COLOCACIÓN MALLA ACMA C-335	Kg.	25,49	\$ 480	\$ 12.236
TOTAL COSTO DIRECTO				\$ 390.632
TOTAL COSTO DIRECTO UF				18,41

Tabla A3.3: Cálculo del Costo del Metro Lineal de Canal Trapecial para 8 m³/s

CANAL TRAPECIAL Alt 8 m ³ /s	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	TOTAL
EXCAVACION A MANO	m ³	0,61	\$ 3.474	\$ 2.117
EXCAVACION COMUN CON MAQUINA (20% DEL TOTAL)	m ³	6,40	\$ 1.472	\$ 9.420
EXCAVACIÓN EN ROCA (80% DEL TOTAL)	m ³	25,60	\$ 9.211	\$ 235.831
RELLENO ESTRUCTURAL	m ³	13,50	\$ 4.034	\$ 54.454
RETIRO DE EXCEDENTES A 50 KM (25% de esponjamiento)	m ³	40,77	\$ 3.253	\$ 132.629
CONFECCION Y COLOCACION DE HORMIGON H - 20 EN SITIO	m ³	0,61	\$ 65.741	\$ 40.075
SUMINISTRO, TRANSPORTE Y COLOCACIÓN MALLA ACMA C-335	Kg.	32,55	\$ 480	\$ 15.624
TOTAL COSTO DIRECTO				\$ 490.151
TOTAL COSTO DIRECTO UF				23,09

Tabla A3.4: Cálculo del Costo del Metro Lineal de Canal Trapecial para 12 m³/s

CANAL TRAPECIAL Alt 12 m ³ /s	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	TOTAL
EXCAVACION A MANO	m ³	0,69	\$ 3.474	\$ 2.391
EXCAVACION COMUN CON MAQUINA (20% DEL TOTAL)	m ³	7,81	\$ 1.472	\$ 11.492
EXCAVACIÓN EN ROCA (80% DEL TOTAL)	m ³	31,23	\$ 9.211	\$ 287.701
RELLENO ESTRUCTURAL	m ³	13,50	\$ 4.034	\$ 54.454
RETIRO DE EXCEDENTES A 50 KM (25% de esponjamiento)	m ³	49,66	\$ 3.253	\$ 161.576
CONFECCION Y COLOCACION DE HORMIGON H - 20 EN SITIO	m ³	0,69	\$ 65.741	\$ 45.258
SUMINISTRO, TRANSPORTE Y COLOCACIÓN MALLA ACMA C-335	Kg.	36,76	\$ 480	\$ 17.645
TOTAL COSTO DIRECTO				\$ 580.517
TOTAL COSTO DIRECTO UF				27,35

ANALISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
 B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacritillas. Cubicaciones y Presupuestos

4.- Detalle de Presupuestos Obras de Conducción en Túnel

Tabla A4.1: Cálculo del Costo del Metro Cúbico de Túnel

ITEM	CANTIDAD	RENDIM	UNIDAD	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.\$	TOTAL \$	TOTAL UF
TRONADURA DE ROCA EN TUNEL ARTESANAL REVESTIDO:				1	m3		706.766	33,30
A).- PERFORACION:				1	m3		146.376	6,90
COMPRESOR 335 PCM ATLAS COPCO		1,6	m3 / hr	0,625	hr	17.546	10.966	0,52
PERFORADORA ATLAS COPCO ROC 642 HC-01 COP 1838ME		0,8	m3 / hr	1,25	hr	80.274	100.342	4,73
COMBUSTIBLE PETROLEO DIESEL				21,25	lt	600	12.750	0,60
CUÑAS PARA PERFORADORAS				0,1	uni	19.626	1.963	0,09
AFILADORAS DE BROCA (10% BARRAS PERF.)				10	%		196	0,01
Cuadrilla = 2 M ⁴		1,219512195	m3 / hr	0,82	hr			
PERFORISTAS (2 MAESTROS DE 1 ^o)	2	0,609756098	m3 / Ho-dia	1,64	hr	3.915	12.840	0,60
% LEYES SOCIALES				57	%		7.319	0,34
B).- TRONADURA/EXPLOSIVOS:				1	m3		6.816	0,32
ANFO (FACTOR DE CARGA = 0.19)				0,19	kg	599	114	0,01
AMONGELATINA 60%				0,35	uni	2.394	838	0,04
CORDON DETONANTE TEC3				1	m	206	206	0,01
MECHA MINERA				0,2	m	393	79	0,00
FULMINANTE #8				0,1	uni	262	26	0,00
TECNICO EN EXPLOSIVOS (0,5 UF/hr)	1	3	m3 / hr	0,3333	hr	10.612	3.537	0,17
% LEYES SOCIALES				57	%		2.016	0,09
C).- CARGO y RETIRO MAT. TRONADO:				1	m3		126.621	5,97
SCOPE-1yd3-ANTOLIN CIST.		1	m3 / hr	1	hr	65.421	65.421	3,08
COMBUSTIBLE-DIESEL (REND = 12 lt/hr)				102	lt	600	61.200	2,88
D).- CONTROL TOPOGRAFICO:				1	m3		9.176	0,43
ARRIENDO INSTRUMENTO TOPOGRAFICO				0,574	hr	2.617	1.502	0,07
TOPOGRAFO	1	1,5	m3 / hr	0,6667	hr	4.371	2.914	0,14
ALARIFES		1,829268293	m3 / hr	0,5467	hr	3.611	1.974	0,09
% LEYES SOCIALES				57	%		2.786	0,13
E).- SISTEMA DE VENTILACION:				1	m3		13.187	0,62
VENTILADOR AXIAL 710 (0,05 UF/m3)				1	gl	1.061	1.061	0,05
INSUMOS VARIOS: MANGA DE PVC y ACCESORIOS (0,1UF/m3)				1	gl	2.122	2.122	0,10
AYUDANTE MAESTRO	2	0,853658537	m3 / hr	1,1714	hr	2.720	6.372	0,30
% LEYES SOCIALES				57	%		3.632	0,17
F).- SUPERVISION FAENA:				1	m3		8.312	0,39
CAPATAZ	1	0,853658537	m3 / hr	1,1714	hr	4.519	5.294	0,25
% LEYES SOCIALES				57	%		3.018	0,14
G).- REVESTIMIENTO SHOTCRET e = 5 cm. :Suministro y colocación				1	m3		396.278	18,67
HORM. PROYEC. SHOTCRET R-225				1	m3	90.894	90.894	4,28
PROYECTORA SHOTCRET C/OPERADOR:		0,24	m3 / hr	4,1667	hr	13.778	57.407	2,70
COMBUSTIBLE - PETROLEO DIESEL (Rendimiento = 3 lt/hr)				106,25	lt	600	63.750	3,00
PERDIDA 15%				15	%		22.245	1,05
MANO DE OBRA:								
Cuadrilla = 1 M ⁴ + 1 A		0,243902439	m3 / hr	4,1	hr			
MAESTRO CONCRETERO	1	0,243902439	m3 / hr	4,1	hr	3.915	16.050	0,76
AYUDANTE DE MAESTRO	1	0,243902439	m3 / hr	4,1	hr	2.720	11.152	0,53
CAPATAZ (Controla a 2 cuadrillas al dia)	1	0,0594884	m3 / hr	16,81	hr	4.519	75.971	3,58
% LEYES SOCIALES				57	%		58.809	2,77

ANALISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacrillas. Cubicaciones y Presupuestos

5.- Detalle de Presupuestos Obras de Conducción Alternativa Embalse Chacrillas – Los Ángeles

Tabla A5.1: Presupuesto Canal Chacrillas-Los Ángeles 3 m³/s

PRESUPUESTO DE OBRAS CANAL ALIMENTADOR CANAL CHACRILLAS-LOS ANGELES 3M3/S

VALOR DE DOLAR: \$ 630 \$/dólar 02-11-2008					
	ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (\$)	TOTAL (\$)
1	CANAL TRAPECIAL				
1.2	Canal Trapecial Revestido en H.A. Tramo CHLA-C1	ml	34.500	359.044	\$ 12.387.021.491
2	TUNEL				
2.1	Tunel excavado en roca Tramo CHLA-T1	m ³	2.790	706.766	\$ 1.971.654.247
	COSTO DE OBRAS (1)			\$	\$ 14.358.675.739
	EXPROIACIONES (2)	HA	35	800.000	\$ 27.600.000
	COSTO DIRECTO TOTAL (1)+(2)			\$	\$ 14.386.275.739
				UF	677.836
	GASTOS GENERALES, UTILIDADES E IMPREVISTOS	GL	35%	\$	\$ 5.035.196.509
	INGENIERIA	GL	4%	\$	\$ 575.451.030
	INSPECCION Y ADMINISTRACION DE LAS OBRAS	GL	6%	\$	\$ 863.176.544
	TOTAL DE COSTOS DE CONSTRUCCION (3)			\$	\$ 20.860.099.822
	IVA (4)	GL	19%	\$	\$ 3.963.418.966
	TOTAL DE COSTOS CON IVA (3)+(4)			\$	\$ 24.823.518.788
				UF	1.169.606

Tabla A5.2: Presupuesto Canal Chacrillas-Los Ángeles 4 m³/s

PRESUPUESTO DE OBRAS CANAL ALIMENTADOR CANAL CHACRILLAS-LOS ANGELES 4M3/S

VALOR DE DOLAR: \$ 630 \$/dólar 02-11-2008					
	ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (\$)	TOTAL (\$)
1	CANAL TRAPECIAL				
1.2	Canal Trapecial Revestido en H.A. Tramo CHLA-C1	ml	34.500	390.632	\$ 13.476.808.127
2	TUNEL				
2.1	Tunel excavado en roca Tramo CHLA-T1	m ³	2.790	706.766	\$ 1.971.654.247
	COSTO DE OBRAS (1)			\$	\$ 15.448.462.374
	EXPROIACIONES (2)	HA	35	800.000	\$ 27.600.000
	COSTO DIRECTO TOTAL (1)+(2)			\$	\$ 15.476.062.374
				UF	729.183
	GASTOS GENERALES, UTILIDADES E IMPREVISTOS	GL	35%	\$	\$ 5.416.621.831
	INGENIERIA	GL	4%	\$	\$ 619.042.495
	INSPECCION Y ADMINISTRACION DE LAS OBRAS	GL	6%	\$	\$ 928.563.742
	TOTAL DE COSTOS DE CONSTRUCCION (3)			\$	\$ 22.440.290.442
	IVA (4)	GL	19%	\$	\$ 4.263.655.184
	TOTAL DE COSTOS CON IVA (3)+(4)			\$	\$ 26.703.945.626
				UF	1.258.206

ANALISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
 B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacrillas. Cubicaciones y Presupuestos

Tabla A5.3: Presupuesto Canal Chacrillas-Los Ángeles 8 m³/s

PRESUPUESTO DE OBRAS CANAL ALIMENTADOR CANAL CHACRILLAS-LOS ANGELES 8M3/S

		VALOR DE DOLAR: \$ 630 \$/dólar		02-11-2008	
	ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (\$)	TOTAL (\$)
1	CANAL TRAPEZIAL				
1.2	Canal Trapezial Revestido en H.A. Tramo CHLA-C1	ml	34.500	490.151	\$ 16.910.192.568
2	TUNEL				
2.1	Tunel excavado en roca Tramo CHLA-T1	m ³	4.289	706.766	\$ 3.031.615.571
	COSTO DE OBRAS (1)			\$	\$ 19.941.808.138
	EXPROPIACIONES (2)	HA	35	800.000	\$ 27.600.000
	COSTO DIRECTO TOTAL (1)+(2)			\$	\$ 19.969.408.138
				UF	940.896
	GASTOS GENERALES, UTILIDADES E IMPREVISTOS	GL	35%	\$	\$ 6.989.292.848
	INGENIERIA	GL	4%	\$	\$ 798.776.326
	INSPECCION Y ADMINISTRACION DE LAS OBRAS	GL	6%	\$	\$ 1.198.164.488
	TOTAL DE COSTOS DE CONSTRUCCION (3)			\$	\$ 28.955.641.800
	IVA (4)	GL	19%	\$	\$ 5.501.571.942
	TOTAL DE COSTOS CON IVA (3)+(4)			\$	\$ 34.457.213.742
				UF	1.623.515

Tabla A5.4: Presupuesto Canal Chacrillas-Los Ángeles 12 m³/s

PRESUPUESTO DE OBRAS CANAL ALIMENTADOR CANAL CHACRILLAS-LOS ANGELES 12M3/S

		VALOR DE DOLAR: \$ 630 \$/dólar		02-11-2008	
	ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (\$)	TOTAL (\$)
1	CANAL TRAPEZIAL				
1.2	Canal Trapezial Revestido en H.A. Tramo CHLA-C1	ml	34.500	580.517	\$ 20.027.832.133
2	TUNEL				
2.1	Tunel excavado en roca Tramo CHLA-T1	m ³	5.625	706.766	\$ 3.975.843.625
	COSTO DE OBRAS (1)			\$	\$ 24.003.475.757
	EXPROPIACIONES (2)	HA	35	800.000	\$ 27.600.000
	COSTO DIRECTO TOTAL (1)+(2)			\$	\$ 24.031.075.757
				UF	1.132.269
	GASTOS GENERALES, UTILIDADES E IMPREVISTOS	GL	35%	\$	\$ 8.410.876.515
	INGENIERIA	GL	4%	\$	\$ 961.243.030
	INSPECCION Y ADMINISTRACION DE LAS OBRAS	GL	6%	\$	\$ 1.441.864.545
	TOTAL DE COSTOS DE CONSTRUCCION (3)			\$	\$ 34.845.059.847
	IVA (4)	GL	19%	\$	\$ 6.620.561.371
	TOTAL DE COSTOS CON IVA (3)+(4)			\$	\$ 41.465.621.218
				UF	1.953.729

ANALISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRICOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
 B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacrilas. Cubicaciones y Presupuestos

6.- Detalle de Presupuestos Obras de trasvase Alternativa Embalse Chacrilas – Alicahue Alternativa A

Tabla A6.1: Presupuesto Canal Chacrilas-Alicahue 3 m³/s

PRESUPUESTO DE OBRAS CANAL ALIMENTADOR CANAL CHACRILLAS-ALICAHUE 3M3/S

		VALOR DE DOLAR:		\$ 630	\$/dólar	02-11-2008
ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (\$)	TOTAL (\$)		
1	CANAL TRAPEZIAL					
1.2	Canal Trapezial Revestido en H.A. Tramo CHA-C1.1	ml	6.000	359.044	\$ 2.154.264.607	
1.3	Canal Trapezial Revestido en H.A. Tramo CHA-C1.2	ml	21.870	359.044	\$ 7.852.294.493	
2	TUNEL					
2.1	Tunel excavado en roca Tramo CHA-T1.1	m ³	66.339	706.766	\$ 46.885.938.004	
	COSTO DE OBRAS (1)			\$	56.892.497.104	
	EXPROIACIONES (2)	HA	94	800.000	75.366.960	
	COSTO DIRECTO TOTAL (1)+(2)			\$	56.967.864.064	
				UF	2.684.146	
	GASTOS GENERALES, UTILIDADES E IMPREVISTOS	GL	35%	\$	19.938.752.422	
	INGENIERIA	GL	4%	\$	2.278.714.563	
	INSPECCION Y ADMINISTRACION DE LAS OBRAS	GL	6%	\$	3.418.071.844	
	TOTAL DE COSTOS DE CONSTRUCCION (3)			\$	82.603.402.893	
	IVA (4)	GL	19%	\$	15.694.646.550	
	TOTAL DE COSTOS CON IVA (3)+(4)			\$	98.298.049.443	
				UF	4.631.494	

Tabla A6.2: Presupuesto Canal Chacrilas-Alicahue 4 m³/s

PRESUPUESTO DE OBRAS CANAL ALIMENTADOR CANAL CHACRILLAS-ALICAHUE 4M3/S

		VALOR DE DOLAR:		\$ 630	\$/dólar	02-11-2008
ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (\$)	TOTAL (\$)		
1	CANAL TRAPEZIAL					
1.2	Canal Trapezial Revestido en H.A. Tramo CHA-C1.1	ml	6.000	390.632	\$ 2.343.792.718	
1.3	Canal Trapezial Revestido en H.A. Tramo CHA-C1.2	ml	21.870	390.632	\$ 8.543.124.456	
2	TUNEL					
2.1	Tunel excavado en roca Tramo CHA-T1.1	m ³	66.339	706.766	\$ 46.885.938.004	
	COSTO DE OBRAS (1)			\$	57.772.855.177	
	EXPROIACIONES (2)	HA	94	800.000	75.366.960	
	COSTO DIRECTO TOTAL (1)+(2)			\$	57.848.222.137	
				UF	2.725.626	
	GASTOS GENERALES, UTILIDADES E IMPREVISTOS	GL	35%	\$	20.246.877.748	
	INGENIERIA	GL	4%	\$	2.313.928.885	
	INSPECCION Y ADMINISTRACION DE LAS OBRAS	GL	6%	\$	3.470.893.328	
	TOTAL DE COSTOS DE CONSTRUCCION (3)			\$	83.879.922.098	
	IVA (4)	GL	19%	\$	15.937.185.199	
	TOTAL DE COSTOS CON IVA (3)+(4)			\$	99.817.107.297	
				UF	4.703.068	

ANALISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
 B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacrillas. Cubicaciones y Presupuestos

Tabla A6.3: Presupuesto Canal Chacrillas-Alicahue 8 m³/s

PRESUPUESTO DE OBRAS CANAL ALIMENTADOR CANAL CHACRILLAS-ALICAHUE 8M3/S

		VALOR DE DOLAR:		\$ 630	\$/dólar	02-11-2008
	ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (\$)	TOTAL (\$)	
1	CANAL TRAPECIAL					
1.2	Canal Trapecial Revestido en H.A. Tramo CHA-C1.1	ml	6.000	490.151	\$ 2.940.903.055	
1.3	Canal Trapecial Revestido en H.A. Tramo CHA-C1.2	ml	21.870	490.151	\$ 10.719.591.636	
2	TUNEL					
2.1	Tunel excavado en roca Tramo CHA-T1.1	m ³	102.002	706.766	\$ 72.091.818.275	
	COSTO DE OBRAS (1)			\$	85.752.312.966	
	EXPROPIACIONES (2)	HA	130	800.000	103.897.909	
	COSTO DIRECTO TOTAL (1)+(2)			\$	85.856.210.875	
				UF	4.045.274	
	GASTOS GENERALES, UTILIDADES E IMPREVISTOS	GL	35%	\$	30.049.673.806	
	INGENIERIA	GL	4%	\$	3.434.248.435	
	INSPECCION Y ADMINISTRACION DE LAS OBRAS	GL	6%	\$	5.151.372.653	
	TOTAL DE COSTOS DE CONSTRUCCION (3)			\$	124.491.505.769	
	IVA (4)	GL	19%	\$	23.653.386.096	
	TOTAL DE COSTOS CON IVA (3)+(4)			\$	148.144.891.865	
				UF	6.980.121	

Tabla A6.4: Presupuesto Canal Chacrillas-Alicahue 12 m³/s

PRESUPUESTO DE OBRAS CANAL ALIMENTADOR CANAL CHACRILLAS-ALICAHUE 12M3/S

		VALOR DE DOLAR:		\$ 630	\$/dólar	02-11-2008
	ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (\$)	TOTAL (\$)	
1	CANAL TRAPECIAL					
1.2	Canal Trapecial Revestido en H.A. Tramo CHA-C1.1	ml	6.000	580.517	\$ 3.483.101.240	
1.3	Canal Trapecial Revestido en H.A. Tramo CHA-C1.2	ml	21.870	580.517	\$ 12.695.904.021	
2	TUNEL					
2.1	Tunel excavado en roca Tramo CHA-T1.1	m ³	133.765	706.766	\$ 94.540.805.391	
	COSTO DE OBRAS (1)			\$	110.719.810.653	
	EXPROPIACIONES (2)	HA	162	800.000	129.308.285	
	COSTO DIRECTO TOTAL (1)+(2)			\$	110.849.118.938	
				UF	5.222.861	
	GASTOS GENERALES, UTILIDADES E IMPREVISTOS	GL	35%	\$	38.797.191.628	
	INGENIERIA	GL	4%	\$	4.433.964.758	
	INSPECCION Y ADMINISTRACION DE LAS OBRAS	GL	6%	\$	6.650.947.136	
	TOTAL DE COSTOS DE CONSTRUCCION (3)			\$	160.731.222.460	
	IVA (4)	GL	19%	\$	30.538.932.267	
	TOTAL DE COSTOS CON IVA (3)+(4)			\$	191.270.154.727	
				UF	9.012.047	

ANALISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
 B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacrilas. Cubicaciones y Presupuestos

6.- Detalle de Presupuestos Obras de trasvase Alternativa Embalse Chacrilas – Alicahue Alternativa 2

Tabla A6.5: Presupuesto Canal Chacrilas-Alicahue 3 m³/s

PRESUPUESTO DE OBRAS CANAL ALIMENTADOR CANAL CHACRILLAS-ALICAHUE 3M3/S

		VALOR DE DOLAR:		\$ 630	\$/dólar	02-11-2008
ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (\$)	TOTAL (\$)		
1	CANAL TRAPEZIAL					
1.2	Canal Trapezial Revestido en H.A. Tramo CHA-C2.1	ml	34.500	359.044	\$ 12.387.021.491	
1.3	Canal Trapezial Revestido en H.A. Tramo CHA-C2.2	ml	5.760	359.044	\$ 2.068.094.023	
1.4	Canal Trapezial Revestido en H.A. Tramo CHA-C2.3	ml	30.770	359.044	\$ 11.047.786.994	
2	TUNEL					
2.1	Tunel excavado en roca Tramo CHA-T2.1	m ³	2.790	706.766	\$ 1.971.654.247	
2.2	Tunel excavado en roca Tramo CHA-T2.2	m ³	17.687	706.766	\$ 12.500.287.929	
	COSTO DE OBRAS (1)			\$	39.974.844.684	
					1.883.489	
	EXPROPIACIONES (2)	HA	71	800.000	56.824.000	
	COSTO DIRECTO TOTAL (1)+(2)			\$	40.031.668.684	
				UF	1.886.166	
	GASTOS GENERALES, UTILIDADES E IMPREVISTOS	GL	35%	\$	14.011.084.039	
	INGENIERIA	GL	4%	\$	1.601.266.747	
	INSPECCION Y ADMINISTRACION DE LAS OBRAS	GL	6%	\$	2.401.900.121	
	TOTAL DE COSTOS DE CONSTRUCCION (3)			\$	58.045.919.591	
	IVA (4)	GL	19%	\$	11.028.724.722	
	TOTAL DE COSTOS CON IVA (3)+(4)			\$	69.074.644.313	
				UF	3.254.580	

Tabla A6.6: Presupuesto Canal Chacrilas-Alicahue 4 m³/s

PRESUPUESTO DE OBRAS CANAL ALIMENTADOR CANAL CHACRILLAS-ALICAHUE 4M3/S

		VALOR DE DOLAR:		\$ 630	\$/dólar	02-11-2008
ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (\$)	TOTAL (\$)		
1	CANAL TRAPEZIAL					
1.2	Canal Trapezial Revestido en H.A. Tramo CHA-C2.1	ml	34.500	390.632	\$ 13.476.808.127	
1.3	Canal Trapezial Revestido en H.A. Tramo CHA-C2.2	ml	5.760	390.632	\$ 2.250.041.009	
1.4	Canal Trapezial Revestido en H.A. Tramo CHA-C2.3	ml	30.770	390.632	\$ 12.019.750.321	
2	TUNEL					
2.1	Tunel excavado en roca Tramo CHA-T2.1	m ³	2.790	706.766	\$ 1.971.654.247	
2.2	Tunel excavado en roca Tramo CHA-T2.2	m ³	17.687	706.766	\$ 12.500.287.929	
	COSTO DE OBRAS (1)			\$	42.218.541.632	
	EXPROPIACIONES (2)	HA	71	800.000	56.824.000	
	COSTO DIRECTO TOTAL (1)+(2)			\$	42.275.365.632	
				UF	1.991.882	
	GASTOS GENERALES, UTILIDADES E IMPREVISTOS	GL	35%	\$	14.796.377.971	
	INGENIERIA	GL	4%	\$	1.691.014.625	
	INSPECCION Y ADMINISTRACION DE LAS OBRAS	GL	6%	\$	2.536.521.938	
	TOTAL DE COSTOS DE CONSTRUCCION (3)			\$	61.299.280.166	
	IVA (4)	GL	19%	\$	11.646.863.232	
	TOTAL DE COSTOS CON IVA (3)+(4)			\$	72.946.143.398	
				UF	3.436.992	

ANALISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
 B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacrilas. Cubicaciones y Presupuestos

Tabla A6.7: Presupuesto Canal Chacrilas-Alicahue 8 m³/s

PRESUPUESTO DE OBRAS CANAL ALIMENTADOR CANAL CHACRILLAS-ALICAHUE 8M3/S

VALOR DE DOLAR: \$ 630 \$/dólar 02-11-2008					
ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (\$)	TOTAL (\$)	
1	CANAL TRAPECIAL				
1.2	ml	34.500	490.151	\$ 16.910.192.568	
1.3	ml	5.760	490.151	\$ 2.823.266.933	
1.4	ml	30.770	490.151	\$ 15.081.931.168	
2	TUNEL				
2.1	m ³	4.289	706.766	\$ 3.031.615.571	
2.2	m ³	27.195	706.766	\$ 19.220.442.719	
COSTO DE OBRAS (1)			\$	57.067.448.959	
EXPROPIACIONES (2)		HA	71	800.000	56.824.000
COSTO DIRECTO TOTAL (1)+(2)			\$	57.124.272.959	
			UF	2.691.516	
GASTOS GENERALES, UTILIDADES E IMPREVISTOS		GL	35%	\$	19.993.495.536
INGENIERIA		GL	4%	\$	2.284.970.918
INSPECCION Y ADMINISTRACION DE LAS OBRAS		GL	6%	\$	3.427.456.378
TOTAL DE COSTOS DE CONSTRUCCION (3)			\$	82.830.195.791	
IVA (4)		GL	19%	\$	15.737.737.200
TOTAL DE COSTOS CON IVA (3)+(4)			\$	98.567.932.991	
			UF	4.644.210	

Tabla A6.8: Presupuesto Canal Chacrilas-Alicahue 12 m³/s

PRESUPUESTO DE OBRAS CANAL ALIMENTADOR CANAL CHACRILLAS-ALICAHUE 12M3/S

VALOR DE DOLAR: \$ 630 \$/dólar 02-11-2008					
ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (\$)	TOTAL (\$)	
1	CANAL TRAPECIAL				
1.2	ml	34.500	580.517	\$ 20.027.832.133	
1.3	ml	5.760	580.517	\$ 3.343.777.191	
1.4	ml	30.770	580.517	\$ 17.862.504.195	
2	TUNEL				
2.1	m ³	5.625	706.766	\$ 3.975.643.625	
2.2	m ³	35.663	706.766	\$ 25.205.580.579	
COSTO DE OBRAS (1)			\$	70.415.337.722	
EXPROPIACIONES (2)		HA	71	800.000	56.824.000
COSTO DIRECTO TOTAL (1)+(2)			\$	70.472.161.722	
			UF	3.320.426	
GASTOS GENERALES, UTILIDADES E IMPREVISTOS		GL	35%	\$	24.665.256.603
INGENIERIA		GL	4%	\$	2.818.886.469
INSPECCION Y ADMINISTRACION DE LAS OBRAS		GL	6%	\$	4.228.329.703
TOTAL DE COSTOS DE CONSTRUCCION (3)			\$	102.184.634.497	
IVA (4)		GL	19%	\$	19.415.080.554
TOTAL DE COSTOS CON IVA (3)+(4)			\$	121.599.715.051	
			UF	5.729.395	

ANALISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO

B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacrilas. Cubicaciones y Presupuestos

7.- Detalle de Presupuestos Obras de Conducción Alternativa Embalse Chacrilas – Alicahue – Petorca - Obras Adicionales a Alternativa Chacrilas – Alicahue

Tabla A7.1: Presupuesto Canal Alicahue-El Sobrante 3 m³/s**PRESUPUESTO DE OBRAS CANAL ALIMENTADOR CANAL ALICAHUE-SOBRANTE 3M3/S**

		VALOR DE DOLAR:		\$ 630	\$/dólar	02-11-2008
ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (\$)	TOTAL (\$)		
1	CANAL TRAPECIAL					
1.2	Canal Trapecial Revestido en H.A. Tramo AS-C1	ml	17.000	359.044	\$ 6.103.749.720	
1.3	Canal Trapecial Revestido en H.A. Tramo AS-C2	ml	7.300	359.044	\$ 2.621.021.939	
2	TUNEL					
2.1	Tunel excavado en roca Tramo AS-T1	m ³	7.532	706.766	\$ 5.323.466.468	
	COSTO DE OBRAS (1)			\$	14.048.238.127	
	EXPROPIACIONES (2)	HA	24	800.000	19.440.000	
	COSTO DIRECTO TOTAL (1)+(2)			\$	14.067.678.127	
				UF	662.825	
	GASTOS GENERALES, UTILIDADES E IMPREVISTOS	GL	35%	\$	4.923.687.345	
	INGENIERIA	GL	4%	\$	562.707.125	
	INSPECCION Y ADMINISTRACION DE LAS OBRAS	GL	6%	\$	844.060.688	
	TOTAL DE COSTOS DE CONSTRUCCION (3)			\$	20.398.133.285	
	IVA (4)	GL	19%	\$	3.875.645.324	
	TOTAL DE COSTOS CON IVA (3)+(4)			\$	24.273.778.609	
				UF	1.143.704	

Tabla A7.2: Presupuesto Canal El Sobrante-Pedernal 3 m³/s**PRESUPUESTO DE OBRAS CANAL ALIMENTADOR CANAL SOBRANTE-PEDERNAL 3M3/S**

		VALOR DE DOLAR:		\$ 630	\$/dólar	02-11-2008
ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (\$)	TOTAL (\$)		
1	CANAL TRAPECIAL					
1.2	Canal Trapecial Revestido en H.A. Tramo SP-C1	ml	5.500	359.044	\$ 1.974.742.557	
	COSTO DE OBRAS (1)			\$	1.974.742.557	
	EXPROPIACIONES (2)	HA	6	800.000	4.400.000	
	COSTO DIRECTO TOTAL (1)+(2)			\$	1.979.142.557	
				UF	93.251	
	GASTOS GENERALES, UTILIDADES E IMPREVISTOS	GL	35%	\$	692.699.895	
	INGENIERIA	GL	4%	\$	79.165.702	
	INSPECCION Y ADMINISTRACION DE LAS OBRAS	GL	6%	\$	118.748.553	
	TOTAL DE COSTOS DE CONSTRUCCION (3)			\$	2.869.756.707	
	IVA (4)	GL	19%	\$	545.253.774	
	TOTAL DE COSTOS CON IVA (3)+(4)			\$	3.415.010.481	
				UF	160.905	

ANALISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÓICOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
 B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacarillas. Cubicaciones y Presupuestos

Tabla A7.3: Presupuesto Canal Alicahue-EI Sobrante 4 m³/s

PRESUPUESTO DE OBRAS CANAL ALIMENTADOR CANAL ALICAHUE-SOBRANTE 4M3/S

		VALOR DE DOLAR: \$ 630 \$/dólar		02-11-2008	
	ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (\$)	TOTAL (\$)
1	CANAL TRAPECIAL				
1.2	Canal Trapecial Revestido en H.A. Tramo AS-C1	ml	17.000	390.632	\$ 6.640.746.033
1.3	Canal Trapecial Revestido en H.A. Tramo AS-C2	ml	7.300	390.632	\$ 2.851.614.473
2	TUNEL				
2.1	Tunel excavado en roca Tramo AS-T1	m ³	7.532	706.766	\$ 5.323.466.468
	COSTO DE OBRAS (1)			\$	14.815.826.975
	EXPROPIACIONES (2)	HA	24	800.000	19.440.000
	COSTO DIRECTO TOTAL (1)+(2)			\$	14.835.266.975
				UF	698.991
	GASTOS GENERALES, UTILIDADES E IMPREVISTOS	GL	35%	\$	5.192.343.441
	INGENIERIA	GL	4%	\$	593.410.679
	INSPECCION Y ADMINISTRACION DE LAS OBRAS	GL	6%	\$	890.116.018
	TOTAL DE COSTOS DE CONSTRUCCION (3)			\$	21.511.137.113
	IVA (4)	GL	19%	\$	4.087.116.051
	TOTAL DE COSTOS CON IVA (3)+(4)			\$	25.598.253.164
				UF	1.206.109

Tabla A7.4: Presupuesto Canal EI Sobrante-Pedernal 4 m³/s

PRESUPUESTO DE OBRAS CANAL ALIMENTADOR CANAL SOBRANTE-PEDERNAL 4M3/S

		VALOR DE DOLAR: \$ 630 \$/dólar		02-11-2008	
	ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (\$)	TOTAL (\$)
1	CANAL TRAPECIAL				
1.2	Canal Trapecial Revestido en H.A. Tramo SP-C1	ml	5.500	390.632	\$ 2.148.476.658
	COSTO DE OBRAS (1)			\$	2.148.476.658
	EXPROPIACIONES (2)	HA	6	800.000	4.400.000
	COSTO DIRECTO TOTAL (1)+(2)			\$	2.152.876.658
				UF	101.437
	GASTOS GENERALES, UTILIDADES E IMPREVISTOS	GL	35%	\$	753.506.830
	INGENIERIA	GL	4%	\$	86.115.066
	INSPECCION Y ADMINISTRACION DE LAS OBRAS	GL	6%	\$	129.172.599
	TOTAL DE COSTOS DE CONSTRUCCION (3)			\$	3.121.671.153
	IVA (4)	GL	19%	\$	593.117.519
	TOTAL DE COSTOS CON IVA (3)+(4)			\$	3.714.788.672
				UF	175.029

ANALISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÓCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO

B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacillas. Cubicaciones y Presupuestos

Tabla A7.5: Presupuesto Canal Alicahue-EI Sobrante 8 m³/s**PRESUPUESTO DE OBRAS CANAL ALIMENTADOR CANAL ALICAHUE-SOBRANTE 8M3/S**

		VALOR DE DOLAR: \$ 630 \$/dólar		02-11-2008	
	ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (\$)	TOTAL (\$)
1	CANAL TRAPECIAL				
1.2	Canal Trapecial Revestido en H.A. Tramo AS-C1	ml	17.000	490.151	\$ 8.332.558.656
1.3	Canal Trapecial Revestido en H.A. Tramo AS-C2	ml	7.300	490.151	\$ 3.578.098.717
2	TUNEL				
2.1	Tunel excavado en roca Tramo AS-T1	m ³	11.581	706.766	\$ 8.185.362.041
	COSTO DE OBRAS (1)			\$	20.096.019.415
	EXPROPIACIONES (2)	HA	24	800.000	19.440.000
	COSTO DIRECTO TOTAL (1)+(2)			\$	20.115.459.415
				UF	947.777
	GASTOS GENERALES, UTILIDADES E IMPREVISTOS	GL	35%	\$	7.040.410.795
	INGENIERIA	GL	4%	\$	804.618.377
	INSPECCION Y ADMINISTRACION DE LAS OBRAS	GL	6%	\$	1.206.927.565
	TOTAL DE COSTOS DE CONSTRUCCION (3)			\$	29.167.416.152
	IVA (4)	GL	19%	\$	5.541.809.069
	TOTAL DE COSTOS CON IVA (3)+(4)			\$	34.709.225.221
				UF	1.635.389

Tabla A7.6: Presupuesto Canal EI Sobrante-Pedernal 8 m³/s**PRESUPUESTO DE OBRAS CANAL ALIMENTADOR CANAL SOBRANTE-PEDERNAL 8M3/S**

		VALOR DE DOLAR: \$ 630 \$/dólar		02-11-2008	
	ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (\$)	TOTAL (\$)
1	CANAL TRAPECIAL				
1.2	Canal Trapecial Revestido en H.A. Tramo SP-C1	ml	5.500	490.151	\$ 2.695.827.801
	COSTO DE OBRAS (1)			\$	2.695.827.801
	EXPROPIACIONES (2)	HA	6	800.000	4.400.000
	COSTO DIRECTO TOTAL (1)+(2)			\$	2.700.227.801
				UF	127.226
	GASTOS GENERALES, UTILIDADES E IMPREVISTOS	GL	35%	\$	945.079.730
	INGENIERIA	GL	4%	\$	108.009.112
	INSPECCION Y ADMINISTRACION DE LAS OBRAS	GL	6%	\$	162.013.668
	TOTAL DE COSTOS DE CONSTRUCCION (3)			\$	3.915.330.311
	IVA (4)	GL	19%	\$	743.912.759
	TOTAL DE COSTOS CON IVA (3)+(4)			\$	4.659.243.070
				UF	219.529

ANALISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
 B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacrilas. Cubicaciones y Presupuestos

Tabla A7.7: Presupuesto Canal Alicahue-El Sobrante 12 m³/s

PRESUPUESTO DE OBRAS CANAL ALIMENTADOR CANAL ALICAHUE-SOBRANTE 12M3/S

		VALOR DE DOLAR:	\$ 630	\$/dólar	02-11-2008	
	ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (\$)	TOTAL (\$)	
1	CANAL TRAPECIAL					
1.2	Canal Trapecial Revestido en H.A. Tramo AS-C1	ml	17.000	580.517	\$ 9.868.786.848	
1.3	Canal Trapecial Revestido en H.A. Tramo AS-C2	ml	7.300	580.517	\$ 4.237.773.176	
2	TUNEL					
2.1	Tunel excavado en roca Tramo AS-T1	m ³	15.188	706.766	\$ 10.734.237.786	
	COSTO DE OBRAS (1)			\$	24.840.797.810	
	EXPROIACIONES (2)	HA	24	800.000	19.440.000	
	COSTO DIRECTO TOTAL (1)+(2)			\$	24.860.237.810	
				UF	1.171.336	
	GASTOS GENERALES, UTILIDADES E IMPREVISTOS	GL	35%	\$	8.701.083.233	
	INGENIERIA	GL	4%	\$	994.409.512	
	INSPECCION Y ADMINISTRACION DE LAS OBRAS	GL	6%	\$	1.491.614.269	
	TOTAL DE COSTOS DE CONSTRUCCION (3)			\$	36.047.344.824	
	IVA (4)	GL	19%	\$	6.848.995.517	
	TOTAL DE COSTOS CON IVA (3)+(4)			\$	42.896.340.341	
				UF	2.021.140	

Tabla A7.8: Presupuesto Canal El Sobrante-Pedernal 12 m³/s

PRESUPUESTO DE OBRAS CANAL ALIMENTADOR CANAL SOBRANTE-PEDERNAL 12M3/S

		VALOR DE DOLAR:	\$ 630	\$/dólar	02-11-2008	
	ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (\$)	TOTAL (\$)	
1	CANAL TRAPECIAL					
1.2	Canal Trapecial Revestido en H.A. Tramo SP-C1	ml	5.500	580.517	\$ 3.192.842.804	
	COSTO DE OBRAS (1)			\$	3.192.842.804	
	EXPROIACIONES (2)	HA	6	800.000	4.400.000	
	COSTO DIRECTO TOTAL (1)+(2)			\$	3.197.242.804	
				UF	150.644	
	GASTOS GENERALES, UTILIDADES E IMPREVISTOS	GL	35%	\$	1.119.034.981	
	INGENIERIA	GL	4%	\$	127.889.712	
	INSPECCION Y ADMINISTRACION DE LAS OBRAS	GL	6%	\$	191.834.568	
	TOTAL DE COSTOS DE CONSTRUCCION (3)			\$	4.636.002.065	
	IVA (4)	GL	19%	\$	880.840.392	
	TOTAL DE COSTOS CON IVA (3)+(4)			\$	5.516.842.457	
				UF	259.936	

ANALISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
 B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacillas. Cubicaciones y Presupuestos

8.- Detalle de Presupuestos Obras de Conducción Alternativa Putaendo – Los Ángeles Alternativa: Desde Cota 950

Tabla A8.1: Presupuesto Canal Putaendo-Los Ángeles 3 m³/s

PRESUPUESTO DE OBRAS CANAL ALIMENTADOR CANAL PUTAENDO-LOS ANGELES 3M3/S

		VALOR DE DOLAR: \$ 630 \$/dólar		02-11-2008	
	ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (\$)	TOTAL (\$)
1	OBRAS DE TOMA				
1,2	Bocatoma	Gl	1	588.048.658	\$ 588.048.658
2	CANAL TRAPECIAL				
2,1	Canal Trapecial Revestido en H.A. Tramo PLA-C1	ml	8.760	359.044	\$ 3.145.226.327
3	TUNEL				
3,1	Tunel excavado en roca Tramo PLA-T1	m ³	27.897	706.766	\$ 19.716.542.474
	COSTO DE OBRAS (1)			\$	23.449.817.459
	EXPROPIACIONES (2)	HA	9	800.000	7.008.000
	COSTO DIRECTO TOTAL (1)+(2)			\$	23.456.825.459
				UF	1.105.212
	GASTOS GENERALES, UTILIDADES E IMPREVISTOS	GL	35%	\$	8.209.888.910
	INGENIERIA	GL	4%	\$	938.273.018
	INSPECCION Y ADMINISTRACION DE LAS OBRAS	GL	6%	\$	1.407.409.528
	TOTAL DE COSTOS DE CONSTRUCCION (3)			\$	34.012.396.915
	IVA (4)	GL	19%	\$	6.462.355.414
	TOTAL DE COSTOS CON IVA (3)+(4)			\$	40.474.752.329
				UF	1.907.043

Tabla A8.2: Presupuesto Canal Putaendo-Los Ángeles 4 m³/s

PRESUPUESTO DE OBRAS CANAL ALIMENTADOR CANAL PUTAENDO-LOS ANGELES 4M3/S

		VALOR DE DOLAR: \$ 630 \$/dólar		02-11-2008	
	ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (\$)	TOTAL (\$)
1	OBRAS DE TOMA				
1,2	Bocatoma	Gl	1	588.048.658	\$ 588.048.658
2	CANAL TRAPECIAL				
2,1	Canal Trapecial Revestido en H.A. Tramo PLA-C1	ml	8.760	390.632	\$ 3.421.937.368
3	TUNEL				
3,1	Tunel excavado en roca Tramo PLA-T1	m ³	27.897	706.766	\$ 19.716.542.474
	COSTO DE OBRAS (1)			\$	23.726.528.500
	EXPROPIACIONES (2)	HA	9	800.000	7.008.000
	COSTO DIRECTO TOTAL (1)+(2)			\$	23.733.536.500
				UF	1.118.249
	GASTOS GENERALES, UTILIDADES E IMPREVISTOS	GL	35%	\$	8.306.737.775
	INGENIERIA	GL	4%	\$	949.341.460
	INSPECCION Y ADMINISTRACION DE LAS OBRAS	GL	6%	\$	1.424.012.190
	TOTAL DE COSTOS DE CONSTRUCCION (3)			\$	34.413.627.925
	IVA (4)	GL	19%	\$	6.538.589.306
	TOTAL DE COSTOS CON IVA (3)+(4)			\$	40.952.217.231
				UF	1.929.539

ANALISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRICOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
 B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacrilas. Cubicaciones y Presupuestos

Tabla A8.3: Presupuesto Canal Putaendo-Los Angeles 8 m³/s

PRESUPUESTO DE OBRAS CANAL ALIMENTADOR CANAL PUTAENDO-LOS ANGELES 8M3/S

VALOR DE DOLAR: \$ 630 \$/dólar 02-11-2008					
	ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (\$)	TOTAL (\$)
1	OBRAS DE TOMA				
1,2	Bocatoma	GI	1	588.048.658	\$ 588.048.658
2	CANAL TRAPEICIAL				
2,1	Canal Trapecial Revestido en H.A. Tramo PLA-C1	m ^l	8.760	490.151	\$ 4.293.718.461
3	TUNEL				
3,1	Tunel excavado en roca Tramo PLA-T1	m ³	42.894	706.766	\$ 30.316.155.708
	COSTO DE OBRAS (1)			\$	35.197.922.827
	EXPROPIACIONES (2)	HA	9	800.000	7.008.000
	COSTO DIRECTO TOTAL (1)+(2)			\$	35.204.930.827
				UF	1.658.745
	GASTOS GENERALES, UTILIDADES E IMPREVISTOS	GL	35%	\$	12.321.725.789
	INGENIERIA	GL	4%	\$	1.408.197.233
	INSPECCION Y ADMINISTRACION DE LAS OBRAS	GL	6%	\$	2.112.295.850
	TOTAL DE COSTOS DE CONSTRUCCION (3)			\$	51.047.149.699
	IVA (4)	GL	19%	\$	9.698.958.443
	TOTAL DE COSTOS CON IVA (3)+(4)			\$	60.746.108.142
				UF	2.862.165

Tabla A8.4: Presupuesto Canal Putaendo-Los Angeles 12 m³/s

PRESUPUESTO DE OBRAS CANAL ALIMENTADOR CANAL PUTAENDO-LOS ANGELES 12M3/S

VALOR DE DOLAR: \$ 630 \$/dólar 02-11-2008					
	ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (\$)	TOTAL (\$)
1	OBRAS DE TOMA				
1,2	Bocatoma	GI	1	588.048.658	\$ 588.048.658
2	CANAL TRAPEICIAL				
2,1	Canal Trapecial Revestido en H.A. Tramo PLA-C1	m ^l	8.760	580.517	\$ 5.085.327.811
3	TUNEL				
3,1	Tunel excavado en roca Tramo PLA-T1	m ³	56.251	706.766	\$ 39.756.436.245
	COSTO DE OBRAS (1)			\$	45.429.812.714
	EXPROPIACIONES (2)	HA	9	800.000	7.008.000
	COSTO DIRECTO TOTAL (1)+(2)			\$	45.436.820.714
				UF	2.140.840
	GASTOS GENERALES, UTILIDADES E IMPREVISTOS	GL	35%	\$	15.902.887.250
	INGENIERIA	GL	4%	\$	1.817.472.829
	INSPECCION Y ADMINISTRACION DE LAS OBRAS	GL	6%	\$	2.726.209.243
	TOTAL DE COSTOS DE CONSTRUCCION (3)			\$	65.883.390.036
	IVA (4)	GL	19%	\$	12.517.844.107
	TOTAL DE COSTOS CON IVA (3)+(4)			\$	78.401.234.143
				UF	3.694.019

ANALISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRICOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
 B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacrilas. Cubicaciones y Presupuestos

9.- Detalle de Presupuestos Obras de trasvase Alternativa Putaendo – Los Ángeles Alternativa B: Desde Cota 1.050

Tabla A9.1: Presupuesto Canal Putaendo-Los Ángeles 3 m³/s

PRESUPUESTO DE OBRAS CANAL ALIMENTADOR CANAL PUTAENDO-LOS ANGELES 3M3/S

		VALOR DE DOLAR: \$ 630 \$/dólar		02-11-2008	
	ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (\$)	TOTAL (\$)
1	OBRAS DE TOMA				
1,2	Bocatoma	Gl	1	588.048.658	\$ 588.048.658
2	CANAL TRAPECIAL				
2,1	Canal Trapecial Revestido en H.A. Tramo PLA-C2	ml	19.510	359.044	\$ 7.004.950.414
3	TUNEL				
3,1	Tunel excavado en roca Tramo PLA-T2	m ³	21.202	706.766	\$ 14.984.572.280
	COSTO DE OBRAS (1)			\$	\$ 22.577.571.353
	EXPROPIACIONES (2)	HA	20	800.000	15.608.000
	COSTO DIRECTO TOTAL (1)+(2)			\$	22.593.179.353
				UF	1.064.519
	GASTOS GENERALES, UTILIDADES E IMPREVISTOS	GL	35%	\$	7.907.612.773
	INGENIERIA	GL	4%	\$	903.727.174
	INSPECCION Y ADMINISTRACION DE LAS OBRAS	GL	6%	\$	1.355.590.761
	TOTAL DE COSTOS DE CONSTRUCCION (3)			\$	32.760.110.061
	IVA (4)	GL	19%	\$	6.224.420.912
	TOTAL DE COSTOS CON IVA (3)+(4)			\$	38.984.530.973
				UF	1.836.828

Tabla A9.2: Presupuesto Canal Putaendo-Los Ángeles 4 m³/s

PRESUPUESTO DE OBRAS CANAL ALIMENTADOR CANAL PUTAENDO-LOS ANGELES 4M3/S

		VALOR DE DOLAR: \$ 630 \$/dólar		02-11-2008	
	ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (\$)	TOTAL (\$)
1	OBRAS DE TOMA				
1,2	Bocatoma	Gl	1	588.048.658	\$ 588.048.658
2	CANAL TRAPECIAL				
2,1	Canal Trapecial Revestido en H.A. Tramo PLA-C2	ml	19.510	390.632	\$ 7.621.232.654
3	TUNEL				
3,1	Tunel excavado en roca Tramo PLA-T2	m ³	21.202	706.766	\$ 14.984.572.280
	COSTO DE OBRAS (1)			\$	23.193.853.592
	EXPROPIACIONES (2)	HA	20	800.000	15.608.000
	COSTO DIRECTO TOTAL (1)+(2)			\$	23.209.461.592
				UF	1.093.557
	GASTOS GENERALES, UTILIDADES E IMPREVISTOS	GL	35%	\$	8.123.311.557
	INGENIERIA	GL	4%	\$	928.378.464
	INSPECCION Y ADMINISTRACION DE LAS OBRAS	GL	6%	\$	1.392.567.696
	TOTAL DE COSTOS DE CONSTRUCCION (3)			\$	33.653.719.309
	IVA (4)	GL	19%	\$	6.394.206.669
	TOTAL DE COSTOS CON IVA (3)+(4)			\$	40.047.925.978
				UF	1.886.932

ANALISIS FACTIBILIDAD TRASFASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
 B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacrilas. Cubicaciones y Presupuestos

Tabla A9.3: Presupuesto Canal Putaendo-Los Ángeles 8 m³/s

PRESUPUESTO DE OBRAS CANAL ALIMENTADOR CANAL PUTAENDO-LOS ANGELES 8M3/S

VALOR DE DOLAR: \$ 630 \$/dólar 02-11-2008					
	ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (\$)	TOTAL (\$)
1	OBRAS DE TOMA				
1,2	Bocatoma	Gl	1	588.048.658	\$ 588.048.658
2	CANAL TRAPECIAL				
2,1	Canal Trapecial Revestido en H.A. Tramo PLA-C2	ml	19.510	490.151	\$ 9.562.836.435
3	TUNEL				
3,1	Tunel excavado en roca Tramo PLA-T2	m ³	32.600	706.766	\$ 23.040.278.338
	COSTO DE OBRAS (1)			\$	33.191.163.431
	EXPROPIACIONES (2)	HA	20	800.000	15.608.000
	COSTO DIRECTO TOTAL (1)+(2)			\$	33.206.771.431
				UF	1.564.598
	GASTOS GENERALES, UTILIDADES E IMPREVISTOS	GL	35%	\$	11.622.370.001
	INGENIERIA	GL	4%	\$	1.328.270.857
	INSPECCION Y ADMINISTRACION DE LAS OBRAS	GL	6%	\$	1.992.406.286
	TOTAL DE COSTOS DE CONSTRUCCION (3)			\$	48.149.818.575
	IVA (4)	GL	19%	\$	9.148.465.529
	TOTAL DE COSTOS CON IVA (3)+(4)			\$	57.298.284.104
				UF	2.699.715

Tabla A9.4: Presupuesto Canal Putaendo-Los Ángeles 12 m³/s

PRESUPUESTO DE OBRAS CANAL ALIMENTADOR CANAL PUTAENDO-LOS ANGELES 12M3/S

VALOR DE DOLAR: \$ 630 \$/dólar 02-11-2008					
	ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (\$)	TOTAL (\$)
1	OBRAS DE TOMA				
1,2	Bocatoma	Gl	1	588.048.658	\$ 588.048.658
2	CANAL TRAPECIAL				
2,1	Canal Trapecial Revestido en H.A. Tramo PLA-C2	ml	19.510	580.517	\$ 11.325.884.200
3	TUNEL				
3,1	Tunel excavado en roca Tramo PLA-T2	m ³	42.751	706.766	\$ 30.214.891.546
	COSTO DE OBRAS (1)			\$	42.128.824.404
	EXPROPIACIONES (2)	HA	20	800.000	15.608.000
	COSTO DIRECTO TOTAL (1)+(2)			\$	42.144.432.404
				UF	1.985.713
	GASTOS GENERALES, UTILIDADES E IMPREVISTOS	GL	35%	\$	14.750.551.341
	INGENIERIA	GL	4%	\$	1.685.777.296
	INSPECCION Y ADMINISTRACION DE LAS OBRAS	GL	6%	\$	2.528.665.944
	TOTAL DE COSTOS DE CONSTRUCCION (3)			\$	61.109.426.985
	IVA (4)	GL	19%	\$	11.610.791.127
	TOTAL DE COSTOS CON IVA (3)+(4)			\$	72.720.218.112
				UF	3.426.348

ANALISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRICOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
 B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacrilas. Cubicaciones y Presupuestos

10.- Detalle de Presupuestos de Embalse Chacrilas para sus Diferentes Alternativas de Almacenamiento

Item	Unidad	Presupuesto Original 27 Hm3			Presupuesto Alternativa 40 Hm3			Presupuesto Alternativa 84 Hm3			Presupuesto Alternativa 160 Hm3			
		Cantidad	P. unitario	Subtotal	Cantidad	P. unitario	Subtotal	Cantidad	P. unitario	Subtotal	Cantidad	P. unitario	Subtotal	
1. INSTALACION DE FAENAS														
1.1	Instalaciones de Faena	Gl	1	\$ 508.638,751	\$ 508.638,751	1	\$ 508.638,751	\$ 508.638,751	1	\$ 508.638,751	\$ 508.638,751	1	\$ 508.638,751	\$ 508.638,751
1.2	Instalaciones ITO	Gl	1	\$ 128.176,015	\$ 128.176,015	1	\$ 128.176,015	\$ 128.176,015	1	\$ 128.176,015	\$ 128.176,015	1	\$ 128.176,015	\$ 128.176,015
1.3	Camino de Construcción	Gl	1	\$ 158.218,585	\$ 158.218,585	1	\$ 158.218,585	\$ 158.218,585	1	\$ 158.218,585	\$ 158.218,585	1	\$ 158.218,585	\$ 158.218,585
1.4	Desarme de Instalaciones	Gl	1	\$ 14.134,921	\$ 14.134,921	1	\$ 14.134,921	\$ 14.134,921	1	\$ 14.134,921	\$ 14.134,921	1	\$ 14.134,921	\$ 14.134,921
				\$ 809.168,272			\$ 809.168,272			\$ 809.168,272			\$ 809.168,272	
2. OBRAS DE DESMOLVO														
2.1	Relleno	m3	9.900	\$ 1.396	\$ 13.821.336	11.901	\$ 1.396	\$ 16.615.521	27.278	\$ 1.396	\$ 38.083.230	48.170	\$ 1.396	\$ 67.250.040
				\$ 13.821.336			\$ 16.615.521			\$ 38.083.230			\$ 67.250.040	
3. PRESA														
3.1	Roces, desespes	m2	35.000	\$ 270	\$ 9.433.779	37.310	\$ 270	\$ 10.056.312	48.325	\$ 270	\$ 13.025.319	60.406	\$ 270	\$ 16.281.648
3.2	Escarpes	m3	21.408	\$ 2.169	\$ 46.442.013	25.736	\$ 2.169	\$ 55.830.946	58.987	\$ 2.169	\$ 127.968.055	104.164	\$ 2.169	\$ 225.971.440
3.3	Excavaciones en material común	m3	19.491	\$ 1.991	\$ 38.814.964	23.431	\$ 1.991	\$ 46.661.977	53.705	\$ 1.991	\$ 106.950.528	94.837	\$ 1.991	\$ 188.860.747
3.4	excavaciones en roca													
a	Coronamiento presa y primaria en plinto	m3	25.129	\$ 7.806	\$ 196.135.868	30.206	\$ 7.806	\$ 235.787.602	69.232	\$ 7.806	\$ 540.431.636	122.255	\$ 7.806	\$ 954.332.105
b	Secundaria en Plinto	m3	1.256	\$ 13.909	\$ 17.473.385	1.510	\$ 13.909	\$ 21.005.885	3.462	\$ 13.909	\$ 48.146.063	6.113	\$ 13.909	\$ 85.019.697
3.5	Tratamiento Superficie de Fundación													
a	Nivelación y Compacción suelo	m2	21.408	\$ 171	\$ 3.689.423	22.821	\$ 171	\$ 3.911.598	29.558	\$ 171	\$ 5.068.412	36.948	\$ 171	\$ 6.333.015
b	Tratamiento dental roca con hormigón	m3	456	\$ 174.556	\$ 79.597.678	548	\$ 174.556	\$ 95.689.510	1.256	\$ 174.556	\$ 219.322.976	2.219	\$ 174.556	\$ 387.295.902
c	Tratamiento dental roca con morteros y lechada	m3	91	\$ 189.605	\$ 17.254.015	109	\$ 189.605	\$ 20.742.188	251	\$ 189.605	\$ 47.541.613	443	\$ 189.605	\$ 83.952.315
d	Tratamiento superficie de fundación pantalla	m2	36.252	\$ 1.077	\$ 39.037.520	38.644	\$ 1.077	\$ 41.613.600	50.054	\$ 1.077	\$ 53.899.521	62.567	\$ 1.077	\$ 67.374.401
3.6	Barras de Anclaje R= 25mm	un.	1.623	\$ 60,074	\$ 97.499.998	1.623	\$ 60,074	\$ 97.499.998	1.623	\$ 60,074	\$ 97.499.998	1.623	\$ 60,074	\$ 97.499.998
3.7	Inyección de impermeabilización y consolidación													
a	Perforación en roca a Rotoperación	m	26.172	\$ 11,131	\$ 291.315.614	27.899	\$ 11,131	\$ 310.539.487	38.136	\$ 11,131	\$ 402.222.573	45.170	\$ 11,131	\$ 502.778.217
b	Perforación con recuperación de testigos													
1	Instalación y retiro de faenas	un.	1	\$ 13.754.868	\$ 13.754.868	1	\$ 13.754.868	\$ 13.754.868	1	\$ 13.754.868	\$ 13.754.868	1	\$ 13.754.868	\$ 13.754.868
2	Perforación con recuperación de testigos	m	1.447	\$ 165,628	\$ 239.663.112	1.542	\$ 165,628	\$ 255.478.445	1.998	\$ 165,628	\$ 330.905.414	2.497	\$ 165,628	\$ 413.631.767
c	Pruebas de admisión de agua													
1	Pruebas simples	un.	926	\$ 79,114	\$ 73.259.755	926	\$ 79,114	\$ 73.259.755	926	\$ 79,114	\$ 73.259.755	926	\$ 79,114	\$ 73.259.755
2	Pruebas de Lugeon	un.	232	\$ 237,153	\$ 55.019.472	232	\$ 237,153	\$ 55.019.472	232	\$ 237,153	\$ 55.019.472	232	\$ 237,153	\$ 55.019.472
d	Conexión	un.	5.927	\$ 43,617	\$ 258.515.034	5.927	\$ 43,617	\$ 258.515.034	5.927	\$ 43,617	\$ 258.515.034	5.927	\$ 43,617	\$ 258.515.034
e	Mezcla de Inyección	un.	828.580	\$ 122	\$ 100.824.903	828.580	\$ 122	\$ 100.824.903	828.580	\$ 122	\$ 100.824.903	828.580	\$ 122	\$ 100.824.903
f	Cemento	ton	829	\$ 226,781	\$ 187.985.157	997	\$ 226,781	\$ 225.988.105	2.284	\$ 226,781	\$ 517.973.213	4.034	\$ 226,781	\$ 914.673.446
g	Bentonita	Kg.	3.867	\$ 246	\$ 951.223	4.649	\$ 246	\$ 1.143.527	10.655	\$ 246	\$ 2.620.995	18.816	\$ 246	\$ 4.628.337
h	Superplastificantes	Kg.	11.048	\$ 1.560	\$ 17.230.994	13.282	\$ 1.560	\$ 20.714.492	30.442	\$ 1.560	\$ 47.478.182	53.756	\$ 1.560	\$ 83.840.305
3.8	Rellenos													
a	Zona 1A	m3	7.937	\$ 27,785	\$ 220.525.828	9.542	\$ 27,785	\$ 265.108.106	21.870	\$ 27,785	\$ 607.635.033	38.619	\$ 27,785	\$ 1.073.004.580
b	Zona 1B	m3	93.225	\$ 3,488	\$ 325.194.323	112.072	\$ 3,488	\$ 390.937.110	256.872	\$ 3,488	\$ 896.038.554	453.802	\$ 3,488	\$ 1.582.287.759
c	Zona 2A	m3	472	\$ 15,285	\$ 7.214.556	567	\$ 15,285	\$ 8.673.084	1.301	\$ 15,285	\$ 19.878.946	2.297	\$ 15,285	\$ 35.103.638
d	Zona 2B	m3	63.318	\$ 7,323	\$ 463.695.534	76.119	\$ 7,323	\$ 557.438.386	174.468	\$ 7,323	\$ 1.277.663.991	308.084	\$ 7,323	\$ 2.256.188.729
e	Zona 3A	m3	66.977	\$ 3,156	\$ 211.374.899	80.517	\$ 3,156	\$ 254.107.425	184.548	\$ 3,156	\$ 582.421.172	325.888	\$ 3,156	\$ 1.028.480.174
f	Zona 3B	m3	813.953	\$ 2,835	\$ 2.307.855.735	978.505	\$ 2,835	\$ 2.774.422.514	2.242.761	\$ 2,835	\$ 6.359.052.333	3.960.425	\$ 2,835	\$ 11.229.260.827
g	Zona 3C	m3	1.365.960	\$ 2,371	\$ 3.238.520.072	1.642.109	\$ 2,371	\$ 3.893.234.254	3.763.758	\$ 2,371	\$ 8.923.399.480	6.646.308	\$ 2,371	\$ 15.757.564.926
h	Zona 3D	m3	35.875	\$ 1,847	\$ 66.097.357	43.128	\$ 1,847	\$ 79.474.752	98.850	\$ 1,847	\$ 182.836.515	174.556	\$ 1,847	\$ 321.548.145
i	Carpeta de Rodado granular camino coronamiento	m3	490	\$ 8,121	\$ 3.979.498	589	\$ 8,121	\$ 4.784.011	1.350	\$ 8,121	\$ 10.965.085	2.384	\$ 8,121	\$ 19.362.916
3.9	Hormigones													
a	Hormigón H-15 de Nivelación. Plinto empotramiento	m3	406	\$ 85,770	\$ 34.822.697	488	\$ 85,770	\$ 41.862.614	1.119	\$ 85,770	\$ 95.960.256	1.875	\$ 85,770	\$ 169.435.696
b	Hormigón H-15 de Nivelación. Plinto valle	m3	49	\$ 68,379	\$ 3.350.548	59	\$ 68,379	\$ 4.027.911	136	\$ 68,379	\$ 9.232.062	238	\$ 68,379	\$ 16.302.658
c	Hormigón H-20 de Fundación. Plinto Sobre Suelo	m3	922	\$ 131,928	\$ 121.637.308	1.108	\$ 131,928	\$ 146.228.088	2.540	\$ 131,928	\$ 335.158.733	4.486	\$ 131,928	\$ 591.846.810
d	Hormigón H-20 Plinto Empotramiento	m3	811	\$ 131,928	\$ 106.993.337	975	\$ 131,928	\$ 128.623.604	2.235	\$ 131,928	\$ 294.808.821	3.946	\$ 131,928	\$ 520.594.103
e	Hormigón H-20 Plinto Valle	m3	98	\$ 114,537	\$ 11.224.658	118	\$ 114,537	\$ 13.493.897	270	\$ 114,537	\$ 30.928.357	477	\$ 114,537	\$ 54.615.464
f	Hormigón H-20 Pantalla	m3	13.632	\$ 87,225	\$ 1.189.053.414	16.388	\$ 87,225	\$ 1.429.437.946	37.562	\$ 87,225	\$ 3.278.310.894	66.329	\$ 87,225	\$ 5.785.539.676
g	Hormigón H-25 Parapeto Coronamiento	m3	833	\$ 134,834	\$ 112.316.462	1.001	\$ 134,834	\$ 135.022.677	2.295	\$ 134,834	\$ 309.476.130	4.053	\$ 134,834	\$ 546.494.666
h	Hormigón H-25 Masivo	m3	360	\$ 102,205	\$ 36.793.935	433	\$ 102,205	\$ 44.232.397	992	\$ 102,205	\$ 101.381.795	1.752	\$ 102,205	\$ 179.027.089
3.10	Armaduras A63-42H	kg.	1.025.113	\$ 902	\$ 924.147.887	1.232.365	\$ 902	\$ 1.110.977.654	2.824.590	\$ 902	\$ 2.546.391.187	4.987.860	\$ 902	\$ 4.498.596.240
3.11	Juntas													
a	Tipo A (Vertical en pantalla)	m	2.420	\$ 106,091	\$ 256.741.215	2.580	\$ 106,091	\$ 273.683.529	3.341	\$ 106,091	\$ 354.485.333	4.177	\$ 106,091	\$ 443.106.886
b	Tipo B (Horizontal en parapeto)	m	324	\$ 77,458	\$ 25.086.306	345	\$ 77,458	\$ 26.752.407	447	\$ 77,458	\$ 34.650.737	559	\$ 77,458	\$ 43.313.421
c	Tipo C (perom etral pantalla-plinto)	m	499	\$ 191,490	\$ 95.553.513	532	\$ 191,490	\$ 101.859.075	689	\$ 191,490	\$ 131.931.754	861	\$ 191,490	\$ 164.914.692
d	Tipo D (pantalla-muro lateral)	m	11	\$ 92,306	\$ 1.015.364	12	\$ 92,306	\$ 1.092.367	15	\$ 92,306	\$ 1.401.924	19	\$ 92,306	\$ 1.752.404
e	Tipo E (plinto-muro lateral)	m	10	\$ 77,888	\$ 778.882	11	\$ 77,888	\$ 830.280	14	\$ 77,888	\$ 1.075.411	17	\$ 77,888	\$ 1.344.263



ANALISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO

B. Trazado de canales de trasvase. Embalse Chacrillas. Cubicaciones y Presupuestos

3.12	Terminaciones											
a	Vereda Coronamiento de Presa	m	663 \$ 20.761	\$ 13.764.447	707 \$ 20.761	\$ 14.672.761	915 \$ 20.761	\$ 19.004.719	1.144 \$ 20.761	\$ 23.755.898		
b	Defensas Camineras	m	360 \$ 27.141	\$ 9.770.673	384 \$ 27.141	\$ 10.415.438	497 \$ 27.141	\$ 13.490.473	621 \$ 27.141	\$ 16.863.091		
c	Escaleras de Hormigón Talud de Aguas abajo	m	404 \$ 237.781	\$ 96.063.501	431 \$ 237.781	\$ 102.402.717	558 \$ 237.781	\$ 132.635.900	697 \$ 237.781	\$ 165.794.875		
d	Caseta Caudador	G	1 \$ 6.924.274	\$ 6.924.274	1 \$ 6.924.274	\$ 6.924.274	1 \$ 6.924.274	\$ 6.924.274	1 \$ 6.924.274	\$ 6.924.274		
e	Escaleras de hormigón en el plinto	m	140 \$ 237.781	\$ 33.289.332	149 \$ 237.781	\$ 35.486.090	193 \$ 237.781	\$ 45.962.936	242 \$ 237.781	\$ 57.453.669		
3.13	Instrumentación											
a	Acelerografos	G	1 \$ 57.744.208	\$ 57.744.208	1 \$ 57.744.208	\$ 57.744.208	1 \$ 57.744.208	\$ 57.744.208	1 \$ 57.744.208	\$ 57.744.208		
b	Monitores de Control	G	1 \$ 5.097.551	\$ 5.097.551	1 \$ 5.097.551	\$ 5.097.551	1 \$ 5.097.551	\$ 5.097.551	1 \$ 5.097.551	\$ 5.097.551		
c	Medidor de Deformación del Hormigón	G	1 \$ 43.804.520	\$ 43.804.520	1 \$ 43.804.520	\$ 43.804.520	1 \$ 43.804.520	\$ 43.804.520	1 \$ 43.804.520	\$ 43.804.520		
d	Medidor de Temperatura del Hormigón	G	1 \$ 31.196.533	\$ 31.196.533	1 \$ 31.196.533	\$ 31.196.533	1 \$ 31.196.533	\$ 31.196.533	1 \$ 31.196.533	\$ 31.196.533		
e	Reodmetro Casagrande	G	1 \$ 7.271.360	\$ 7.271.360	1 \$ 7.271.360	\$ 7.271.360	1 \$ 7.271.360	\$ 7.271.360	1 \$ 7.271.360	\$ 7.271.360		
f	Reodmetros eléctricos	G	1 \$ 6.127.018	\$ 6.127.018	1 \$ 6.127.018	\$ 6.127.018	1 \$ 6.127.018	\$ 6.127.018	1 \$ 6.127.018	\$ 6.127.018		
g	Celdas de Agua	G	1 \$ 5.368.383	\$ 5.368.383	1 \$ 5.368.383	\$ 5.368.383	1 \$ 5.368.383	\$ 5.368.383	1 \$ 5.368.383	\$ 5.368.383		
h	Caseta Medidor Celdas de Agua	G	1 \$ 1.619.052	\$ 1.619.052	1 \$ 1.619.052	\$ 1.619.052	1 \$ 1.619.052	\$ 1.619.052	1 \$ 1.619.052	\$ 1.619.052		
i	Limnómetro	G	1 \$ 18.893.118	\$ 18.893.118	1 \$ 18.893.118	\$ 18.893.118	1 \$ 18.893.118	\$ 18.893.118	1 \$ 18.893.118	\$ 18.893.118		
j	Medidores Juntas	G	1 \$ 54.044.697	\$ 54.044.697	1 \$ 54.044.697	\$ 54.044.697	1 \$ 54.044.697	\$ 54.044.697	1 \$ 54.044.697	\$ 54.044.697		
				\$ 11.931.840.385		\$ 14.022.970.578		\$ 29.874.683.774		\$ 51.319.491.155		
VERTEDERO												
4.1	Excavaciones Abiertas											
a	Material Común	m3	13.322 \$ 1.547	\$ 20.603.325	16.015 \$ 1.547	\$ 24.768.589	36.707 \$ 1.547	\$ 56.770.284	64.820 \$ 1.547	\$ 100.248.951		
b	Roca	m3	172.620 \$ 7.832	\$ 1.352.004.828	207.518 \$ 7.832	\$ 1.625.332.372	475.636 \$ 7.832	\$ 3.725.306.279	839.912 \$ 7.832	\$ 6.578.407.233		
4.2	Hormigón Proyectado	m3	211 \$ 171.338	\$ 36.152.227	254 \$ 171.338	\$ 43.460.929	581 \$ 171.338	\$ 99.613.638	1.027 \$ 171.338	\$ 175.904.752		
4.3	Pernos Sellados											
a	f=22 mm, L= 4,0 m	un.	112 \$ 74.375	\$ 8.330.008	112 \$ 74.375	\$ 8.330.008	112 \$ 74.375	\$ 8.330.008	112 \$ 74.375	\$ 8.330.008		
b	f=22 mm, L= 3,7 m	un.	2.504 \$ 65.802	\$ 164.768.813	2.504 \$ 65.802	\$ 164.768.813	2.504 \$ 65.802	\$ 164.768.813	2.504 \$ 65.802	\$ 164.768.813		
c	f=22 mm, L= 3,5 m	un.	863 \$ 64.195	\$ 55.400.708	863 \$ 64.195	\$ 55.400.708	863 \$ 64.195	\$ 55.400.708	863 \$ 64.195	\$ 55.400.708		
d	f=22 mm, L= 3,0 m con placa y tuerca	un.	692 \$ 72.584	\$ 50.228.013	692 \$ 72.584	\$ 50.228.013	692 \$ 72.584	\$ 50.228.013	692 \$ 72.584	\$ 50.228.013		
4.4	Sistema de drenaje											
a	Medidas cañas tubos PVC f=200 mm	m	860 \$ 28.729	\$ 24.707.106	917 \$ 28.729	\$ 26.337.524	1.187 \$ 28.729	\$ 34.113.364	1.484 \$ 28.729	\$ 42.641.705		
b	Tubos colectores de PVC f=300 mm	m	438 \$ 23.749	\$ 10.402.197	467 \$ 23.749	\$ 11.088.637	605 \$ 23.749	\$ 14.362.425	756 \$ 23.749	\$ 17.953.031		
4.5	Hormigones canal colector											
a	H-25 radieres	m3	141 \$ 121.345	\$ 17.109.657	170 \$ 121.345	\$ 20.568.624	389 \$ 121.345	\$ 47.143.850	686 \$ 121.345	\$ 83.249.919		
b	H-25 Muros	m3	1.745 \$ 162.640	\$ 283.807.564	2.098 \$ 162.640	\$ 341.183.412	4.808 \$ 162.640	\$ 782.001.718	8.491 \$ 162.640	\$ 1.380.913.507		
4.6	Hormigones transición											
a	H-25 radieres	m3	220 \$ 109.211	\$ 24.026.356	264 \$ 109.211	\$ 28.883.635	606 \$ 109.211	\$ 66.202.082	1.070 \$ 109.211	\$ 116.904.281		
b	H-25 Muros	m3	758 \$ 130.891	\$ 99.215.673	911 \$ 130.891	\$ 119.273.572	2.089 \$ 130.891	\$ 273.378.291	3.688 \$ 130.891	\$ 482.750.570		
4.7	Hormigones Rápidos descarga											
a	H-25 radieres	m3	2.321 \$ 109.211	\$ 253.478.053	2.790 \$ 109.211	\$ 304.722.347	6.395 \$ 109.211	\$ 698.431.960	11.293 \$ 109.211	\$ 1.233.340.164		
b	H-25 Muros	m3	2.466 \$ 130.891	\$ 322.778.166	2.965 \$ 130.891	\$ 388.032.491	6.795 \$ 130.891	\$ 889.381.090	11.999 \$ 130.891	\$ 1.570.531.536		
4.8	Armaduras calidad A63-42H	Kg.	379.852 \$ 902	\$ 342.439.680	456.645 \$ 902	\$ 411.668.844	1.046.642 \$ 902	\$ 943.556.257	1.848.234 \$ 902	\$ 1.666.197.848		
				\$ 3.065.452.354		\$ 3.624.048.518		\$ 7.908.988.778		\$ 13.727.771.038		
5. VARIOS												
5.1	Alimentación eléctrica e iluminación de las obras	G	1		1		1		1			
5.2	Estación Meteorológica	G	1 \$ 16.917.824	\$ 16.917.824	1 \$ 16.917.824	\$ 16.917.824	1 \$ 16.917.824	\$ 16.917.824	1 \$ 16.917.824	\$ 16.917.824		
5.3	Despeje de Cubeta											
a	Tala, Trozadura de arboles y despeje de vegetación	ha.	100 \$ 366.130	\$ 36.613.005	107 \$ 366.130	\$ 39.029.092	138 \$ 366.130	\$ 50.551.967	173 \$ 366.130	\$ 63.189.958		
5.4	Desvo camino-carpet a rodado	m3	281 \$ 8.121	\$ 2.282.120	338 \$ 8.121	\$ 2.743.484	774 \$ 8.121	\$ 6.288.140	1.367 \$ 8.121	\$ 11.104.039		
				\$ 55.812.950		\$ 58.690.400		\$ 73.757.931		\$ 91.211.822		
				\$ 15.876.085.277		\$ 18.531.493.290		\$ 38.704.681.985		\$ 66.014.892.327		
	UF		\$ 748.032		UF	\$ 873.146		UF	\$ 1.823.643			
	US\$		\$ 25.200.151		US\$	\$ 29.415.069		US\$	\$ 61.436.003			
									UF	\$ 3.110.414		
									US\$	\$ 104.785.543		

C. MODELACIÓN HIDROLÓGICO OPERACIONAL SISTEMA TRASVASE PUTAENDO – LA LIGUA

Aplicación Plataforma WEAP

INDICE de la Sección C

1. INTRODUCCIÓN	2
2. DESCRIPCIÓN MODELO	2
3. TOPOLOGÍA MODELO DE TRASVASE	10
4. ESCENARIO SIN TRASVASE	19
5. ESCENARIOS DE SIMULACIÓN EMBALSE LOS ÁNGELES	22
6. ESCENARIOS DE SIMULACIÓN EMBALSE ALICAHUE	26
7. ESCENARIOS DE SIMULACIÓN EMBALSE ALICHAUE Y LOS ÁNGELS	31
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	33
BORRADOR DE CARTA DE CNR AL MOP	34

1. Introducción

En el presente capítulo se describe la herramienta de modelación hidrológico – operacional, utilizados para simular las condiciones de operación del sistema hídrico del río Putaendo, en conjunto con escenarios de trasvase hacia la cuenca de Ligua, de acuerdo a ciertos patrones predefinidos de regulación, oferta y demanda de los recursos hídricos en ambos valles. Para este motivo se consideró como criterio de satisfacción, la seguridad de riego de 85%.

La seguridad de riego se determina como el cociente entre los años sin falla y el total de años simulados. Un año es fallado si el déficit es mayor o igual a un 15% en un mes cualquiera, o bien, si en dos meses seguidos los déficits son inferiores a un 15 %, pero, mayores que 10 %. Las fallas se contabilizan desde octubre en adelante.

De acuerdo al criterio anterior se simularon escenarios de trasvase que permitieran satisfacer la demanda de los sectores definidos, bajo el criterio señalado anteriormente. Para este efecto se trabajó sobre una plataforma de Modelación denominada WEAP (Water Evaluation and Planning System), configurando una topología que permitiría resolver las condiciones originales del sistema hídrico, así como también los escenarios operacionales señalados.

Posteriormente se analizarán los resultados, condicionando la operación a un objetivo de optimización del sistema y de esta forma permitir un uso adecuado de los recursos hídricos existentes en las cuencas en estudio.

Cabe destacar que el presente análisis se enmarca en un estudio a nivel de perfil de las alternativas de trasvas. Dado lo cual el modelo no presente un detalle topológico de los sectores de demanda ni tampoco estructuras operacionales complejas.

2. Descripción Modelo

En el presente estudio se utilizó la plataforma de modelación hidrológico – operacional denominada WEAP (Water Evaluation and Planning System). Este Modelo es una herramienta que toma una aproximación integrada a la planificación de recursos hídricos, desarrollada por el Stockholm Environment Institute's Boston Center del Tellus Institute.

Para efectos del presente trabajo, se utilizaron los resultados de la investigación del Ing. Juan Pablo Schuster V. (Universidad de Chile) y del Sr. Eduardo Rubio (Universidad de Chile), los cuales han trabajado con esta herramienta, particularmente en la modelación y caracterización de la cuenca de Aconcagua entre otros sistemas hídricos.

WEAP posee variadas capacidades, entre las que destacan:

1. Base de datos de balances hídricos: posee un sistema para almacenar información sobre demandas y abastecimientos de agua.
2. Herramienta de generación de escenarios: simula demandas, abastecimientos, flujos y almacenamientos, además de generación, tratamiento y descarga de contaminantes.
3. Herramienta de análisis de políticas: evalúa opciones de desarrollo y manejo, y toma en cuenta muchos sistemas de uso de agua.

WEAP durante la simulación realiza una optimización del flujo de agua a través del sistema, mediante algoritmos de programación lineal. Para esto realiza balances de masa entre los diferentes elementos del sistema hídrico, los cuales se dividen en términos de fuentes de abastecimiento (e.g. embalses, aguas subterráneas, entre otros), instalaciones de extracción, transmisión, y tratamiento de aguas servidas, requerimientos ecológicos, demandas de agua y generación de contaminantes, permitiendo a la herramienta dirigirse a una gran cantidad de asuntos, como son los análisis de demanda sectorial, conservación de aguas, derechos de aguas y prioridades de asignación, simulaciones de aguas subterráneas y superficiales, operación de embalses, generación de energía hidroeléctrica, rastreo de contaminantes, requerimientos ecológicos, y análisis costo-beneficio.

El sistema posee una interfaz gráfica basada en ambiente SIG, que permite al usuario crear el modelo sobre mapas que pueden ser sobrepuestos o manipulados con alguna de las variadas herramientas que posee un SIG. Para esto se pueden importar al sistema mapas generados en sistemas ArcView o similares, tanto a nivel vectorial como raster.

2.1 *La Simulación en WEAP.*

Para realizar la simulación del funcionamiento del sistema, WEAP21 divide el sistema en nodos y arcos, para los cuales se realiza un balance de masa de agua y contaminantes mensualmente. En la simulación cada mes es independiente del anterior excepto por el almacenamiento en embalses y acuíferos, es decir el agua que entra al sistema es o almacenada o abandona el sistema en el mismo al final del mes, se asume esta instantaneidad debido a lo largo de los intervalos de tiempo (un mes), se debe tomar en cuenta que los flujos de retorno desde plantas de tratamiento de aguas servidas y otros también son devueltos durante el mismo mes.

Este es un modelo bastante general para el cual no se visualizan mayores problemas para ser utilizado en Chile. Como ventaja para su aplicación al caso chileno, está la simplicidad con que representa los procesos, la mayoría de los cuales se representan a través de porcentajes, tasas o caudales ingresados por el usuario, así por ejemplo la recarga desde los acuíferos a ríos se ingresan como caudales fijos, las pérdidas en el abastecimiento de agua para sectores urbanos (filtraciones, uso de bomberos, etc.) se representan a través de un porcentaje de la demanda, los derrames de las zonas de riego también son representados como porcentaje de la demanda, etc.

2.2 *Algoritmo de Cálculo de WEAP.*

WEAP calcula un balance de masa tanto para el agua como para los elementos de contaminación, para cada nodo uniéndolo al resto del sistema en un paso de tiempo a nivel mensual.

El agua se entrega al nodo para resolver cada tramo de canal/río y los requerimientos consuntivos, sujeto a las prioridades de la demanda, preferencias de entrega, balance de masa y otras restricciones.

WEAP funciona con un paso de tiempo a nivel mensual, a partir del mes asociado a la temporada definida. Cada mes es independiente del mes anterior, con excepción del almacenamiento en los embalses y los acuíferos presentes. Así, toda la agua que incorpora el sistema en un mes (por ejemplo, caudales de cabecera, recarga del agua subterránea, o caudales de cuencas laterales) se almacena en un acuífero o un embalse, o sale del sistema antes de fin de mes (por ejemplo, la

salida al final del tramo de río, consumo desde el sitio de demanda, almacenamiento o evaporación desde el tramo de río, pérdidas por transmisión y retorno de los flujos asociados al sistema topológico). Debido a que la escala de tiempo es relativamente grande (mensual), todos los flujos se asumen que ocurren en forma instantánea. De esta forma, un sitio de demanda puede retirar el agua del río, consume algo, y eventualmente devolver el resto a una planta de tratamiento de aguas residuales la cual trata y posteriormente las devuelve al río. Este flujo de vuelta está disponible para el uso en el mismo mes para las demandas hacia aguas abajo.

WEAP calcula un balance de masa tanto para el agua como para los elementos de contaminación, para cada nodo uniéndolo al resto del sistema en un paso de tiempo a nivel mensual.

Para cada mes los cálculos siguen el siguiente orden:

1. La demanda anual y los requisitos mensuales de la fuente para cada sitio de demanda y los requerimientos de flujo.
2. Escorrentía e infiltración desde las cuencas, sin asumir entradas por riego.
3. Entradas y salidas de agua para cada nodo y conexión con el sistema. Esto incluye el cálculo de salidas desde la fuente para resolver la demanda, y eventualmente enviar a almacenamiento. Este paso es solucionado mediante programación lineal (LP), lo cual permite optimizar la cobertura de las demandas y los requisitos de flujo del tramo de río, conforme a las prioridades de demanda definida, suministro de preferencias, balance de masa y otras restricciones.
4. Generación de contaminación debido a los puntos de demanda, flujos y tratamiento de contaminantes, y concentración de estos contaminantes en los ríos.
5. Generación de hidroelectricidad.
6. Capital, gastos de operación y ganancias.

De acuerdo a lo señalado anteriormente, las entradas y salidas de agua, desde cada nodo y conexión en el sistema topológico definido esta dado a nivel mensual. Estos cálculos incluyen las salidas desde las fuentes de abastecimiento para satisfacer la demanda. La metodología de programación lineal (PL) es usada para maximizar la satisfacción de demanda y los requerimientos de uso específico en los tramos de río, sujeto a las prioridades de demanda, preferencias de fuente, balance de masa y otras restricciones.

2.3 Modelación de la Escorrentía, Infiltración y Riego en WEAP.

WEAP posee tres opciones o métodos para simular algunos de los procesos en una cuenca aportante tales como evapotranspiración, escorrentía, infiltración y demandas de riego. Estos métodos son:

1. Precipitación – Escorrentía.
2. Demandas de riego o evapotranspirativas: Como una versión del método FAO de requerimientos de cultivos.
3. Método de humedad del suelo.

La opción de utilización de algunos de estos métodos, depende del nivel de complejidad o detalle que se desea lograr, conforme el nivel de información disponible.

El método de humedad del suelo es el más complejo de los tres. En este método se representa la cuenca mediante dos capas de suelo, así como el potencial para la acumulación de nieves.

Particularmente en el trabajo desarrollado en la cuenca de Aconcagua, se trabajó solamente mediante este último método.

En la capa superior del suelo, se simula la evapotranspiración considerando la lluvia y el riego de suelos agrícolas y no agrícolas, flujo y pérdidas subsuperficiales y cambios en la humedad del suelo.

El flujo base que se dirige al río y los cambios en la humedad del suelo, son simulados en la capa de suelo inferior. Conforme a lo anterior, este método requiere una parametrización más completa de los suelos y el clima, para poder simular estos procesos.

También se pueden conectar nodos de aguas subterráneas a las cuencas simuladas, mediante este método. En este caso, la capa inferior del suelo es ignorada y las precipitaciones que pasan a través de la capa superficial del suelo se dirigen al acuífero, antes que el flujo base aumentando la humedad del suelo en esta capa inferior.

2.4 *El Método de Humedad del suelo.*

Este método es unidimensional, con 2 compartimientos o estanques de suelo, cuyo esquema de medición de la cantidad de humedad del suelo, se encuentra basado en funciones empíricas que describen evapotranspiración, escorrentía superficial, subsuperficial y percolación profunda para una cuenca.

ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
C. Modelo Hidrológico

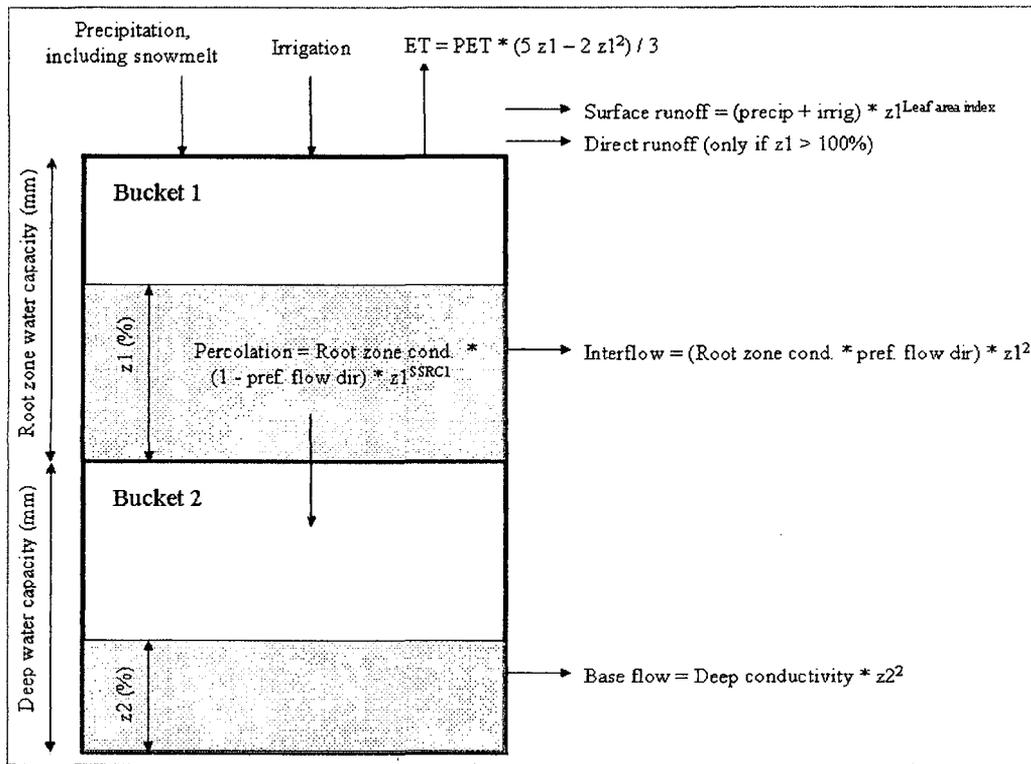


Figura 2.1: Diagrama conceptual y ecuaciones incorporadas al modelo de estanques.

Este método permite la caracterización del uso del suelo y/o el impacto en los tipos de suelo en los procesos. La percolación profunda al interior de una cuenca podría aflorar a los cuerpos de agua superficiales como flujo base o directamente al almacenamiento del acuífero, siempre y cuando la conexión entre el sistema superficial y subterráneo ha sido apropiada.

La cuenca es dividida en N fracciones de área, representando los diferentes usos / tipos de suelo, y el cálculo del balance hídrico se realiza para cada fracción de área, j de N. El clima se asume uniforme sobre cada subcuenca, para lo cual el balance estaría dado por:

$$Rd_j \frac{dz_{1,j}}{dt} = P_e(t) - PET(t)k_{c,j}(t) \left(\frac{5z_{1,j} - 2z_{1,j}^2}{3} \right) - P_e(t)z_{1,j}^{LAI_j} - (1 - f_j)k_j z_{1,j}^2 - f_j k_j z_{1,j}^2$$

Donde:

$z_{1,j}=[1,0]$ es el almacenamiento relativo dado como una fracción del almacenamiento total efectivo de la zona radicular.

Rd_j : Fracción del suelo cubierto j (mm).

P_e : es la precipitación efectiva, la cual incluye derretimiento de nieve desde el manto nival en las subcuencas.

PET: es la evapotranspiración potencial para un cultivo de referencia (Penman-Montieth), y $k_{c,j}$ es el coeficiente de cultivo para cada fracción de cobertura del suelo.



El tercer término representa la escorrentía superficial, LAI_j es el Índice de Superficie de Hojas de la cobertura del suelo (Leaf Area Index).

Bajos valores para el índice LAI, lleva a una mayor superficie de escorrentía. El cuarto y quinto término representan los términos del flujo subsuperficial y la percolación profunda, respectivamente. Donde k_j es una estimación de la conductividad saturada de la zona radicular (mm/tiempo) y f_j es un coeficiente de partición relacionado al suelo, tipo de cubierta de suelo, y la topografía la cual divide las particiones de agua tanto horizontal como vertical. De esta forma la escorrentía total (RT), para cada subcuenca en el tiempo t es:

$$RT(t) = \sum_{j=1}^N A_j \left(P_e(t) z_{1j}^{LAI_j} - (1 - f_j) k_j z_{1j}^2 \right)$$

Además se tiene:

$$m_c = \begin{cases} 0 & T_i < T_s \\ \frac{T_i - T_s}{T_l - T_s} & \text{if } T_i > T_l \\ \frac{T_i - T_s}{T_l - T_s} & T_s \leq T_i \leq T_l \end{cases}$$

Donde, m_c es el coeficiente de derretimiento

T_i es la temperatura observada para el mes i, y T_l y T_s son las temperaturas necesarias para el derretimiento y el congelamiento, correspondientes.

Además la nieve acumulada, Ac_i, es función de m_c y la precipitación total observada a nivel mensual, P_i.

$$Ac_i = Ac_{i-1} + (1 - m_c) P_i$$

El porcentaje de derretimiento m_r, está dado por:

$$m_r = Ac_i m_c$$

La precipitación efectiva P_e, se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$P_e = P_i m_c + m_r$$

Para aplicaciones donde no hay flujo de retorno, se crea una unión (link) desde la cuenca hacia un nodo de acuífero, entonces el flujo base que aflora desde del segundo estanque (profundo), se calcula con la siguiente expresión:

$$S_{\max} \frac{dz_2}{dt} = \left(\sum_{j=1}^N f_j k_j z_{1j}^2 \right) - k_2 z_2^2$$

Donde el flujo de entrada al almacenamiento, S_{\max} es la percolación profunda desde el almacenamiento superior, y k_2 es la conductividad saturada del almacenamiento inferior (mm/tiempo), el cual está dado por un valor único de la cuenca.

Cuando se introduce en el modelo un acuífero del tipo aluvial, y la unión escorrentía/infiltración se establece entre el sistema superficial y el subterráneo, el término de segundo almacenamiento es ignorado, y la recarga R (volumen/tiempo) al acuífero es:

$$R = \sum_{j=1}^N A_j (f_j k_j z_{1j}^2)$$

Donde A_j es la unidad de cuenca que contribuye al área. La geometría del acuífero queda caracterizada por la altura del nivel freático relativo al río, donde tramos individuales del río pueden ganar o perder agua respecto al acuífero.

2.5 Calibración Modelo Putaendo

Para efectos del presente trabajo se procedió a calibrar, en forma particular la cuenca de Putaendo, considerando estadísticas de la estación Fluviométrica de Resguardo los Patos, con una estadística que contempla el período de 1950 a 1999.

Tanto la topología, como los datos definidos en los sectores de riego en la cuenca Putaendo, fueron desarrollados a partir de la información disponible en la Dirección General de Aguas y de la Comisión Nacional de Riego, particularmente del estudio "DIAGNÓSTICO DE CAUDALES EN CUENCAS NO CONTROLADAS EN RECUPERACIÓN, CUENCAS DE ACONCAGUA Y MAIPO" GCF – CNR, 2007.

De acuerdo a lo anterior, en la siguiente figura se muestra la topología considerada en Putaendo.

ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO

C. Modelo Hidrológico

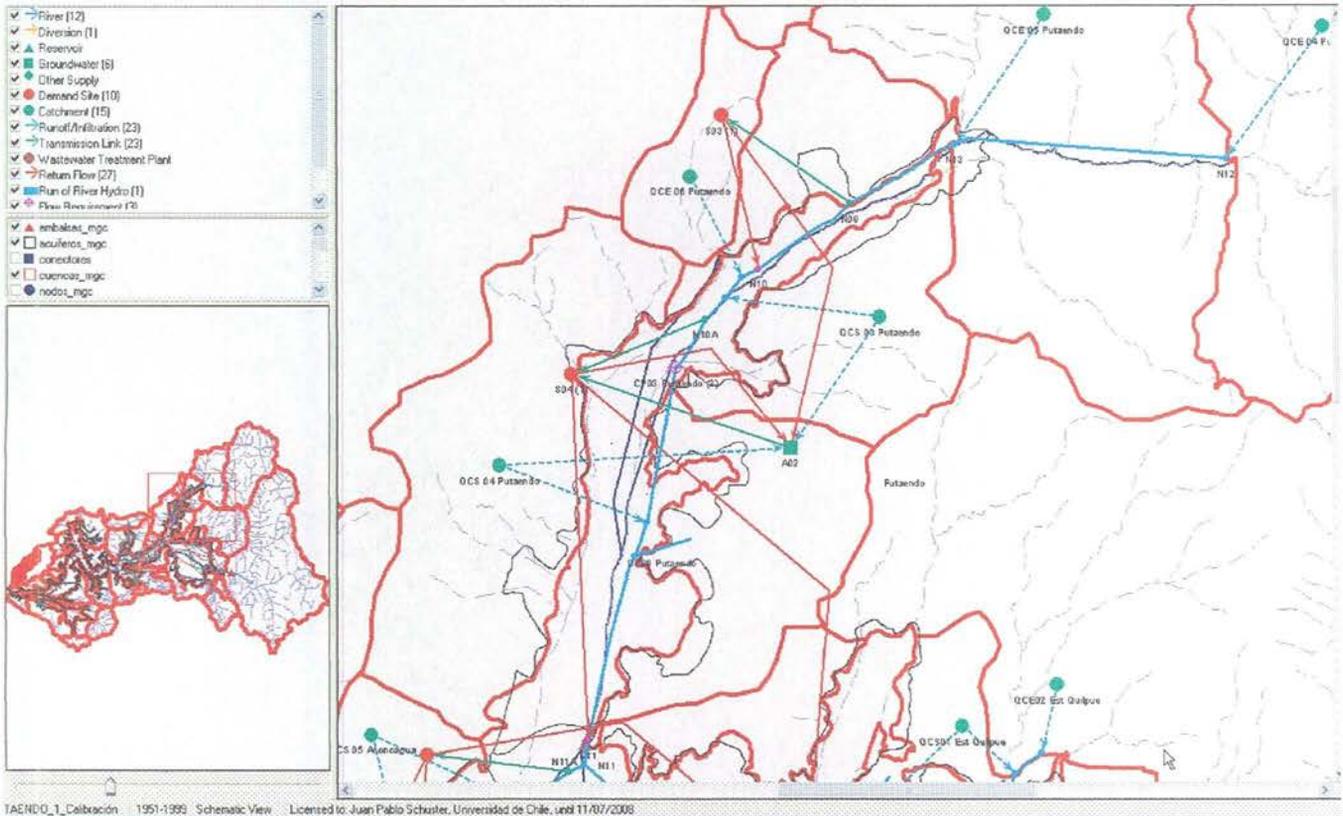


Figura 2.2: Topología Cuenca de Putaendo – Interface WEAP

De acuerdo a esta topología, la cual se inserta en un modelo global de la cuenca de Aconcagua, la subcuenca de Putaendo fue calibrada y validada bajo las condiciones de operación de Aconcagua. Sin embargo, para efectos de este trabajo se recalibró el modelo hidrológico de la cuenca de cabecera, entrada al sector de oferta o alimentación al embalse Chacrillas propuesto.

Bajo estas condiciones se obtuvo un set de parámetros para el modelo hidrológico de estanques dispuesto como punto de entrada a la zona de cabecera del embalse Chacrillas.

De acuerdo a lo señalado anteriormente, este modelo fue calibrado con la estadística de Putaendo en Resguardo los Patos, la cual está incluida en la Tabla N° 2.1.

Como metodología de medición de la eficiencia de la calibración se utilizó el índice de Nash-Sutcliffe (NS), sin desmedro del análisis específico a nivel gráfico y otros indicadores de calibración estándar.

El índice de eficiencia de calibración de Nash-Sutcliffe (NS) fue desarrollado específicamente para la calibración de estudios hidrológicos, mediante la siguiente expresión:

$$E = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_o^t - Q_m^t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_o^t - \bar{Q}_o)^2}$$

Donde:

- Q_o : Son los caudales observados (reales).
- Q_m : Son los caudales modelados.
- Q : Caudal en el momento t .

Este índice posee un rango que va desde $-\infty$ to 1. Donde una eficiencia de 1 ($E=1$), corresponde a un ajuste perfecto entre los valores medidos y los modelados. Por otro lado, un $E=0$ indica que las predicciones del modelo están dentro del promedio de los datos observados. Finalmente una eficiencia menor de 0 ($-\infty < E < 0$), significa que el modelo predice por debajo del promedio de los datos reales, lo que implica un mal ajuste.

Finalmente, el índice NS obtenido, del proceso de calibración, resultó ser de 0.54. Gráficamente, el ajuste es bastante bueno para toda la estadística simulada. En el Gráfico N° 2.1, se muestra el ajuste del modelo a los datos observados en la Estación de Resguardo los Patos.

3. Topología Modelo de Traslase

La topología creada para efectos del presente trabajo forma parte del modelo de gestión integrada diseñado e implementado por el Ing. Juan Pablo Schuster (2007). En la siguiente figura se muestra la topología generada en el WEAP, para efectos de representar el funcionamiento de los elementos operacionales que intervienen en el modelo planteado de Putaendo, con trasvase hacia el valle de La Ligua.

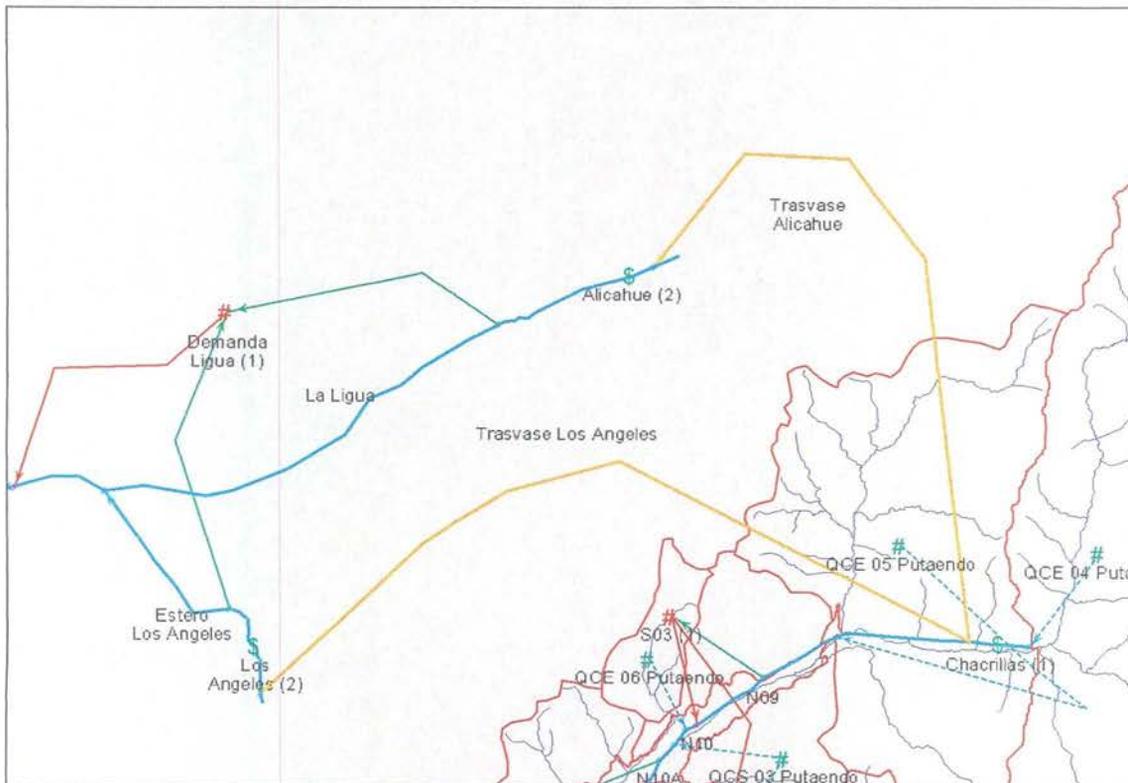


Figura 3.1: Topología Adoptada para las simulaciones.

De acuerdo a lo señalado en la Figura 3.1, donde se detalla la topología empleada, desde la parte alta del río Putaendo se generan los caudales de entrada hacia el embalse Chacrillas. Aguas abajo del embalse se han modelado 2 canales de trasvase (dibujados de color naranja), denominados "Trasvase Alicahue" y "Trasvase Los Ángeles". Estos canales se modelarán con distintos aportes, de acuerdo al caudal peak de demanda en punto de destino.

Con respecto a la topología perteneciente al río "La Ligua", se presentan el mismo río y uno de sus afluentes, el Estero "Los Ángeles". En la parte alta del río "La Ligua" se observa al embalse "Alicahue", mientras que en el estero "Los Ángeles" se encuentra el embalse del mismo nombre. Los embalses están simbolizados con un nodo triangular de color verde, al igual que el embalse "Chacrillas".

Por último, se detalla en color rojo el nodo representativo de la demanda de riego de "La Ligua", denominado "Demanda Ligua". Esta demanda será satisfecha con los recursos del río La Ligua (Embalse "Alicahue") o con los del Estero "Los Ángeles" (Embalse "Los Ángeles"). Se presume también que no todo el recurso es utilizado en un abastecimiento directo de la demanda, sino que hay pérdidas producto de la conducción y de las eficiencias propias de los sistemas de riego empleados. Esta pérdida se representa como un retorno de riego, simbolizado con una "flecha" que sale del nodo "Demanda Ligua" y termina en el río "La Ligua".

3.1 Caudales Afluentes.

Los caudales afluentes a los embalses "Alicahue" y "Los Ángeles" corresponden a los caudales asociados a una probabilidad de excedencia del 85%. Estos caudales han sido determinados mediante la construcción de las curvas de variación estacional para cada sistema hídrico con la información disponible en estudios en desarrollo por parte de la Dirección de Obras Hidráulicas y posteriormente procesada por este Consultor.

Las curvas obtenidas se presentan a continuación:

ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
C. Modelo Hidrológico

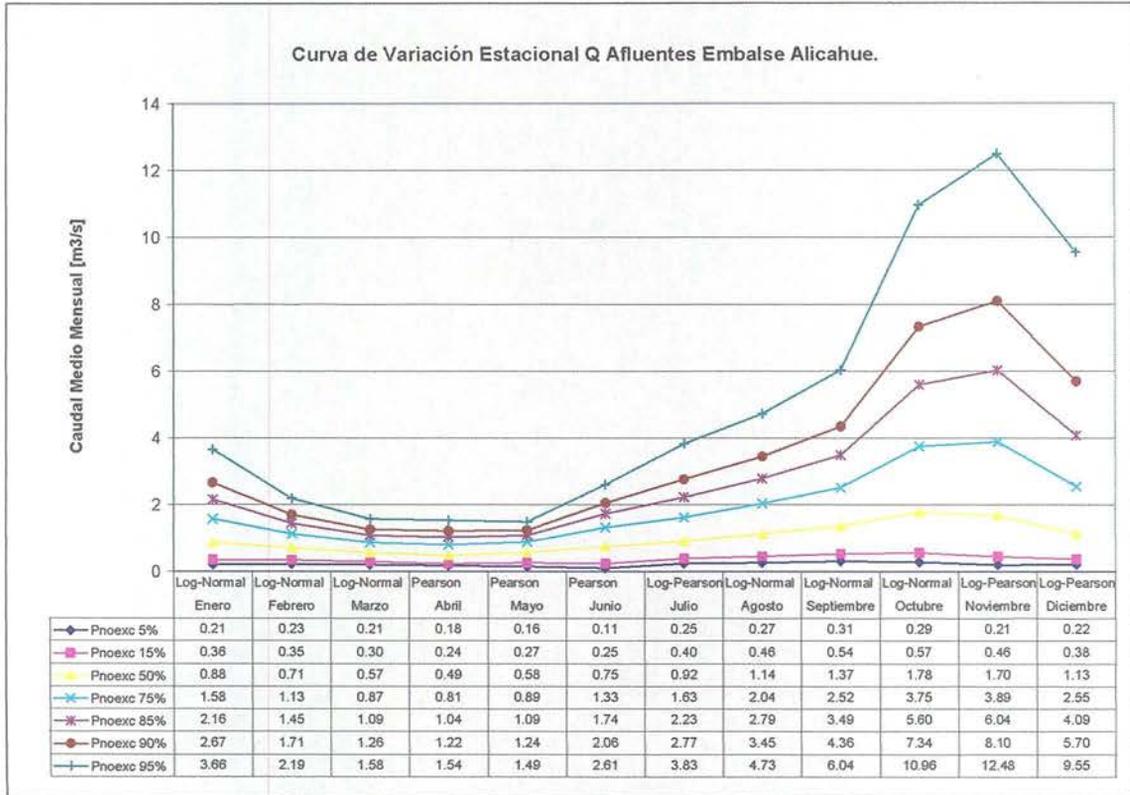


Figura 3.1: Curva de variación estacional río "La Ligua" (Caudales afluentes al embalse "Alicahue").

De acuerdo al gráfico anterior se tiene que para la probabilidad de no excedencia de 15%, lo que equivale a la prob. de excedencia de 85% (usualmente utilizada como parámetro de seguridad hidrológica), el mes de máximo caudal se presenta en octubre con un valor de 0,57 m³/s.

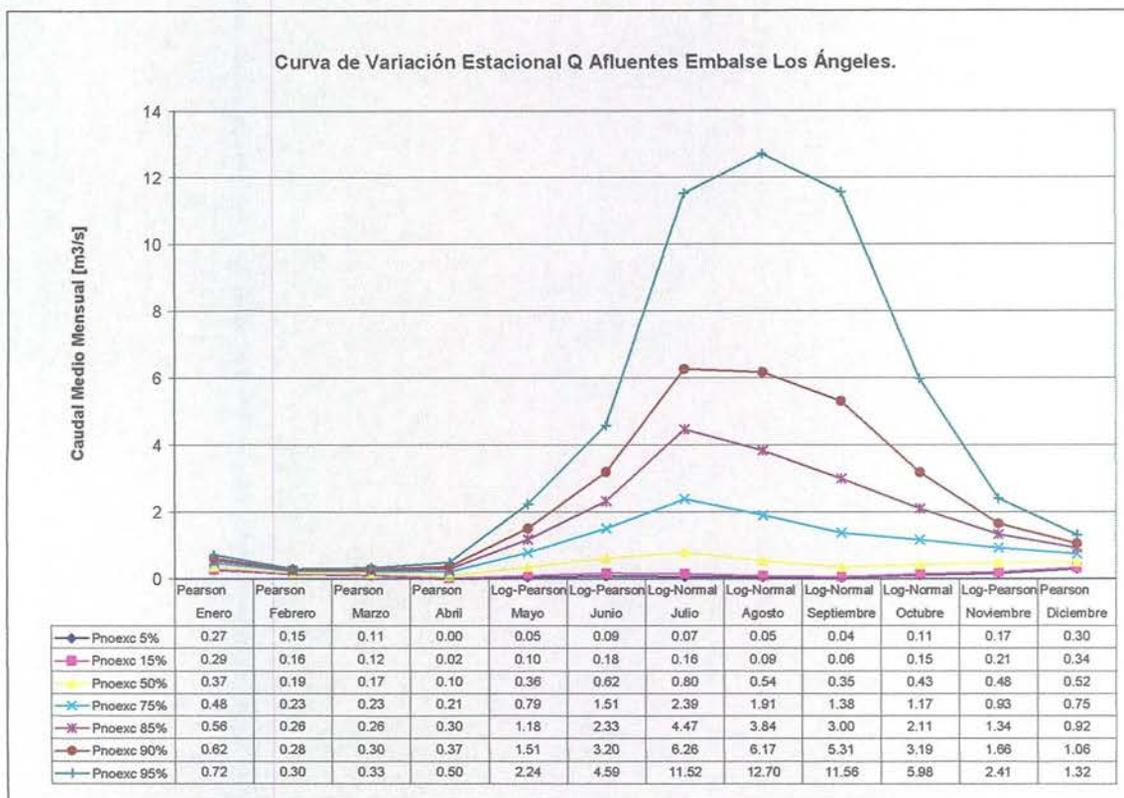


Figura 3.2: Curva de variación estacional estero "Los Ángeles" (Caudales afluentes embalse "Los Ángeles")

Al igual que en el caso del estero La ligua, para una probabilidad de excedencia de 85%, el caudal de Los Ángeles es aún menor, con un promedio de $0,16 \text{ m}^3/\text{s}$ y un máximo de $0,34 \text{ m}^3/\text{s}$.

Todo lo cual indica que el nivel de caudales disponibles en ambas cuencas es bastante bajo, independiente que sean bajo un patrón de análisis hidrológicamente seco.

3.2 Detalle de Operación de los Embalses.

Para el embalse "Alicahue" se plantea analizar para un tamaño de 56 Mm^3 , de acuerdo a los criterios estudiados por la DOH.

Para el Embalse "Los Ángeles" se estudiará una capacidad de 50, mientras que para el embalse "Chacrilas" se probará a la capacidad de 84 Mm^3 .

Un dato crucial para la modelación corresponde a las curvas de embalse. Estas curvas han sido generadas por este Consultor y extendidas para las capacidades necesarias en las simulaciones.

Cabe destacar, que en todos los escenarios se verificó que la satisfacción de la demanda en la cuenca de Putaendo se mantuviera con una seguridad de riego superior al 85%, de acuerdo a las reglas de operación establecidas en el sistema, en la cual el trasvase no afectaría la demanda de esta cuenca, considerando que el embalse Chacrilas estaría regulando solamente para Putaendo un volumen no inferior a los 27 Mm^3 .

ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
C. Modelo Hidrológico

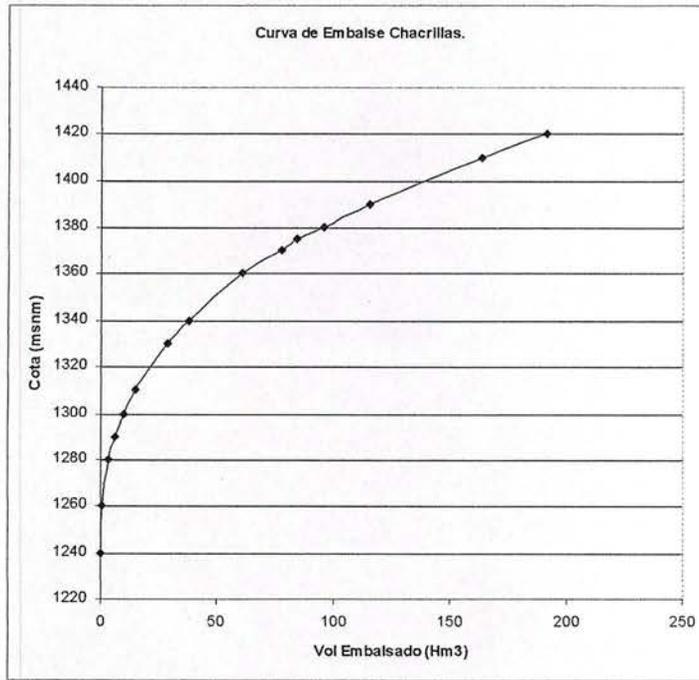


Figura 3.3: Curva de embalse "Chacillas".

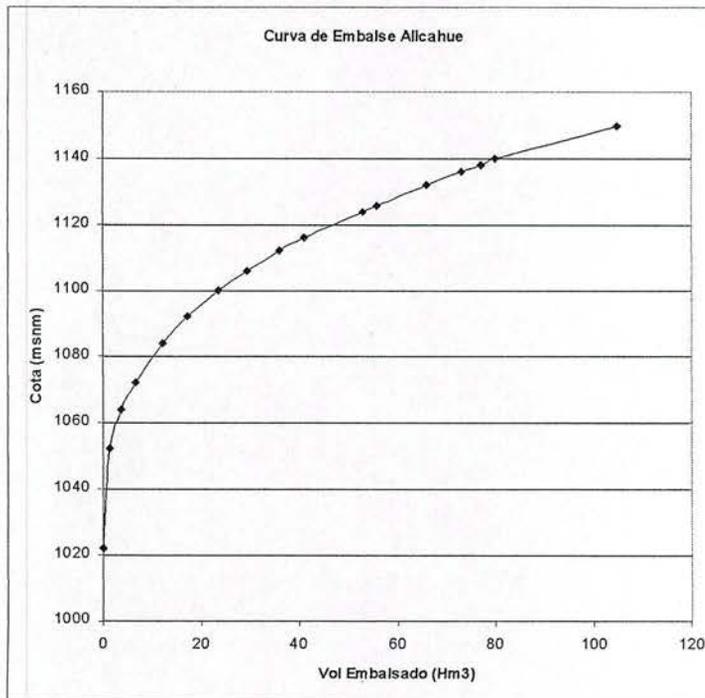


Figura 3.4: Curva de embalse "Alicahue".

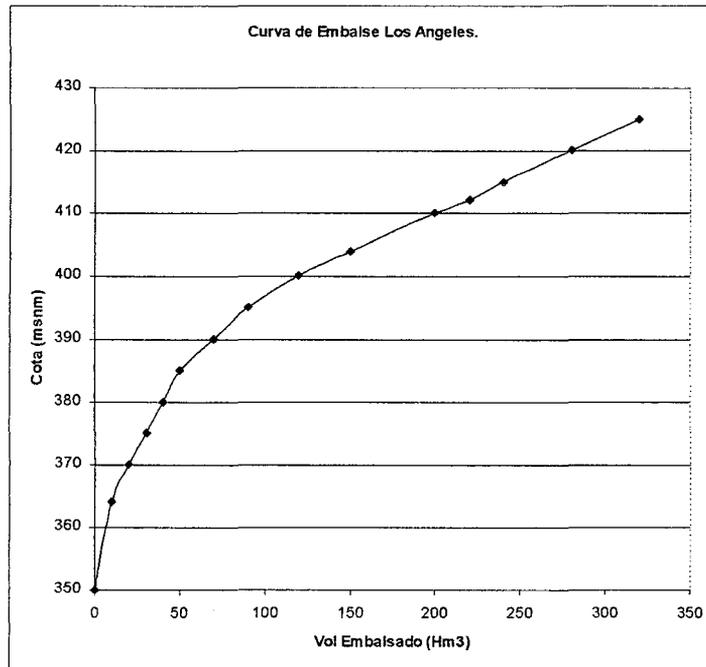


Figura 3.5: Curva de Embalse "Los Ángeles".

Parámetros de modelación de los Embalses

Para efectos de un mejor entendimiento de la operatoria que se simuló para los embalses, es necesario disponer de ciertos parámetros en la plataforma de modelación WEAP.

La modelación de embalses en WEAP se basa en la información de características físicas, operación o manejo, generación eléctrica, calidad del agua, costo y prioridad. Esta información dependiendo del objetivo del sistema, es manejada de acuerdo a condiciones operacionales que se definan.

Dentro de estas características principales, hay 2 que definen completamente el sistema del embalse:

Las características físicas y las de operación.

Las características físicas involucran la información de los parámetros físicos del embalse, estos son:

- La capacidad del embalse: Capacidad de almacenamiento del embalse.
- Nivel inicial: Nivel definido con el cuál comienzan las simulaciones en el embalse. Su valor va desde 0 hasta la capacidad de almacenamiento.

ANALISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
 C. Modelo Hidrológico

- La curva de embalse: Es la relación entre el volumen embalsado y la cota del embalse, los cuales fueron indicados en el punto anterior.
- La evaporación neta: La evaporación del embalse, en este caso, calculada en base a la evaporación de Tanque U.S.W.B. Clase A, obteniéndose:

Embalse	Evaporación Neta (m3/mes)
Chacrillas	142
Alicahue	120.8
Los Angeles	108.3

- La infiltración hacia el acuífero: La pérdida (o ganancia) producto de la infiltración hacia el acuífero. Es positiva si se produce infiltración y negativa si el acuífero aporta al almacenamiento.

Los parámetros físicos dispuestos para los embalses son:

Caract. Físicas	Emb. Alicahue	Emb. Los Angeles
Almacenamiento (Mm3)	56	51
Almacenamiento Inicial (Mm3)	0	0
Evaporación Neta (mm)	120.8	108.3
Pérdida al Acuífero (Mm3)	0	0

Las características de operación definen el manejo del embalse, para una condición de almacenamiento en que este se encuentre. Dependiendo del volumen almacenado, el embalse liberará las aguas libremente o con algún factor de distribución para no vaciarlo completamente.

Los parámetros de operación son 4:

- Límite de conservación ("Top of Conservation"): Es el almacenamiento límite definido por el volumen hasta el cuál se llena el embalse, en este caso, se ha dejado el límite de conservación como la capacidad del embalse.
- Límite de Entrega ("Top of Buffer"): Es el almacenamiento límite que define el volumen al cual ya no se entrega el recurso libremente, sino que con un coeficiente de distribución mensual producto del bajo nivel del embalse.
- Límite de Inactividad ("Top of Inactive"): Es el nivel límite bajo el cual cualquier volumen almacenado no podrá ser entregado, debido a que el embalse se encuentra en un nivel crítico.

- **Coefficientes de Entrega ("Buffer coefficients"):** Es un valor entre 0 y 1 que representa el porcentaje de entrega del recurso cuando este se encuentra en un almacenamiento entre el límite de entrega y el límite de inactividad.

Para mayor claridad se muestra la definición de estos límites en la Figura 3.6:

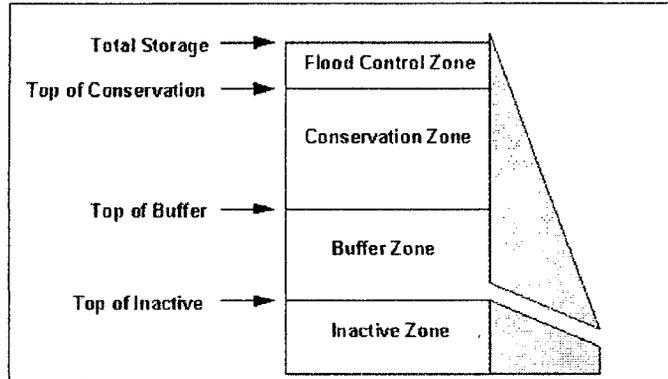


Figura 3.6: Límites y zonas de operación para embalses en WEAP.

Los parámetros de operación adoptados para los embalses son:

Caract. Operativas	Emb. Alicahue	Emb. Los Angeles
Límite de conservación (Mm3)	56	50
Límite de entrega (Mm3)	12	13
Límite de inactividad (Mm3)	5	5

Adicionalmente, se utilizaron parámetros de demanda a nivel mensual, considerando distintas superficies a satisfacer para todo el valle de La Ligua, tomando en cuenta la superficie total, tanto en situación actual como futura, de acuerdo a la siguiente figura:

ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
C. Modelo Hidrológico

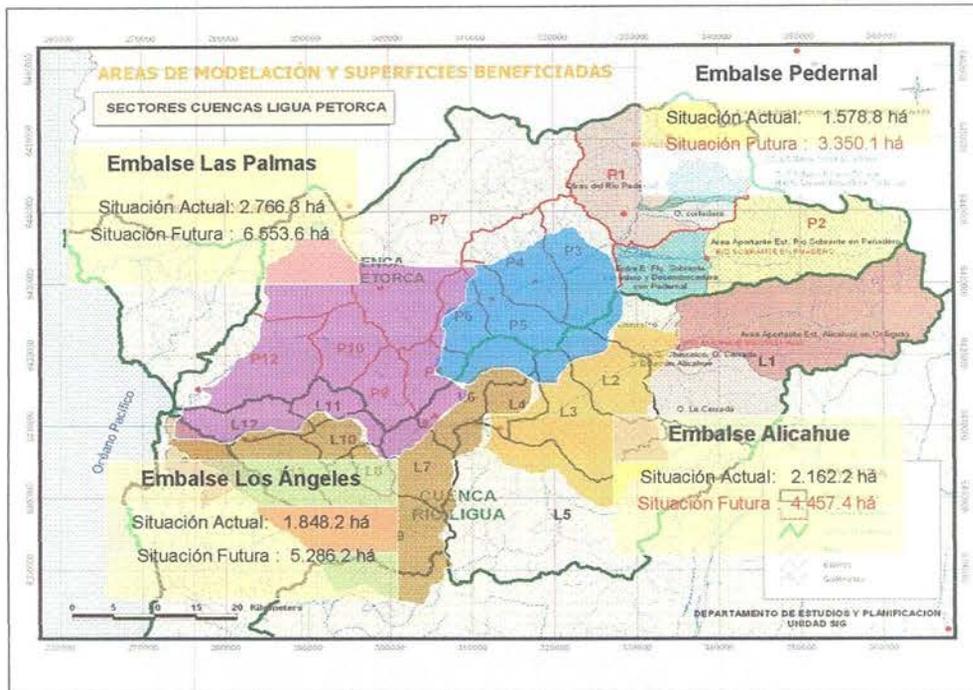


Figura 3.7 Distribución de las demandas actual y futura de las cuencas de Ligua y Petorca.

Por lo tanto considerando lo anterior, se utilizaron superficies desde las 8.000 ha hasta las 14.000 ha, para todo el valle, los cuales se fueron tanteando, de tal forma que se verifique la seguridad de riego tanto en la zona de Ligua como también respetando las demandas de Putaendo, conforme lo señalado anteriormente.

Un primer escenario fue verificar la seguridad de riego de Ligua, considerando sólo los recursos propios del estero Los Ángeles, por su lado y de Ligua para la zona de almacenamiento del embalse de Alicahue.

Adicionalmente y para efectos de la operación y análisis de resultados, se operó el sistema utilizando los embalses por separado, vale decir que se analizó la satisfacción de la demanda con el embalse Alicahue y en forma aparte el sistema de Los Ángeles. Posteriormente, se analizaron en forma conjunta considerando una distribución del trasvase conforme lo señalado en la Figura 3.7 anterior.

4. Escenario sin Traslase

En el presente escenario se pretende definir el nivel de superficie que serían capaces de regar con capacidad de 85% de seguridad de riego, tanto para el Embalse Los Ángeles como Alicahue, sólo con sus propios recursos, sin intervención o aporte de cuencas externas, por medio de un trasvase.

Los volúmenes de los embalses que se adoptaron son:

Los Ángeles: 51 Mm³

Alicahue: 56 Mm³

Este análisis contempla el uso conjunto de estos sitios de embalse, para el abastecimiento de la demanda de la cuenca de La Ligua.

Conforme a lo anterior, se analizó la seguridad para una superficie de 4010 ha y 8000 ha, con el objetivo de verificar el grado de satisfacción de la demanda en una situación actual y una potencial, frente a las condiciones de demanda futura que se espera que a lo menos pueda tener la cuenca de La Ligua.

En el primer caso, de acuerdo a lo señalado anteriormente, se simuló una superficie de demanda de 4010 ha, lo que resulta una distribución mensual de esta demanda:

Mes	Demanda m ³ /ha	Demanda m ³ /mes	Demanda m ³ /s
Mayo	0	0	0.00
Junio	0	0	0.00
Julio	0	0	0.00
Agosto	0	0	0.00
Septiembre	169	677690	0.26
Octubre	719	2883190	1.11
Noviembre	1232	4940320	1.91
Diciembre	1691	6780910	2.62
Enero	2012	8068120	3.11
Febrero	1632	6544320	2.52
Marzo	971	3893710	1.50
Abril	162	649620	0.25
Promedio	716	2869823	1.11
Máximo	2012	8068120	3.11

Conforme a esta distribución de la demanda, el modelo entregó que satisface la demanda con un 93% de seguridad de riego, lo que se traduce en el siguiente gráfico de salida del WEAP, que refleja el porcentaje de satisfacción de la demanda, indicando los periodos de falla.

ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
C. Modelo Hidrológico

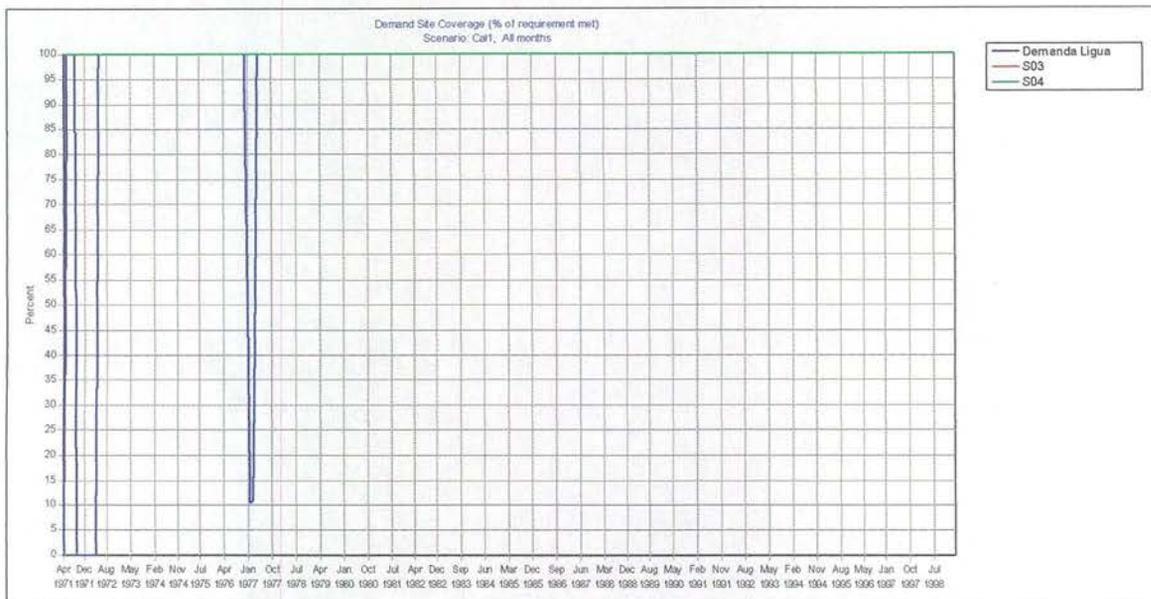


Figura 4.1: Cobertura de Satisfacción de Demanda Caso Los Ángeles + Alicahue con Recursos Propios y Demanda Actual

Adicionalmente en el siguiente gráfico de salida del WEAP, se muestra el comportamiento de los embalses, desde el punto de vista de la variación de los volúmenes de almacenamiento de éstos.

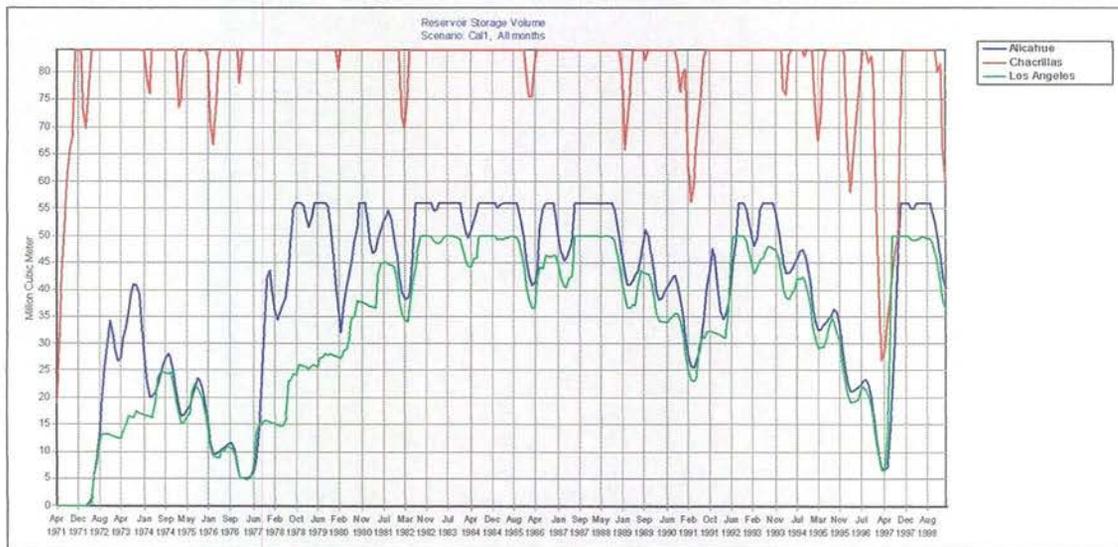


Figura 4.2: Volúmenes de almacenamiento de los Embalses.

Adicionalmente se analizó el caso de una demanda mayor, considerando un escenario de crecimiento de la cuenca. La superficie de demanda utilizada fue de 8000 ha, resultando una seguridad de riego de un 41%. Todo lo cual indica que la disponibilidad hídrica del sistema Ligua, por medio del aprovechamiento de sus propios recursos, no es capaz de satisfacer la demanda futura que se ha estimado para este valle.

ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
C. Modelo Hidrológico

Al igual que en el caso anterior, en las siguientes figuras se muestran los resultados de las salidas del WEAP, para el escenario de demanda generado.

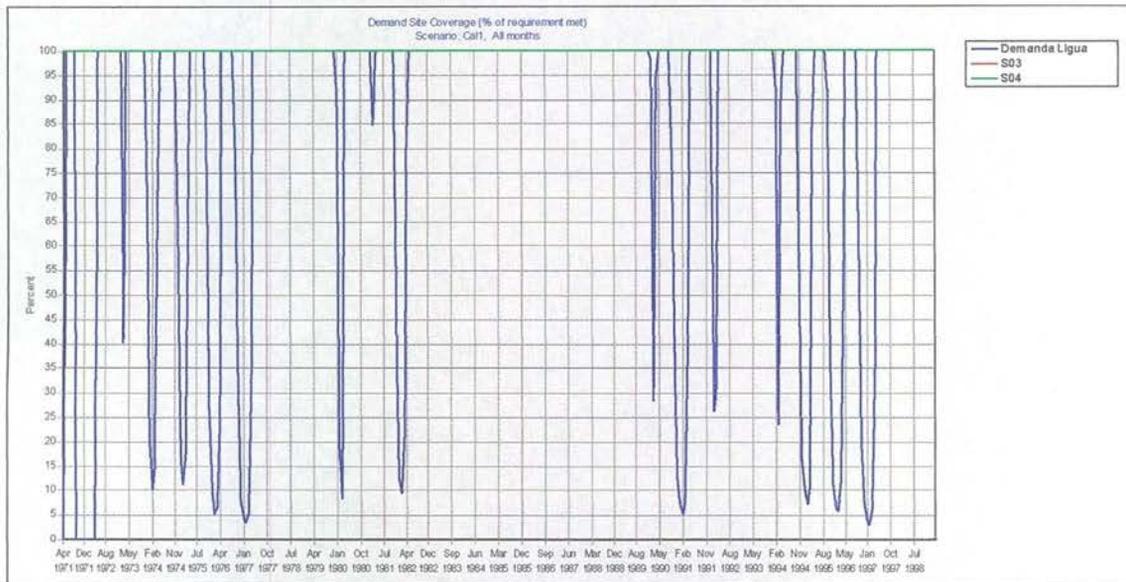


Figura 4.3: Cobertura de Satisfacción de Demanda Caso Los Ángeles + Alicahue con Recursos Propios y Demanda Futura

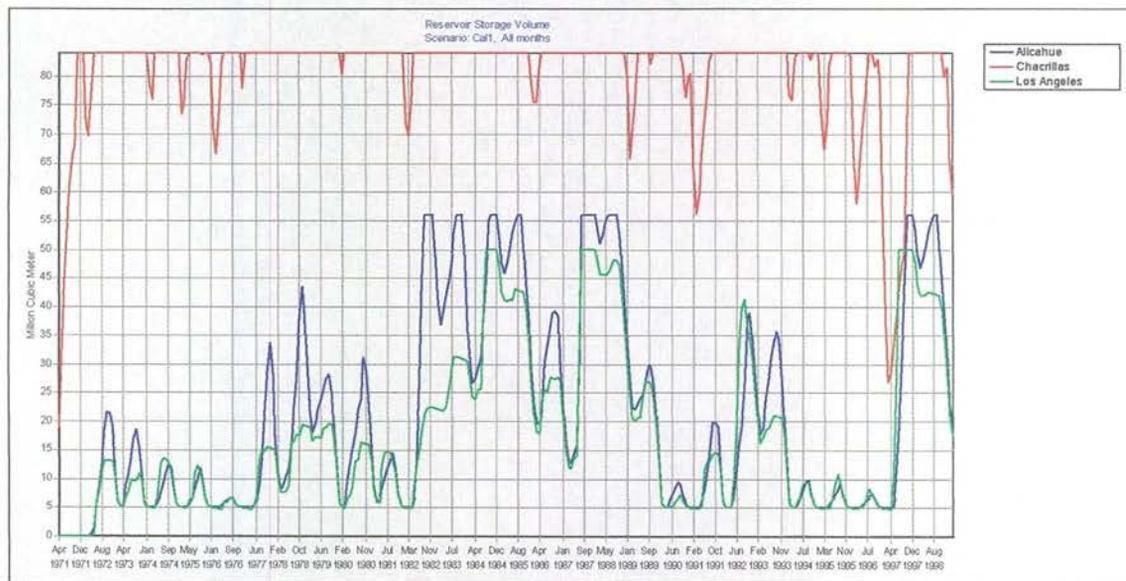


Figura 4.4: Volúmenes de almacenamiento de los Embalses.

5. Escenarios de Simulación Embalse Los Ángeles

En el presente escenario, se pretende analizar el efecto que se genera sobre la cuenca del Ligua, bajo la condición de trasvase desde la cuenca de Putaendo, regulada por medio del embalse Chacrillas de 84 Mm³. Este trasvase, de acuerdo a lo señalado anteriormente, se realizó por medio de un canal con capacidad variable, de acuerdo a la demanda definida en la zona de La Ligua. A su vez, en el Estero de Los Ángeles, se modeló un sitio de embalse, cuya capacidad inicial es de 51 Mm³.

Conforme lo anterior, se mostrarán los resultados de cada escenario asociado para distintas demandas y la cobertura de satisfacción de la ésta, de acuerdo al procedimiento de cálculo de la seguridad de riego a nivel porcentual, considerando una estadística de 50 años.

Cabe destacar, que en todos los escenarios se verificó que la satisfacción de la demanda de la cuenca de Putaendo se mantuviera con una seguridad de riego superior al 85%, de acuerdo a las reglas de operación establecidas en el sistema, en la cual el trasvase no afectará la demanda de esta cuenca, considerando que el embalse Chacrillas estaría regulando solamente para Putaendo un volumen no inferior a los 27 Mm³.

Al igual que en el caso señalado en el punto anterior, el análisis de la demanda mensual y los resultados entregados por el modelo, para efectos del cálculo de la seguridad y las salidas gráficas del modelo WEAP, se entregan para cada caso conforme al escenario definido.

Caso 1:

Demanda: 8000 ha

Trasvase: 6.2 m³/s

Seguridad de Riego Obtenida: 96 %

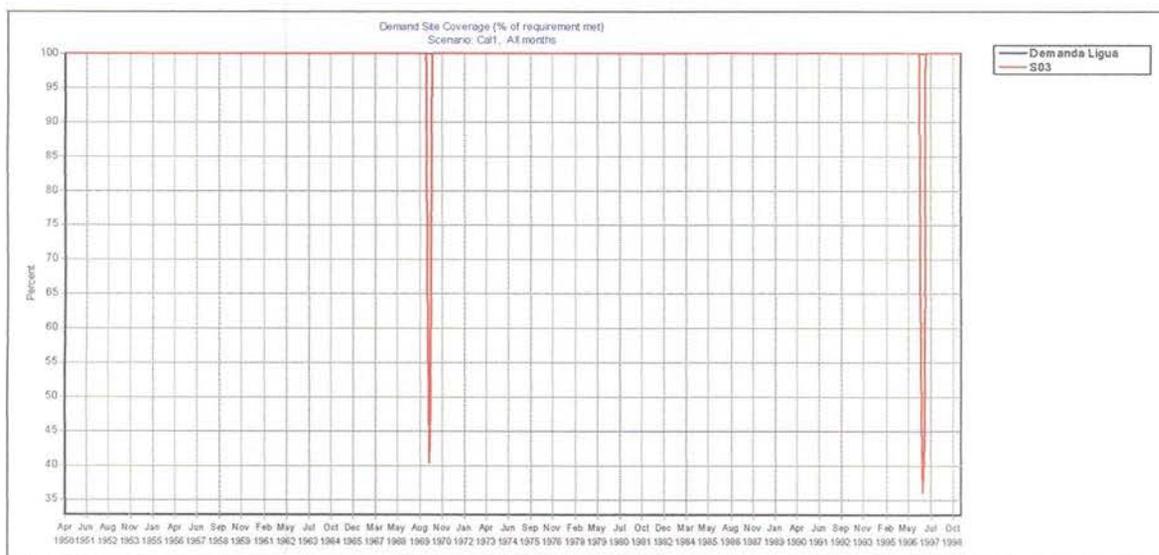


Figura 5.1: Cobertura de Satisfacción de Demanda Caso 1 – Los Ángeles

ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO

C. Modelo Hidrológico

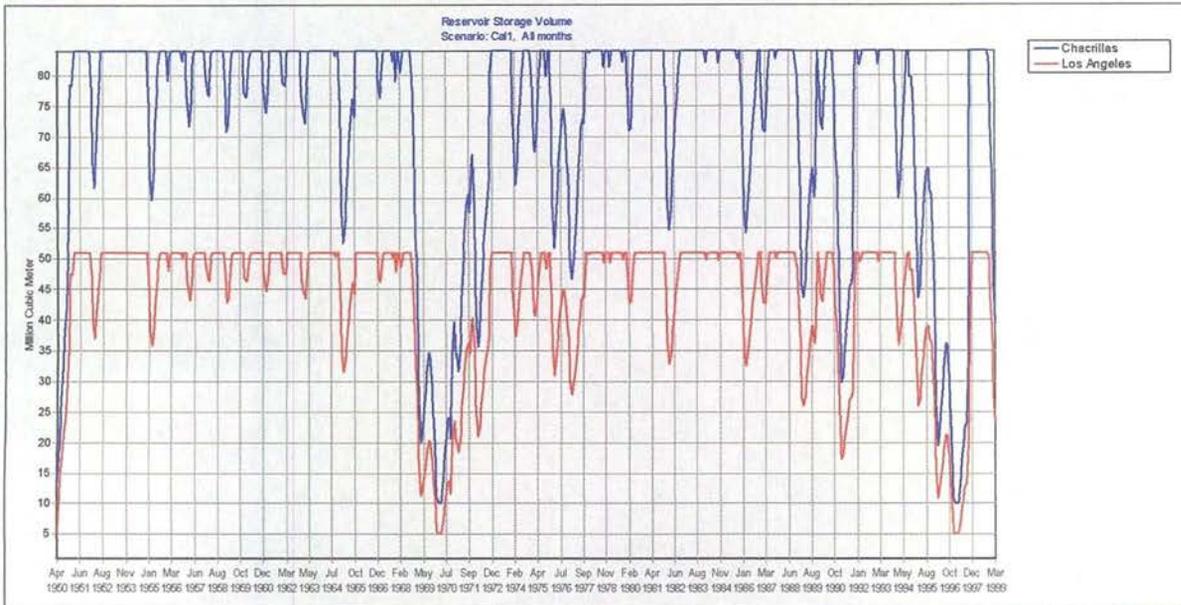


Figura 5.2: Volumen de Almacenamiento de los Embalses Chacrilas y Los Ángeles – Caso 1

Caso 2:

Demanda: 10000 ha

Trasvase: 7.8 m³/s

Seguridad de Riego Obtenida: 92 %

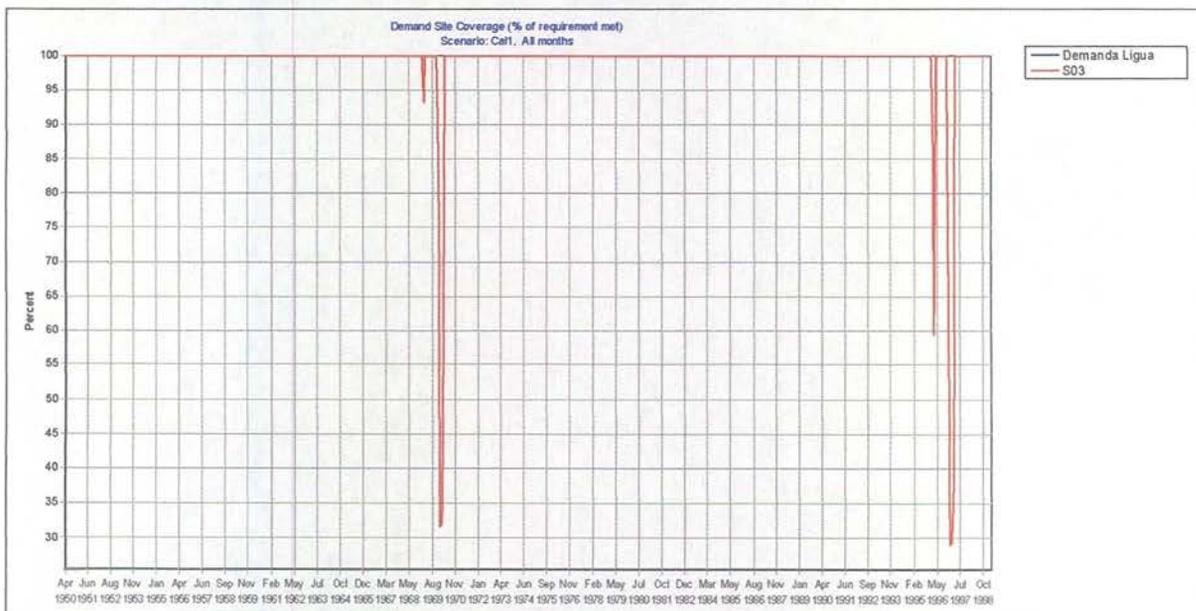


Figura 5.3: Cobertura de Satisfacción de Demanda Caso 2 – Los Ángeles

ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
C. Modelo Hidrológico

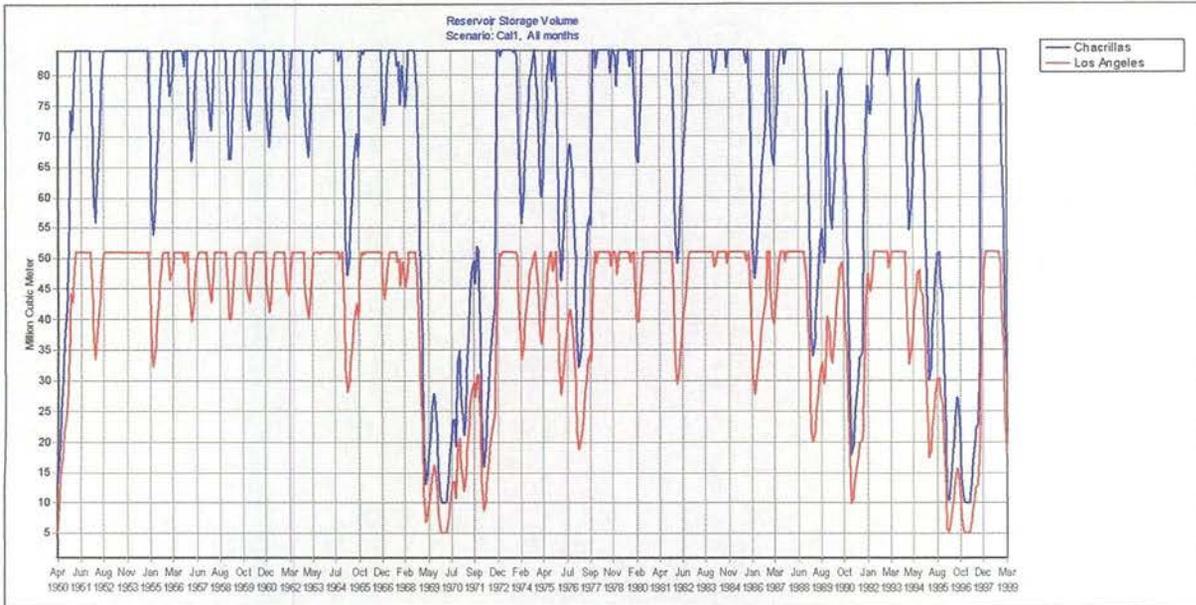


Figura 5.4: Volumen de Almacenamiento de los Embalses Chacillas y Los Ángeles – Caso 2

Caso 3:

Demanda: 13000 ha

Trasvase: 10.1 m³/s

Seguridad de Riego Obtenida: 85 %

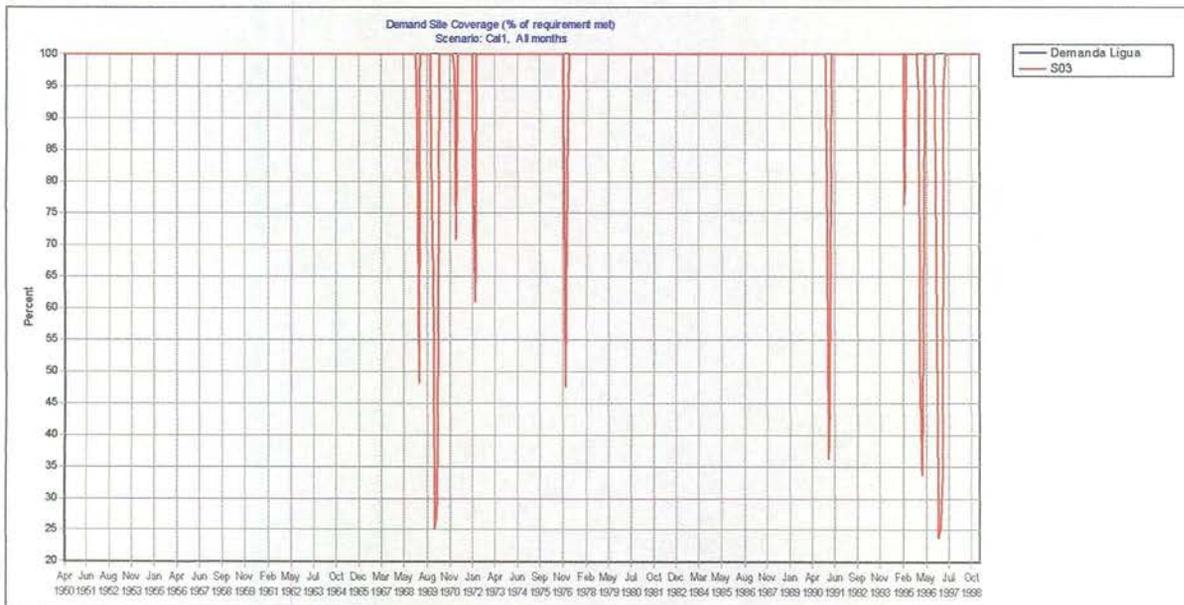


Figura 5.5: Cobertura de Satisfacción de Demanda Caso 3 – Los Ángeles

ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO

C. Modelo Hidrológico

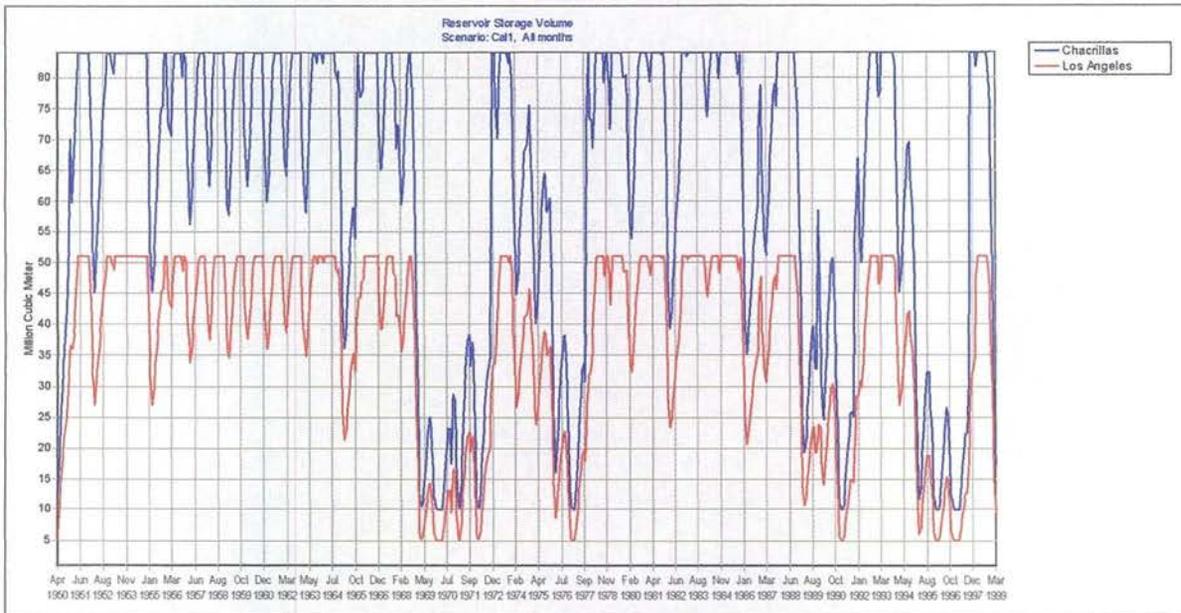


Figura 5.6: Volumen de Almacenamiento de los Embalses Chacrilas y Los Ángeles - Caso 3

6. Escenarios de Simulación Embalse Alicahue

En el presente escenario, se pretende analizar el efecto que se genera sobre la cuenca del Ligua, bajo la condición de trasvase desde la cuenca de Putaendo, regulada por medio del embalse Chacrillas de 84 Mm^3 . Este trasvase, de acuerdo a lo señalado anteriormente, se realizó por medio de canal con capacidad variable, de acuerdo a la demanda definida en la zona de La Ligua. A su vez, en el río La Ligua, se modeló un sitio de embalse denominado "Alicahue", cuya capacidad inicial es de 56 Mm^3 .

Conforme lo anterior, se mostrarán los resultados de cada escenario asociado para distintas demandas y la cobertura de satisfacción de la ésta, de acuerdo al procedimiento de cálculo de la seguridad de riego a nivel porcentual, considerando una estadística de 50 años.

Cabe destacar, que en todos los escenarios se verificó que la satisfacción de la demanda de la cuenca de Putaendo se mantuviera con una seguridad de riego superior al 85%, de acuerdo a las reglas de operación establecidas en el sistema, en la cual el trasvase no afectara la demanda de esta cuenca, considerando que el embalse Chacrillas estaría regulando solamente para Putaendo un volumen no inferior a los 27 Mm^3 .

Al igual que en el caso señalado en el punto 4 anterior, el análisis de la demanda mensual y los resultados entregados por el modelo, para efectos del cálculo de la seguridad y las salidas gráficas del modelo WEAP, se entregan para cada caso conforme al escenario definido.

Caso 1:

Demanda: 8000 ha

Trasvase: $6.2 \text{ m}^3/\text{s}$

Seguridad de Riego Obtenido: 96 %

ANALISIS FACTIBILIDAD TRAVASE RECURSOS HIDRICOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
C. Modelo Hidrológico

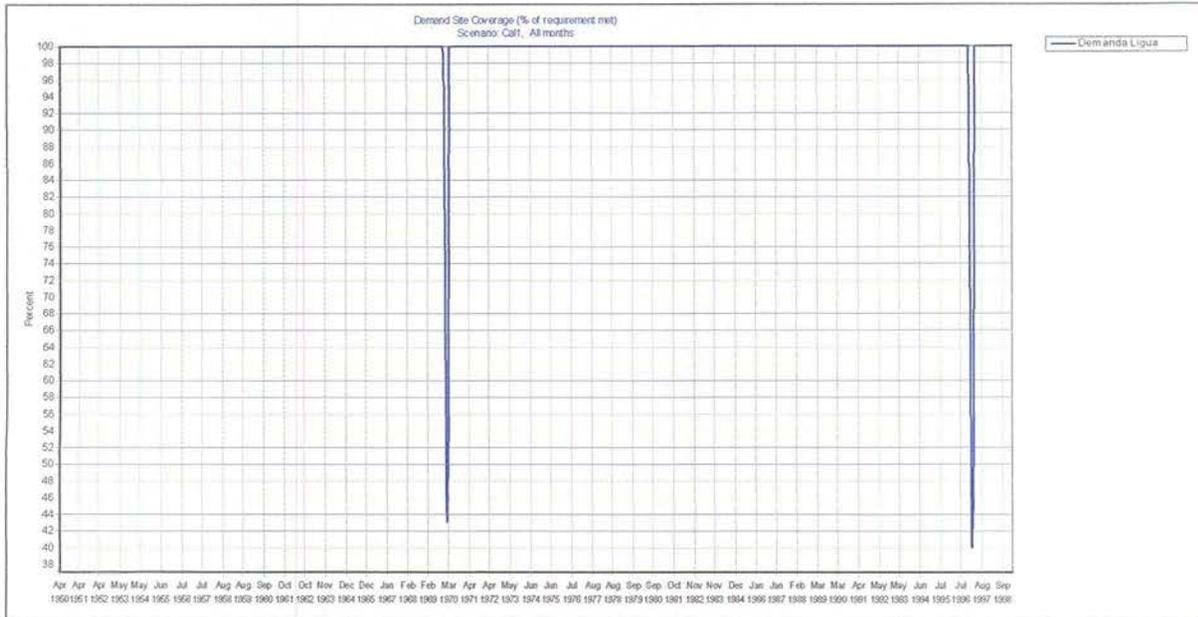


Figura 6.1: Cobertura de Satisfacción de Demanda Caso 1 – Alicahue

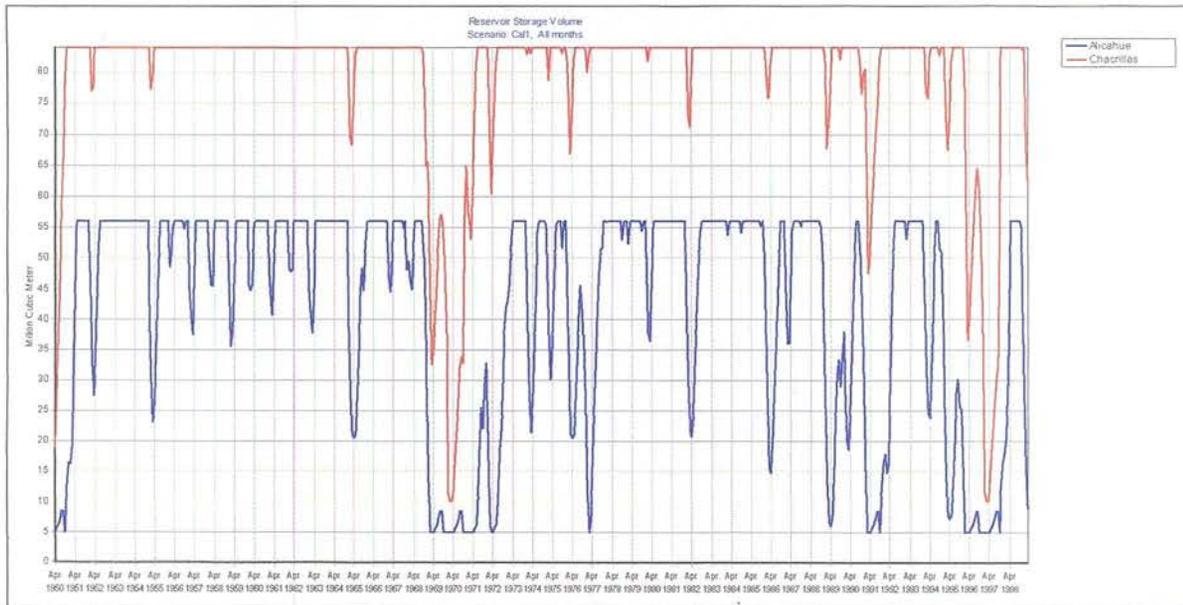


Figura 6.2: Volumen de Almacenamiento de los Embalses Chacritas y Alicahue – Caso 1

ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
C. Modelo Hidrológico

Caso 2:

Demanda: 10000 ha

Trasvase: 7.8 m³/s

Seguridad de Riego Obtenido: 94%

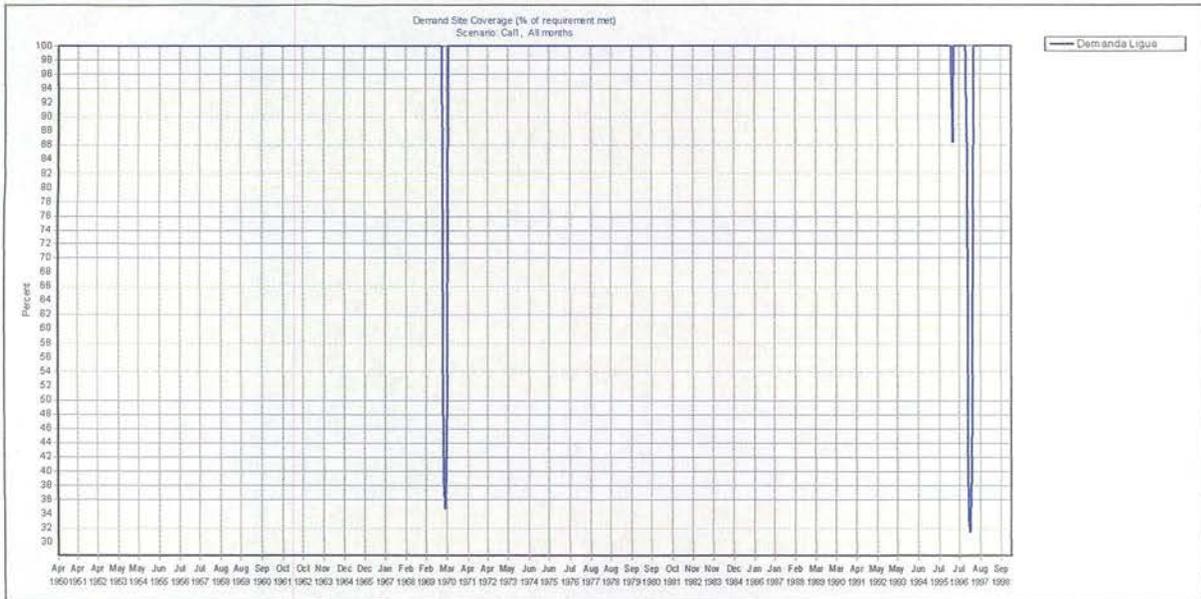


Figura 6.3: Cobertura de Satisfacción de Demanda Caso 2 – Alicahue

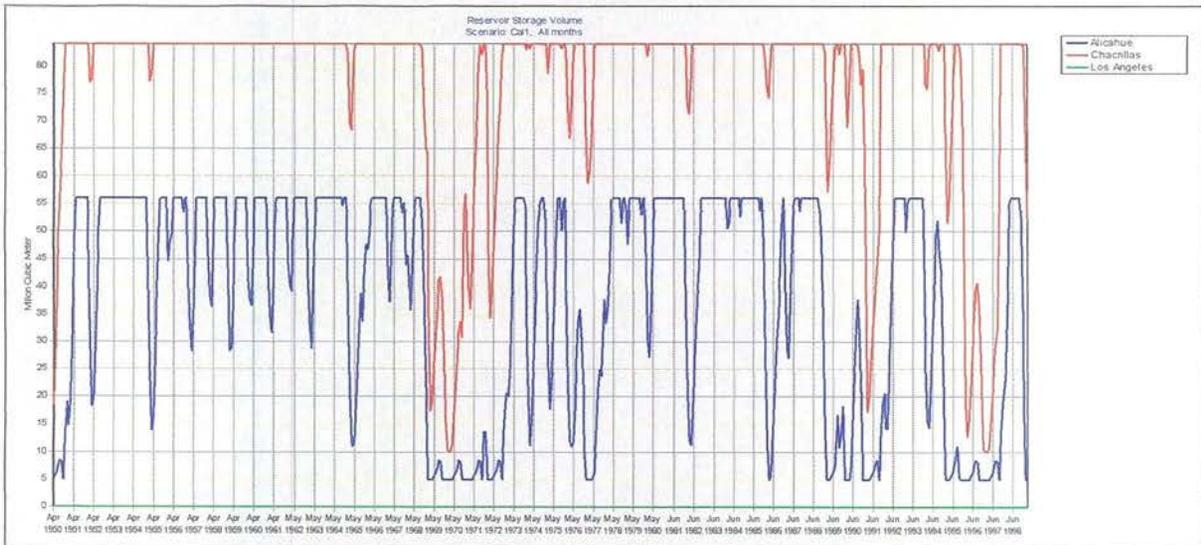


Figura 6.4: Volumen de Almacenamiento de los Embalses Chacrilas y Alicahue – Caso 2

ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO

C. Modelo Hidrológico

Caso 3:

Demanda: 13000 ha

Trasvase: 10.1 m³/s

Seguridad de Riego Obtenido: 86%

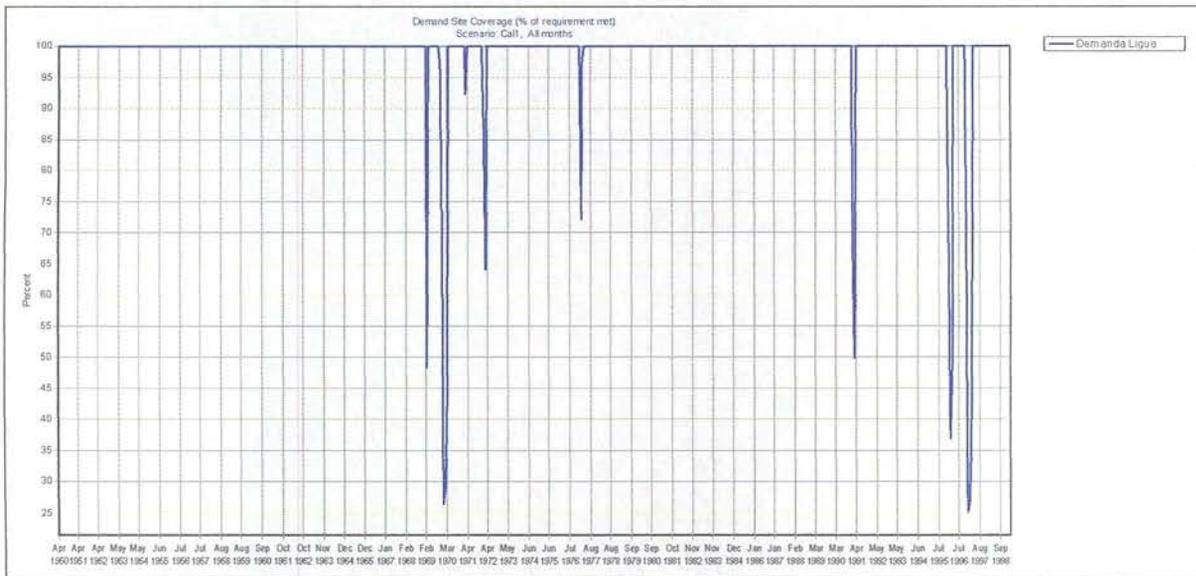


Figura 6.5: Cobertura de Satisfacción de Demanda Caso 3 – Alicahue

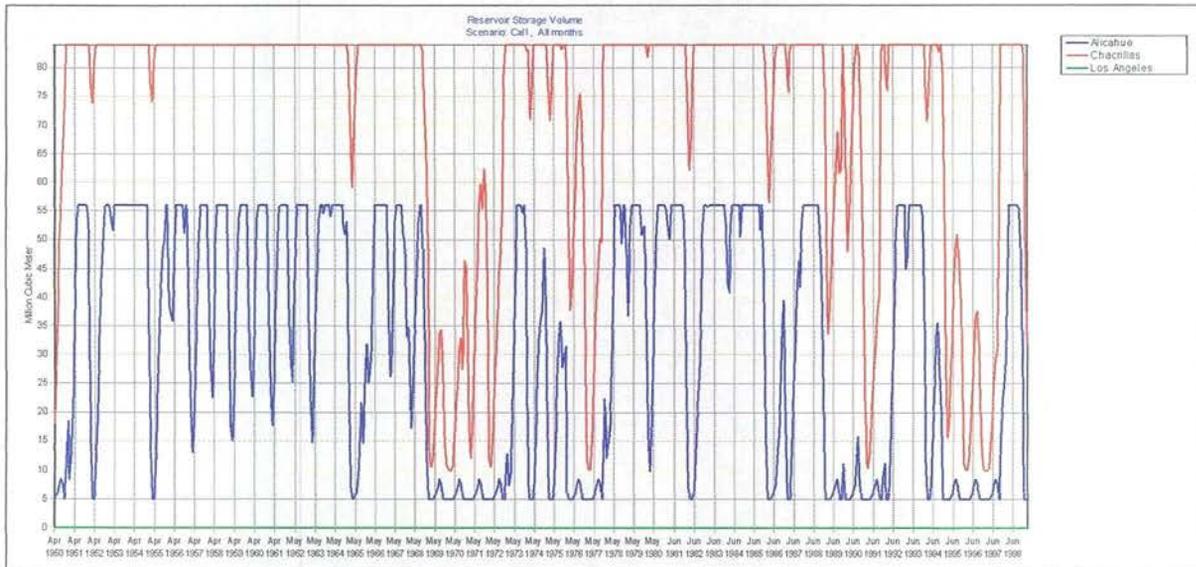


Figura 6.6: Volumen de Almacenamiento de los Embalses Chacrilas y Alicahue – Caso 3

DEMANDA CALCULADA PARA 13.000 ha

Efectivamente el requerimiento de 13.000 ha regada con seguridad 85%, se basa sobre el supuesto de trasvase de 10,1 m³/s, que salen aguas abajo del sistema Chacrillas proyectado. Dado lo cual este caudal se relaciona directamente a los recursos regulados del embalse Chacrillas de 84 Hm³. Los cálculos del requerimiento hídrico se desprenden del siguiente cuadro:

Mes	Demanda m ³ /ha	Demanda m ³ /mes	Demanda m ³ /s
Mayo	0	0	0.00
Junio	0	0	0.00
Julio	0	0	0.00
Agosto	0	0	0.00
Septiembre	169	2197000	0.85
Octubre	719	9347000	3.61
Noviembre	1232	16016000	6.18
Diciembre	1691	21983000	8.48
Enero	2012	26156000	10.09
Febrero	1632	21216000	8.19
Marzo	971	12623000	4.87
Abril	162	2106000	0.81
Promedio	716	9303667	3.59
Máximo	2012	26156000	10.09

Respecto a los cálculos asociados al trasvase, satisfacción de demanda, balance, etc., son parte de los procesos de resolución y algoritmos del modelo WEAP, de los cuales se mencionan algunos aspectos teóricos en el punto 2 de la sección C.

7. Escenario de Simulación Embalse Alicahue y Los Ángeles

En este escenario, se pretende analizar el efecto que se genera sobre la cuenca del Ligua, bajo la condición de trasvase desde la cuenca de Putaendo, regulada por medio del embalse Chacrillas de 84 Mm³. Particularmente en este caso el trasvase, de acuerdo a lo señalado anteriormente, se realizó por medio de canales con capacidad variable, de acuerdo a la demanda definida en la zona de La Ligua. A su vez, en el río La Ligua, se incluyó el sitio de embalse denominado "Alicahue", cuya capacidad es de 56 Mm³ y en el estero de Los Ángeles, donde a su vez se modeló un sitio de embalse, cuya capacidad es de 51 Mm³.

La idea de este análisis es demostrar el uso conjunto de los sistemas proyectados, de acuerdo a la Figura 3.7 anterior, con el objetivo de verificar su capacidad de almacenamiento y satisfacción de la demanda, considerando que estos embalses, a su vez poseen recursos propios, que aunque son exigüos aportan un cierto volumen de regulación interanual.

Conforme lo anterior, se mostrarán los resultados de cada escenario asociado para distintas demandas y la cobertura de satisfacción de ésta, de acuerdo al procedimiento de cálculo de la seguridad de riego a nivel porcentual, considerando una estadística de 50 años.

Cabe destacar, que en todos los escenarios se verificó que la satisfacción de la demanda de la cuenca de Putaendo se mantuviera con una seguridad de riego superior al 85%, de acuerdo a las reglas de operación establecidas en el sistema, en la cual el trasvase no afectara la demanda de esta cuenca, considerando que el embalse Chacrillas estaría regulando solamente para Putaendo u volumen no inferior a los 27 Mm³.

Demanda: 13.754 ha

Trasvase a Embalse Los Ángeles: 5.5 m³/s

Trasvase a Embalse Alicahue: 5.1 m³/s

Seguridad de Riego Ligua Obtenida: 88%



8. Conclusiones y Recomendaciones

De acuerdo al análisis realizado, es posible señalar lo siguiente:

El análisis realizado para un escenario de utilización de los recursos hídricos propios de la Cuenca de La Ligua, particularmente relacionados a los embalses de Los Ángeles y Alicahue, resultó que para la demanda actual, la seguridad de riego quedaría satisfecha con una seguridad de un 93%. Sin embargo, frente a un análisis de una mayor demanda o situación futura, los recursos propios no son capaces de regular y satisfacer esta demanda, cayendo la seguridad a un 41%.

La condición anterior justifica un análisis de escenarios con trasvase desde la cuenca de Putaendo.

La superficie que es capaz de satisfacer el proyecto de trasvase, es hasta aproximadamente 13000 ha, considerando en forma individual los embalses de regulación tanto para Los Ángeles como en Alicahue, verificándose seguridades de riego en torno al 85% y manteniendo este mismo orden de seguridad para el sistema de Putaendo.

Al realizar el análisis conjunto de los embalses de Los Ángeles y Alicahue al mismo tiempo, la capacidad de riego de estos, permite distribuir la superficie actual y futura del valle de La Ligua, con una seguridad superior al 85%.

Si bien es cierto, al aumentar la capacidad de regulación de los sistemas receptores del trasvase, la seguridad aumenta, esta tiene un límite, ya que no es capaz de seguir trasvasando aguas a menos que se empiece a disminuir la seguridad del sistema origen de Putaendo. Dado lo cual, esta condición queda desechada y demostrando finalmente que los recursos hídricos de Putaendo son altamente beneficiosos para el valle de La Ligua particularmente, pero dado que los recursos son limitados, el esquema mostrado probablemente sea el más adecuado, desde el punto de vista de la administración eficiente de los recursos hídricos del sistema.

La disponibilidad de esta herramienta para seguir verificando escenarios de trasvase, así como también la posibilidad de incorporar nueva información en torno a la demanda sectorial del sistema de La Ligua, permitiría a futuro dimensionar condiciones a nivel de factibilidad, considerando la flexibilidad de análisis y establecimiento de condiciones dinámicas o transientes en torno a la inclusión de nuevas variables, tales como el sistema subterráneo, en la lógica de operación conjunta de recursos.

Respecto a la capacidad de extracción desde el río, de acuerdo a las simulaciones conforme la estadística generada en cabecera y debidamente calibrado el modelo, los niveles de extracción son suficientes, conforme el análisis desarrollado en el modelo, demostrándose que bajo ciertos volúmenes de trasvase, existe un aumento o mantención de la seguridad de riego 85%. En cuanto a la verificación de los caudales ecológicos, la presente consultoría no contempla ese tipo de análisis. Tal como se indica en los TR, los temas relativos al impacto del trasvase como de una mayor disponibilidad en los valles de Putaendo y Aconcagua se pueden abordar con el "Modelo General de la Cuenca del Río Aconcagua, 2009 " (incluido Putaendo) que debería estar en funcionamiento este año y que realiza el DICTU para la DOH y en el cual participa la DGA , la CNR, los Agricultores y Codelco.



Borrador de carta CNR al MOP para solicitar incluir modelación de un embalse Chacrillas de 84Hm³ en la modelación general del valle del Aconcagua sobre la base de modelo que realiza el DICTUC.

Sres.

Dirección de Obras Hidráulicas

MOP

Estimados señores:

En el proceso de estudio de Recursos Hídricos para el valle del Aconcagua, y de común acuerdo con la Mesa Técnica del Aconcagua y con la Dirección General de Aguas, la Dirección de Obras Hidráulicas contrató al DICTUC para elaborar un modelo de simulación computacional para estudiar las disponibilidades y asignaciones de derechos de los Recursos Hídricos del Valle del Aconcagua. En este proceso de modelación ya se incluyó en la modelación el embalse Chacrillas de 27Hm³ cuyo diseño final ya está terminado por el MOP.

Ahora, y considerando el perfil levantado por la CNR para un embalse Chacrillas de 84Hm³, consideramos de interés incluir esta opción en esa modelación para evaluar el efecto que esta mayor disponibilidad tiene en el área regada de Putaendo y en las disponibilidades en el Aconcagua, en especial en la Tercera Sección que tiene un déficit histórico para el regadío.

Saluda atte. Uds.

Por CNR

D. ANTECEDENTES HIDROLÓGICOS

Los antecedentes hidrológicos utilizados para el embalse Chacrillas se consignan en la Tabla de la página siguiente.

Los antecedentes hidrológicos para los embalses de La Ligua y Petorca se obtuvieron de la Dirección de Obras Hidráulicas, del estudio en desarrollo para la factibilidad de los embalses de los ríos Ligua y Petorca, antecedente no publicado a esta fecha. Esos antecedentes están en la sección 3 “Topología del Modelo de Trasvase” de la parte c de este informe “Modelación del Sistema de Trasvase Putaendo La Ligua Petorca”.

ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRÁNSVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
D. Antecedentes Hidrológicos

ESTADÍSTICA BASE
CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m³/s)

ESTACION : RIO PUTAENDO EN RESGUARDO LOS PATOS

CUENCA : RIO ACONCAGUA
CODIGO BNA : 05414001-0
COORD : 32° 31' 70" 36'

AREA : 927 Km²
ALT : 1218 msnm

ANO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR-SEP	OCT-MAR	ANUAL
1950/51	2.930	3.850	3.190	2.450	3.600	3.730	7.450	10.800	16.800	6.800	4.410	3.540	3.292	8.300	5.796
1951/52	3.250	3.630	3.820	6.170	5.030	5.110	7.710	14.500	9.840	5.980	7.290	2.910	4.502	8.038	6.270
1952/53	2.350	3.210	4.020	4.140	4.450	7.430	17.900	17.900	15.900	6.220	3.060	3.600	4.267	9.280	6.773
1953/54	2.770	3.400	4.560	3.510	8.100	19.200	23.200	62.800	67.100	34.300	15.400	6.760	6.923	34.927	20.925
1954/55	6.430	5.420	6.100	5.250	5.130	4.720	18.600	6.520	12.400	7.580	3.840	4.150	5.508	8.848	7.178
1955/56	3.350	5.120	3.480	4.040	3.510	9.200	13.600	30.000	15.300	6.540	3.510	3.940	4.783	11.998	8.391
1956/57	2.570	3.810	3.220	3.210	4.390	4.400	11.600	17.400	4.620	5.190	3.400	2.770	3.600	7.497	5.548
1957/58	2.740	5.110	5.370	3.300	5.630	5.240	14.800	20.300	19.300	9.010	2.340	3.890	4.548	11.440	7.994
1958/59	3.490	3.270	7.570	3.870	3.690	5.580	18.400	13.700	6.910	4.740	3.820	4.900	4.578	8.745	6.662
1959/60	3.950	3.970	3.410	6.510	5.470	10.400	12.900	13.800	14.900	5.570	4.490	3.630	5.618	9.215	7.417
1960/61	3.500	3.540	6.760	2.760	3.150	3.450	5.990	19.300	16.200	7.850	3.420	4.040	3.873	9.465	6.669
1961/62	2.890	2.280	3.480	5.140	6.750	7.300	17.200	29.200	23.300	7.720	7.350	4.350	4.740	14.853	9.797
1962/63	2.440	2.320	3.050	3.990	3.890	3.740	7.940	17.700	10.100	6.250	4.920	8.240	4.355	4.958	5.845
1963/64	4.100	3.300	3.940	5.260	4.590	6.730	10.400	12.600	40.400	45.300	2.760	11.500	4.650	22.067	13.358
1964/65	3.798 C	4.320	4.110	4.050	4.030	5.820	6.160	6.790	6.830	4.720	11.500	12.200	5.683	19.805	12.744
1965/66	2.880	2.570	2.360	3.680	12.800	9.890	17.500	30.400	29.300	26.900	6.510	6.120	4.650	4.958	4.657
1966/67	5.010	4.230	3.970	3.750	4.070	6.720	9.290	14.000	11.200	7.280	5.070	3.580	4.626	8.403	5.614
1967/68	3.020	2.590	2.470	2.290	2.200	2.680	4.010	4.220	3.710	2.830	2.280	2.280	2.542	3.192	2.867
1968/69	1.800	1.560	1.360	1.230	1.260	1.700	1.850	2.220	1.410	1.310	1.260	1.130	1.488	1.530	1.509
1969/70	1.040	1.190	1.880	1.270	2.310	1.680	1.950	5.640	6.050	2.590	2.030	0.990	1.562	3.210	2.386
1970/71	0.810	1.180	1.030	1.370	2.390	2.490	5.220	11.400	8.760	4.570	2.800	2.030	1.545	5.797	3.671
1971/72	1.640	1.560	1.420	1.890	2.640	2.601	4.373	7.502	3.472	2.770	1.876	1.570	1.958	3.594	2.776
1972/73	1.430	2.320	5.560	4.520	6.780	10.000	12.000	22.900	51.500	45.700	19.700	9.450	5.102	26.708	15.905
1973/74	4.870	4.210	3.930	5.100	4.150	4.300	5.470	15.100	12.000	9.120	4.590	2.620	4.427	8.150	6.288
1974/75	1.600	1.690	2.710	4.130	3.610	3.760	9.940	17.900	15.600	8.800	4.920	3.540	2.917	10.117	6.517
1975/76	2.710	2.300	2.530	2.800	4.010	4.530	5.840	7.770	8.180	4.120	3.560	2.500	3.147	5.328	4.238
1976/77	1.820	1.280	3.130	1.650	4.110	1.910	3.540	2.250	5.508	5.111	3.077	2.590	2.317	3.679	2.998
1977/78	2.320	2.040	2.100	3.907 C	7.891 C	10.669 C	39.900	26.700	30.400	14.000	8.810	6.490	4.821	20.883	12.852
1978/79	4.060	3.530	3.100	8.230	8.880	16.300	27.500	41.800	43.400	19.422	8.050	5.820	7.350	24.332	15.841
1979/80	4.210	3.610	2.560	2.150	3.040	4.100	6.070	7.390	8.290	5.760	4.960	2.027	3.278	5.750	4.514
1980/81	8.146	3.893	2.689	3.462	6.730	7.980	12.100	20.000	26.100	10.500	5.840	4.090	5.483	13.105	9.294
1981/82	3.240	3.590	3.290	3.120	3.130	3.620	3.830	4.290	3.360	4.420	4.050	4.240	3.315	4.032	3.673
1982/83	3.400	3.330	8.030	18.700	17.600	19.900	22.900	36.600	116.900	23.106	11.240	9.054	11.810	36.483	24.147
1983/84	6.342	4.724	4.155	4.941	8.200	8.942	18.800	25.400	22.600	19.352	13.085	11.119	6.217	18.189	12.203
1984/85	4.709	3.787	3.709	7.917	10.358	12.100	27.300	34.500	38.300	22.700	12.900	8.840	7.097	23.940	15.318
1985/86	5.590	4.100	3.740	3.701	4.011	3.454	5.354	8.410	5.140	2.870	2.610	2.100	4.099	4.414	4.257
1986/87	1.930	2.030	9.740	4.630	5.020	11.300	21.400	31.700	8.135	7.770	4.790	5.130	11.722	36.300	24.011
1987/88	3.190	2.850	4.050	14.300	25.000	20.800	32.800	64.600	56.900	36.400	17.100	10.000	4.092	2.888	3.490
1988/89	6.060	4.950	4.100	3.710	2.890	2.840	3.870	4.470	3.110	2.260	1.980	1.640	1.540	3.490	3.490
1989/90	1.420	1.540	1.340	1.430	4.550	7.400	11.500	16.400	9.130	4.490	3.060	2.480	2.947	7.843	5.395
1990/91	2.100	1.830	2.050	1.440	1.020	3.020	3.680	4.790	2.830	1.930	1.400	1.220	1.910	2.642	2.276
1991/92	1.510	2.410	3.420	6.930	4.740	10.000	10.700	21.500	23.000	19.400	7.400	4.970	4.668	14.262	9.465
1992/93	4.170	4.380	5.860	5.030	5.750	9.070	16.100	21.000	18.200	10.600	5.250	3.570	5.713	12.520	9.117
1993/94	3.980	8.780	5.610	5.070	4.640	5.480	7.880	12.900	11.100	5.730	3.270	2.530	5.593	7.235	6.414
1994/95	2.190	2.030	1.920	1.850	2.590	3.440	6.880	10.300	6.880	4.710	2.870	2.190	2.337	5.352	3.844
1995/96	1.900	1.920	1.920	1.860	1.790	3.030	3.460	6.610	3.420	2.220	1.640	1.420	2.070	3.128	2.599
1996/97	1.290	1.280	1.180	1.130	1.230	1.240	1.090	1.290	1.090	0.976	0.901	1.090	1.225	1.128	1.176
1997/98	0.912	1.080	9.260	7.050	12.000	17.600	18.900	33.800	56.700	42.300	16.600	8.970	7.984	29.545	18.764
1998/99	6.760	4.600	3.800	2.980	2.800	2.010	3.860	3.860	3.780	3.470	2.500	2.500	3.775	3.282	3.528
1999/00	2.350	2.120	2.110	2.380	12.300	12.500	12.500	15.100	15.100	3.610	2.690	2.250			
PROM.	3.219	3.154	3.763	4.247	5.412	6.950	11.188	17.776	19.480	11.011	6.719	4.179	4.458	11.605	8.031
DES EST	1.641	1.451	1.967	3.087	4.244	4.955	13.590	21.344	11.705	4.433	2.756	2.208	2.208	9.329	5.645
COE VAR	0.510	0.460	0.523	0.727	0.784	0.713	0.748	0.765	1.096	1.063	0.775	0.659	0.495	0.804	0.703
MÁXIMO	8.146	8.780	9.740	18.700	25.000	20.900	39.900	64.600	116.900	45.700	19.700	12.200	11.810	36.483	24.147
MÍNIMO	0.810	1.080	1.030	1.130	1.020	1.240	1.420	1.290	1.090	0.976	0.901	0.990	1.225	1.128	1.176

Simbología:

• 1-10 días con información en el mes
F: rellenado

⊗ : 11-20 días con información en el mes
C : corregido

% : Mas de 20 días con información en el mes

ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
D. Antecedentes Hidrológicos

RIO PUTAENDO EN RESGUARDO LOS PATOS, m3/s. Se muestra estadística mensual (arriba) y anual (abajo).

P. exc.	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
95%	1,187	1,306	1,426	1,324	1,540	1,760	2,467	3,288	2,312	1,585	1,328	1,279
90%	1,438	1,550	1,718	1,644	1,936	2,265	3,250	4,469	3,309	2,211	1,738	1,579
85%	1,637	1,741	1,949	1,904	2,259	2,685	3,913	5,497	4,215	2,767	2,084	1,821
50%	2,829	2,841	3,317	3,534	4,343	5,513	8,589	13,194	11,723	7,146	4,494	3,323
20%	4,411	4,230	5,110	5,839	7,383	9,888	16,262	26,862	26,900	15,443	8,387	5,418

Nota: Análisis de frecuencia calculado con estadística 1950-1999.

ABR-OCT (m3/s)	ABR-OCT (MM3)	NOV-MAR (m3/s)	NOV-MAR (MM3)	ANUAL (m3/s)	ANUAL (MM3)
1,810	33,29676	2,010	26,4114	1,960	61,81056
2,290	42,12684	2,790	36,6606	2,570	81,04752
2,660	48,93336	3,480	45,7272	3,090	97,44624
4,880	89,77248	8,500	111,69	6,470	204,03792
7,570	139,25772	16,920	222,3288	11,440	360,77184

E. DERECHOS DE AGUA

Mediante Resolución N° 542 de 20 Diciembre de 1991, la Dirección General de Aguas constituyó derecho de aprovechamiento en el río Putaendo a favor del Fisco, Dirección de Riego.

El tipo de derecho de aprovechamiento es consuntivo de aguas superficiales y corrientes del río Putaendo por un caudal de 80 millones de m³/año de ejercicio eventual y continuo.

La resolución dice que el agua se captará gravitacionalmente en la ribera derecha del río, 50 metros más debajo de la estación pluviométrica del Río Putaendo en Resguardo Los Patos.

Este derecho se redujo a escritura pública en la Notaría de Santiago de María Zagal Cisternas, en el Repertorio N° 295 de fecha 24 Febrero 1992, y fue inscrito a nombre del beneficiario a fojas 29 vta. B55 del Registro de Propiedad del conservador de Bienes Raíces de Putaendo correspondiente al año 1992

Mediante Resolución N° 812 de 7 Junio de 2006 de la DGA V Región se autorizó, respecto de la Resolución N° 542/1991 mencionada anteriormente el traslado de 40 millones de m³/año a un punto de captación ubicado en el río Rocín. Se deja constancia que el titular deberá dejar pasar aguas abajo del punto de captación un caudal de 0,64 metros cúbicos por segundo, correspondiente a caudal ecológico del río Rocín entre los ríos Hidalgo y Putaendo.

En este escenario de derechos de aprovechamiento no hay objeción para construir un Embalse Chacrillas de 40 Hm³ en lugar del embalse de 27 Hm³ ya diseñado. Para construir un embalse de mayor capacidad sería necesario solicitar y conseguir el traslado del resto del derecho de 80 Hm³.

REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
QUINTA REGIÓN DE VALPARAÍSO
EXPEDIENTE VT-0503-61-
LMR/FE/11e

PU

REF.: Autoriza traslado en parte del ejercicio de derecho de aprovechamiento de aguas superficiales y corrientes del río Putaendo que indica, a favor de la DIRECCIÓN DE OBRAS HIDRÁULICAS, en la comuna de Putaendo, provincia de San Felipe, Quinta Región.

Lo que transcribo a Ud. para su conocimiento

Con esta fecha el Director de Aguas ha resuelto lo que sigue

QUILLOTA, 07 JUN 2006

D.G.A. V REGION (EXENTA) N° 812

Copia Auténtica Original
D. G. A. V. R.

VISTOS: La solicitud de la Dirección de Obras Hidráulicas; el Informe Técnico N° 176, de 13 de mayo del 2005 de la Dirección General de Aguas de la Región de Valparaíso; presentación de fecha 25 de mayo de 2006; la inscripción fojas 29 N° 55 del Registro de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces de San Antonio, del año 1991; el Certificado N° 868, de 15 de abril de 2005, del Abogado Archivero del Registro Público de Derechos de Aguas de la Dirección General de Aguas; la Resolución D.G.A. N° 96, del 29 de enero de 2004, que aprueba el estudio "Evaluación de los Recursos Hídricos Superficiales en la Cuenca del Río Aconcagua", realizado por el Departamento de Administración de Recursos Hídricos, S.D.T. N° 165, de enero de 2005; lo dispuesto en el artículo 163 del Código de Aguas; las atribuciones que me confieren las Resoluciones DGA N°501 de 1989, D.G.A. N°211, de 1990 y D.G.A. N° 32 de 2005; y

RESUELVO:

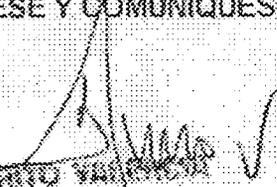
- 1.- Autorízase a la DIRECCIÓN DE OBRAS HIDRÁULICAS, el traslado en parte del ejercicio de derecho de aprovechamiento consuntivo de aguas superficiales y corrientes, de ejercicio eventual y continuo, cuyo punto de captación actual se encuentra ubicado en la ribera derecha del río Putaendo, 50 metros aguas abajo de la estación fluviométrica del río Putaendo en Resguardo Los Palos, en las coordenadas IGM 70° 35' 26" Longitud Oeste y 32° 31' 98" Latitud Sur, comuna de Putaendo, a un nuevo punto de captación ubicado en el río Rocin, en las coordenadas UTM, Norte: 6.402.130 metros y Este: 352.875 metros referidos al

- 2.- La titular del derecho de aprovechamiento deberá dejar pasar aguas abajo del punto de captación ubicado en las coordenadas UTM Norte: 6.403.130 metros y Este: 353.875 metros, referidas al Datum PSAD 1956, un caudal de 0,64 metros cúbicos por segundo.

El caudal antes referido corresponde al caudal ecológico del río Rocín entre los ríos Hidaigo y Putaendo, de acuerdo a lo establecido en el estudio "Evaluación de los Recursos Hídricos Superficiales en la Cuenca del Río Aconcagua".

- 3.- La interesada deberá constituir las servidumbres que correspondan y serán de su cargo los gastos que se originen con motivo de esta autorización.
- 4.- La titular del derecho de aprovechamiento deberá solicitar a la Dirección General de Aguas la autorización de construcción de bocalomas, de acuerdo a lo dispuesto en los artículos 151 y 157 del Código de Aguas.
- 5.- El ejercicio del derecho de aguas que se traslada en el presente acto, deberá dar cumplimiento en lo que corresponda, a las disposiciones de la Ley N° 19.300, de Bases del Medio Ambiente.
- 6.- La presente Resolución deberá reducirse a escritura pública que suscribirá el representante legal de la interesada y la señora Directora Regional de la Dirección General de Aguas de la Quinta Región de Valparaíso, debiendo practicarse con copia autorizada de la misma una inscripción rectificatoria de aquella mencionada en el N°2 precedente, practicándose, asimismo, las inscripciones, subinscripciones y las anotaciones que correspondan en derecho, al margen de la referida en el N°2, de esta Resolución.
- 7.- Copia de la correspondiente escritura pública como de las inscripciones, subinscripciones y anotaciones que en derecho se hubiesen practicado, deberán ser remitidas por la interesada a este Servicio, a fin de ser incorporadas al Catastro Público de Aguas, en conformidad con lo establecido en el artículo 122 del Código de Aguas.
- 8.- Comuníquese la presente Resolución al señor Director General de Aguas, a las demás oficinas respectivas de este Servicio y al Director General de Obras Hidráulicas.

ANÓTESE Y COMUNÍQUESE.


JUAN BERTO VALDIVIA
DIRECTOR REGIONAL (C)
D.G.A. Y REGION

F. RESUMEN DE ALTERNATIVAS DE OBRAS Y SU VALORACIÓN

CRITERIOS PARA LA VALORIZACIÓN DE LAS OBRAS

1.- EMBALSES

El criterio de valorización es de expresar los costos en UF. Para determinar la equivalencia UF a USD se comparó los valores del Embalse Chacrillas en UF y en USD. La relación obtenida es de 1 UF = USD 32,07

- 1.1 Chacrillas Valorizado en UF 2.079.619 en el numeral B de este Estudio y en USD 66.692.975 obtenido en la Sección B de este Informe.
- 1.2 Los Ángeles En el Plan V* está valorizado para 84 Mm³ en 76.000.000 USD. Se convierte a UF con la relación 1 UF = USD 32,07
- 1.3 Alicahue En el Plan V está valorizado para 51 Mm³ en 105,930,565 USD. Se convierte a UF con la relación 1 UF = USD 32,07
- 1.4 Sobrante En el Plan V está valorizado para 31 Mm³ en 59,030,605 USD. Se convierte a UF con la relación 1 UF = USD 32,07

COSTO EMBALSE CHACRILLAS			
Mm ³	1 UF = \$ 21.224	1 US = \$ 661,8	al 02/11/2008
27	UF 974.915		Valor Chacrillas con 27 Mm ³
84	UF 2.079.619		Valor Chacrillas con 84 Mm ³
	UF 1.104.704		Costo diferencial de 27 a 84 Mm ³

VALORIZACIÓN DE EMBALSES SEGÚN PREFACTIBILIDAD				
	CHACRILLAS	L. ANGELES	ALICAHUE	SOBRANTE
Valor en USD prefact.	66.692.975	76.000.000	105.930.565	59.030.605
Valor en UF	UF 2.079.619	UF 2.369.830	UF 3.303.125	UF 1.840.691

2.- CANALES

Los Gráficos aplicados al Trazado del Canal Chacrillas - Los Ángeles y al Trazado del Canal Chacrillas – Alicahue se insertan en la parte final de este numeral.

Se agrega la alternativa del estudio de A y C

2.1 Alternativa 1 Canal Chacrillas - Los Ángeles:

Trazado con tramo de 34,5 km CHLA-C1; Túnel de 0,5 km CHLA-T1 a cuya salida descarga al primer curso natural. Se valoriza para un caudal de 10 m³/s.

* El Plan V se refiere al PLAN INTEGRAL DE OBRAS DE RIEGO DE LA V REGIÓN presentado por la DOH – MOP en 2008.

2.2 Alternativa 2 Canal Chacrillas - Alicahue:

Los primeros 35 km son los mismos del Canal Chacrillas - Los Ángeles y se valoriza para un caudal de 10 m³/s. A la salida del túnel entrega 4,4 m³/s al cauce natural para alimentar el Embalse Los Ángeles, el resto de 5,6 m³/s se descargan al CHA-C2.2 de 5,76 km que continua por el túnel CHA-T2 con longitud de 3,17 km el curso continua por el CHA-C2.3 de 30,77 km hasta descargar en el Embalse Alicahue. La valorización se hizo, considerando el costo del tramo CHA-C1.2 y CHA-T.1 igual a la Alternativa 1.

Se resta este valor al costo de la Alternativa para 10 m³/s y esa diferencia se ajusta proporcionalmente al caudal de 5,6 m³/s.

2.3 Alternativa 2a

Esta Alternativa es igual a la **Alternativa 2** con el último tramo en cauce canalizado en una longitud del 50% de los 30,77 km para descargar los 5,6 m³/s a un cauce natural de alimentación del Embalse Alicahue

2.4 Alternativa 3 Canal Chacrillas - Alicahue - Sobrante:

Se valoriza el tramo Chacrillas - Alicahue al costo de la Alternativa 2.

El tramo Alicahue - Sobrante se calcula en proporción al caudal de 3,1 m³/s

2.5 Alternativa 4 Canal Putaendo - Los Ángeles:

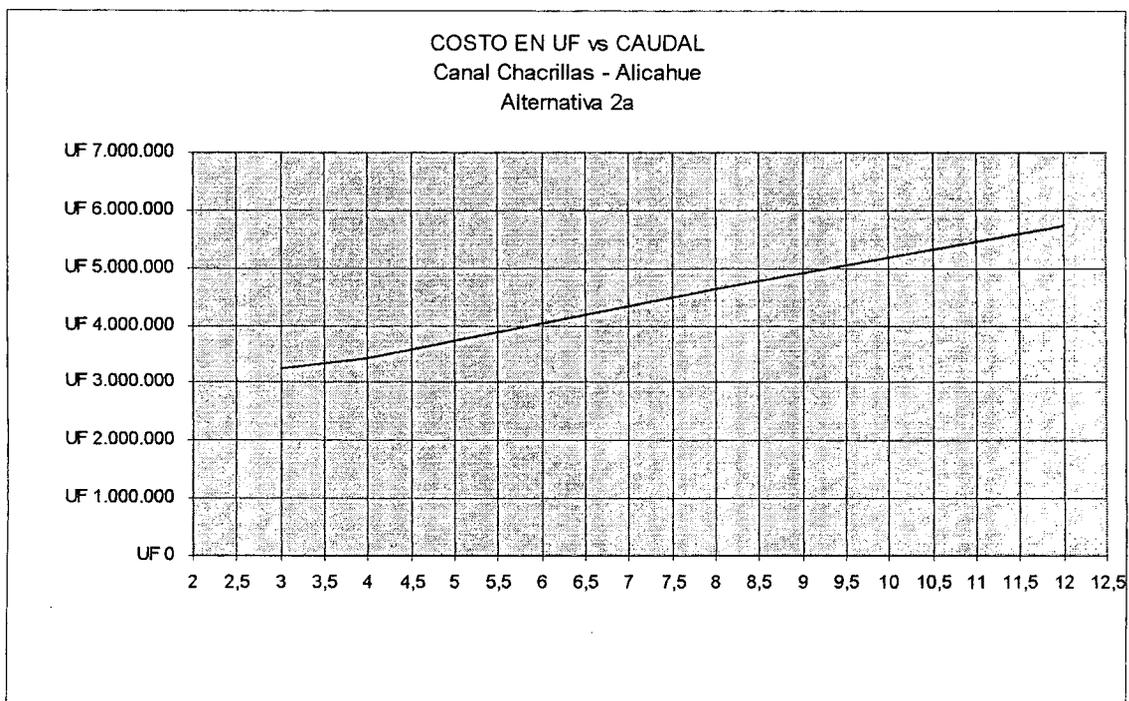
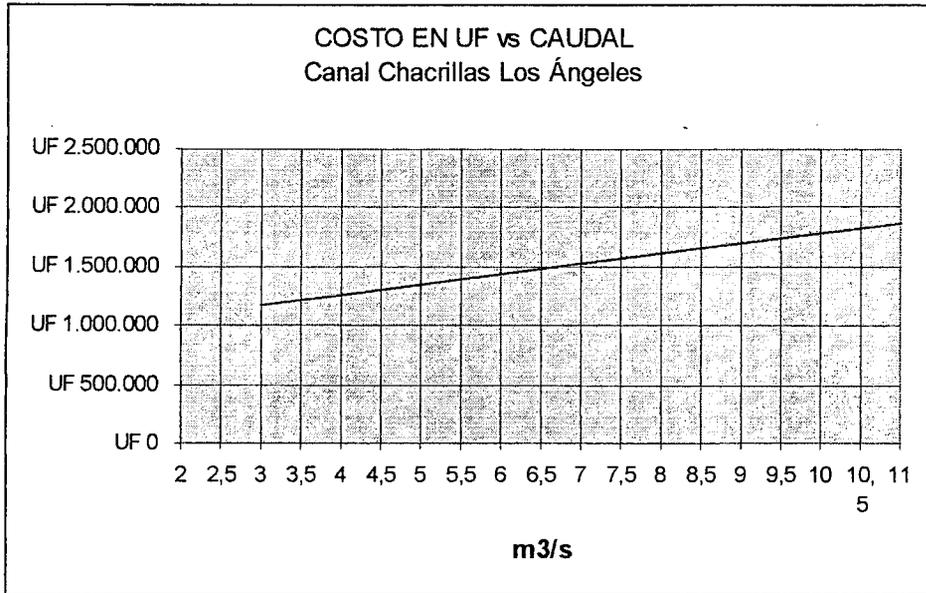
Se toma la Alternativa con bocatoma en cota 1.050 m y se extrapola su costo al caudal de 10 m³/s

2.6 Alternativa A y C.

En la parte inferior del cuadro comparativo se consignan tres alternativas referidas únicamente al canal de trasvase para comparar las alternativas 1 y 4 de capacidad de 10m³/s de este estudio con la alternativa que hemos denominado A y C de 6m³/s. La alternativa A y C está presentada en "Estudio de trasvase desde el Aconcagua por el valle del Catemu hacia el estero Los Ángeles", DOH, 2007. Los presupuestos de todos estos estudios se homogenizaron a condiciones que los hicieron comparables.

Ver sección J. ANEXOS, Alternativa A y C

3.- GRÁFICOS DE RELACIÓN COSTO –CAUDAL



ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
F. Resumen de Alternativas de Obras y su Valoración

CUADRO COMPARATIVO DE LAS ALTERNATIVAS DE TRASVASE CHACRILLAS A LOS ANGELES Y ALICAHUE										
									13000 há ***	
Alternativa	m ³ /s	Costo Canal Por Tramos	Costo Canal Total	Costo Chacrillas 84 Mm ³	Costo Los Ángeles 51 Mm ³	Costo Alicahue 56 Mm ³	Costo Sobrante 31 Mm ³	Σ Costos	Costo UF/ há	Costo miles USD/ há
1	10	UF 1.788.622	UF 1.788.622	UF 1.104.704	UF 2.369.830			UF 5.263.156	405	12,6
2	10	UF 1.788.622	UF 4.637.131	UF 1.104.704	UF 2.369.830			UF 8.111.666	624	19,5
	5,6	UF 2.848.509								
2a	10	UF 1.788.622	UF 3.533.244	UF 1.104.704	UF 2.369.830			UF 7.007.779	539	16,8
	5,6	UF 1.744.622								
3	10	UF 1.788.622	UF 5.780.835	UF 1.104.704	UF 2.369.830	UF 3.303.125	UF 1.840.691	UF 14.399.185	1108	34,5
	5,6	UF 2.848.509								
	3	UF 1.143.704								
4	10	UF 3.063.032	UF 3.063.032	UF 1.104.704	UF 2.369.830			UF 6.537.566	503	15,7
ALTERNATIVAS DE CANALE DE TRASVASE A EMBALSE LOS ANGELES										
1	10	UF 1.788.622								
4	10	UF 3.063.032								
A y C	6	UF 3.095.284								

- 1 : Canal Chacrilla – Los Ángeles
- 2 : Canal Chacrilla - Alicahue
- 2a : Canal Chacrilla - Alicahue
- ^ : Canal Chacrilla – Alicahue - Sobrante
- : Canal Putaendo – Los Ángeles (cota 1050)
- yC: Trazado Alternativo estudiado por DOH en 2008

* Ver "Alternativas de Traslase", página A3 y "Unifilares", página A4.

** Ver sección J. ANEXOS, Alternativa Ay C

***Todas las Obras de Traslase consideran regar 13.000 ha con seguridad 85% o superior. Este es el valor que optimiza la utilización de los recursos hídricos disponibles, conforme al modelo de plataforma WEAP aplicado y que se describe en la sección C.



G. ALTERNATIVAS PRELIMINARES DE GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA

En cada una de las alternativas analizadas se abren interesantes opciones de generación hidroeléctrica, en centrales de paso sobre la base de las siguientes consideraciones.

Alturas de caída.

Los canales de trasvase estudiados parten de la cota 1350m y uno de ellos de la cota 1150. Los sectores de riego parten en la cota 500 más o menos, de tal manera que queda una altura potencial de generación de unos 850 y 650m. La topografía cordillerana colabora para encontrar lugares adecuados para la instalación de tuberías de presión. En las imágenes adjuntas de los trazados recomendados se muestran que existen caídas aprovechables. Cálculos preliminares en una de las opciones de generación indican que los valores de beneficios son considerables y pueden afectar positivamente los índices de la factibilidad.

Caudales transportados.

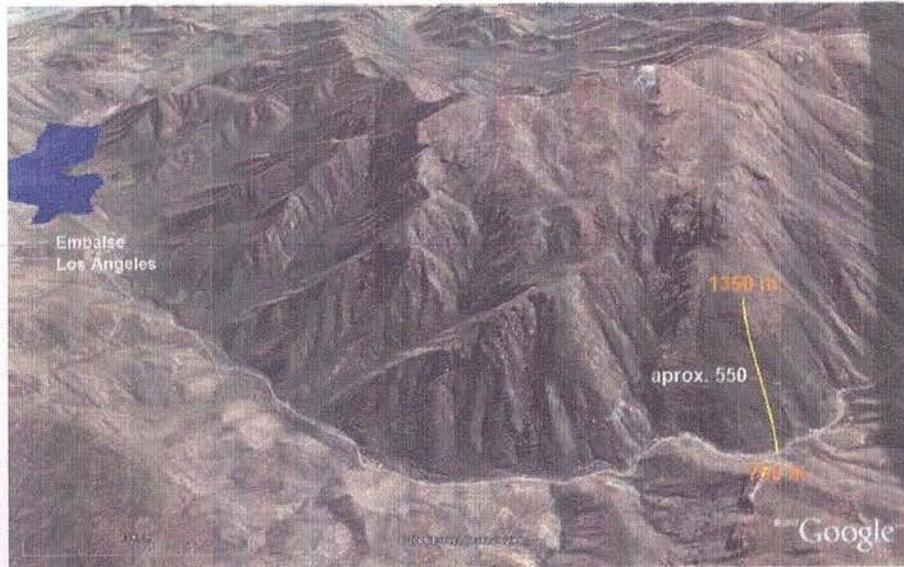
En todos los casos del embalse Chacrillas de 84 Hm³ se transportan unos 50 Hm³ al año, distribuidos en seis meses, lo cual da un caudal de generación promedio de 3,2 m³/s. Tomando en cuenta estos caudales y una parte aprovechable de las alturas de caída posible, se podría pensar en centrales de paso del orden entre 8 y 12 MW

Oportunidad de la generación.

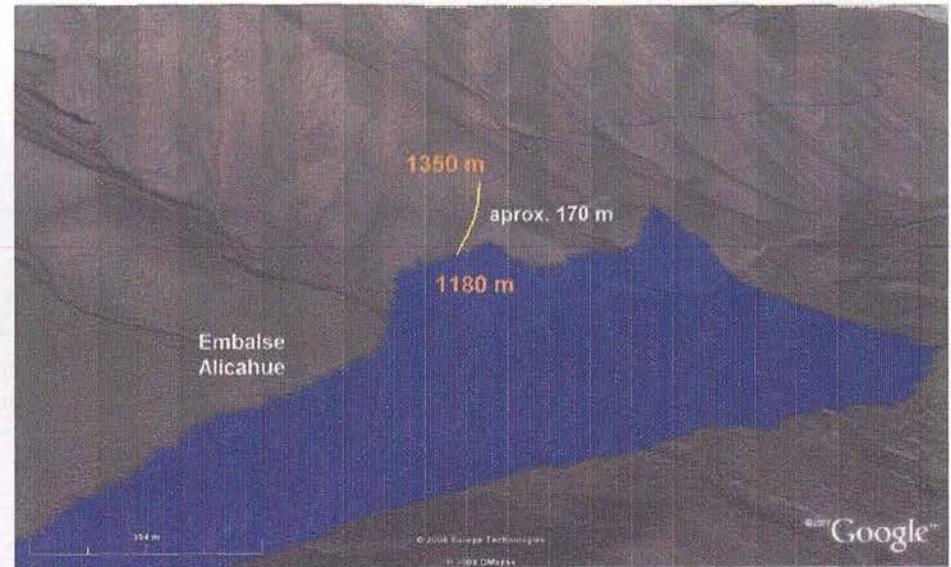
Las centrales al pie de presa tienen la objeción de que entran en conflicto para la utilización del agua durante el período de riego. En este caso este conflicto no existe y se puede generar todo el tiempo que se utiliza el agua para regar. También hay buenas perspectivas de generar en invierno.

A continuación se presentan en imágenes algunos ejemplos de posibles ubicaciones de centrales hidroeléctricas para las opciones de trasvase más atractivas.

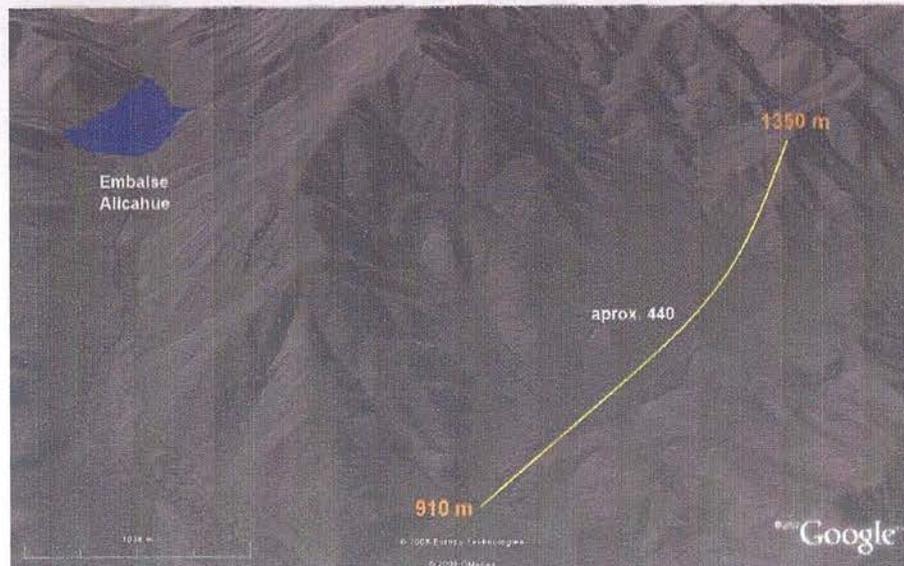
ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
G. Alternativas Preliminares de Generación Hidroeléctrica



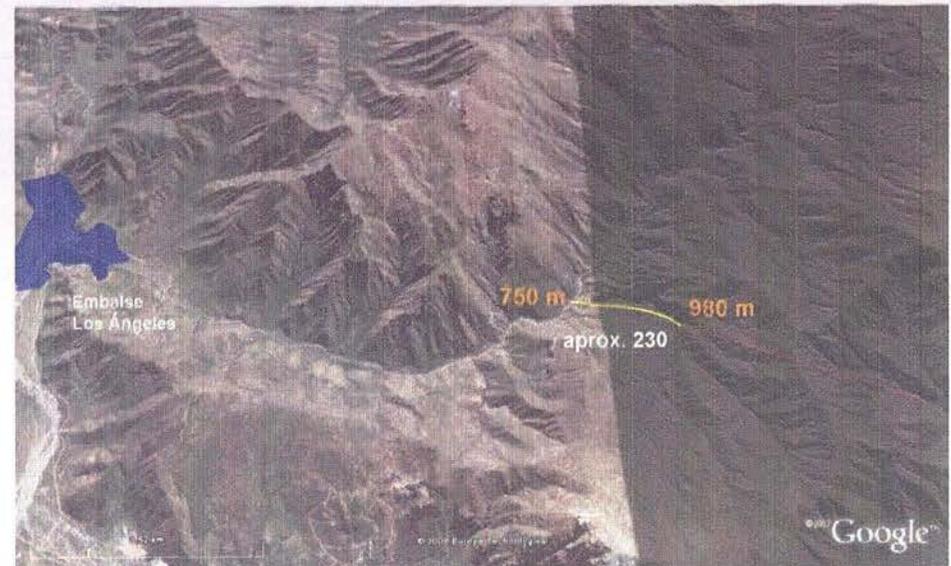
Chacrilas Los Angeles



Embalse Alicahue



Chacrilla Alicahue



Putaendo Los Angeles

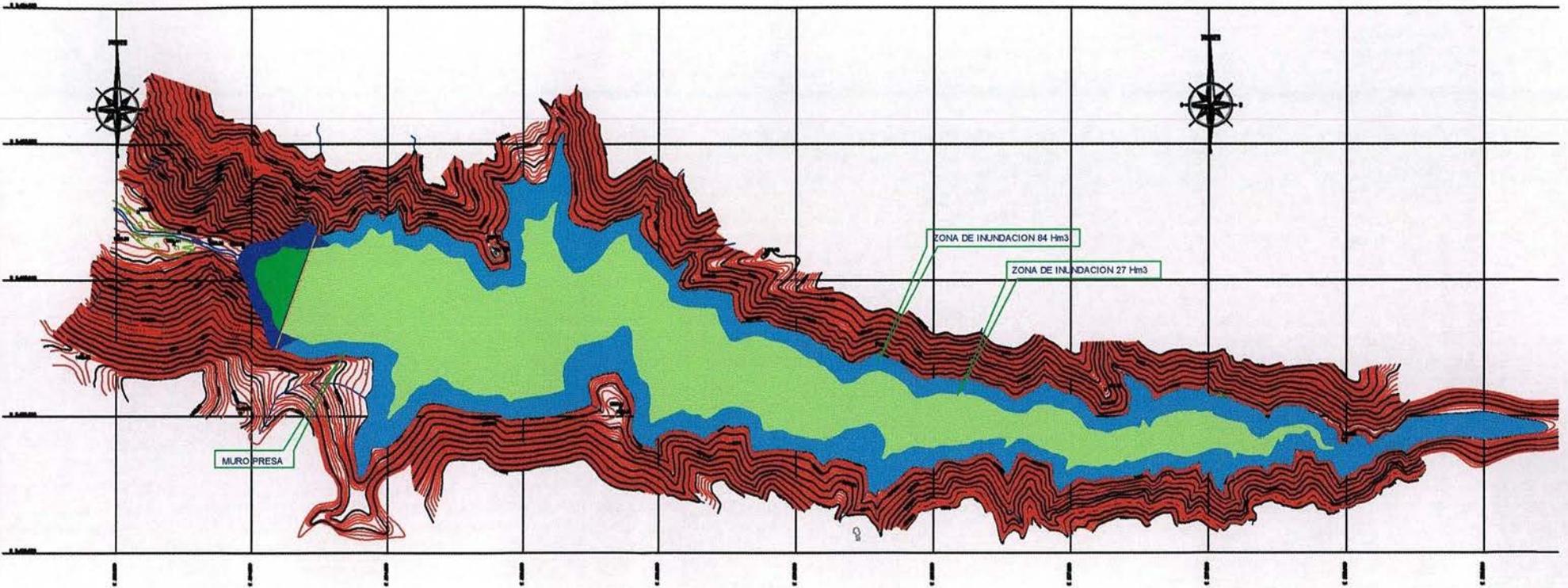


ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
H. Planos

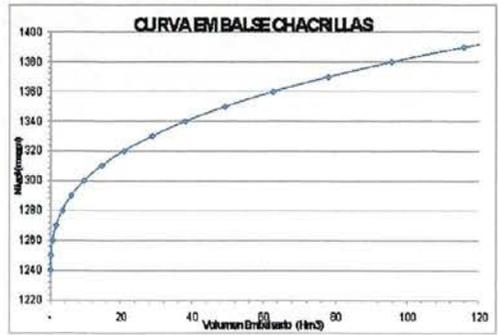
H. PLANOS

NOTA: Los planos se encuentran, en una mejor definición, en la versión digital de éste trabajo.

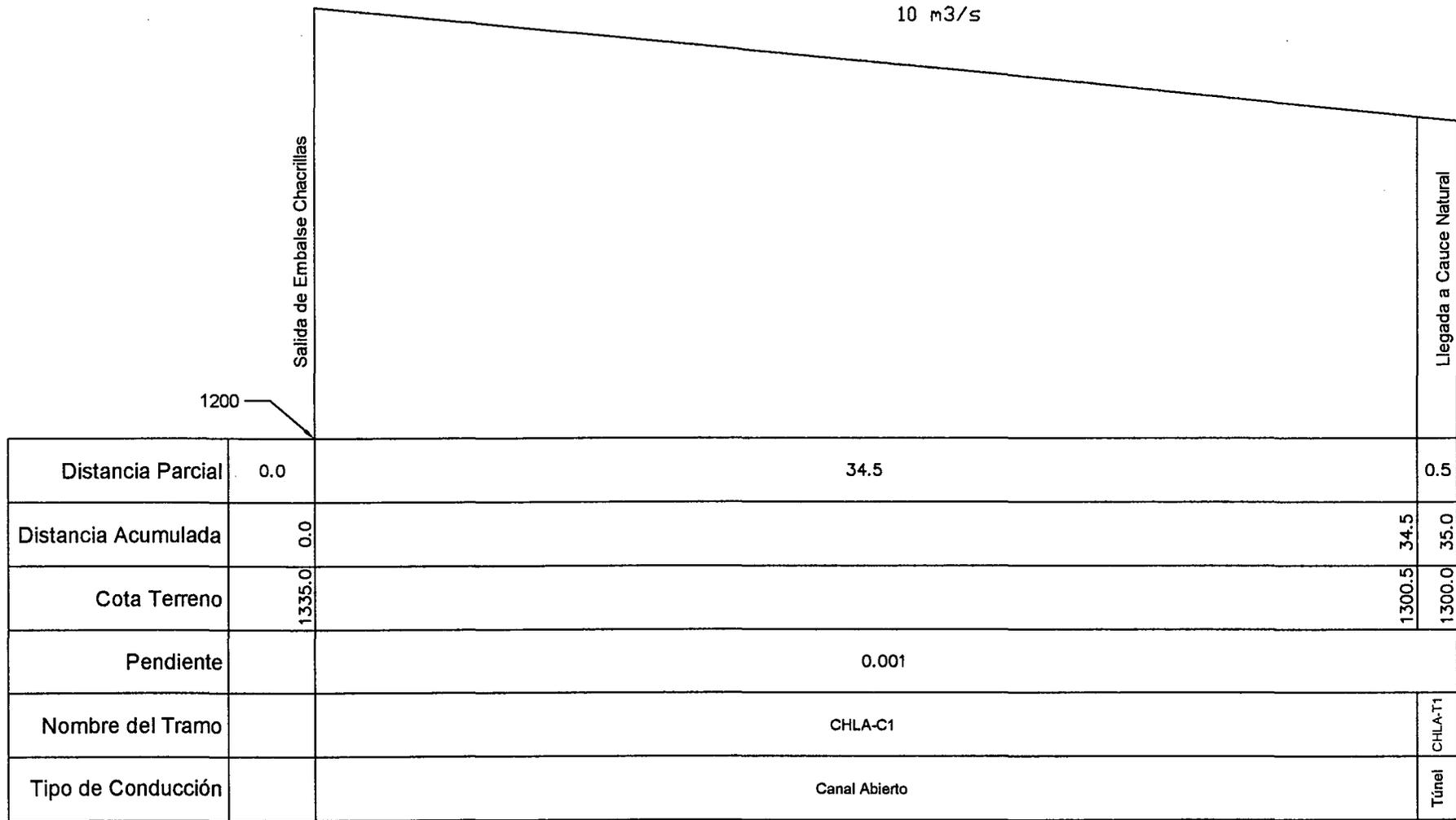
ZONA DE INUNDACION DE EMBALSES CHACRILLAS DE 27 Y 84 HM³
 ESCALA 1:5.000



ANTECEDENTES EMBALSE	
CAPACIDAD:	90 hm ³
CAPACIDAD UTIL:	84 hm ³
NIVEL AGUAS MAXIMAS NORMALES:	1.369,6 m s.n.m.
NIVEL MAXIMO CRECIDAS DE DISEÑO:	1.373 m s.n.m.
ESPEJO DE AGUA (NIVEL 1.369,6 m s.n.m.):	170 ha
COTA CORONAMIENTO MURO:	1.376 m s.n.m.
ALTURA MAXIMA MURO:	139 m

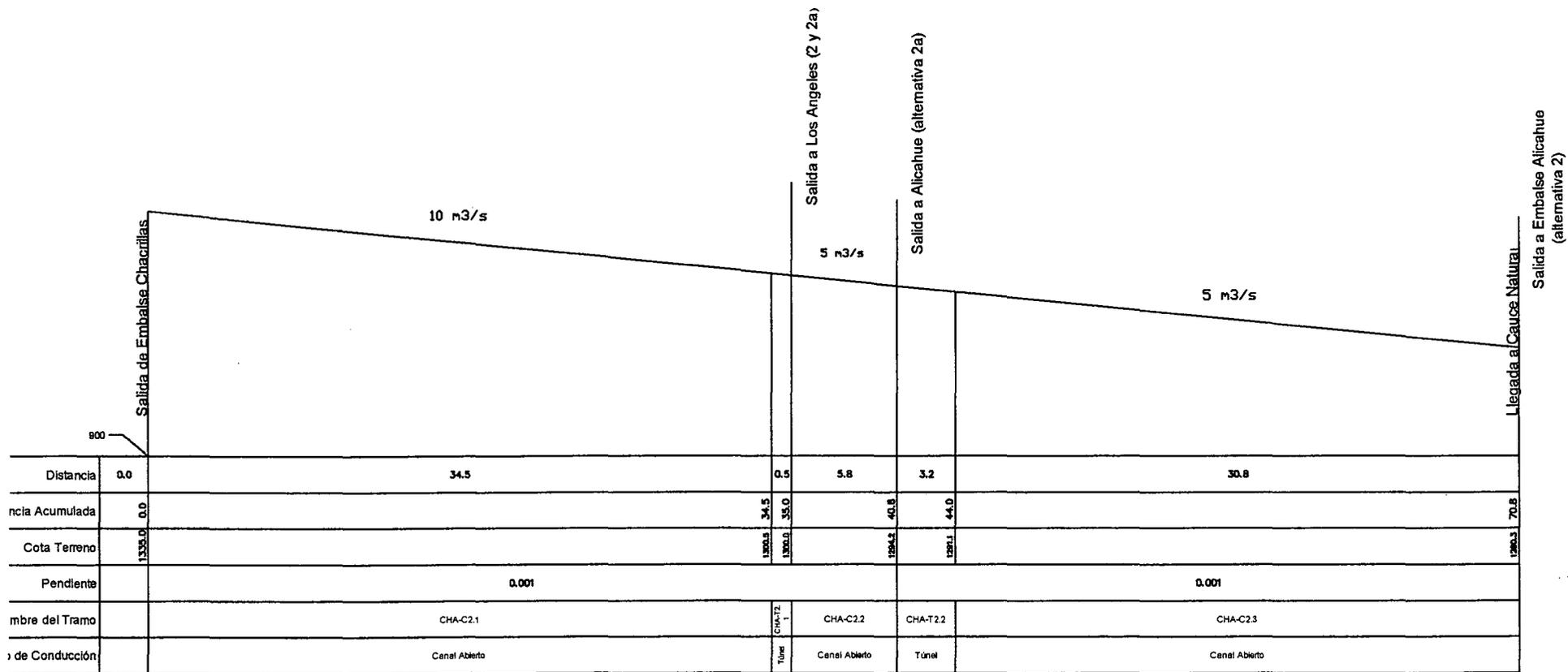


PROYECTANTE	FECHA	PROYECTO	ESTADO	ESCALA	FECHA	PROYECTO	ESTADO	ESCALA	FECHA
DISEÑO EMBALSE CHACRILLAS						G		ZONA DE INUNDACION	
AUTOR						A			
REVISOR									
APROBADO									
FECHA Y LUGAR						1980		SANTA FE	
AUTOR						E. ALFARO			
REVISOR									
APROBADO									

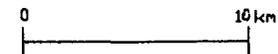


PERFIL LONGITUDINAL CANAL CHACRILLAS - LOS ANGELES
ALTERNATIVA 1





PERFIL LONGITUDINAL CANAL CHACRILLAS - ALICAHUE
 ALTERNATIVA 2: Chacrillas a Alicahue con entrega final a embalse
 ALTERNATIVA 2a: Chacrillas a Alicahue con entrega final a quebrada



10 m³/s

Salida de Embalse Chacrilas

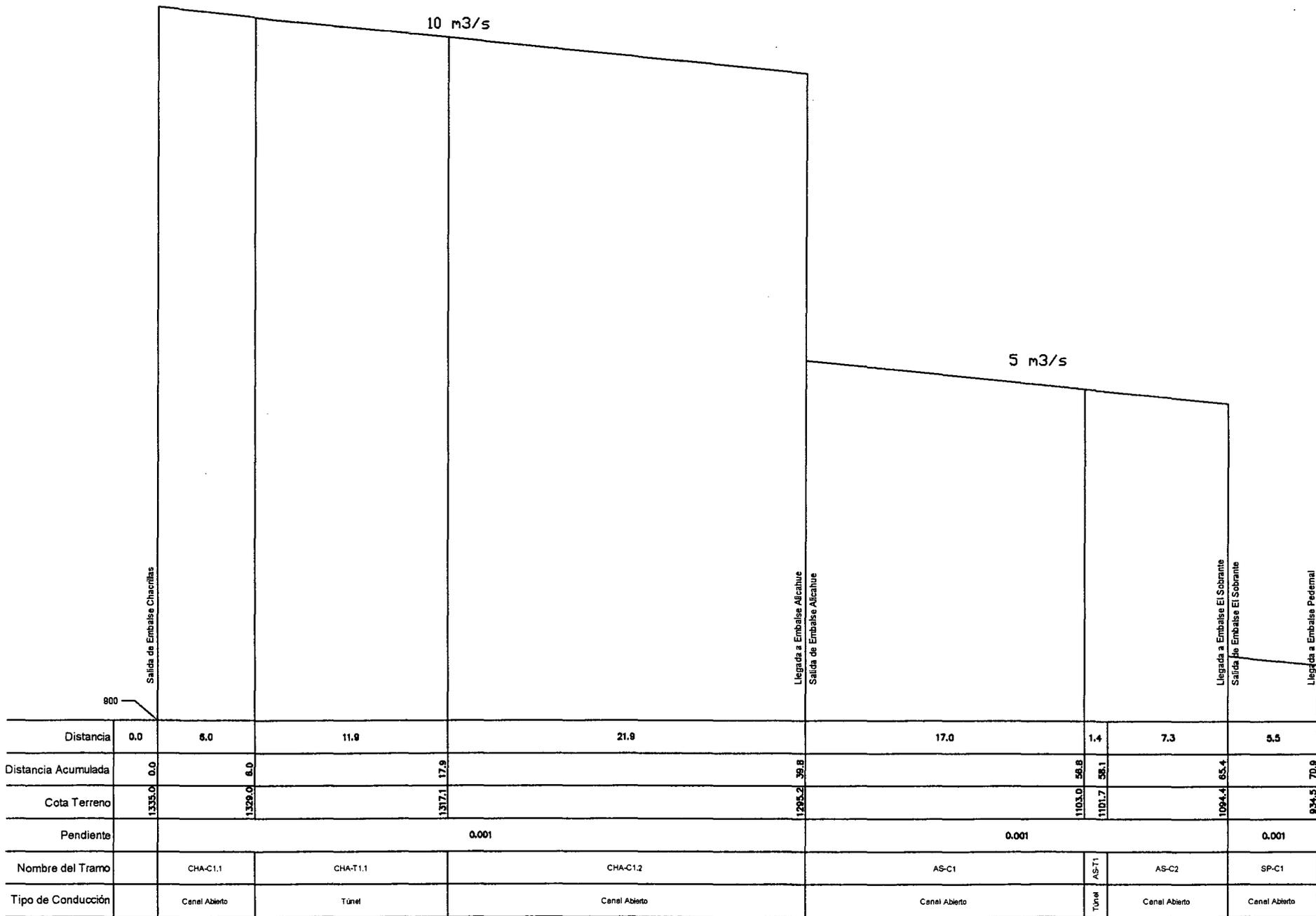
Llegada a Embalse Alicahue

1200

Distancia	0.0	6.0	11.9	21.9
Distancia Acumulada	0.0	6.0	17.9	39.8
Cota Terreno	1335.0	1329.0	1317.1	1295.2
Pendiente	0.001			
Nombre del Tramo	CHA-C1.1	CHA-T1.1	CHA-C1.2	
Tipo de Conducción	Canal Abierto	Túnel	Canal Abierto	

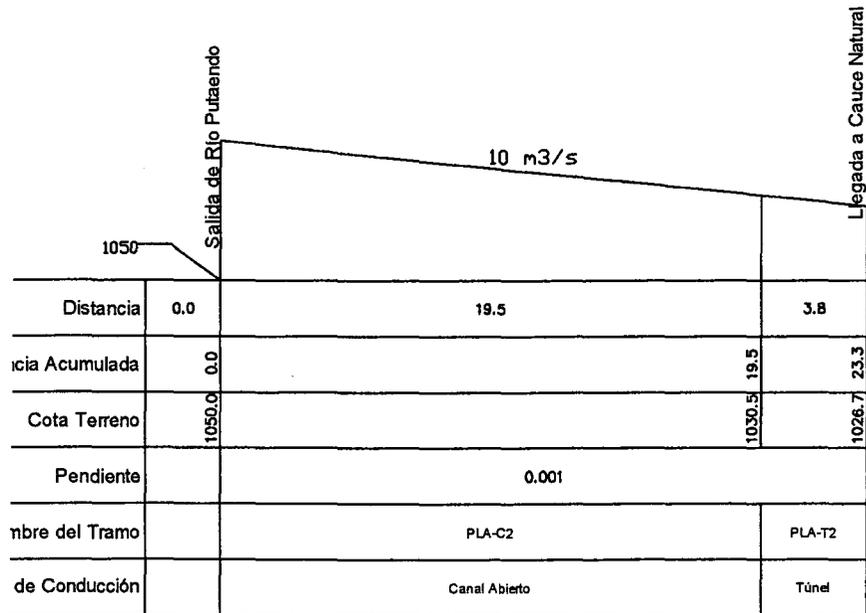
PERFIL LONGITUDINAL CANAL CHACRILLAS - ALICAHUE
ALTERNATIVA DESCARTADA A ALICAHUE



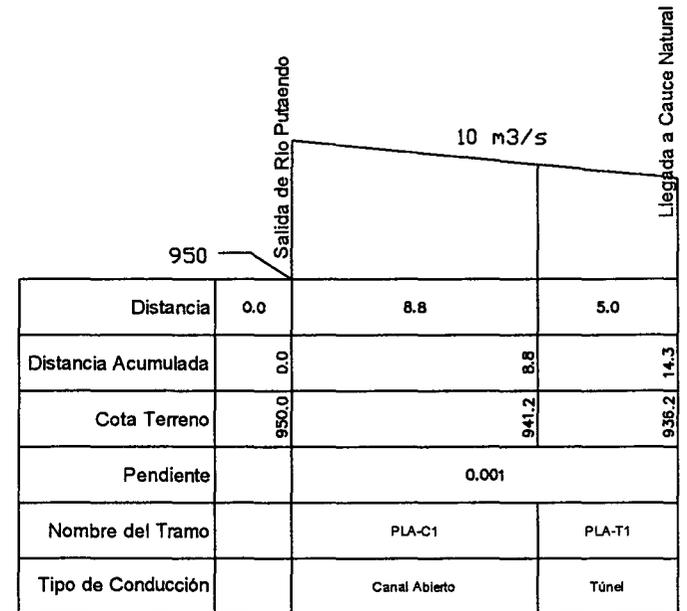
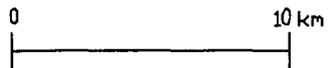


PERFIL LONGITUDINAL CANAL CHACRILLAS - PETORCA
ALTERNATIVA 3

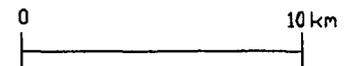




PERFIL LONGITUDINAL CANAL PUTAENDO - LOS ANGELES
ALTERNATIVA 4 (COTA 1050)



PERFIL LONGITUDINAL CANAL PUTAENDO - LOS ANGELES
ALTERNATIVA 4 (COTA 950)



I. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Embalse Chacrillas

- a) Es posible aumentar la capacidad del embalse Chacrillas hasta los volúmenes de 40 y 84 Hm³. El aumento de 27 a 40Hm³ requiere un ajuste diseño final en la presa y obras complementarias para un aumento de la altura de la presa en 15 metros.
- b) Existen recursos hídricos para un embalse de 84 Hm³ que puede mejorar sustancialmente la seguridad de riego en los valles de Putaendo y Aconcagua y alternativamente para operar en conjunto con los embalses de Los Angeles y Alicahue, en proyecto. Se requiere un aumento de la altura de la presa de 45 metros.

Canal de trasvase

Las principales conclusiones sobre la factibilidad técnica del trazado de canales gravitacionales para trasvasar volúmenes de agua excedentes en la cuenca de Putaendo a los valles de Ligua y Petorca, son la siguientes:

- c) Que es factible físicamente realizar un trasvase entre el valle de Putaendo a los valles de Ligua y Petorca, dada la existencia de cotas favorables que permitirían la conducción gravitacional desde este valle a los otros dos.
- d) Que el trazado del canal más económico en términos de costos de obras de trasvase corresponde al trazado Chacrillas - Los Ángeles, alternativa 1.
- e) Pese a los resultados favorables para el trazado Chacrillas - Los Ángeles, este presenta el inconveniente de que las aguas al ser descargadas en la en la cabecera del área aportante del embalse Los Ángeles a un cauce natural, deben tenerse en cuenta las pérdidas por infiltración el aumento de la erosión y acarreo de material.
- f) Del trazado Chacrillas-Alicahue, para el mismo objetivo la alternativa más conveniente es la alternativa 2a, ya que permite entregar también al valle del Estero los Ángeles.
- g) Del trazado Chacrillas-Petorca, alternativa 3, pese a que es el que presenta mayor versatilidad en cuanto llega a tres de los valles, tiene el costo más elevado y no es factible desde el punto de vista costo/beneficio.¹

¹ A nivel de perfil es una práctica utilizada por la DOH y la CNR de utilizar el índice "Costo por hectárea nueva regada", índice además utilizado en los concursos de la ley 18450. Este índice es una primera aproximación de costo/beneficio basado en la experiencia de las potencialidades productivas de los distintos territorios. Para un nivel preliminar permite calificar, en este caso qué alternativas vale la pena profundizar y cuáles se pueden descartar, y que nos permite afirmar que un costo de 34000 US\$/ha es excesivo, por ahora, para riego en Ligua Petorca y que costos inferiores a US\$20000 vale la pena profundizar el estudio, basado en el conocimiento que se tiene actualmente de las potencialidades productivas de estos valles, generación de empleo y otros beneficios sociales.

ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO

H. Conclusiones y Recomendaciones

- h) Del trazado Putaendo-Los Ángeles, para trasvasar al Estero Los Ángeles, la alternativa más conveniente es la alternativa 4, es decir la que parte en la cota 1.050 msnm.

Modelo

- i) El análisis realizado para un escenario de utilización de los recursos hídricos propios de la Cuenca de La Ligua, particularmente relacionados a los embalses de Los Ángeles y Alicahue, resultó que para la demanda actual, la seguridad de riego quedaría satisfecha con una seguridad de un 93%. Sin embargo, frente a un análisis de una mayor demanda o situación futura, los recursos propios no son capaces de regular y satisfacer esta demanda, cayendo la seguridad a un 41%. La condición anterior justifica un análisis de escenarios con trasvase desde la cuenca de Putaendo.
- j) La superficie que es capaz de satisfacer el proyecto de trasvase, es hasta aproximadamente 13000 ha, considerando en forma individual los embalses de regulación tanto para Los Ángeles como en Alicahue, verificándose seguridades de riego en torno al 85% y manteniendo este mismo orden de seguridad para el sistema de Putaendo. Al realizar el análisis conjunto de los embalses de Los Ángeles y Alicahue al mismo tiempo, la capacidad de riego de estos, permite distribuir la superficie actual y futura del valle de La Ligua, con una seguridad superior al 85%.
- k) Si bien es cierto, al aumentar la capacidad de regulación de los sistemas receptores del trasvase, la seguridad aumenta, esta tiene un límite, ya que no es capaz de seguir trasvasando aguas a menos que se empiece a disminuir la seguridad del sistema origen de Putaendo. Dado lo cual, esta condición queda desechada y demostrando finalmente que los recursos hídricos de Putaendo son altamente beneficiosos para el valle de La Ligua particularmente, pero dado que los recursos son limitados, el esquema mostrado probablemente sea el más adecuado, desde el punto de vista de la administración eficiente de los recursos hídricos del sistema.
- l) La disponibilidad de esta herramienta para seguir verificando escenarios de trasvase, así como también la posibilidad de incorporar nueva información en torno a la demanda sectorial del sistema de La Ligua, permitiría a futuro dimensionar condiciones a nivel de factibilidad, considerando la flexibilidad de análisis y establecimiento de condiciones dinámicas o transientes en torno a la inclusión de nuevas variables, tales como el sistema subterráneo, en la lógica de operación conjunta de recursos.

Generales

- m) Hay recursos hídricos y existe la factibilidad técnica y económica para ampliar la capacidad del embalse Chacriillas de 27 a 40 y 84Hm³, asunto que se recomienda fuertemente de considerar.
- n) La alternativa que tiene los mejores índices es la ampliación del embalse Chacriillas para utilizarlo en el mejoramiento del riego del valle del Aconcagua. Enseguida a continuación están los índices para el trasvase.

ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO

H. Conclusiones y Recomendaciones

- o) La disponibilidad de recursos hídricos permite el trasvasar para el riego de unas 13.000 há del Sistema del río La Ligua (Los Ángeles, Alicahue, La Ligua), operando en conjunto con los embalses de Los Angeles y Alicahue.
- p) Los costos de las obras para llegar al río Petorca, hasta los Embalses Pedernal y Sobrante resultan muy altos.
- q) Las alternativas más atractivas para el Sistema La Ligua son las siguientes, en orden creciente de costos (ver "Alternativas de Trasvase", página A3 y "Unifilares", página A4.):
- Trasvasar al estero Los Ángeles desde el Embalse Chacrillas o bien desde el río Putaendo a la altura de la cota 1050 msnm
 - Trasvasar desde el Embalse Chacrillas a los valles de Los Ángeles y Alicahue construyendo solamente el Embalse Los Ángeles.
 - Trasvasar desde el Embalse Chacrillas a los valles de Los Ángeles y Alicahue construyendo los respectivos embalses.
- r) Parece recomendable para el valle de Petorca construir el Embalse Pedernal sin trasvase.
- s) Generación hidroeléctrica. Hay un importante potencial de generación hidroeléctrica asociada a las obras de trasvase. Esta generación mejora los índices de costo-beneficio del proyecto
- t) **BASES DE LOS TÉRMINOS DE REFERENCIA PARA LA CONTINUACIÓN DEL PROYECTO.**

Hay un proceso previo de decisiones al interior de la Comisión Nacional de Riego para definir cuál o cuáles de las alternativas planteadas en este estudio será la elegida para la continuación de este proyecto. Por ahora lo que se ve más clara es la conveniencia de aumentar la capacidad del Embalse Chacrillas actualmente diseñado para 27 Hm³ de capacidad a 40 ó 84 Hm³, lo cual permitiría en el futuro utilizar los excedentes de agua ya sea para su utilización en el propio valle del Putaendo-Aconcagua o el trasvase a los valles de la Ligua.

Diseño final de un Embalse Chacrillas para 40 ó 84 Hm³. Extender los estudios ya realizados por la DOH-EDIC para la presa del embalse de 27 Hm³ a la presa del embalse de 40 ó 84 Hm³ que pasa de 90 a 105m en el primer caso, y de 90 a 135 m en el segundo, o sea aumenta en 15 y 45m respectivamente. Esto se refiere a estudios geológicos, hidrogeológicos, sedimentológicos, de riesgo sísmico. La topografía existente es suficiente.

Verificar la hidrología de la cuenca para precisar la seguridad para obtener el volumen de 84 Mm³ o superior que se pretenda almacenar. Para 40 Hm³ no es necesario estudiarlo.

Para el caso de 40Hm³ ya existen la totalidad de los derechos en el sitio del embalse. Para los 84 Hm³ hay que procesar las peticiones y justificaciones para obtener el traslado de la totalidad de los Derechos de Agua que la DOH posee en las cercanías del Resguardo de los Patos hasta el sitio del embalse, sobre la base de las mismas razones por las cuales ya se efectuó el primer traslado de 40 Hm³/año.

Actualizar la modelación hidrológica-operacional del valle de Putaendo. Incorporar la modelación del valle de Putaendo al Modelo Integrado del valle del Aconcagua diseñado recientemente por el DICTUC para la DOH y la DGA. Una vez verificados los aspectos enumerados se deberá pasar al diseño final de la presa, para lo cual se utilizarán todos los antecedentes del diseño final ya realizado por DOH-EDIC para el embalse Chacrillas de 27 Hm³.

J. ANEXOS

ANEXO 1. ALTERNATIVA A Y C

ANEXO 2. SUELO ARCILLOSO Y FRANCO ARCILLOSO

ANALISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
 J. Anexos

1 ALTERNATIVA A Y C

La Alternativa A y C se refiere al presupuesto realizado por la Consultora Ayala y Cabrera para las obras del canal de trasvase Río Aconcagua – Embalse Los Ángeles y valorizado al 2 de mayo de 2007 y que se entrega en la Tabla siguiente:

Presupuesto de Obras Canal de Trasvase Río Aconcagua - Embalse Los Angeles

Caudal Porteadó Q = 6 M3/S

Valor del Dólar al 2 de Mayo de 2007 : 525,96 \$/Dólar
 Valor de la Uf al 2 de Mayo de 2007 18.416,12 \$/Uf

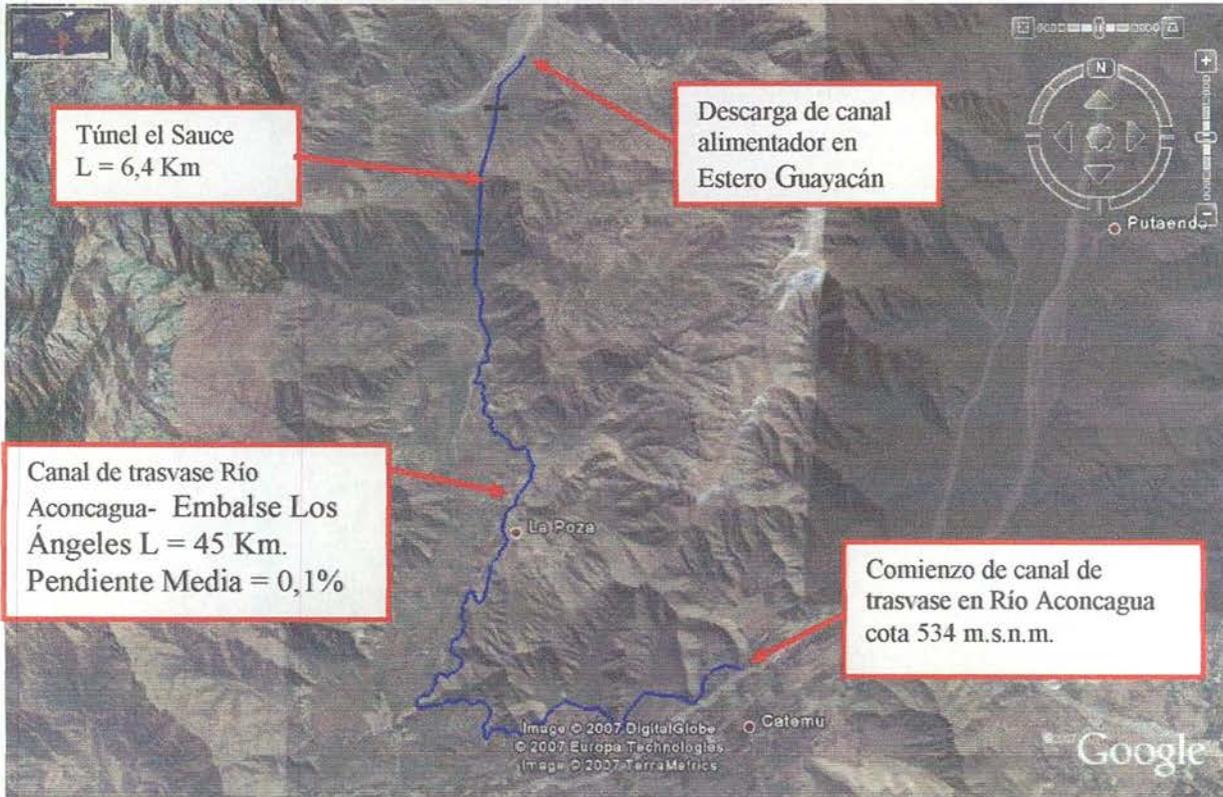
	ITEM	unidad	cantidad	precio unitario (\$/uni)	total (\$)
1.-	REVESTIMIENTO DE CANAL				
1.1	REVESTIMIENTO CANAL B = 2,0 m; H = 1,4 m; k = 2/3	ml	38.600	46.048	1.777.452.800
2.-	OBRAS DE ARTE				
2.1	OBRAS DE ARTE (2,5 obras de arte/ km en 45 km)	uni	96,5	2.000.000	193.000.000
3.-	MOVIMIENTO DE TIERRA				
3.1	EXCAVACION COMUN CON MAQUINA (20% DEL TOTAL)	m3	130.854	1.277	167.100.558
3.2	EXCAVACION EN ROCA (80% DEL TOTAL)	m3	523.416	8.000	4.187.328.000
3.3	RELLENO ESTRUCTURAL	m3	987.774	3.500	3.457.209.000
4.-	OBRAS DE CAPTACION Y ENTREGA				
4.1.-	OBRA DE CAPTACION EN EL RIO ACONCAGUA	GL	1	600.000.000	600.000.000
4.2.-	OBRA DE ENTREGA A ESTERO LOS ANGELES	GL	1	4.259.568	4.259.568
5.-	TUNEL				
5.1.-	TUNEL CRUCE VALLE ACONCAGUA - VALLE LA LIGUA	ml	6.400	250.000	1.600.000.000
	SECTOR EL SAUCE				
	COSTO DE OBRAS (1)			\$	11.986.349.926
	COSTO DE OBRAS			US\$	22.789.471
	EXPROPIACIONES (2)	HA	60	5.027.011	301.620.660
	COSTO DIRECTO TOTAL (1)+(2)			\$	12.287.970.586
	COSTO DIRECTO TOTAL			US\$	23.362.937
	GASTOS GENERALES, UTILIDADES E IMPREVISTOS	GL	35%	\$	4.300.789.705
	INGENIERIA	GL	5%	\$	614.398.529
	INSPECCION Y ADMINISTRACION DE LAS OBRAS	GL	7%	\$	860.157.941
	TOTAL DE COSTOS DE CONSTRUCCION (3)			\$	18.063.316.761
	IVA (4)	GL	19%	\$	3.432.030.185
	TOTAL DE COSTOS CON IVA (3)+(4)			\$	21.495.346.946
	INVERSION INICIAL			US\$	40.868.786

Este presupuesto fue referencial para estimar los costos de las alternativas propuestas en este estudio.

Este consultor revisó el cálculo de los precios unitarios haciéndolos suyos, excepto en lo que respecta al costo del túnel que lo estimó en un valor más alto. Este último valor más alto lo utilizó para los túneles de los trasvases. De tal manera que para hacer comparable este presupuesto de AyC con los presentados en los canales de trasvase propuestos en este informe se ajustó el valor del túnel y se actualizó su valor en UF a la fecha del 2/11/2088 con un valor de la UF de 21.224 \$/UF.

El valor total actualizado y modificado según los criterios anteriores para el canal de AyC es de: **\$43.366.887.407** equivalente a UF **2.043.311**

TRAZADO CANAL TRASVASE RÍO ACONCAGUA A EMBALSE LOS ÁNGELES





ANÁLISIS FACTIBILIDAD TRASVASE RECURSOS HIDRÍCOS HACIA LIGUA Y PETORCA DESDE SISTEMA PUTAENDO
K. Profesionales que participaron en el estudio

K. PROFESIONALES QUE PARTICIPARON EN EL ESTUDIO

Por la Comisión Nacional de Riego:

Nelson Pereira
Secretario Ejecutivo

Ramón Barceló
Jefe de la División de Estudio y Desarrollo

Héctor Jeria
Ingeniero Agrónomo, Economista Agrario
Jefe de Proyecto

Tania Fernández
Ingeniero Civil

Por el Consultor:

Luis Jorquera Galaz,
Ingeniero Civil
Jefe de Proyecto

Jorge Mascaró Zúñiga,
Ingeniero Civil
Presupuestos y Análisis de alternativas

Eugenio Celedón Correa,
Ingeniero Civil
Trazados, Embalses y Presupuesto

Felipe Raby Amadori
Ingeniero Civil
Trazados, Embalses y Presupuesto

Eduardo Rubio Álvarez
Ingeniero Civil
Modelación

Se sometió el informe de modelación en plataforma WEAP al ingeniero civil Juan Pablo Schuster por ser el desarrollador de ésta plataforma para el sistema Aconcagua Putaendo.