



**UNIVERSIDAD DE CHILE**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

**EVALUACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA DEL ENTUBAMIENTO  
PRESURIZADO DE DOS CANALES DE RIEGO EN LA COMUNA DE ALTO DEL  
CARMEN DE LA III REGIÓN DE ATACAMA, CHILE**

**RODRIGO IVÁN MÁRQUEZ ANTIVILO**

**Santiago, Chile**

**2012**

# **UNIVERSIDAD DE CHILE**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TITULO

**EVALUACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA DEL ENTUBAMIENTO  
PRESURIZADO DE DOS CANALES DE RIEGO EN LA COMUNA DE ALTO DEL  
CARMEN DE LA III REGIÓN DE ATACAMA, CHILE**

**TECHNICAL AND ECONOMICAL EVALUATION ON THE PRESSURIZED  
DUCTING OF TWO IRRIGATION CANALS IN THE AREA OF ALTO DEL  
CARMEN IN THE REGION DE ATACAMA, CHILE**

**RODRIGO IVÁN MÁRQUEZ ANTIVILO**

**Santiago, Chile**

**2012**

# **UNIVERSIDAD DE CHILE**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
ESCUELA DE PREGRADO

## **EVALUACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA DEL ENTUBAMIENTO PRESURIZADO DE DOS CANALES DE RIEGO EN LA COMUNA DE ALTO DEL CARMEN EN LA REGIÓN DE ATACAMA, CHILE.**

Memoria para optar al título profesional de Ingeniero Agrónomo  
Mención Ingeniería y Suelos

**RODRIGO IVÁN MÁRQUEZ ANTIVILO**

### **PROFESORES GUÍA**

Sr. Julio Haberland A.  
Ingeniero Agrónomo, Ph. D.

7,0

Sr. Cristián Kremer F.  
Ingeniero Agrónomo, Ph. D.

6,8

### **PROFESORES EVALUADORES**

Sr. Rodrigo Callejas R.  
Ingeniero Agrónomo, Dr. Sc. Agr.

6,6

Luis Sazo R.  
Ingeniero Agrónomo.

6,5

### **COLABORADOR**

Ricardo Marchant S.  
Ingeniero Agrónomo Mg. Sc.

**Santiago, Chile  
2012**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco la colaboración del equipo de UCHILECREA en especial a Paulina Pino y Rodrigo Gálvez por su apoyo a mi trabajo en terreno y excelente disposición a colaborar; también agradezco el apoyo del profesor Julio Haberland, Ricardo Marchant y Rodrigo Callejas por su tutoría y consejo.

## ÍNDICE

RESUMEN.....	4
Palabras clave.....	4
ABSTRACT .....	5
Key words .....	5
INTRODUCCIÓN .....	6
Materiales de construcción.....	9
Poli cloruro de Vinilo (PVC) .....	9
Características y disponibilidad.....	9
Poliétileno (PE).....	10
Características y disponibilidad.....	10
Hidráulica de tuberías cerradas .....	11
Velocidad de flujo .....	11
Conservación de la energía en tuberías .....	12
Pérdidas de energía causadas por fricción.....	13
Pérdidas causadas por fitting.....	14
Golpe de ariete .....	14
Otros componentes del sistema.....	16
Costos de energía en el riego tecnificado.....	17
Las fuentes de energía disponibles.....	18
El tipo de riego .....	18
Riego por goteo .....	18

Riego por micro aspersión.....	19
Riego por aspersión .....	19
La demanda hídrica .....	19
Análisis de rentabilidad .....	19
Objetivos .....	21
<b>MATERIALES Y METODOS .....</b>	<b>22</b>
Lugar de estudio.....	22
Materiales .....	22
Metodología .....	23
Selección de los canales .....	23
Generación de Cartografía base y perfiles topográficos .....	23
Determinación de la demanda hídrica .....	24
Diseño de los canales entubados .....	24
Entrega de caudal .....	24
Presurización del agua.....	25
Golpe de ariete.....	25
Diámetro de la tubería .....	25
Determinación de costos y ahorros .....	26
Análisis de rentabilidad .....	25
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>29</b>
Selección de canales.....	29
Canal Cortadera.....	29
Canal Mal Paso.....	30
Generación de cartografía base .....	32

Demanda hídrica .....	35
Diseño de los canales. ....	37
Determinación de ahorros energéticos .....	38
Determinación de ahorros en agua .....	40
Análisis de rentabilidad.....	41
CONCLUSIONES .....	46
BIBLIOGRAFÍA .....	47
ANEXOS .....	50
APÉNDICES.....	57

## RESUMEN

Actualmente, en la Región de Atacama existe una demanda por el recurso agua que supera a la oferta disponible, siendo los mayores usuarios la agricultura y la minería. Además, en el caso de la pequeña agricultura, el uso eficiente del agua se ve limitado por los costos de implementar y operar sistemas de riego tecnificado. La actual canalización del agua de riego en la zona de estudio, presenta un estimado de 43,5% de pérdidas de agua conducida por concepto de ineficiencias.

Este trabajo tuvo como objetivos seleccionar dos canales representativos de la parte alta del Valle del Huasco, obtener sus perfiles topográficos, diseñar canales entubados y presurizados, determinar los costos de construcción de cada entubamiento, determinar el costo operativo de los sistemas de riego tecnificados utilizados en el área de estudio para evaluar potenciales ahorros en energía y finalmente realizar un análisis de rentabilidad del proyecto desde una perspectiva privada, considerando la recuperación de la inversión inicial al descontar los ahorros en agua y energía de presurización de agua.

Se seleccionaron para este estudio los canales Cortadera y Mal Paso de las secciones I y II de la hoya hidrográfica del Río Huasco. Los análisis en base a la topografía de los canales de estudio, mostraron un gran potencial de energía disponible para impulsar sistemas de riego presurizado (245,3 kPa). En el canal Mal Paso se ampliarían desde 48,3 hasta 98,0 las hectáreas en condiciones de ser regadas sin uso de energía pagada (eléctrica o diésel), mientras que en Cortadera el aumento sería desde 18,4 hasta 60,0 hectáreas.

Los costos de construcción estimados fueron para el proyecto Cortadera de \$ 220.125.963 y en el proyecto Mal Paso de \$ 267.426.812. En Cortadera los ahorros potenciales estimados son de \$ 14.737.720 por año<sup>-1</sup> en el ítem energía y \$ 167.731.560 en el ítem agua, mientras que en Mal Paso se determinaron ahorros de \$ 23.930.914 año<sup>-1</sup> en energía y \$ 105.515.460 en agua. En el caso de Cortadera se determinó un VAN de \$ 80.855.782 y una TIR de 32%. En Mal Paso se estimó un VAN de \$ 61.545.307 y una TIR de 21%. Ambos proyectos entran dentro del criterio de aceptación ya que reportan un VAN mayor a cero y una TIR mayor a la tasa de descuento evaluada (10,76% anual). Ambos proyectos pueden soportar condiciones menos favorables en lo que respecta a precio de energía, agua e inversión inicial.

### Palabras claves

Canales de regadío, eficiencia de conducción, Valle del Huasco, costos de riego, ahorro de agua.



## ABSTRACT

Currently, there is a demand for water resources in the Atacama region that exceeds the available supply, being the major users agriculture and mining. Furthermore, in the case of smallholder agriculture, efficient use of water is restricted by the costs of implementing and operating technified irrigation systems.

This study aimed to select two Huasco upper valley typical canals (Cortadera and Mal Paso), obtain topographic profiles, designing piped and pressurized canals on selected channels, determine the construction costs, determine the operational cost of technified irrigation systems used in the study area and finally perform a cost benefit analysis of the project from a private perspective considering the amortization of the initial construction costs against water and energy savings.

Analyses based on the topography of both studied canals showed a high potential energy available to drive pressurized irrigation (245.3 kPa). In the Mal Paso canal would be possible to increase from 48.3 to 98.0 the hectares for not energy paid irrigation conditions, while the increase in Cortadera would be from 18.4 to 60.0 hectares.

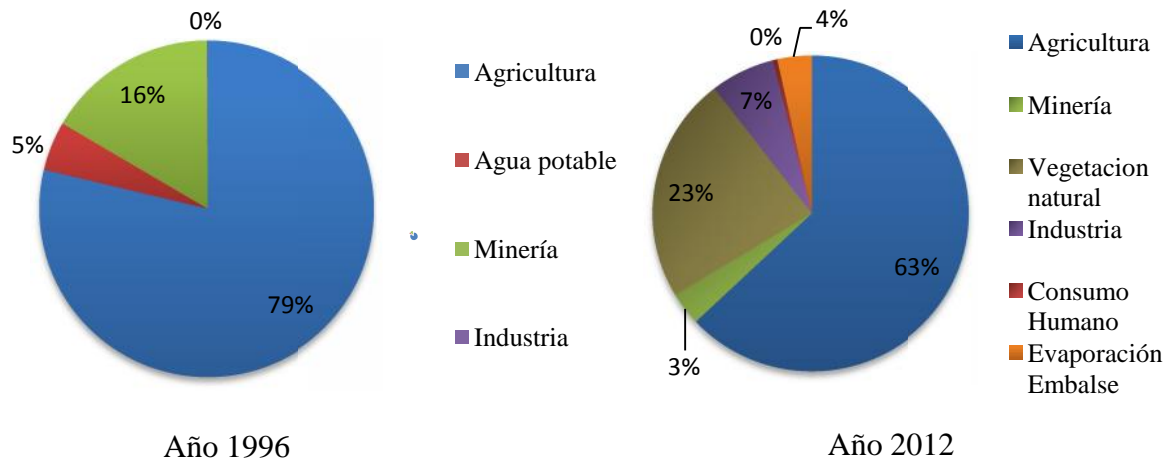
Construction costs were estimated for the project Cortadera in \$ 220.125.963 and Mal Paso project in \$ 267.426.812. In Cortadera potential savings are estimated at \$ 14.737.720 yr<sup>-1</sup> in the energy item and \$ 167.731.560 in water item, while in Mal Paso savings were determined in \$ 23.930.914 yr<sup>-1</sup> for energy and \$ 105.515.460 for water. For Cortadera it was determined an NPV of \$ 80.855.782 and an IRR of 32%. In Mal Paso was estimated NPV of \$ 61.545.307 and an IRR of 21%. Both projects are within the acceptance criteria since reporting a NPV greater than zero and an IRR greater than the discount rate evaluated (10.76% annually). Both projects can withstand less favorable conditions regarding to the price of energy, water and initial investment.

### **Key words**

Irrigation canals, conduction efficiency, Huasco Valley, irrigation costs, water savings.

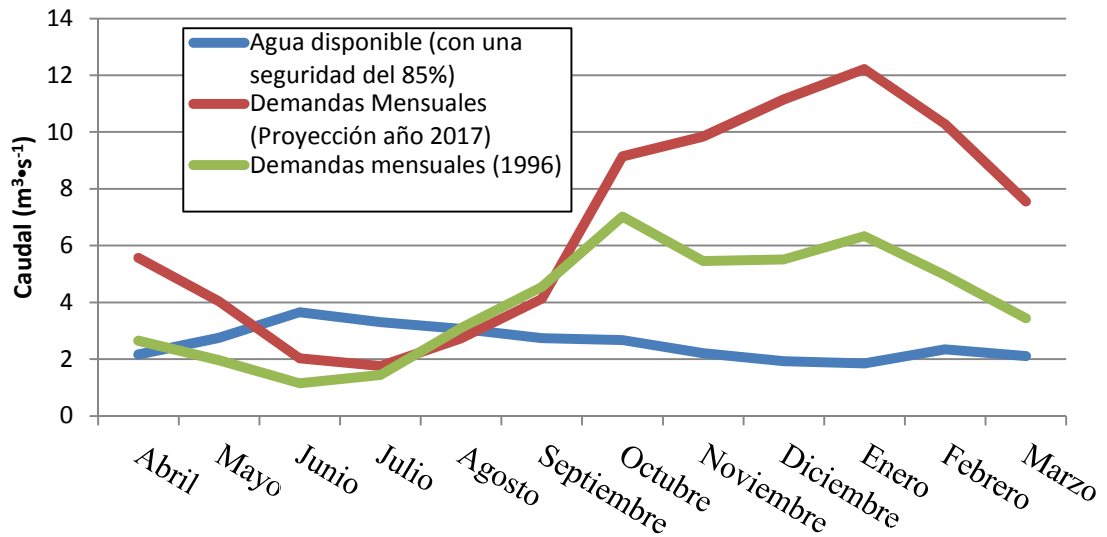
## INTRODUCCIÓN

Los recursos hídricos de la cuenca del río Huasco son utilizados principalmente por la agricultura y en menor medida por la actividad minera (Figura 1), siendo constantes los conflictos por la utilización de este recurso entre ambos rubros (Moraga, 2010) donde frecuentemente la producción agrícola es la más perjudicada (Vildósola, 2005). Existen antecedentes de un cambio en la proporción de utilización del agua en favor de la actividad minera hasta alcanzar un 31% en el valle de Copiapó (Burt, 2008, citado por Skoknic, 2009), lo que podría repetirse en el vecino Valle del Huasco por la demanda del proyecto Pascua Lama.



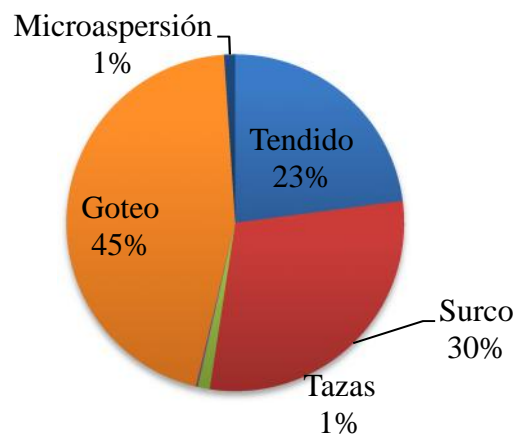
**Figura 1.** Utilización anual del recurso hídrico de la cuenca del río Huasco para distintos años. Elaboración propia a partir de datos de la DGA (1995) y Martínez (2012).

El desbalance entre la oferta y la demanda a lo largo del año (Figura 2) exhorta a usar este recurso de manera eficiente, afectando sobre todo a la actividad agrícola que requiere una alta seguridad de riego; la construcción del embalse Santa Juana ha aliviado la incertidumbre solo en la parte baja de la cuenca (Salvo de Oliveira, 2010) en complemento a la Laguna Chica y Laguna Grande en la alta cordillera de la cuenca.



**Figura 2.** Balance de demanda y oferta mensual del recurso hídrico en la Cuenca del río Huasco. Elaboración propia a partir de datos de la DGA (1995).

La búsqueda del uso eficiente del agua ha conducido a una alta penetración del riego tecnificado dentro de los predios (Figura 3) mientras que en la conducción extra predial se ha optado frecuentemente por soluciones sub óptimas (Nakamura, 2000), privilegiándose extensamente el revestimiento de canales con losetas (Valenzuela, 2006) donde se observan pérdidas de 42% (CIREN, 2007) a 45% (Guzmán, 2008) del agua conducida.



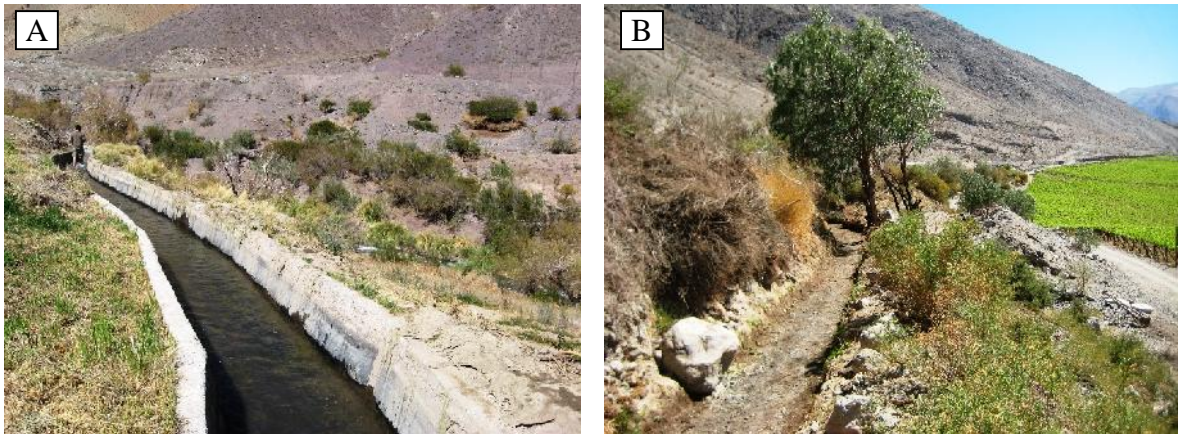
**Figura 3.** Porcentaje de superficie regada según distintos métodos en la Comuna de Alto del Carmen. Elaboración Propia a partir de datos del INE (2007).

La alta demanda por el recurso agua ha permitido que el precio de agua se cotice hasta \$ 9.330.000 por acción, según indagaciones del autor, siendo una acción, en las secciones I y

II del río Huasco, equivalente a  $0,33 \text{ L s}^{-1}$  ( $10.407 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$ ); por lo que  $1 \text{ m}^3$  de agua se valora en \$ 893. Según Skoknic (2009) las empresas mineras pueden pagar hasta US\$ 60.000 o \$ 28.603.150 (al cambio 476,7 pesos por dólar) por cada  $\text{L s}^{-1}$  de caudal en la región de Atacama, lo que es equivalente a \$ 913 anuales por  $\text{m}^3$ . El promedio entre ambas fuentes es \$  $900 \text{ m}^{-3}$  anual al ser vendido como derecho consuntivo.

Los sistemas de riego tecnificado viables poseen costos operativos que, según Figueroa (2006), superan ampliamente a la inversión inicial del sistema en 10 a 20 años de funcionamiento, en concordancia con el alto precio de la electricidad pagado en Chile que dobla al precio pagado en EE.UU., situación sin perspectivas de cambio hasta el año 2025 (Ibarra, 2010).

En la actualidad en la Región de Atacama, la conducción de agua por los canales de regadío se efectúa comúnmente por canales sin recubrimientos o con recubrimiento parcial de sus paredes con losetas de cemento lo que favorece pérdidas de agua debido a infiltración, evaporación y transpiración de la vegetación circundante potenciada por el clima árido de la zona (Figura 4).



**Figura 4.** Situación actual de los canales visitados en la zona de estudio, En la fotografía A se puede observar un canal recubierto con losetas y en la imagen B uno sin recubrimiento.

Bajo las condiciones de escasez hídrica, planteadas anteriormente, es recomendable utilizar el entubamiento de canales unificados por sobre la conducción abierta (Martínez *et al.*, 2008) eliminando las pérdidas por evapotranspiración e infiltración, al mismo tiempo que se permite un control volumétrico de entrega a los usuarios, se reducen los costos de mantenimiento y se posibilita la entrega del agua en forma presurizada (Valenzuela, 2008; Guzmán, 2008). Según Nakamura (2000) los costos de implementar sistemas entubados son relativamente elevados respecto a la conducción abierta, lo cual explicaría la no implementación de esta solución de forma extendida en la actualidad por parte del sector privado.

Es posible asumir que un proyecto de entubamiento presurizado puede ser amortizado, total o parcialmente, si se consideran los ahorros de energía y agua que permite un sistema de distribución entubado y presurizado, sustentándose en la energía potencial dada por la diferencia de cota entre la entrada y cada una de las salidas de la matriz. Los valles transversales de la parte alta del Río Huasco poseen una gradiente longitudinal que permite el flujo de los canales por sobre la cota de las tierras regadas, lo que los convierte en candidatos viables para un proyecto de entubamiento presurizado, tal como el caso de Lliulliu, ubicado en la Región de Valparaíso, documentado por Guzmán (2008).

### **Materiales de construcción**

Dentro de los materiales adecuados para este tipo de proyectos se consideraron las tuberías de poli cloruro de vinilo (PVC) y las de polietileno de alta densidad (HDPE), las primeras son altamente recomendadas para ser enterradas mientras que las de HDPE son más resistentes a la intemperie (FAO, 2007).

En cuanto las medidas disponibles en Chile, el Instituto Nacional de Normalización (INN) contemplan normas para el polietileno (NCh398/1.Of2004 y NCh3233.n2011 (ISO 8779:2010)) y para el PVC (NCh2845.Of2003 y NCh399.n2011). Dentro de la normativa se especifica una amplia variedad de espesores y medidas, que en la mayoría de los catálogos comerciales consultados, no son equiparables en variedad al INN.

Se realizó un revisión bibliográfica basada principalmente en Willoughby *et al.* (2004) para describir los materiales y algunas de sus propiedades mecánicas relevantes para los cálculos de diseño posteriores.

#### **Poli cloruro de vinilo (PVC)**

Es el plástico más usado en la conducción de agua. Posee buena resistencia a la corrosión de varios químicos y resistencia a temperaturas de hasta 70°C. Es poco resistente a la radiación solar directa y es muy propenso a las quebraduras.

Para disminuir su fragilidad se le adiciona caucho, formando lo que se denomina PVC de alto impacto (provocando una disminución de la resistencia a altas temperaturas y a la corrosión). Añadiendo aditivos se le puede conferir resistencia a la radiación ultravioleta en distintos grados para utilizarlo en exteriores.

**Características y disponibilidad** En el mercado se comercializan tuberías de PVC rígido y fitting resistentes a presiones internas de 392,4 kPa (Clase 4), 588,6 kPa (Clase 6), 981,0 kPa (Clase 10) y 1569,6 kPa (Clase 16) a 20°C; a partir de 25°C decrece linealmente su resistencia a la presión interna hasta 0,0 kPa a los 70°C; bajo 0 °C se vuelve quebradizo.

Por extrapolación de pruebas en laboratorio se asegura un funcionamiento correcto de la tubería por al menos 50 años si se mantiene dentro de los márgenes de presión correspondientes a su denominación.

Las tuberías de PVC colapsan bajo presiones negativas de 51,9 kPa (Clase 4), 169,7 kPa (Clase 6), 742,6 kPa (Clase 10) y 2795,9 kPa (clase 16), por lo que las de clase 4 no soportan el vacío de 101,3 kPa.

Para cálculos posteriores es necesario mencionar que el módulo elástico de Young (E) es de 2413-6894 MPa y la altura de rugosidad ( $\epsilon$ ) es de 0,000000914 m.

Los tubos se fabrican en segmentos de 6 m de largo con uniones para cementar o con anillos de goma en diámetros externos de 20-400 mm. Para salidas de agua se fabrican collarines de arranque de 63 mm y 75 mm así como collares de arranque de 40-400 mm. Se fabrican reducciones largas desde 25-20 mm y hasta 400-355 mm con todas las medidas intermedias. Existen tramos curvos (Clase 10) en ángulos de 22,5°, 45° y 90°, aunque el PVC puede curvarse sin problemas con ángulos menores a 3°.

### **Polietileno (PE)**

Las tuberías de PE son menos rígidas y duras (no resisten la abrasión) que el PVC a temperatura ambiente, aunque presenta ventajas en el ámbito de la flexibilidad, ductilidad y corrosión química, lo que lo transforma en el segundo material más usado en conducción de agua en obras de riego. Puede ser usado a temperaturas desde -55°C a 50°C conservando sus propiedades físicas.

Posee mayor resistencia a la radiación ultravioleta que el PVC pero aún así es necesario el uso de aditivos que le confieran mayor durabilidad en exteriores, como el pigmento llamado negro de humo.

El polietileno se clasifica en tres tipos según una densidad creciente; tipo I, II y III. A mayor densidad aumenta la resistencia al calor y la resistencia mecánica pero disminuye su capacidad de deformación para ser curvado. El más utilizado para conducción presurizada es el tipo III denominado polietileno de alta densidad (HDPE).

**Características y disponibilidad** En Chile, el mercado ofrece una gama de tuberías y fitting de HDPE que resisten presiones internas de 245,3 kPa a 1962,0 kPa a 20°C por al menos 50 años. Pueden unirse mediante un proceso de termo fusión y para diámetros mayores a 63mm se recomienda la soldadura de tope; las uniones de rosca y desmontables son más costosas y recomendadas para sistemas que requieren movilidad. Este material no presenta problemas de resistencia a vacíos atmosféricos.

Para cálculos posteriores es necesario mencionar que el módulo elástico de Young (E) es de 413,685-1241,056 MPa, pero las designaciones P80 y P100 poseen módulos de 1400 MPa y 1000MPa respectivamente. La altura de rugosidad ( $\epsilon$ ) es de 0,000000914 m.

Los tubos de más de 110 mm se entregan en segmentos de 12 m con diámetros externos hasta los 1200 mm. Se fabrican reducciones concéntricas de 63-82mm hasta 1200-800 mm como extremos del rango. Hay disponibles collares de arranque desde los 63mm hasta los 515 mm. Los tubos de HDPE pueden curvarse siguiendo el contorno de una circunferencia con radio de entre 30 y 50 veces el diámetro externo del mismo tubo, lo que facilita un trazado por terrenos irregulares.

### Hidráulica de tuberías cerradas

La problemática del flujo de agua en tuberías involucra la predicción de las condiciones en un tramo de la tubería, conociéndose las condiciones de otro tramo del mismo tubo. Un fluido circulando por una tubería cerrada llena completamente el espacio de flujo interior al presurizarse, a menos que se produzcan situaciones particulares como la cavitación (descompresión del fluido hasta alcanzar el punto de vapor). Es de interés para este trabajo conocer las condiciones de presión del agua, la velocidad de flujo y la carga estática relativa a la elevación de la línea central de flujo del tramo, para lo cual se hará una revisión de las principales variables que considera de hidráulica de tuberías cerradas, basada en Mott (1997).

#### Velocidad de flujo

El método para calcular velocidad de flujo en una tubería cerrada proviene del principio de continuidad, en donde la cantidad de fluido circulando por un tramo en cualquier momento dado es constante; a esto se le llama flujo estacionario y de aquí se deriva la ecuación de continuidad (ecuación 1), que aplicándose al agua asume incompresibilidad del fluido.

$$\begin{aligned} Q_1 &= Q_2 && \text{(Ecuación 1)} \\ A_1 \times v_1 &= A_2 \times v_2 \end{aligned}$$

Donde  $Q$  es caudal,  $A$  es el área transversal de flujo y  $v$  es la velocidad.

Hay muchos factores que afectan la selección de la velocidad de flujo, dentro de las más relevantes se cuentan el tipo de fluido, el largo del sistema de flujo, el material de las tuberías, la pérdida de presión tolerada, los dispositivos anexos que deben ser conectados, la temperatura, la presión y las vibraciones.

Como se desprende la ecuación 1, la velocidad de flujo aumenta en tanto el área de la tubería decrece. Velocidades bajas de flujo minimizan las pérdidas de carga, al mismo tiempo requerirán tuberías más grandes y más costosas.

### Conservación de la energía en tuberías

En el flujo de agua por tuberías hay tres formas de energía que siempre se deben tomar en cuenta: la energía potencial, relativa a la elevación respecto a un punto de referencia, la energía cinética, relacionada a la velocidad de flujo y la energía de flujo o presión. Bernoulli (ecuación 2) sintetiza la dinámica de estas energías en un flujo estacionario cuando no existen pérdidas o adiciones de energía al sistema.

$$P_1 + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = P_2 + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde  $P$  es la presión,  $z$  la altura relativa,  $v$  la velocidad y  $g$  la aceleración de gravedad terrestre.

Dispositivos mecánicos como las bombas hidráulicas son capaces de energizar el fluido, ya sea agregando velocidad o presión, que a su vez puede elevar la columna de agua. De manera inversa, una turbina puede extraer la energía del agua, disminuyendo su energía. Un fluido en movimiento ofrece resistencia de fricción en donde parte de la energía original se convierte en calor disipado por las paredes de la tubería (entre otras pérdidas). La magnitud de las pérdidas por roce depende de las propiedades del fluido, la velocidad de flujo, el largo de la tubería y la rugosidad de las paredes internas del tubo. Los elementos de control de dirección de flujo como válvulas, codos y téj también ocasionan pérdidas de energía.

Cada uno de los factores mencionados anteriormente puede ser individualizado con la siguiente nomenclatura:  $h_A$  (energía adicionada al fluido),  $h_R$  (energía removida por un motor) y  $h_L$  (pérdidas de energía por roce y elementos de control de dirección de flujo), que al integrarse a la ecuación 2 permiten anular las restricciones halladas en la ecuación 1 de Bernoulli y obtener una ecuación general de energía (ecuación 3).

$$P_1 + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = P_2 + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (\text{Ecuación 3})$$



### Pérdidas de energía causadas por fricción

Mientras el agua avanza por un tubo ocurren pérdidas de energía causadas por la fricción interna del fluido, como indica la ecuación 3, estas pérdidas resultan en una disminución de presión entre dos puntos del sistema.

La fórmula de Darcy-Weisbach (ecuación 4) puede ser usada para calcular las pérdidas de energía causadas por fricción dentro de segmentos rectos de tubería circular, tanto para flujo laminar como turbulento.

$$h_L = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde el factor  $f$  depende del tipo número de Reynolds y el tipo de flujo asociado. El número de Reynolds es una cifra adimensional que refleja el grado de turbulencia de un fluido al relacionarlo con observaciones experimentales.

Para determinar el número de Reynolds se utiliza la ecuación 5.

$$N_R = \frac{v \times D}{\text{viscosidad}} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Para flujo laminar ( $N_R < 2000$ ) se utiliza la ecuación 6, Para flujo intermedio o crítico ( $N_R$  2000-4000) es imposible determinar  $f$  y para flujo turbulento ( $N_R > 4000$ ) se debe usar la ecuación de P. K. Swamee y A. K. Jain basada en el diagrama de Moody (ecuación 7).

$$f = \frac{64}{N_R} \quad (\text{Ecuación 6})$$

$$f = \frac{0,25}{\log\left(\frac{1}{3,7\left(\frac{D}{\epsilon}\right) + \frac{5,74}{N_R^{0,9}}}\right)^2} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde  $D$  es el diámetro de la tubería,  $\epsilon$  es el promedio de altura de las irregularidades sobre la superficie interna de la tubería y  $N_R$  es el número de Reynolds.

La ecuación 4 está limitada a rugosidades relativa de 100 a 1.000.000 y números de Reynolds de 5.000 a  $1 \times 10^8$  para mantener un error de +/- 1% respecto a la ecuación de Colebrook (ecuación 8), que es más precisa y sirve de referencia, pero como desventaja requiere cerca de 10 iteraciones, por lo que no es conveniente de usar en los cálculos que se llevarán a cabo para este diseño.

$$f = \frac{1}{\left[1,14 - 2 \log \left( \frac{\epsilon}{D} + \frac{9,35}{N_R \sqrt{f}} \right) \right]^2} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde  $D$  es el diámetro de la tubería,  $\epsilon$  es el promedio de altura de las irregularidades sobre la superficie interna de la tubería y  $N_R$  es el número de Reynolds.

### **Pérdidas causadas por fitting**

También llamadas pérdidas menores, por su menor magnitud al compararlas con las totales. Las pérdidas menores ocurren cuando hay un cambio de diámetro, de dirección u obstrucciones que afectan al flujo de agua. Este tipo de pérdidas se puede calcular en base a la ecuación 9.

$$H_L = K \left( \frac{v^2}{2g} \right) \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde  $v$  es la velocidad promedio de avance del fluido,  $K$  es un coeficiente de resistencia obtenido experimentalmente para distintos tipos de “fitting” y  $g$  es la aceleración de gravedad terrestre.

Para el caso de las contracciones repentinas, se producen pérdidas de energía por la aparición de dos zonas radiales de turbulencia, una en el ángulo creado por la unión de las tuberías y la otra en las paredes del comienzo de la tubería menor (fenómeno denominado *vena contracta*). Cuando el agua pasa de una tubería relativamente gruesa a una de menor diámetro se debe considerar la velocidad de la tubería menor en los cálculos correspondientes. El coeficiente  $K$  se obtiene de la Figura 32 (Anexo I).

Las contracciones graduales generan pérdidas de energía en proporción a la gradualidad del cambio de diámetro, donde se forman de secciones cónicas cuyo ángulo es llamado  $\theta$ . La velocidad a considerar corresponde a la de menor diámetro. El coeficiente  $K$  se obtiene de la Figura 33 (Anexo I).

### **Golpe de ariete**

El golpe de ariete es un fenómeno de transformación de energía cinética que se produce cuando hay un cambio brusco en la velocidad del agua conducida por una tubería cerrada, este cambio se produce al variar el caudal circulante ya sea por apertura o cierre de válvulas a lo largo de la tubería. La energía desatada se desplaza en forma de ondas de sobrepresión, o depresión, que impactan los elementos de conducción como válvulas y tubos hasta que dichas ondas se disipan pendularmente por fricción y elasticidad de los materiales y el

fluido. Los cálculos de golpe de ariete utilizados en este trabajo se basan fundamentalmente en una revisión bibliográfica al trabajo de Parmakian (1963).

La velocidad del frente de la onda se obtiene de la fórmula de Allievi (ecuación 10) y en caso de que la tubería posea cambios en su recorrido se debe ponderar la celeridad de cada tramo por su longitud (ecuación 11).

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48,4 + K\left(\frac{D}{e}\right)}} \quad (\text{Ecuación 10})$$

Donde  $a$  es la celeridad ( $\text{m s}^{-1}$ ),  $K$  el coeficiente característico del material,  $D$  el diámetro medio de la tubería y  $e$  el espesor de la pared de la tubería.

$$a = \frac{a_1 L_1 + a_2 L_2 \dots a_n L_n}{L_1 + L_2 \dots L_n} \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde  $a_n$  es la celeridad del tramo ( $\text{m s}^{-1}$ ) y  $L_n$  es el largo del tramo.

El coeficiente  $K$  se obtiene de de la ecuación 12.

$$K = \frac{W \times C_1}{g \times E} \quad (\text{Ecuación 12})$$

Donde  $W$  es el peso específico del líquido ( $\text{kg m}^{-3}$ ),  $g$  es la aceleración de gravedad terrestre ( $9,81\text{m/s}^2$ ),  $E$  el módulo de Young para el material del tubo ( $\text{kg m}^{-2}$ ) y  $C$  es un coeficiente a dimensional en función de la tubería y las juntas:

$$C = \frac{5}{4} - \mu = 0,95 \text{ Para tuberías ancladas al inicio y final sin juntas de expansión.}$$

$$C = 1 - \mu^2 = 0,91 \text{ Para tuberías ancladas previniendo el movimiento longitudinal a lo largo de su recorrido.}$$

$$C = 1 - \frac{\mu}{2} = 0,85 \text{ Para tuberías con juntas de expansión.}$$

Una vez producido el frente de la onda, se puede determinar si la tubería es “larga” o “corta” respecto a la velocidad de avance según el tiempo que dure la maniobra de cierre (ecuación 13). Para cualquier punto evaluado a una distancia menor a  $L_c$  ( $L$ ), la variación de presión estará dada en función del tiempo que tome la maniobra de cierre o apertura por

la fórmula de Micheaud (ecuación 14). Para cualquier punto evaluado a una distancia mayor a  $L_c$  ( $L$ ), la presión estará dada la ecuación 15.

$$L_c = \frac{t \times a}{2} \quad (\text{Ecuación 13})$$

$$\Delta H = \frac{2 \times L \times V}{g \times t} \quad (\text{Ecuación 14})$$

$$\Delta H = \frac{a \times V}{g} \quad (\text{Ecuación 15})$$

Donde  $L$  es la distancia hasta el punto evaluado (inferior a  $L_c$ ),  $V$  es la velocidad a la que circula el agua en  $t=0$ ,  $t$  es el tiempo que tarda la maniobra de cierre o apertura de la válvula y  $g$  es la aceleración de gravedad terrestre.

Cabe señalar que este modelo de cálculo del golpe de ariete ignora las pérdidas por fricción dentro de la tubería, por lo tanto sobredimensiona la variación de presión respecto a la realidad.

### Otros componentes del sistema

Dentro de las estructuras accesorias con costos significativos cabe señalar un decantador, un tanque de ingreso a la tubería y varios puntos de entrega predial.

El decantador sirve para pre tratar el agua de riego, permitiendo decantar partículas del tamaño de arenas finas. Está precedida de una compuerta de servicio y al final cuenta con una salida lateral que permite restablecer caudal al río y ayuda en el proceso de limpiar los sedimentos acumulados.

El tanque de ingreso al tubo es un depósito de acumulación de agua que permite el ingreso del agua al sistema entubado.

El punto de entrega predial consiste una válvula de cierre lento (tipo mariposa) y un caudalímetro.

### Costos de energía en el riego tecnificado

Los sistemas de riego tecnificados (goteo, aspersión y micro aspersión) requieren energía en función del caudal y presión estimados en su diseño (FAO, 2007). El uso de bombas centrífugas para energizar el agua de riego está muy extendido en el país, siempre asociado a motores que entregan el movimiento rotacional a las bombas (Crisóstomo, 1998).

Es relevante evaluar los costos económicos de regar en la zona impactada por el estudio, para lo cual es necesario estimar los costos de operación de distintos sistemas de riego tecnificado según la demanda de evapotranspiración anual y las características singulares de cada tipo de riego.

El costo del consumo energético se puede cuantificar con la ecuación 16, mientras que la cantidad de energía se debe considerar la ecuación 17.

$$CE = E(Kw) \times P(\$ / Kw) \quad (\text{Ecuación 16})$$

Donde  $CE$  es el costo de la energía,  $E$  la energía consumida y  $P$  el precio por unidad energética.

$$kW = \frac{Q(l/s) \times Ht(m)}{102 \times Efb \times Efm} \quad (\text{Ecuación 17})$$

Donde la energía en kilowatts ( $kW$ ) depende del caudal movilizado ( $Q$ ), la presurización aplicada ( $Ht$ ) y la eficiencia de la bomba ( $Efb$ ) junto con la del motor que la impulsa ( $Efm$ ).

A su vez, el caudal relevante para el estudio está directamente relacionado a la tasa de evapotranspiración en el mes de máxima demanda, la eficiencia de aplicación según el tipo de riego y las características del suelo. Se suma la restricción horaria dada por una jornada de trabajo de 18 horas y por la tarificación eléctrica diferenciada entre 18:00 hrs. y 23:00 hrs. de los meses de abril a septiembre que, de cualquier modo, no limita al mes de máxima demanda en enero.

## Las fuentes de energía disponibles

La energía con que se alimentan los motores de riego proviene, en la mayoría de los casos, de los sistemas interconectados de distribución eléctrica bajo tarificación diferenciada (BT4.3 para consumos inferiores a 10 kW y AT4.3 para consumos mayores) o, con menor frecuencia, de motores de combustión interna diésel cuando el tendido eléctrico no es una alternativa viable o falla (TDF de un tractor). Entre las fuentes de energía alternativas, la eólica es frecuentemente descartada por su poca predictibilidad mientras que la energía solar se reserva para proyectos con una alta rentabilidad, que compense la inversión (CNR, 2000).

De acuerdo a la empresa EMELAT, distribuidor de electricidad para la zona de estudio, la tarifa vigente para usuarios de tipo BT4.3 al primero de noviembre de 2012 es de \$ 60,842 kW<sup>-1</sup> (Figura 38, Anexo IV). Según información del SERNAC, el precio del diésel en los últimos 12 meses a septiembre de 2012 ha promediado \$ 636 L<sup>-1</sup> (CNE, 2012). Este combustible posee un rendimiento energético de 10,72 kW L<sup>-1</sup>.

En el caso de la electricidad existe una tarifa mensual por kW instalado de \$ 1.538,99 para BT4.3. Lo que se traduce en un extra de \$ 18.468 ha<sup>-1</sup> si se considera 1 kW como la potencia mínima instalada.

No obstante los precios anteriores, el costo de la energía aplicada al riego queda supeditado a la eficiencia de la bomba y el motor, donde la eficiencia energética de una bomba centrífuga es del orden de 50% a 70% proporcionalmente con su tamaño (a menor tamaño menor eficiencia); mientras que la eficiencia del motor que acciona la bomba está entre 70% a 90% para el caso de los motores eléctricos y 30% para el caso de los de combustión interna diésel (CNR, 2000). Dada la dificultad de mantener eficiencias máximas en los motores y bombas pequeños y a que se considera que las superficies a regar están en torno a una hectárea, resulta apropiado considerar las peores eficiencias para este estudio.

## El tipo de riego

En la Comuna de Alto del Carmen el riego por goteo tiene una alta penetración de uso (45% de la superficie) seguido de tendido (30%) y surcos (23%) (INE, CHILE, 2007), siendo relevante para la zona el riego por aspersión y micro aspersión, ya que podría reemplazar al riego por surcos y tendido en los sistemas productivos de pasturas y huertos de hortalizas.

**Riego por goteo** Es apropiado para regar cultivos frutales y de hortalizas, posee una eficiencia de aplicación del 90%. La presión de operación de los emisores promedia los 98,1 kPa a lo cual se debe agregar un 20% de pérdidas de carga en el sistema de distribución y un sistema de filtraje que disipa 9,81 kPa (FAO, 2007).

**Riego por micro aspersión** Es apropiado para regar cultivos frutales y de hortalizas. Posee una eficiencia de aplicación del 85%. La presión de operación de los emisores promedia los 171,7 kPa a lo cual se debe agregar un 20% de pérdidas de carga en el sistema de distribución y un sistema de filtraje que disipa 58,9 kPa (FAO, 2007).

**Riego por aspersión** Es apropiado para regar praderas. Posee una eficiencia de aplicación del 70%. La presión de operación puede ir desde los 147,2 kPa a los 882,9 kPa, a cual se debe agregar un 20% de pérdidas de carga en el sistema de distribución (FAO, 2007). Para este estudio solo es relevante un riego por aspersión que no requiera más de 294,3 kPa.

### **La demanda hídrica**

La demanda de agua de riego está relacionada con la evapotranspiración potencial de la zona, el tipo de cultivo, el estado fisiológico y la eficiencia de aplicación del agua. Influye en el caudal que se desea transportar en los entubamientos y por lo tanto en su diámetro y costo.

### **Análisis de rentabilidad**

El análisis de rentabilidad del proyecto se fundamentó en la publicación de Sapag y Sapag (1991), con un horizonte de evaluación de 10 años en pesos chilenos. Dentro de los componentes del análisis se consideran la tasa de descuento, la tasa de impuesto a la ganancia, el capital de trabajo, las depreciaciones, las amortizaciones, la inversión inicial, los costos fijos, el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y una sensibilización del VAN.

La tasa de descuento que debe utilizarse para actualizar los flujos de caja de un proyecto debe ser equivalente a la rentabilidad que el inversionista le exige a la inversión por renunciar a un uso alternativo de esos recursos en proyectos de niveles de riesgo similares.

La tasa de impuesto usada para esa evaluación será el impuesto de primera categoría con un valor de 17%.

El capital de trabajo, corresponde a los fondos que son necesarios para cubrir el valor del desfase entre los gastos (egresos) que se producen por las compras y el ingreso efectivo.

Las depreciaciones contemplan el deterioro de los equipos o la obsolescencia producida por los avances tecnológicos. Para calcular el valor de este ítem se debe dividir el valor de los activos a depreciar por su vida útil, en este caso mediante el método de depreciación lineal.

Las amortizaciones se aplican sobre el activo nominal, diluyendo el costo total a lo largo del periodo que contempla el horizonte de evaluación.

El valor actual neto (VAN) plantea que si luego de su cálculo, el valor es igual o superior a cero, el proyecto debe aceptarse, siendo el VAN la diferencia entre todos sus ingresos y egresos en moneda actual (Ecuación 18).

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Y_t - E_t}{(1+i)^t} - I_0 \quad (\text{Ecuación 18})$$

Donde  $Y_t$  es el flujo de ingresos del proyecto,  $E_t$  los egresos,  $I_0$  la inversión inicial e  $i$  es la tasa de descuento.

La tasa interna de retorno (TIR) evalúa el proyecto en función de una única tasa de rendimiento por periodo, con la cual la totalidad de los beneficios actualizados son exactamente iguales a los desembolsos expresados en moneda actual. En términos prácticos se trata de la misma fórmula empleada en la VAN igualada a cero. De esta forma la TIR calculada luego se compara con la tasa de descuento que se determinó para el proyecto, y el criterio implica que si la TIR es igual o mayor que la tasa de descuento, entonces el proyecto debe aprobarse, por el contrario, si la TIR es menor el proyecto debe rechazarse.

Para determinar qué tan vulnerable es el proyecto a distintas modificaciones en los factores que lo determinan se realiza un análisis de sensibilidad del VAN, que implica variar los factores más gravitantes en el flujo de caja.



## Objetivos

Se plantea que es posible recuperar total o parcialmente la inversión inicial de un canal entubado y presurizado descontando el ítem energético de operación en los sistemas de riego tecnificados factibles de instalar o ya instalados dentro de los predios usufructuarios de los canales en la parte alta del Río Huasco, para tal fin se señalan los siguientes objetivos:

1. Seleccionar 2 canales o agrupación de canales factibles de unificar donde sea viable técnicamente el trazado de canales entubados y presurizados.
  - a. Obtener un perfil de elevaciones de cada canal objeto de estudio por medio de un sistema de registro de coordenadas de posicionamiento global satelital (GPS).
  - b. Generar una cartografía base de la zona de estudio utilizando imágenes satelitales y modelos de elevación global.
2. Diseñar y determinar los costos de construcción y operación de cada entubamiento propuesto bajo cánones de hidráulica de tubería aplicada en el diseño de sistemas de riego.
3. Determinar el costo operativo de los sistemas de riego tecnificados utilizados en el área de estudio en base a las particularidades agroclimatológicas de cada lugar.
4. Realizar un análisis de rentabilidad del proyecto desde una perspectiva privada considerando la amortización de la construcción inicial por los ahorros energéticos potenciales y la recuperación del agua dado el cambio en el sistema de conducción.

## **MATERIALES Y MÉTODO**

### **Lugar de estudio**

El estudio se llevó a cabo en la Comuna de Alto del Carmen, Región de Atacama, Chile; en diversas localidades correspondientes a los tramos I y II de la cuenca del Río Huasco (Figura 35, Anexo III).

### **Materiales**

Se utilizó un aparato de registro de coordenadas geográficas, originario de EE.UU., marca Garmin, modelo eTrex Legend HCx, con capacidad de altimetría barométrica para el registro de datos georeferenciados de elevación relativa (Figura 34, Anexo II).

Modelo de elevación digital del terreno desarrollado a partir de la información dada por el proyecto de la NASA: “Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Digital Elevation Model Version 2 (GDEM v2)” para la obtención de curvas de nivel de los tramos estudiados.

Fotografías satelitales en espectro visible pancromático con una resolución de 50 cm por pixel, tomadas el año 2010 por el satélite WorldView-2 de la empresa DigitalGlobe, para la generación de la cartografía base.

Software de procesamiento de imágenes satelitales y datos georeferenciados Global Mapper v12.00, y ArcGis v8.00.

Software de diseño asistido de dibujos AutoCAD 2009 para la realización de los planos del proyecto.

## **Metodología**

En seguimiento de los objetivos planteados, se dividió el trabajo en selección de canales, generación de cartografía base, determinación de la demanda hídrica, diseño de los canales, determinación de costos energéticos y evaluación económica.

### **Selección de los canales**

En un trabajo coordinado de selección de canales promovido por UCHILECREA (Centro Regional de Estudios Agronómicos y Ambientales de la Universidad de Chile) con la participación de la Junta de Vigilancia del Río Huasco, se seleccionaron 10 canales con potencial de entubamiento a lo largo de la cuenca, usando como criterio la pre disponibilidad de los usuarios a colaborar con el estudio.

De los 10 canales propuestos (Figuras 35 y 36, anexo III) se indagó el número de usuarios y el área de riego de cada uno, preseleccionándose 4 canales en consideración a observaciones de la topografía y la infraestructura actualmente en uso, a continuación fueron visitados para su evaluación técnica, registrando las coordenadas geográficas de su trazado mediante el navegador Garmin anteriormente descrito. Finalmente se seleccionaron dos que exhibían un mayor potencial energético, siguiendo el criterio de mayor cantidad de usuarios en actividad agrícola.

### **Generación de cartografía base y perfiles topográficos**

Los perfiles altimétricos se obtuvieron utilizando el altímetro barométrico incorporado en el navegador Garmin, que según especificaciones técnicas cuenta con una resolución de 0,3m verticales (Figura 34, anexo II).

A partir de los datos recopilados en terreno se generaron perfiles de elevación de los canales registrados. Como el registro de dichos perfiles presenta problemas inherentes al método con que se obtuvieron los datos (salidas de ruta, pausas para sortear obstáculos y la variación de elevaciones barométricas según las ráfagas de viento), se tomaron todos los puntos recopilados y se ajustaron a una regresión matemática de alta correlación tomando como variables la elevación barométrica registrada en el eje Y, versus la distancia lineal recorrida sobre los canales en el eje X (Figuras 23, 24 ,25 ,26 ,27, 28 y 29; apéndice I), siendo finalmente estas ecuaciones las que se utilizaron para la evaluación del diseño a modo de continuo topográfico.

La cartografía base se desarrolló utilizando imágenes satelitales de la empresa DigitalGlobe y la topografía se generó a partir de la información del proyecto ASTER GDEM v2 de la NASA.

### **Determinación de la demanda hídrica**

La evapotranspiración potencial de cada zona se basa en los promedios entregados por la CNR (1997).

Para obtener la demanda máxima se evaluaron los cultivos recomendados por Osorio *et al.* (2009) para la zona agroclimática correspondiente a cada canal, incluyendo las fechas recomendadas de siembra/plantación o estado fisiológico en el caso de frutales. Para cada etapa de desarrollo de los cultivos se obtuvo el índice de cultivo (Kc) según datos de la FAO (2006).

Además, como supuesto, a cada cultivo se le relacionó un tipo de riego tecnificado, en consideración a las características de manejo y necesidades hídricas. Los cultivos se agruparon en las categorías de frutales, hortalizas o forrajeros.

### **Diseño de las conducciones entubadas**

Tomando en consideración la alta radiación imperante en la zona de estudio, la susceptibilidad a daños por golpes debido a derrumbes pendiente abajo, y a la sinuosidad de los valles y canales observados, se optó por la utilización de HDPE debido a sus características de resistencia a la radiación, flexibilidad y capacidad de curvatura, elasticidad y resistencia a los golpes.

Dentro de todos los parámetros posibles de evaluar, los cuatro que gravitan en el proceso de diseño son: entrega de caudal, presurización del agua, golpe de ariete y diámetro de la tubería.

**Entrega de caudal** Se busca que cada usuario tenga a disposición y de manera intrapredial, como mínimo, en todo momento el flujo de agua que le corresponde según los derechos de agua en posesión, sin embargo el diseño contempla una entrega de caudal que cubra la demanda del cultivo más demandante en el mes de mayor evapotranspiración potencial. Además, se considera superficie de riego toda el área adyacente al proyecto cuya pendiente sea menor a 45%.

Esta sobredimensión permite suplir demandas instantáneas futuras al límite superior de la capacidad productiva de cada zona de estudio.

Se consideran como unidades mínimas de riego, a las superficies adyacentes entre sí, que sumen 2 hectáreas con una cara al límite de pendiente y otra al límite del río o camino. Esto se justifica dado que las parcelaciones existentes siguen un patrón muy similar al propuesto, y presenta la ventaja de que cada bocatoma del diseño cubre una unidad de riego independientemente de la parcelación actual o futura.

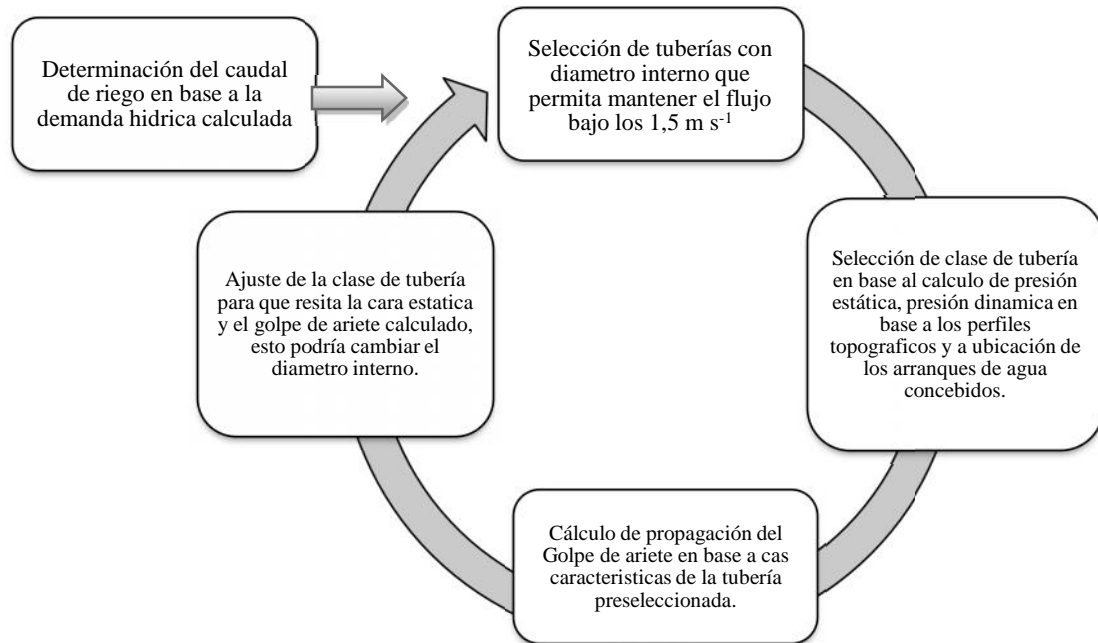
**Presurización del agua** El caudal entregado debe tener una presión que la haga funcional al ser aplicada a sistemas de riego tecnificado. Se buscará una presión funcional de 196,2 kPa, la cual puede impeler un sistema de riego por goteo típico en forma adecuada. La selección de tuberías se rige por la máxima carga estática sumada al golpe de ariete calculado.

**Golpe de ariete** El sistema entubado será evaluado en cuanto a sobrepresiones causadas por este fenómeno en el peor de los casos (cierre simultaneo de todos los arranques) asegurar una vida útil lo más extensa posible. Como criterio de evaluación se consideró una velocidad de flujo normal de  $1,5 \text{ m s}^{-1}$  que se detiene ( $0 \text{ m s}^{-1}$ ) en un segundo.

**Diámetro de la tubería** Se busca la minimización del diámetro de las tuberías utilizadas, permitiendo una optimización de costos en el ámbito de materiales utilizados. El criterio dominante fue mantener la velocidad inferior a  $1,5 \text{ m s}^{-1}$ . La base de datos utilizada fue la que entrega el Instituto Chileno de Normalización (INN) para este tipo de productos, aunque las cotizaciones fueron adaptadas al catálogo de las empresas consultadas.

Al calcular las presiones estáticas desde los perfiles de elevación obtenidos anteriormente, es necesario adicionar la presión generada por el efecto de golpe de ariete (con una velocidad de  $1,5 \text{ m s}^{-1}$ ) para una primera aproximación que indica la presión máxima a la que estarán expuestas las tuberías en cada tramo. En conjunto con el diámetro interno obtenido anteriormente, según la demanda estimada entre otros factores, se seleccionan tubos de diámetros estipulados por el Instituto Nacional de Normalización.

De aquí en adelante se realiza un proceso iterativo (Figura 5) de ajuste de diámetros, caudales y presiones hasta obtener un modelo del diseño que cumpla con los criterios de resistencia a la presión y velocidad límite de  $1,5 \text{ m s}^{-1}$ .



**Figura 5.** Diagrama del proceso iterativo necesario para la selección de tuberías en el diseño del entubamiento.

### **Determinación de costos y ahorros**

El diseño generado fue cotizado en empresas no específicas, todos ligados al campo del riego tecnificado, por lo que los costos presentados reflejan una aproximación real para este tipo de proyectos en pesos al mes de agosto de 2012.

Los costos de operación del riego tecnificado para cada zona de estudio fueron determinados en base a la demanda hídrica calculada anteriormente y las fuentes de energía convencionales (electricidad del sistema interconectado y diésel) que se usarían para impulsar los sistemas si no existiera el proyecto planteado.

El ahorro de agua por el cambio de sistema de conducción permite recuperar un caudal anual que se cotiza en el mercado y por lo tanto es transformable a dinero, que representaría ingresos potenciales para la junta de vigilancia que agrupa a los productores de la cuenca del Río Huasco.

## **Análisis de rentabilidad**

Dentro de los componentes del análisis se consideran la tasa de descuento, la tasa de impuesto a la ganancia, el capital de trabajo, las depreciaciones, las amortizaciones, la inversión inicial, los costos fijos, el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y una sensibilización del VAN.

La tasa de descuento utilizada para evaluar este proyecto contempla una perspectiva privada de inversión, tomando como base el rendimiento de los bonos en pesos a 10 años del Banco Central de Chile (5,38% el 23 de octubre de 2012) y multiplicada por un factor de 2 en atención al riesgo que presenta la inversión en este tipo de infraestructura será fijada en 10,76%.

No obstante el agua recuperada con el cambio de sistema de riego podría tener un beneficio social y ser evaluada bajo tal prisma (con una tasa del 6,0%), se considera que en última instancia es la actividad productiva de carácter privado la que será beneficiada, ya sea aumentando la superficie de riego in situ o recuperando el caudal en el embalse Santa Juana, en una mirada similar a la que se someten los proyectos de drenaje agrícola o tecnificación del riego de huertos ya existentes, beneficiándose con subsidios a través de la CNR a entes privados.

La tasa de impuesto a la ganancia se fijó en el 17% correspondiente al impuesto de 1° categoría.

El capital de trabajo en este proyecto se determinó en cero para todo el periodo, debido a que una vez en funcionamiento no se presentan costos relacionados a la operación de la infraestructura.

La depreciación afecta a la infraestructura de los canales. Dadas las características de los materiales de construcción, las previsiones tomadas en el cálculo de diseño hidráulico y la protección de la radiación ultra violeta como principal agente deteriorador, se estima que la duración de la infraestructura debiese ser de por lo menos 50 años para fines de cálculo de la depreciación de la inversión, siendo el valor final estimado igual a cero.

La amortización se aplica sobre los activos nominales, en este caso el estudio de ingeniería y los fletes del material necesario para la construcción del proyecto.

La inversión inicial queda compuesta por todos los materiales de construcción indexados y los costos asociados directamente a su instalación (ej. Soldadura, acarreo de gravilla, etc.).

Los costos fijos se componen de las mantenciones anuales que requiere la infraestructura para dilatar su deterioro y asegurar su óptimo funcionamiento, específicamente se trata de la limpieza del tranque desarenador, la inspección y pintura de las válvulas que están a la intemperie y el desmalezamiento y destroncado del entorno cercano a la tubería del canal.

Los costos fijos fueron valorados en \$ 620.000 año<sup>-1</sup> y \$ 800.000 año<sup>-1</sup> para Cortadera y Mal Paso respectivamente.

Al considerar los ítems anteriormente señalados se realizó un análisis de valor actual neto que considera la implementación del diseño como la inversión inicial (gasto) y a los ahorros en operación y agua como ingresos anuales a modo de amortización sobre el capital invertido (ingresos) como se presenta en los flujos de caja (Apéndice V). Contemplando posibles variaciones en los principales costos que afectan el VAN del proyecto, se realizaron análisis de sensibilidad a los precios del agua, la energía y la inversión inicial.



## RESULTADOS

### Selección de canales

En base a los criterios presentados anteriormente se seleccionaron los canales Cortadera y Mal Paso junto a otros canales posibles de unificar a los ya mencionados.

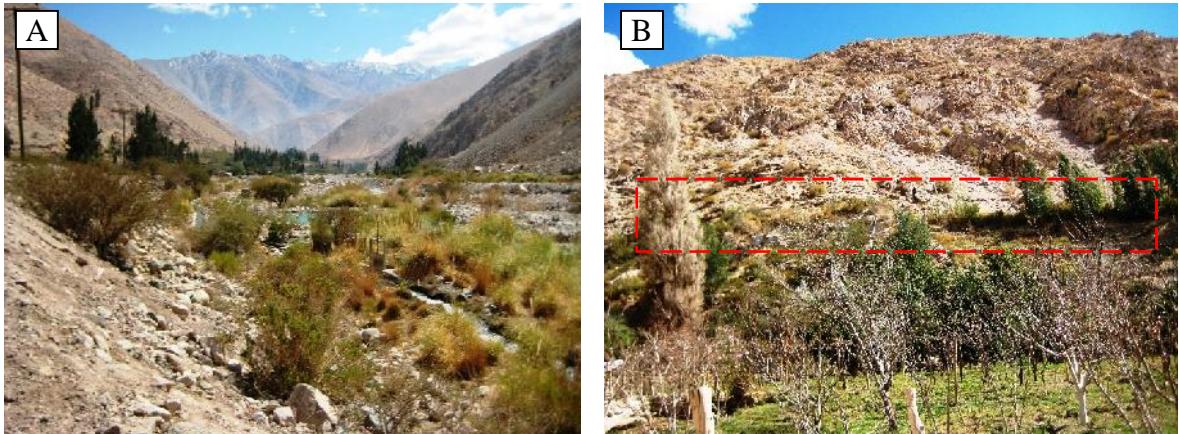
#### Canal Cortadera

Ubicado en la sección II, Valle El Tránsito. Considera unificar los canales Cortadera de 1840 m del longitud, Martínez de 1130 m, Álamos de 860 m y Ventura de 870 m con bocatomas en 388476,80 mE 6788950,96 mS 19J, 387866,13 mE 6790858,79 mS 19J, 387558,96 mE 6792116,93 mS 19J y 387590,54 mE 6791888,51 mS 19J respectivamente, todos abastecidos directa o indirectamente por las aguas del río Chollay y que corren paralelos entre sí, a lo largo del valle (Figura 6). En conjunto, estos canales riegan una superficie de 18,4 hectáreas (DGA, 1995). La distribución de usuarios y acciones puede verse en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Número de acciones y usuarios en el proyecto de canalización unificado Cortadera. También se agrega una columna con el volumen anual y el caudal instantáneo.

Canal	Acciones	Usuarios	m <sup>3</sup> año <sup>-1</sup>	L s <sup>-1</sup>
Cortadera	12	23	238.418	3,96
Martínez	12	14	145.124	3,96
Álamos	12	6	62.196	3,96
Ventura	4	2	20.732	1,32
TOTAL	40	45	414.640	13,2

Datos del autor obtenidos en entrevista con autoridades de la junta de vigilancia del río Huasco en septiembre de 2009.



**Figura 6.** Fotografías del entorno del canal Cortadera. En la imagen A se aprecia el encajonamiento valle abajo desde la bocatoma en el río Chollay, mientras que en la imagen B se puede ver el canal Cortadera en su recorrido por la ladera de los cerros del valle (recuadro rojo).

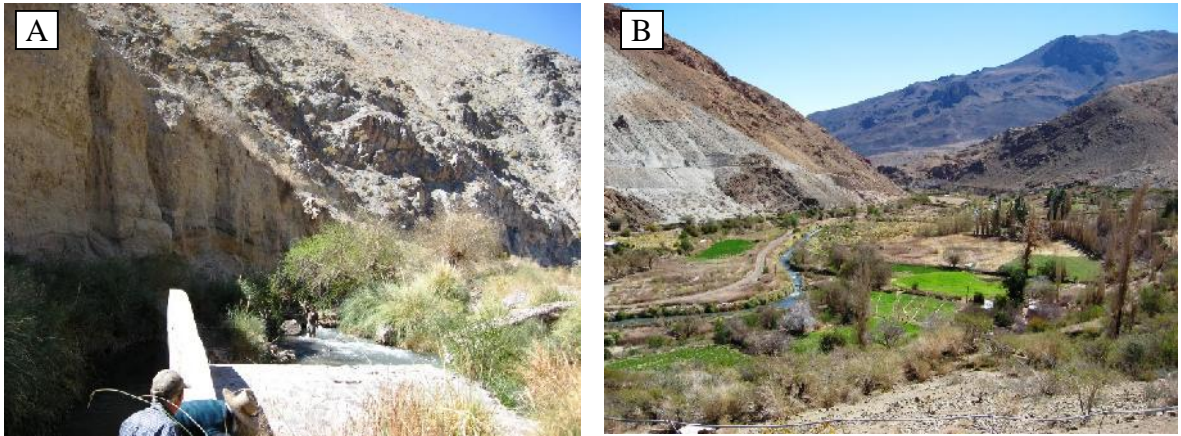
### Canal Mal Paso

Localizado en la sección I, valle El Carmen. Considera al canal Mal Paso de 3916 m de longitud con bocatoma en la coordenadas 364721,94 mE 6776242 mS 19J sobre el río homónimo del valle y al antiguo canal Hornitos hoy fusionado como un brazo del Mal Paso (Figura 7). En conjunto estos canales riegan 48,3 hectáreas (DGA, 1995). La distribución de usuarios y acciones puede verse en el Cuadro 2.

**Cuadro2.** Número de acciones y usuarios en el proyecto de canalización unificado Mal Paso. También se agrega una columna con el volumen anual y el caudal instantáneo.

Canal	Acciones	Usuarios	m <sup>3</sup> año <sup>-1</sup>	L s <sup>-1</sup>
Mal Paso	56	19	196.954	18,48
Hornitos	4	7	72.562	1,32
TOTAL	60	26	269.516	19,80

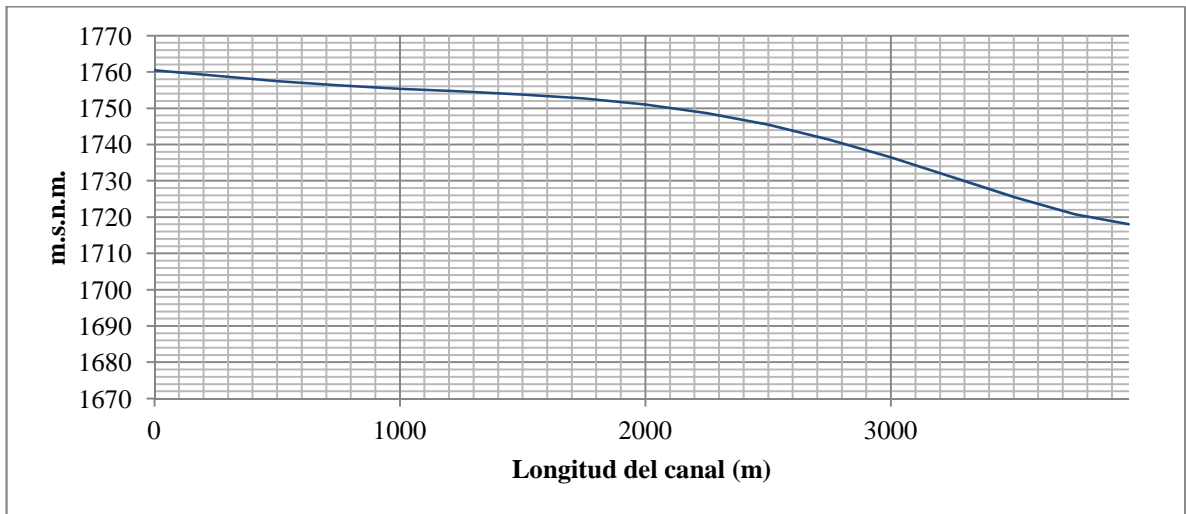
Datos del autor obtenidos en entrevista con autoridades de la junta de vigilancia del río Huasco en septiembre de 2009.



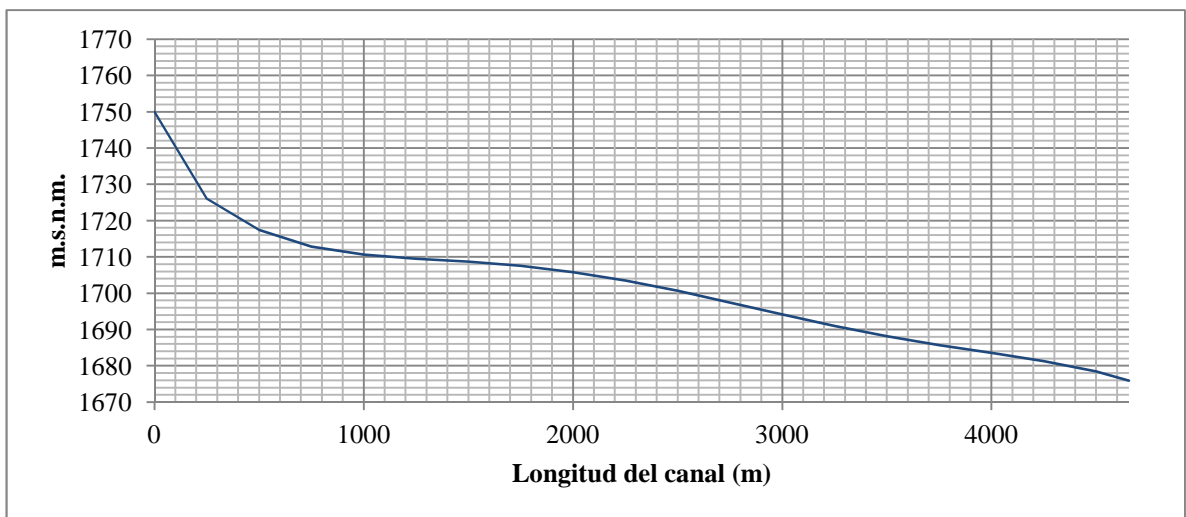
**Figura 7.** Fotografías del entorno del canal Mal Paso. En la imagen A se observa la bocatoma del canal en el río El Carmen contiguo a un paredón rocoso, en la imagen B se puede ver valle abajo desde el canal Mal Paso Superior.

### Generación de cartografía base

En el caso del canal Mal Paso se pudo observar una diferencia de cota entre el inicio y el final de los canales de 42 m y 74 m para el canal Mal Paso Superior (Figura 8) y Hornitos (Figura 9) respectivamente. Al plantearse ambos canales como una unificación se obtiene una diferencia total de 84 m con una longitud cercana a los 5000 m sin considerar la sinuosidad y particularidades del terreno.



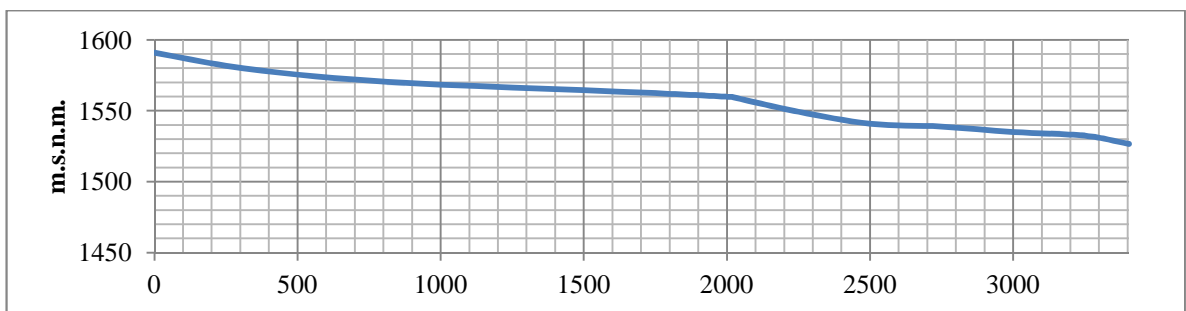
**Figura 8.** Perfil topográfico del canal Mal Paso Superior.



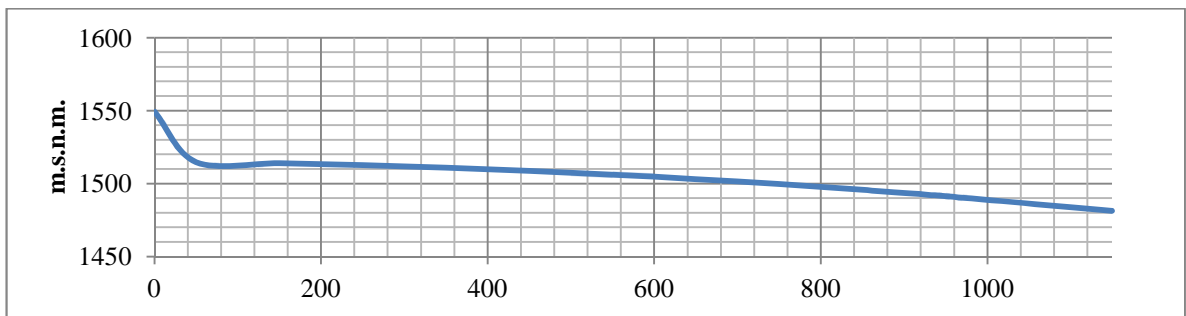
**Figura 9.** Perfil topográfico del canal Hornitos, ahora llamado Mal Paso Inferior.

El análisis geoespacial permitió identificar una superficie de riego potencial, área entre el lecho del río y el límite de la pendiente menor a 45%, de 140,0 hectáreas (Figura 28) en contraste con la superficie bajo riego actual de 48,3 hectáreas.

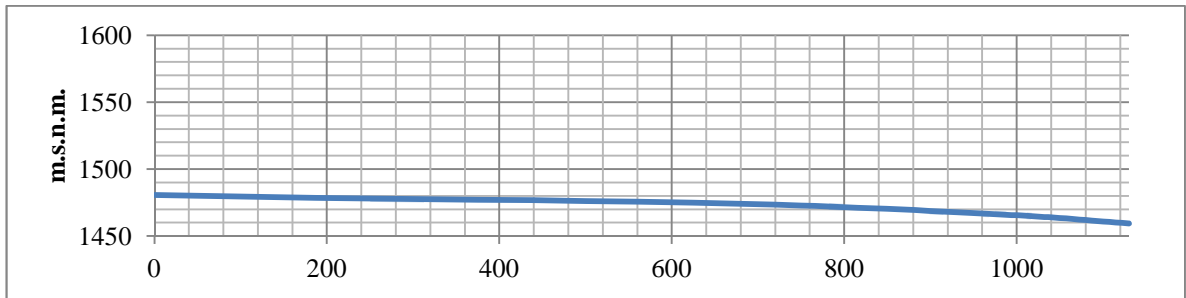
En el caso del canal Cortadera, se observa una diferencia de cota entre el inicio y el final de los canales de 70 m, 70 m, 10 m y 5 m para el canal Cortadera (Figura 10), Martínez (Figura 11), Álamo (Figura 12) y Ventura (Figura 13) respectivamente. Al plantearse los canales como una unificación se obtiene una diferencia total de 135 m con una longitud cercana a los 4500 m sin considerar la sinuosidad y particularidades del terreno.



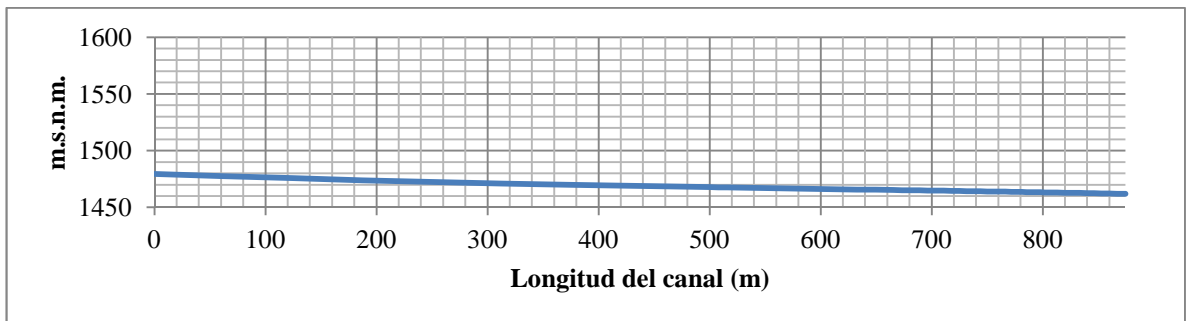
**Figura 10.** Perfil topográfico del canal Cortadera.



**Figura 11.** Perfil topográfico del canal Martínez



**Figura 12.** Perfil topográfico del canal Álamo.

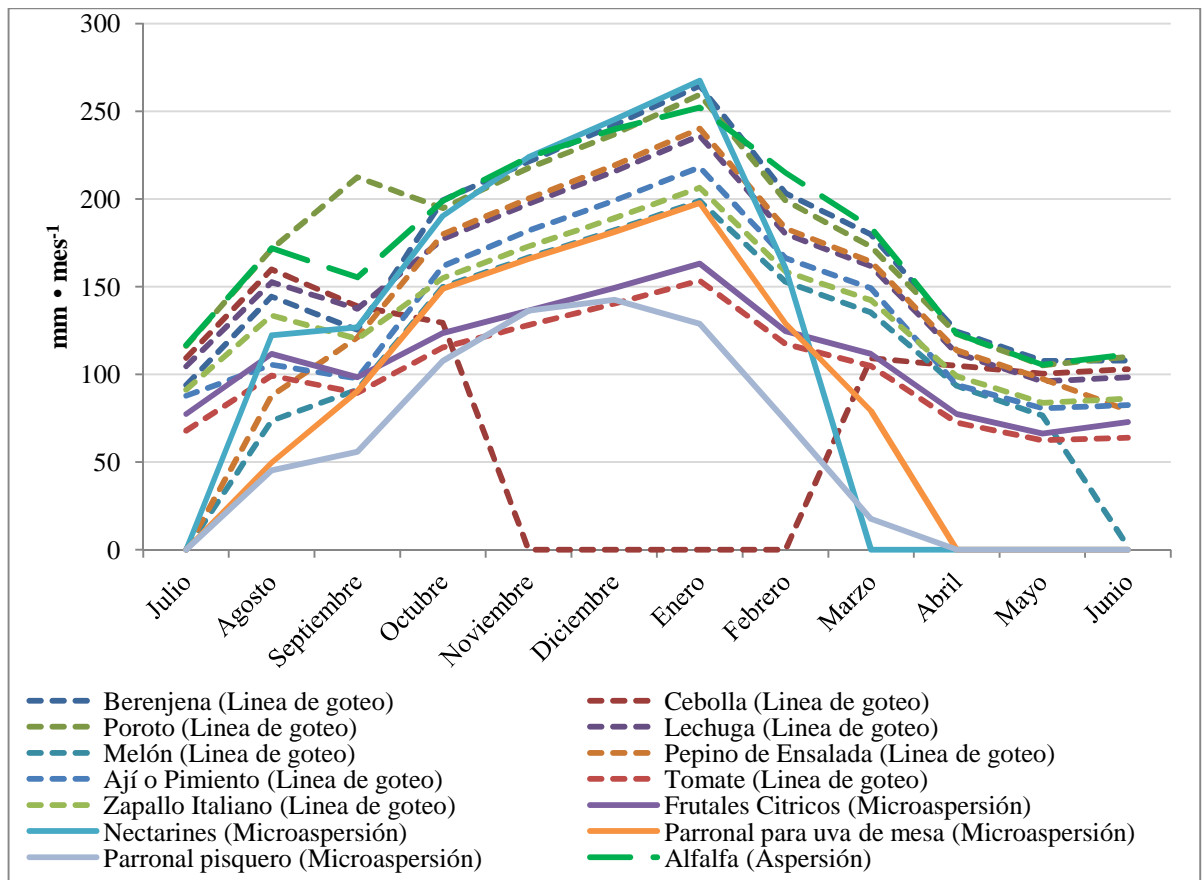


**Figura 13.** Perfil topográfico del canal Ventura.

El análisis geoespacial permitió identificar una superficie de riego potencial, área entre el camino público y el límite de la pendiente menor a 45%, de 72,0 hectáreas (Figura 29) en contraste con la superficie bajo riego actual de 18,4 hectáreas.

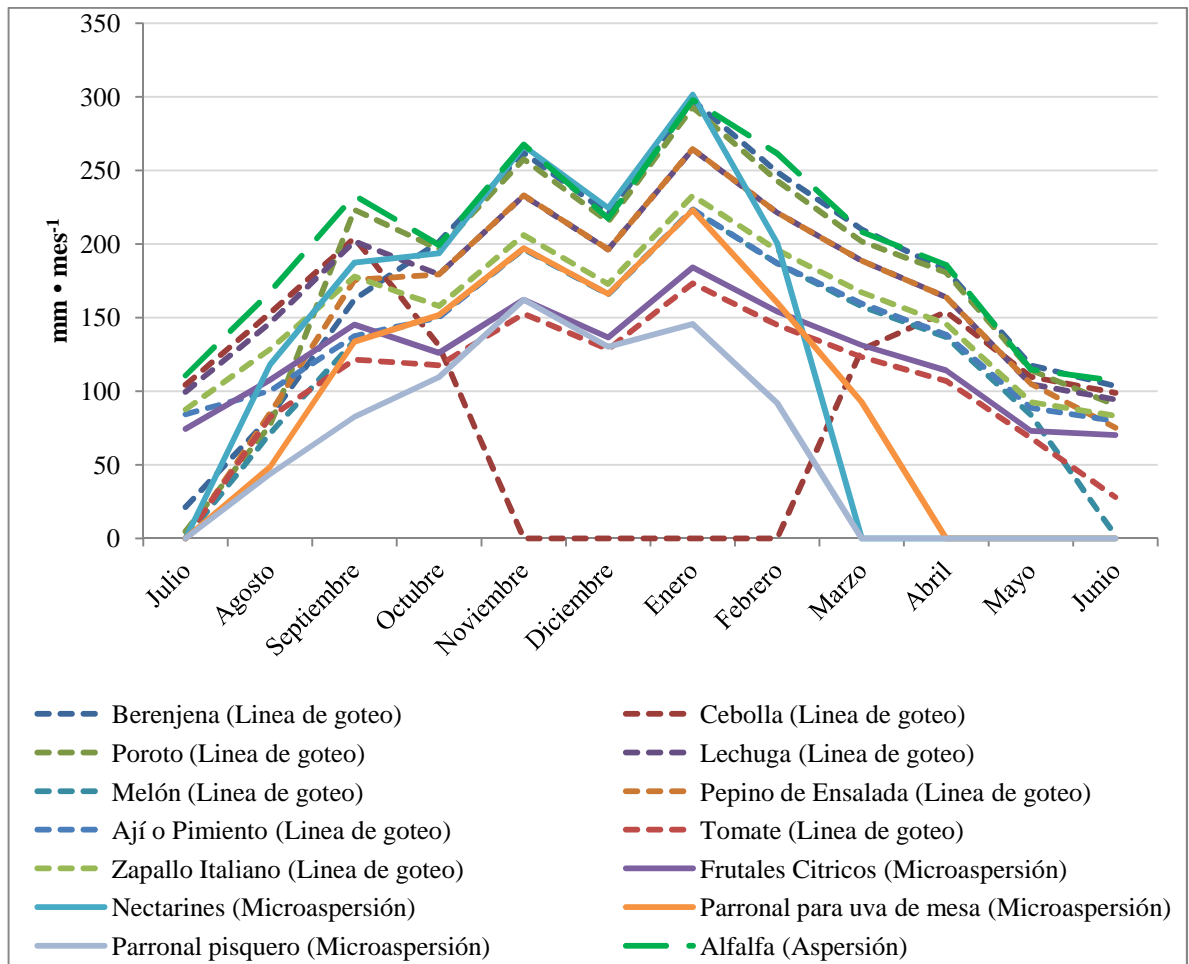
## Demanda hídrica

Para la zona de Mal Paso, la demanda hídrica más alta, se presenta en el mes de enero en nectarinos con riego por microaspersión, alcanzando los  $8,63 \text{ mm día}^{-1}$ . El grupo de frutales promedia durante ese mismo mes  $6,1 \text{ mm día}^{-1}$ . El grupo de hortalizas, con riego por goteo, promedia una demanda máxima de  $7,17 \text{ mm día}^{-1}$  netos. La alfalfa posee una demanda máxima de  $8,13 \text{ mm día}^{-1}$  con un sistema de riego por aspersión, también en enero (Figura 14).



**Figura 14.** Demanda hídrica mensual de distintos cultivos con potencial agroclimático para la zona del canal Mal Paso. Datos del autor basados la información de la CNR (1997), FAO (2006), FAO (2007) y Osorio *et al.* (2009).

Para la zona de Cortadera, la demanda hídrica más alta es en el mes de enero para los nectarinos con sistema de microaspersión, alcanzando los  $9,73 \text{ mm día}^{-1}$  de demanda neta; el grupo de frutales promedia durante ese mismo mes  $6,89 \text{ mm día}^{-1}$ . El grupo de hortalizas promedia una demanda máxima en enero de  $9,61 \text{ mm día}^{-1}$  netos. La alfalfa posee una demanda máxima de  $8,13 \text{ mm día}^{-1}$  también en enero (Figura 15).



**Figura 15.** Demanda hídrica mensual de distintos cultivos con potencial agroclimático para la zona del canal Cortadera. Datos del autor basados la información de la CNR (1997), FAO (2006), FAO (2007) y Osorio *et al.* (2009).

Para los cálculos posteriormente presentados de costos energéticos y diseño hidráulico se considera un consumo máximo neto de  $8,63 \text{ mm día}^{-1}$  ( $2,60 \text{ L s}^{-1}$ ) y  $9,73 \text{ mm día}^{-1}$  ( $2,84 \text{ L s}^{-1}$ ) para Mal Paso y Cortadera respectivamente, contemplando un escenario con la mayor evapotranspiración factible desde el punto de vista teórico.



## Diseño de los canales

El diseño del canal Cortadera tiene una longitud de 4496 m con tubería telescópica que inicia en 350mm y acaba en 150mm. Contempla una superficie de riego de 72,0 ha con 36 arranques dobles entregando  $2,84 \text{ L s}^{-1}$  o  $108,0 \text{ L s}^{-1}$  en total (Figura 30, Apéndice II).

La velocidad promedio para el caudal anterior es de  $1,20 \text{ m s}^{-1}$  y la máxima velocidad es de  $1,52 \text{ m s}^{-1}$ . La presión dinámica en el primer arranque es de 254,2 kPa, mientras que en el más alejado es de 1167,4 kPa, siendo las pérdidas totales bajo flujo dinámico de 219,4 kPa en toda la tubería (cuadro 5, Apéndice III). El golpe de ariete para el diseño propuesto resultó ser una sobrepresión de 99,1 kPa para una velocidad de flujo de  $1,5 \text{ m s}^{-1}$  (cuadros 6 y 7, Apéndice III).

El diseño del canal Mal Paso tiene una longitud de 5534m con tubería telescópica que comienza con 450mm y finaliza en 80mm. Considera una superficie de riego 140,0 ha con 70 arranques dobles entregando  $2,6 \text{ L s}^{-1}$  o  $182 \text{ L s}^{-1}$  en total (Figura 31, Apéndice II).

La velocidad promedio del flujo interno es de  $1,20 \text{ m s}^{-1}$  y la máxima es de  $1,45 \text{ m s}^{-1}$ . La presión dinámica en el primer arranque es de 12,6 kPa y 621,8 kPa en el más alejado con pérdidas dinámicas de 209,2 kPa en toda la tubería (cuadro 8, Apéndice III). El golpe de ariete para las condiciones propuestas resultó en una sobrepresión de 146,4 kPa (cuadros 9 y 10, Apéndice III).

### Determinación de ahorros energéticos

Los ahorros potenciales de energía en la zona adyacente a los canales evaluados se estimaron al ponderar la distribución de superficie de los distintos grupos de cultivos, el costo en energía para regar cada cultivo, la disponibilidad de las fuentes energéticas en la zona y la superficie que quedaría bajo condiciones de ser regada cumpliendo el criterio de presurización en torno a los entubamientos.

La distribución de superficie para distintos grupos de cultivos en la comuna de Alto del Carmen según datos del INE (2007) se distribuye en 71,2% de Frutales, 15,1% de vid vinífera (uva pisquera), 8,5% de forrajeras y 4,1% de hortalizas y los costos anuales de energía calculados para cada cultivo (cuadros 3 y 4).

**Cuadro 3.** Costo anual por hectárea de los principales cultivos recomendados para la zona adyacente al canal Cortadera bajo distintos tipos de riego presurizado.

Cortadera	Máx. Dem. neta (mm mes <sup>-1</sup> )	Demanda hídrica (mm temporada <sup>-1</sup> )	Presión de diseño (kPa)	Caudal de diseño (L s <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> )	Tiempo anual de riego (h)	Potencia instalada requerida (kW)		Costo anual (pesos ha <sup>-1</sup> )	
						Elect.	Diésel	Elect.	Diésel
Berenjena	297,6	889,2	215,82	1,481	1667,5	0,9128	2,1299	116459,0	161598,7
Cebolla	204,1	899,4	215,82	1,016	2458,9	0,6262	1,4610	117297,9	162290,1
Poroto	292,8	623,2	215,82	1,457	1187,8	0,8982	2,0957	82056,3	114272,5
Lechuga	264,3	652,1	215,82	1,316	1376,6	0,8109	1,8921	85643,2	119063,7
Melón	223,3	644,8	215,82	1,112	1611,0	0,6851	1,5986	84483,8	117266,9
Pepino	264,4	758,3	215,82	1,316	1600,1	0,8112	1,8929	99372,0	137940,9
Ají, pimentón	223,4	1139,0	215,82	1,112	2844,4	0,6855	1,5994	148358,0	205092,3
Tomate	173,2	622,8	215,82	0,862	2006,2	0,5314	1,2399	81382,0	112754,1
Zapallo italiano	232,9	535,1	215,82	1,159	1282,1	0,7144	1,6670	70359,8	97894,0
Cítricos	184,1	1478,8	264,87	0,917	4481,8	0,6932	1,6175	235727,2	325234,6
Nectarinos	301,5	1492,5	264,87	1,501	2761,9	1,1352	2,6489	238635,4	329945,7
Vid de Mesa	223,1	1172,7	264,87	1,110	2933,6	0,8398	1,9595	187419,5	259049,3
Vid Pisquera	162,2	765,6	264,87	0,808	2633,4	0,6108	1,4252	122469,3	169375,8
Alfalfa	297,9	2370,3	353,16	1,483	4440,4	1,4952	3,4889	503793,9	695110,2

Fuente: Elaboración del autor basado en información de la CNR (1997), FAO (2006), FAO (2007) y Osorio *et al.* (2009). La potencia instalada requerida fue calculada utilizando la ecuación 17, mientras que el costo anual se calculó utilizando la ecuación 16.

**Cuadro 4.** Costo anual por hectárea de los principales cultivos recomendados para la zona del canal Mal Paso bajo distintos tipos de riego presurizado.

Mal Paso	Máx. Dem. neta (mm mes <sup>-1</sup> )	Demanda hídrica (mm temporada <sup>-1</sup> )	Presión de diseño (kPa)	Caudal de diseño (L s <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> )	Tiempo anual de riego (h)	Potencia instalada requerida (kW)		Costo anual (pesos ha <sup>-1</sup> )	
						Elect.	Diésel	Elect.	Diésel
Berenjena	264,6	794,8	215,82	1,317	1676,0	0,8118	1,8942	104085,8	144423,2
Cebolla	159,9	805,8	215,82	0,796	2812,1	0,4905	1,1445	104964,2	145113,0
Poroto	259,5	551,8	215,82	1,292	1186,3	0,7962	1,8578	72649,0	101173,4
Lechuga	236,2	596,2	215,82	1,176	1408,5	0,7246	1,6907	78271,4	108788,6
Melón	199,0	580,8	215,82	0,991	1628,6	0,6104	1,4244	76085,1	105598,5
Pepino	240,1	695,8	215,82	1,195	1616,9	0,7366	1,7188	91163,5	126534,2
Ají, pimentón	218,2	1091,7	215,82	1,086	2792,3	0,6693	1,5617	142220,8	196627,8
Tomate	153,5	557,9	215,82	0,764	2028,6	0,4708	1,0985	72895,4	100987,7
Zapallo italiano	206,4	488,2	215,82	1,027	1319,8	0,6331	1,4773	64155,0	89231,6
Cítricos	163,2	1313,0	264,87	0,813	4488,7	0,6145	1,4339	209290,4	288758,0
Nectarinos	267,5	1336,9	264,87	1,331	2789,1	1,0070	2,3496	213740,1	295508,9
Vid de Mesa	197,7	1042,0	264,87	0,984	2940,5	0,7444	1,7370	166520,6	230160,3
Vid	232,6	708,3	264,87	1,158	1699,0	0,8758	2,0435	113811,7	157899,0
Pisquera	252,1	2097,4	353,16	1,255	4641,7	1,2657	2,9534	445702,8	614866,9

Fuente: Elaboración del autor basado en información de la CNR (1997), FAO (2006), FAO (2007) y Osorio *et al.* (2009). La potencia instalada requerida fue calculada utilizando la ecuación 17, mientras que el costo anual se calculó utilizando la ecuación 16.

La ponderación de los datos de los cuadros 3 y 4 con las superficies correspondientes a cada grupo de cultivos, permite calcular costos de \$ 199.553 ha<sup>-1</sup> con electricidad (incluye potencia instalada) y \$ 413.882 ha<sup>-1</sup> con diésel para la unificación Cortadera y de \$ 199.263 ha<sup>-1</sup> con electricidad y \$ 413.216 ha<sup>-1</sup> con diésel para Mal Paso.

A su vez, según datos del programa de electrificación rural de la CNE (2005) el porcentaje de cobertura eléctrica en hogares rurales en la región de Atacama alcanza el 79%, lo que permite estimar costos de \$ 244.562 ha<sup>-1</sup> y \$ 244.193 ha<sup>-1</sup> para Cortadera y Mal Paso respectivamente, al considerar que el 79% de la superficie es regada con electricidad y el 21% restante con combustible diésel.

El área bajo riego con una presión superior a 245,3 kPa (para cumplir el criterio de presión mínima planteada anteriormente) en el Canal Cortadera es de 60,0 hectáreas por lo que el ahorro potencial según el análisis de costos energéticos es de \$14.737.720 año<sup>-1</sup>; mientras que en el caso del Canal Mal Paso el área con una presión superior a los 245,3 kPa es de 98,0 hectáreas por lo que el ahorro potencial según los costos energéticos presentados anteriormente es de \$23.930.914 año<sup>-1</sup>.

### **Determinación de ahorros en agua**

Según la revisión bibliográfica, las pérdidas por ineficiencias de conducción de agua en canales abiertos rondan el 43,5%, si se toma esto como cierto y se considera el caudal de los canales en base a las acciones que se poseen, se pueden calcular pérdidas de 186.368,4 m<sup>3</sup>año<sup>-1</sup> de agua para Cortadera y 117.239,4m<sup>3</sup>año<sup>-1</sup> para Mal Paso.

Tomando en consideración el precio máximo del agua en la zona (\$ 900 m<sup>-3</sup>) se obtienen pérdidas equivalentes a \$167.731.560 en Cortadera y de \$105.515.460 en Mal Paso.

## Análisis de rentabilidad

Los costos de construcción estimados, según las cotizaciones realizadas permiten determinar costos totales para los entubamientos en el Canal Cortadera de \$ 220.125.963 (cuadros 11 y 12) y en Mal Paso de \$ 267.426.812 (cuadros 13 y 14) de los cuales \$ 48.068.400 y \$ 61.184.000 respectivamente, se consideran activos nominales.

En Cortadera los ahorros potenciales estimados son de \$ 14.737.720 año<sup>-1</sup> en el ítem energía y \$ 167.731.560 en el ítem agua, mientras que en Mal Paso se determinaron ahorros de \$ 23.930.914 año<sup>-1</sup> en energía y \$ 105.515.460 en agua.

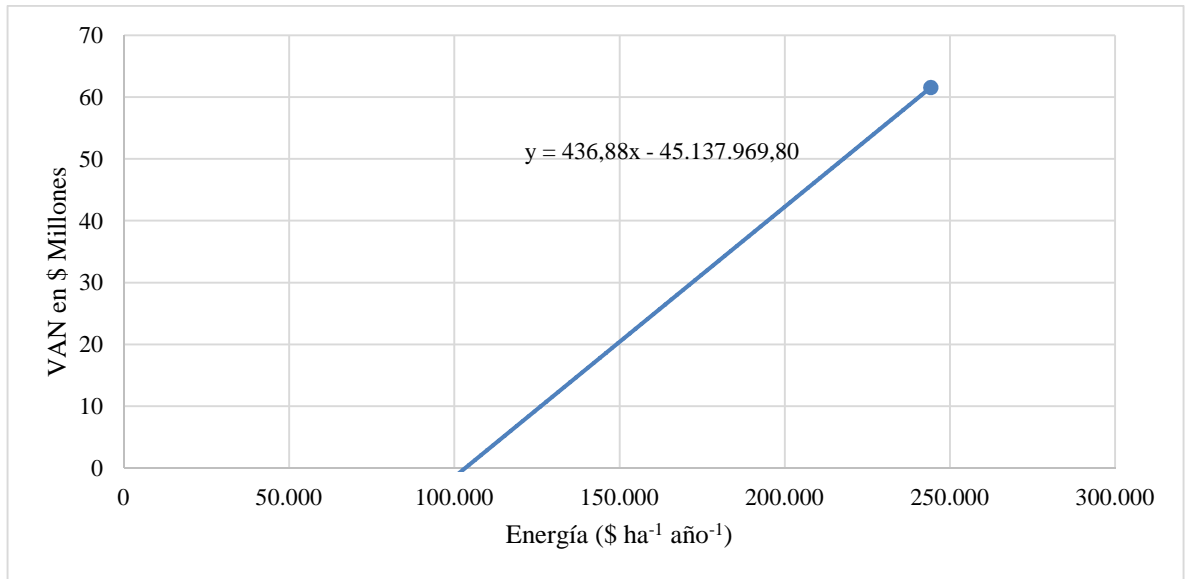
En el caso de Cortadera se determinó un VAN de \$ 80.855.782 y una TIR de 32% (Cuadro 19, Apéndice V). En Mal Paso se estimó un VAN de \$ 61.545.307 y una TIR de 21% (Cuadro 15, Apéndice V). Ambos proyectos entran dentro del criterio de aceptación ya que reportan un VAN mayor a cero y una TIR mayor a la tasa de descuento considerada (10,76% anual).

Una mirada en detalle a los flujos de caja presentados en los cuadros 15 y 19 (Apéndice V) permite indicar que para Cortadera la inversión inicial se recuperaría luego del segundo periodo, mientras que Mal Paso sería recuperado luego del cuarto periodo.

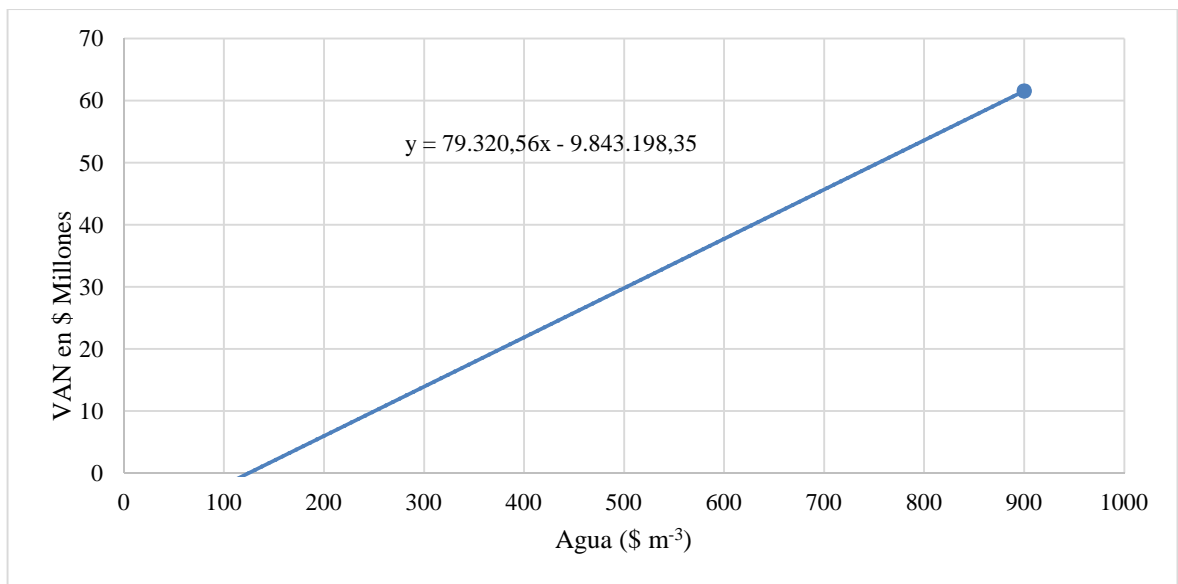
Las vulnerabilidades a la variación de los costos y precios quedan expresadas en el análisis de sensibilización al que se somete el VAN de cada proyecto.

En el caso de Mal Paso, la sensibilidad a la disminución en el precio de la energía (Figura 16) influye directamente en el VAN a una proporción de \$ 437 por cada peso que varía el costo del riego dejando, el VAN igualado a cero cuando la energía alcanza un valor de \$ 103.319 ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. La sensibilidad al precio del agua (Figura 17) influye en el VAN a una tasa de \$ 79.320 por cada peso en el que varía el precio de 1 m<sup>3</sup> de agua, igualándose a cero cuando se alcanza un precio de \$ 124 m<sup>-3</sup>. Respecto a los costos de construcción del proyecto (Figura 18), el VAN presenta una tasa de variación inversa de cerca de \$ 0,63 por cada peso que varían los costos iniciales calculados y quedando igualado a cero cuando los costos se alcanzan hasta los \$ 364.556.912.

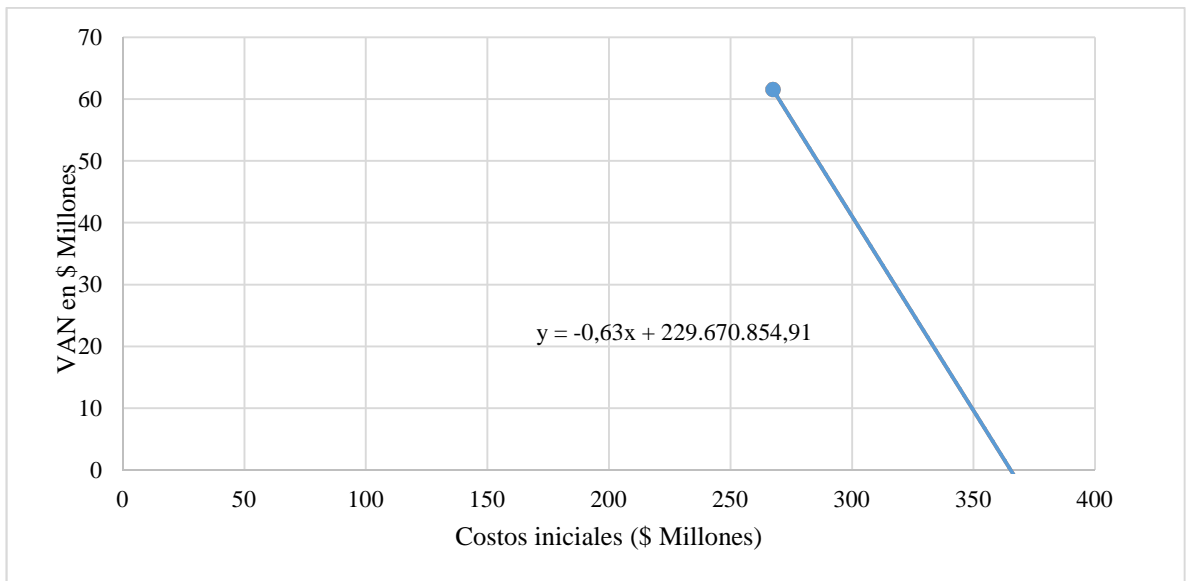
En términos porcentuales es equivalente a decir que por cada punto porcentual en que varía la energía, el agua o los costos iniciales respecto al flujo de caja inicial, el VAN varía en 1,73%, 1,16% y 2,73% respectivamente, lo que permite concluir que este proyecto es sobre todo sensible a la variación de los costos iniciales y en última instancia a la variación en el precio del agua.



**Figura 16.** Sensibilidad del VAN en el proyecto Mal Paso a la disminución del precio de la energía considerando los flujos de caja de los cuadros 15 y 17 (Apéndice V).



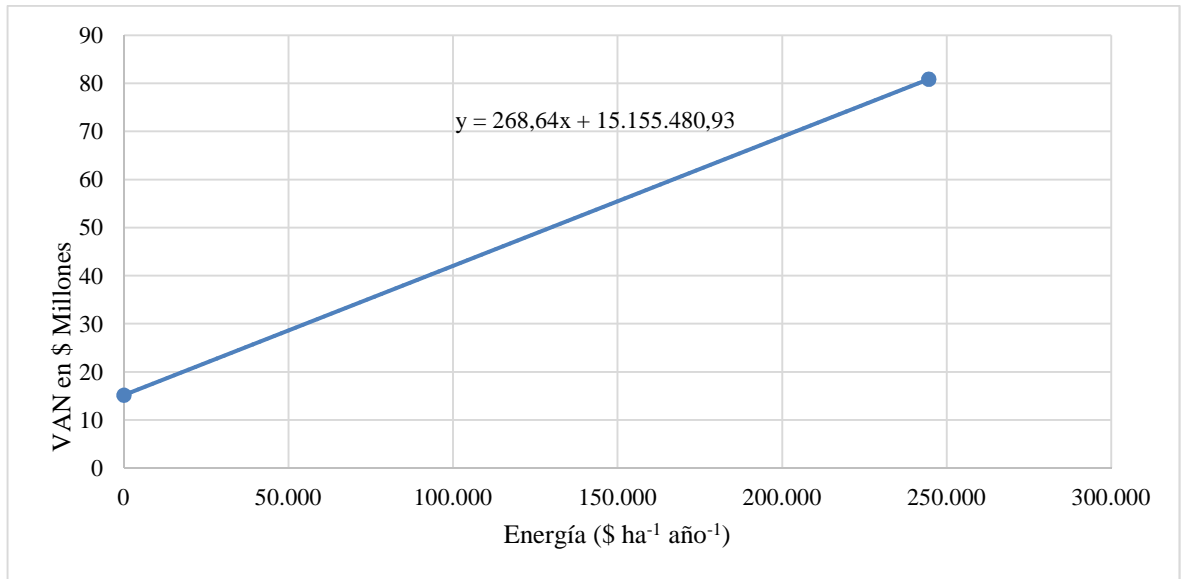
**Figura 17.** Sensibilidad del VAN en el proyecto Mal Paso a la disminución del precio del agua considerando los flujos de caja de los cuadros 15 y 16 (Apéndice V).



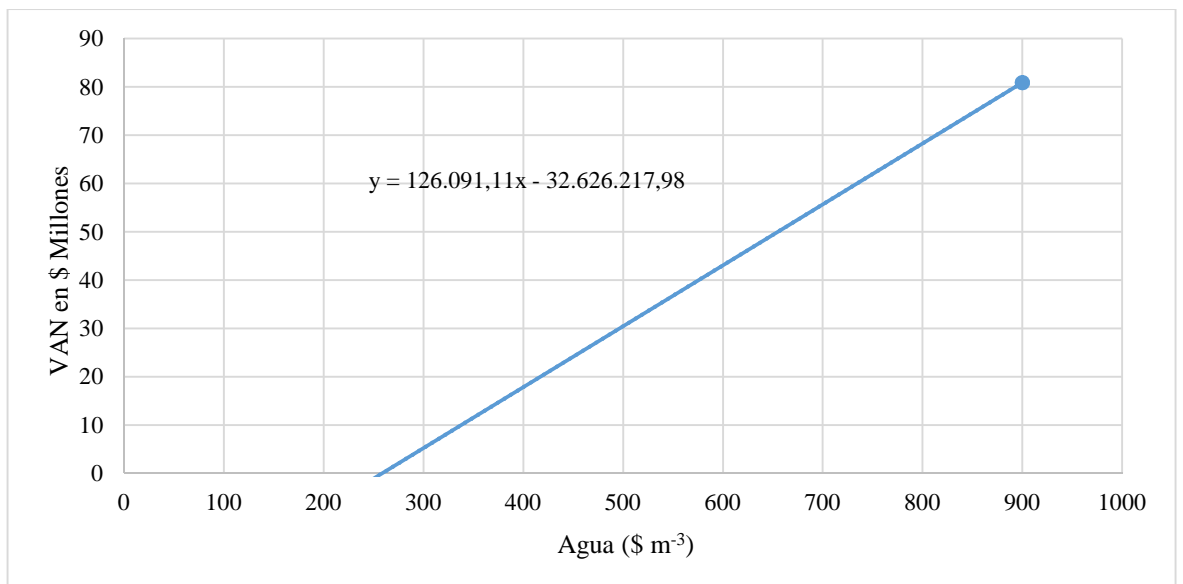
**Figura 18.** Sensibilidad del VAN en el proyecto Mal Paso al aumento de los costos en activo fijo y nominal considerando los flujos de caja de los cuadros 15 y 18 (Apéndice V).

En el caso de Cortadera la sensibilidad a la disminución en el precio de la energía (Figura 19) influye directamente en el VAN a una proporción de \$ 268 por cada peso que varía el costo del riego, dejando el VAN igualado a cero cuando la energía alcanza un valor negativo de \$ 56.416 ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. La sensibilidad al precio del agua influye en el VAN a una tasa de \$ 126.091 por cada peso en el que varía el precio de 1 m<sup>3</sup> de agua, igualándose a cero cuando se alcanza un precio de \$ 259 m<sup>-3</sup>. Respecto a los costos de construcción del proyecto (Figura 18), el VAN presenta una tasa de variación inversa de cerca de \$ 0,43 por cada peso que varían los costos iniciales calculados y quedando igualado a cero cuando los costos se alcanzan hasta los \$ 410.275.260.

En términos porcentuales equivale a decir que por cada punto porcentual en que varía la energía, el agua o los costos iniciales respecto al flujo de caja inicial, el VAN varía en 0,81%, 1,40% y 1,17% respectivamente, lo que permite concluir que este proyecto es sobre todo sensible a la variación de los costos de la energía y en última instancia a la variación en el precio del agua.

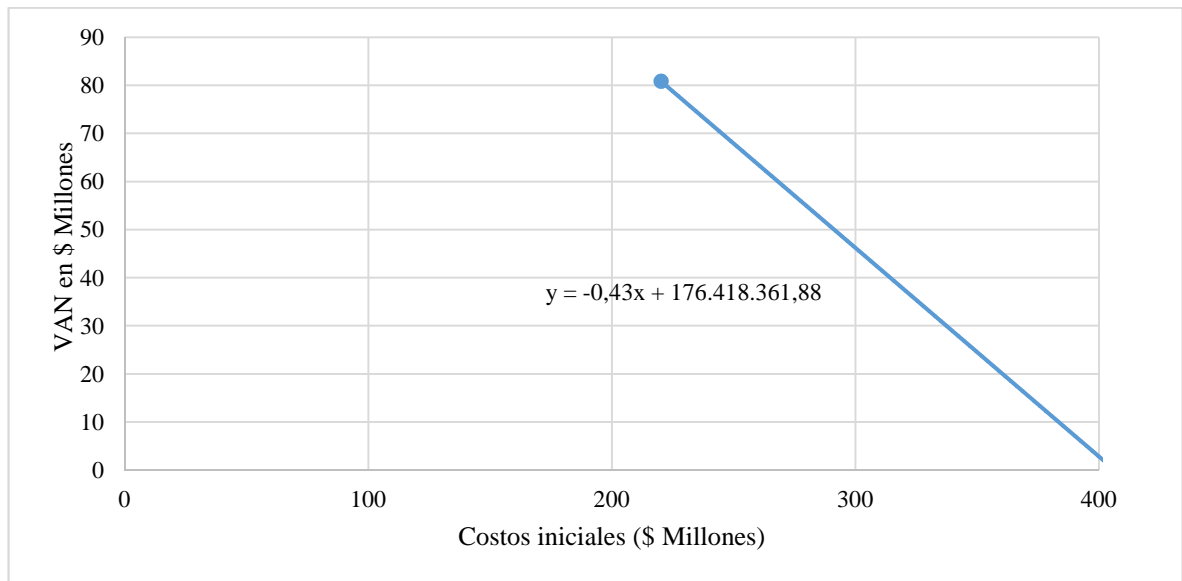


**Figura 19.** Sensibilidad del VAN en el proyecto Cortadera a la disminución del precio de la energía considerando los flujos de caja de los cuadros 19 y 21 (Apéndice V).



**Figura 20.** Sensibilidad del VAN en el proyecto Cortadera a la disminución del precio del agua considerando los flujos de caja de los cuadros 19 y 20 (Apéndice V).





**Figura 21.** Sensibilidad del VAN en el proyecto Cortadera al aumento de los costos en activo fijo y nominal considerando los flujos de caja de los cuadros 19 y 21 (Apéndice V).

Al comparar ambos proyectos se puede notar una divergencia en la sensibilidad a cada ítem evaluado, lo que permite descartar que para este tipo de proyectos se pueda hablar de un componente más o menos relevante en cuanto a sus efectos sobre el VAN.

## CONCLUSIONES

La topografía de la zona analizada permite el desarrollo de proyectos de riego gravitacional con gran potencial de ganancia energética.

El sistema de conducción actual, altamente ineficiente en cuanto a conducción, da margen para un importante ahorro de agua con alto valor comercial en la zona estudiada.

La inversión inicial es recuperable incluso generando saldos positivos antes del décimo periodo si se consideran flujos de caja que contemplen como ingresos los ahorros energéticos potenciales y recuperación del recurso hídrico hoy desperdiciado en términos productivos.

Cada proyecto bajo evaluación es sensible a las variaciones en el precio de la energía, agua o inversión inicial de manera distinta. Ambos proyectos soportan condiciones de inversión inicial, costos de energía y precio de agua más desfavorables que los establecidos inicialmente para fines de evaluación.

## BIBLIOGRAFÍA

CIREN, CHILE. 2007. Detalle de proyecto en ejecución: Optimización de Sistemas de riego en las cuencas Copiapó y Huasco. Disponible en <http://www.ciren.cl/cirenxml/proyectos/default.asp?a=5&idproyecto=2&n=1&d=>. Leído el 30 de junio de 2009.

CNE, CHILE. 2005. Informe final del programa de electrificación rural. Disponible en [http://www.dipres.gob.cl/574/articulos-14943\\_doc\\_pdf.pdf](http://www.dipres.gob.cl/574/articulos-14943_doc_pdf.pdf). Leído el 20 de noviembre de 2012.

CNE, CHILE. 2012. Precio Mensual Regional de Combustibles Líquidos en la Región de Atacama (SERNAC). Disponible en <http://www.cne.cl/estadisticas/energia/hidrocarburos>. Leído el 20 de noviembre de 2012.

CNR, CHILE. 1997. Cálculo y Cartografía de la Evapotranspiración Potencial en Chile. Santiago, Chile. 55p.

CNR, CHILE. 2000. Manual sobre fuentes de energía para sistemas de impulsión en obras menores de riego Vol. I. 312p.

Crisóstomo, C. 1998. Sistemas de impulsión. Comisión nacional de riego y Universidad de Concepción, Chillán. 27p.

DGA, CHILE. 1995. Análisis de la oferta y demanda de recursos hídricos en cuencas críticas Huasco y Elqui, Informe final cuenca del río Huasco. Santiago, Chile. 603p.

DGA, CHILE. 2002. Levantamiento de bocatomas en cauces naturales, III etapa Informe final. Santiago, Chile. 160p.

Figueroa, J.P. 2006. ¿Cómo ahorrar energía al regar?. Revista Chileriego 28 (diciembre): 14-19.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). 2007. Handbook on pressurized irrigation techniques. Second Edition. United Nations. 282p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). 2006. Evapotranspiración de cultivo, guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma, Italia. 322p.

Guzmán, C. 2008. Entubamiento y tarjeta de prepago en Lliu Lliu. Revista Chileriego 33(abril): 22-23.

Ibarra, V. 2010. Expertos prevén que costo de la energía en Chile seguirá alto hasta 2025 y afectaría productividad. Disponible en [http://latercera.com/contenido/655\\_267708\\_9.shtml](http://latercera.com/contenido/655_267708_9.shtml). Leído el 02 de diciembre 2010.

INE, CHILE. 2007. VII Censo Nacional Agropecuario. Disponible en <http://www.ine.cl>. Leído el 29 de junio 2009.

Martínez, L. 2012. Análisis hidrológico de la cuenca del Río Huasco, Región de Atacama. Disponible en <http://www.cazalac.org/>

Martínez, L., A. Osorio, L. Rojas, A. Ibacache y R. Meneses. 2008. Manejo productivo agropecuario en condiciones de escasez de precipitaciones. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Intihuasi. Boletín INIA N°177, La Serena, Chile. 70p.

Moraga, E. 2010. Minería y agro: una veta compleja. Revista del Campo. XXXV (1777): 10 -11.

Mott, R. 1997. Applied Fluid Mechanics. 4<sup>th</sup> ed. pp.191-218. *In*: General Energy Ecuation. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, EEUU. 582p.

Nakamura, Y. 2000. Estudio económico de distintos tipos de conducción de agua. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Intihuasi. Boletín INIA N°44, La Serena, Chile. 68p.

Salvo de Oliveira, M. 2010. Las opciones para asegurar el agua. Revista del Campo. XXXV (1793): 6-7.

Sapag, N. y R. Sapag, 1991. Preparación y Evaluación de Proyectos. Segunda Edición. McGraw-Hill Latinoamericana de México, México D.F, México. 390p.

Skoknic, F. 2009. Se muere el Río Copiapó (I): Consumo humano, agrícola y minero están en riesgo. Disponible en <http://ciperchile.cl/2009/07/09/se-muere-el-rio-copiapo-i-consumo-humano-agricola-y-minero-estan-en-riesgo/>. Leído el 20 de noviembre de 2012.

Osorio, A., F. Tapia, y R. Salinas, 2009. Suelos y Climas del Valle del Huasco y sus Alternativas de Cultivo. Centro Regional de Investigación Intihuasi. Cartilla Divulgativa N°1, La Serena, Chile. 12p.

Parmakian, J. 1963. Waterhammer Analysis. First Edition. Dover Publications Inc., New York, EE.UU. 161p.

Valenzuela, G. 2008. Análisis comparado entre conducción abierta y entubada. Revista Chilero 35(octubre): 50-51.

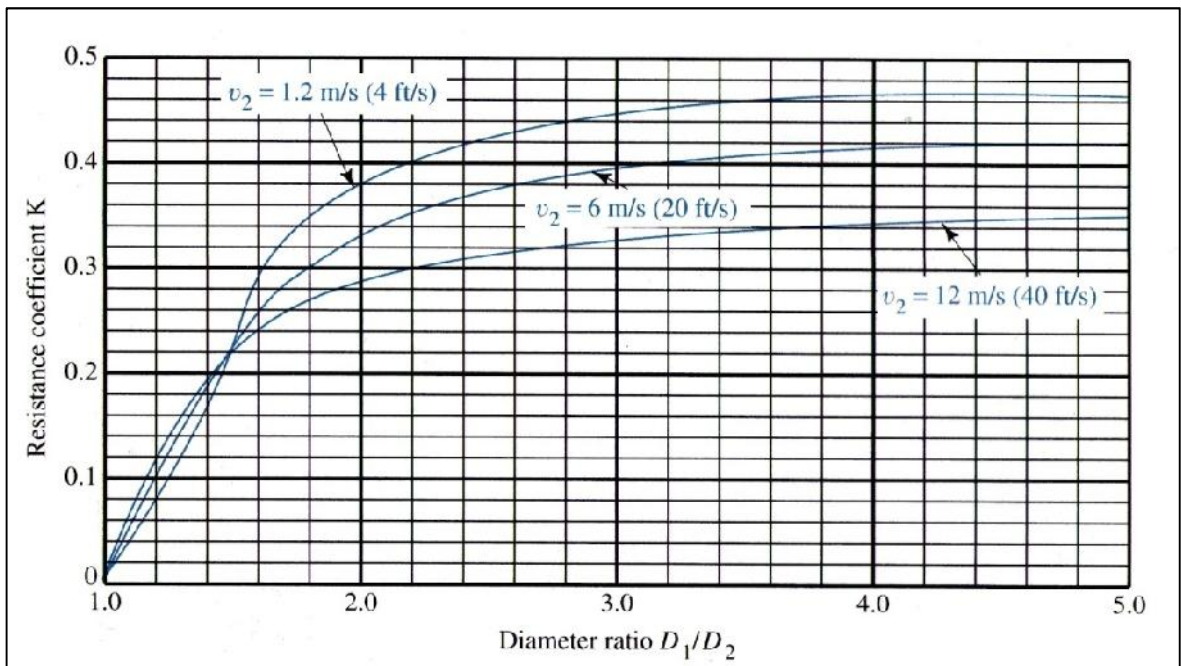
Vildósola, P. 2005. El impacto agrícola del Proyecto Pascua Lama: El Huasco, un vergel a medio camino. Disponible en <http://diario.elmercurio.cl/detalle/index.asp?id={66e62a3c-6af3-4a0a-9d44-9ee36b450f0c}>. Leído el 20 de noviembre 2009.

Willoughby, D., R. Woodson, and R. Sutherland, 2004. Plastic Piping Handbook. McGraw-Hill, New York, EE.UU. 358p.

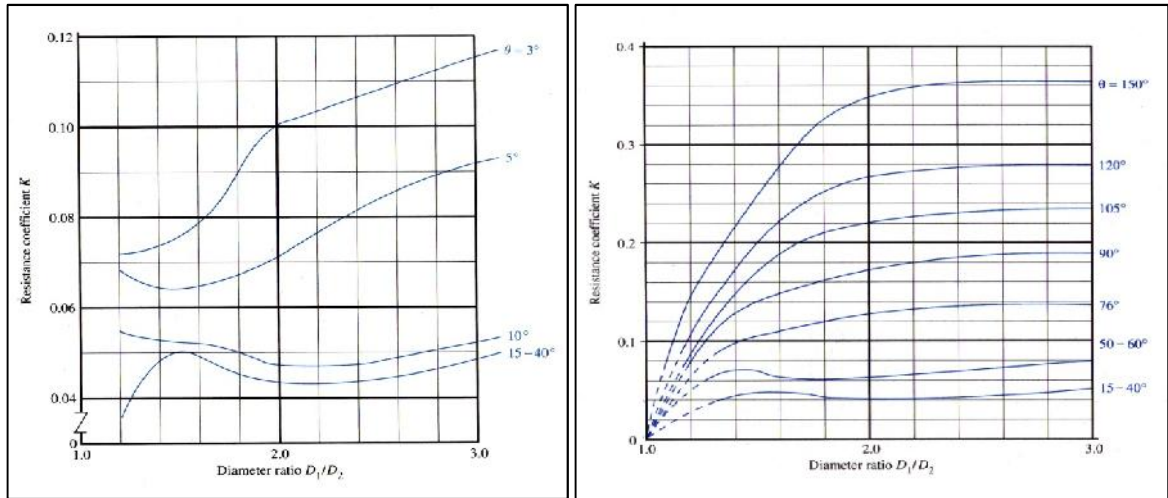
## ANEXOS

## Anexo I

## Coeficientes de resistencia de las contracciones en tuberías



**Figura 32.** Coeficiente de resistencia de una contracción de tipo repentina para distintas velocidades de flujo, donde  $D_1$  es el diámetro mayor y  $D_2$  el menor de la contracción.



**Figura 33.** Coeficiente de resistencia de una contracción de tipo gradual para distintos ángulos de entrada, donde  $D_1$  es el diámetro mayor y  $D_2$  el menor de la contracción.

## Anexo II

### Características técnicas del dispositivo Garmin

#### APPENDIX

#### Specifications

##### Physical

<b>Size:</b>	4.2" H x 2.2" W x 1.2" D
<b>Weight:</b>	5.6 ounces (159 g) with batteries installed.
<b>Display:</b>	1.3" W x 1.7" H, 256-color, high resolution, transreflective TFT(176 x 220 pixels) backlit.
<b>Case:</b>	Rugged, fully gasketed, water resistant, IEC-529, IPX7
<b>Temp:</b>	5 to 158°F (-15 to 70° C)*

\*The temperature rating of the eTrex may exceed the usable range of some batteries. Some batteries can rupture at high temperatures.

##### Performance

**Receiver:** WAAS/EGNOS enabled, high-sensitivity

**Acquisition Times:** (approx.)  
 Hot start- 3 seconds  
 Warm start- 33 seconds  
 Cold start- 39 seconds

**Update Rate:** 1/second, continuous

**Antenna:** Built-in patch

**Compass:** (Vista HCx/Summit HC only) Accuracy; +/- 5 degrees, resolution; 1 degree, user calibrated

**Altimeter:** (Vista HCx/Summit HC only) Accuracy; +/- 10 feet, resolution; 1 ft., user calibrated

##### Power

**Source:** Two 1.5 volt AA batteries, 12 V DC Adapter Cable, or PC/USB Adapter

**Battery Life:** Up to 25 hours HCx units  
 Up to 14 hours HC units

##### Accuracy

**GPS:** <10 meters (33 feet) 95% typical\*

\*Subject to accuracy degradation to 100m 2DRMS under the U.S. DoD imposed Selective Availability (SA) Program when activated.

**DGPS:** 3 meters (10 feet) 95% typical\*

\*Wide Area Augmentation System (WAAS) accuracy in North America.

**Velocity:** 0.1 meter/sec steady state

**Interfaces:** Garmin Proprietary (USB)

**Data Storage Life:** Indefinite; no memory battery required

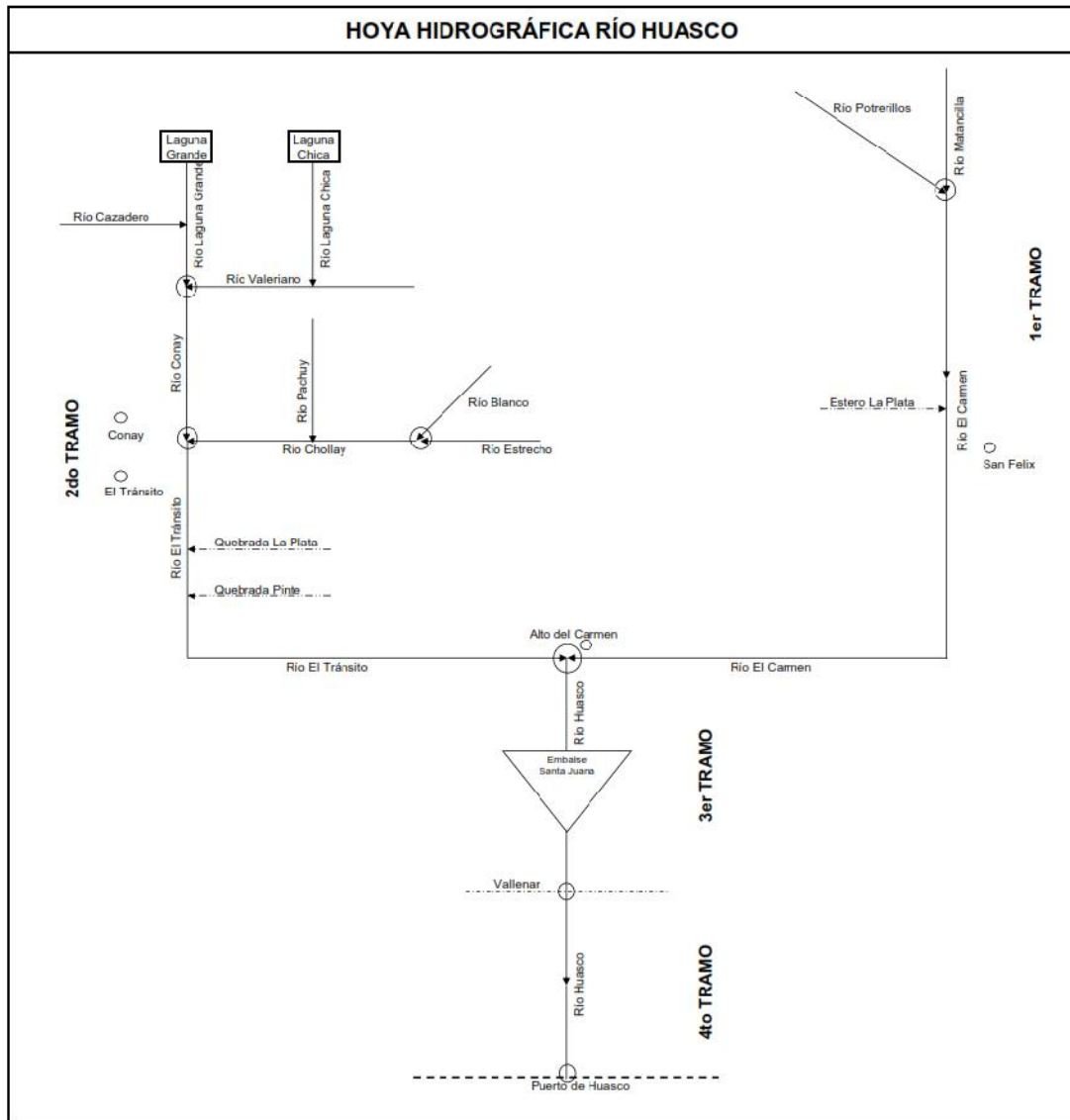
**Map Storage:** HCx units -Dependant on the formatted capacity of the microSD card.  
 HC units - 24 MB

**Figura 34.** Especificaciones técnicas del navegador GPS utilizado para georeferenciar los canales bajo estudio.

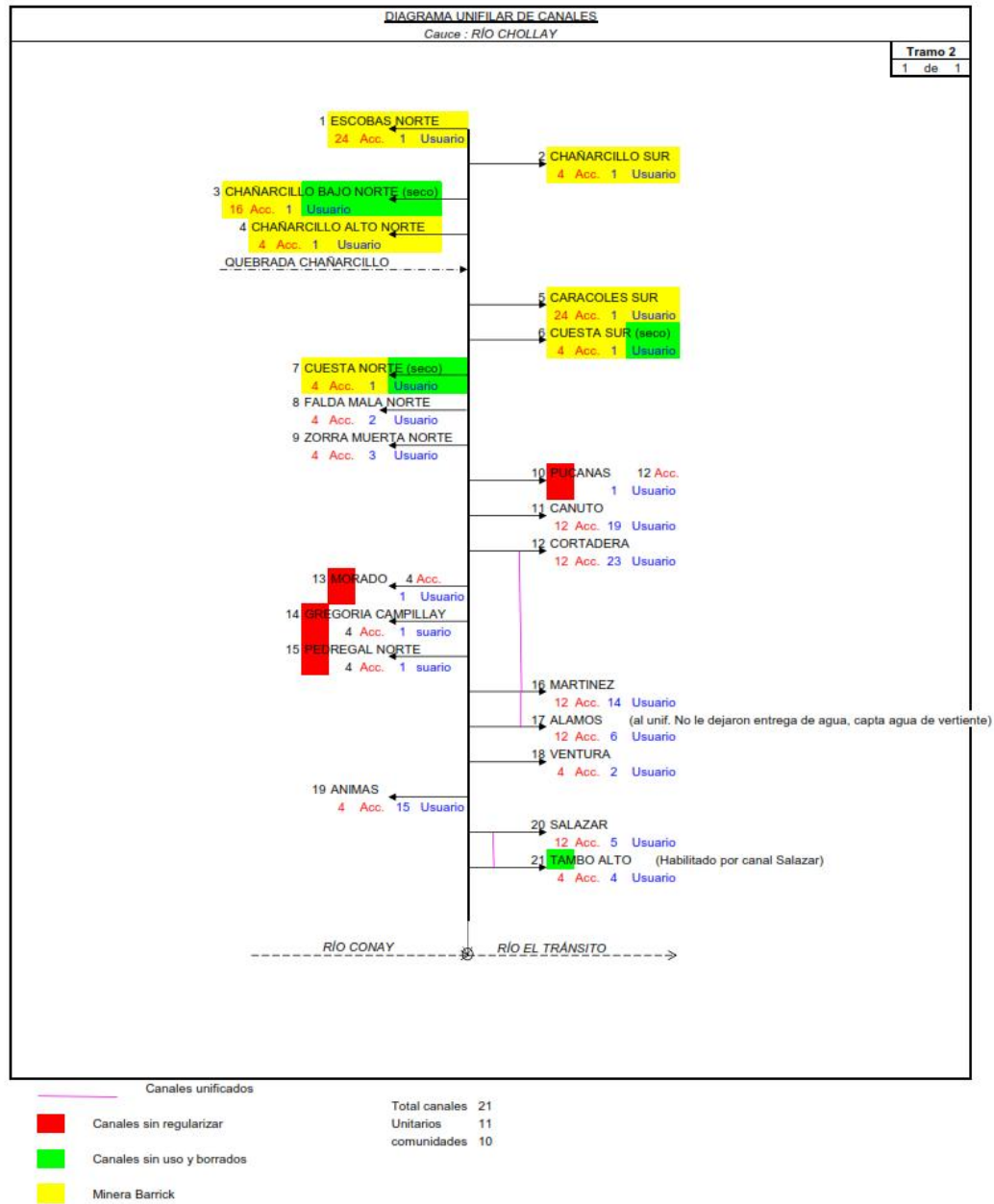


## Anexo III

## Esquemas hidrográficos de la cuenca del río Huasco



**Figura 35.** Diagrama unifilar de la hoya hidrográfica del río Huasco.



**Figura 36.** Diagrama unifilar de la zona del canal Cortadera.

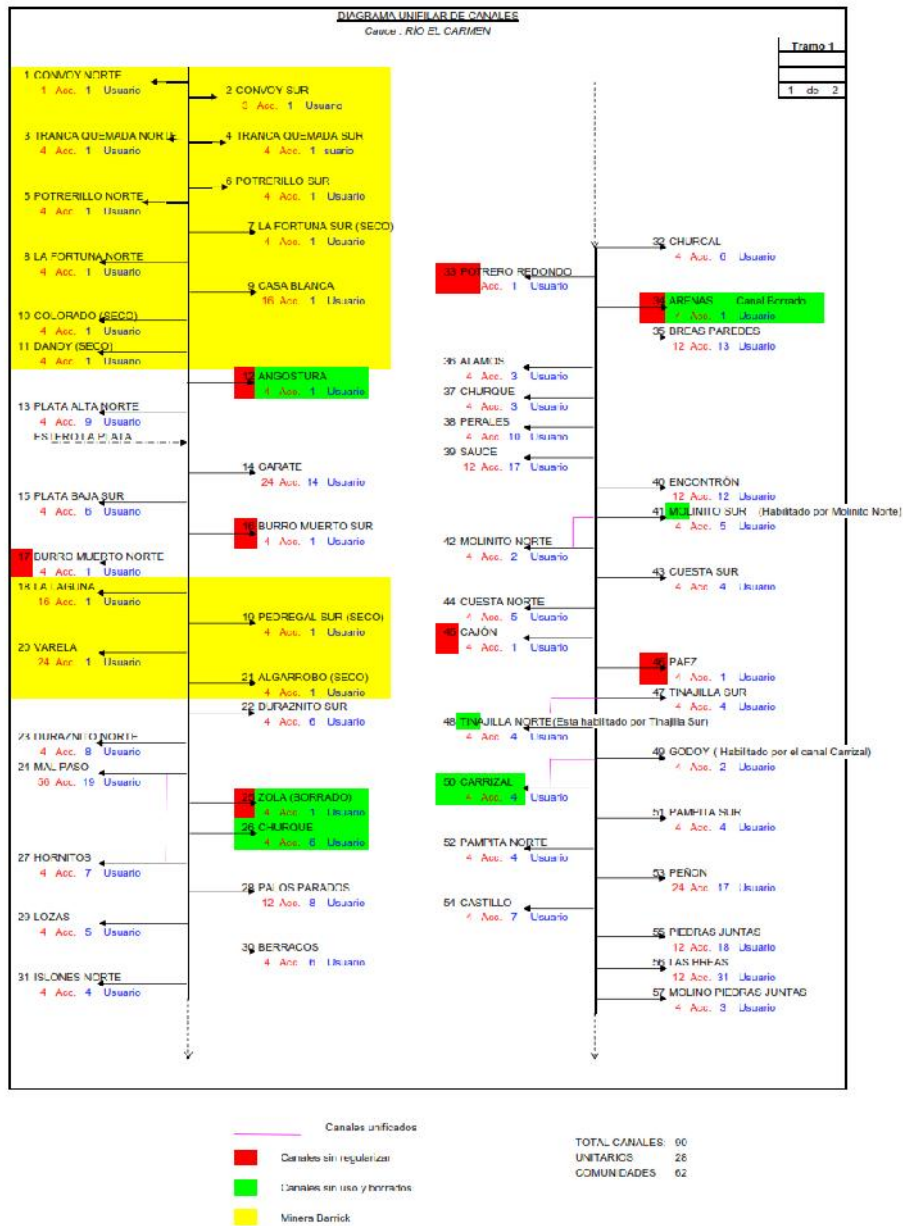


Figura 37. Diagrama unifilar de la zona del canal Mal Paso.

## Anexo IV

## Costos de la electricidad publicados por Emelat



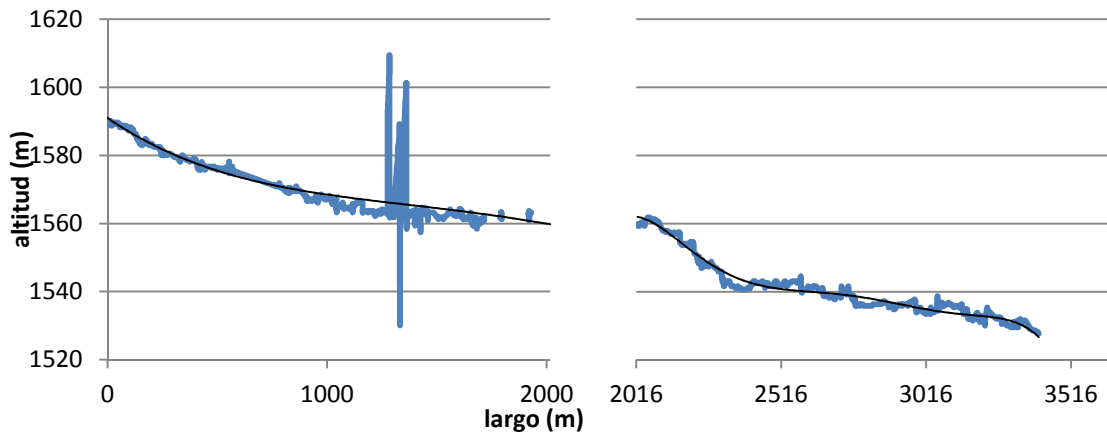
TARIFAS DE SUMINISTRO ELÉCTRICO EMELAT				
De conformidad con lo establecido en el Artículo N° 191 del DFL N° 4 de 2006, en los Decretos N° 385 de 2008, N° 320 de 2008, ambos del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, Decreto N° 98 de 2012 y N° 42 de 2012, ambos del Ministerio de Energía, EMELAT informa las tarifas que aplicará a sus clientes regulados, a contar del 01 de Noviembre de 2012.				
TARIFA	CARGOS POR TARIFA	SECTOR 1	SECTOR 2	SECTOR 3
		AA	AA	AA
BT1	CARGO FIJO (\$MES)	877,882	883,219	897,450
	CARGO UNICO POR USO DEL SISTEMA TRONCAL (\$/KWH)	0,108	0,108	0,108
	ENERGIA BASE (\$/KWH)	95,573	100,864	110,679
	ENERGIA ADICIONAL DE INVIERNO (\$/KWH)	130,305	140,886	160,516
BT2 - BT3	Cargo fijo	877,88	883,22	897,45
	Cargo fijo	1.470,15	1.479,09	1.502,92
	CUT	0,108	0,108	0,108
	Cargo por energía	60,842	60,842	60,842
	Cargo por potencia contratada parcialmente presente en punta	9.324,546	10.805,884	13.554,090
	Cargo por potencia contratada presente en punta	11.008,091	12.806,859	16.143,966
BT41-BT42-BT43	Cargo fijo BT4.1	877,88	883,22	897,45
	Cargo fijo BT4.2	1.470,15	1.479,09	1.502,92
	Cargo fijo BT4.3	1.505,43	1.514,59	1.538,99
	CUT	0,108	0,108	0,108
	Cargo por energía	60,842	60,842	60,842
	Cargo por demanda contratada o suministrada	2.360,334	3.209,025	4.783,534
	Cargo por demanda contratada o leída en horas punta	8.647,758	9.597,833	11.360,432
AT2	Cargo fijo	877,882	883,219	897,450
	Cargo fijo	1.470,152	1.479,089	1.502,922
	CUT	0,108	0,108	0,108
	Cargo por energía	57,220	57,220	57,220
	Cargo por potencia contratada parcialmente presente en punta	6.271,654	6.767,353	7.686,982
	Cargo por potencia contratada presente en punta	7.116,337	7.645,083	8.626,021
AT41-AT42-AT43	Cargo fijo AT4.1	877,882	883,219	897,450
	Cargo fijo AT4.2	1.470,152	1.479,089	1.502,922
	Cargo fijo AT4.3	1.505,433	1.514,585	1.538,989
	CUT	0,108	0,108	0,108
	Cargo por energía	57,220	57,220	57,220
	Cargo por demanda contratada o suministrada	1.102,888	1.499,447	2.235,151
	Cargo por demanda contratada o leída en horas punta	6.013,449	6.145,636	6.390,870
LOS PRECIOS INDICADOS INCLUYEN IVA (19%)				
Sector 1: Copiapo				
Sector 2: Caldera, Tierra Amarilla, Chañaral, Diego de Almagro, Vallenar y Freirina				
Sector 3: Huasco y Alto del Carmen				

Figura 38. Tarifas eléctricas publicadas por EMELAT en la región de Atacama.

## APÉNDICES

### Apéndice I

#### Ecuaciones de la altimetría

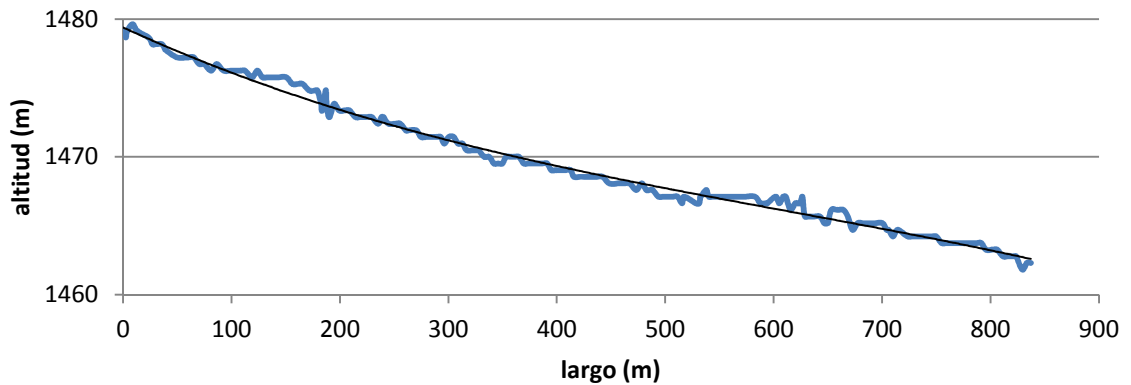


**Figura 22.** Ajustes de regresión sobre los datos altimétricos obtenidos con el navegador GPS, de 0 m a 2016 m de longitud la ecuación de regresión utilizada es:

$$y = 0,000000000001230419195138180000x^4 - 0,000000010928173423043600000000x^3 + 0,000031113034794749700000000000x^2 - 0,043874338915202300000000000000x + 1.590,975960577310000000000000000000 \quad (R^2 = 0,5998)$$

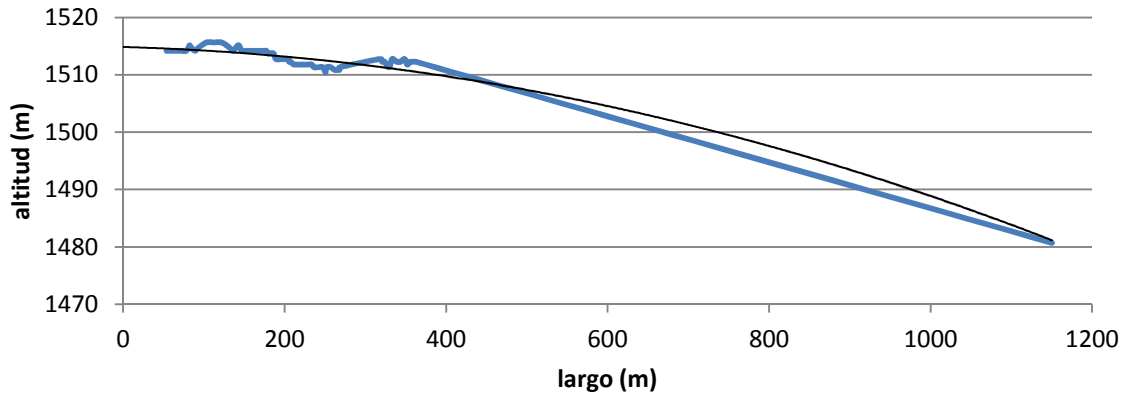
De 2016m a 3660m de longitud, la ecuación utilizada es:

$$y = -0,000000000000000301629802276652x^6 + 0,000000000004930667973617350000x^5 - 0,000000033368687438461100000000x^4 + 0,000119619982948434000000000000x^3 - 0,239452240377459000000000000000x^2 + 253,6321579352070000000000000000x - 109.431,2877887450000000000000000000 \quad (R^2 = 0,9702)$$



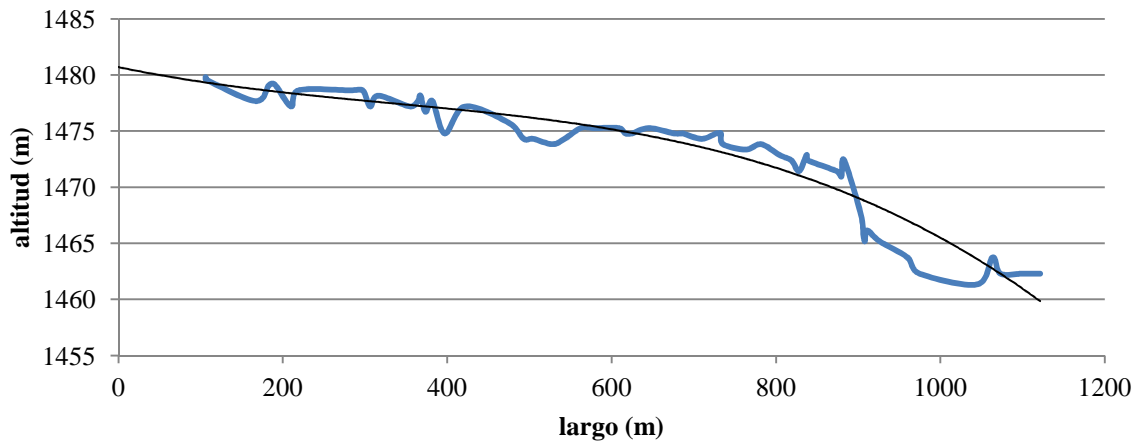
**Figura 23.** Ajuste de regresión en el Canal Ventura:

$$y = -0,000000019098765098287200000000x^3 + 0,000035206084273653500000000000x^2 - 0,036150482518337400000000000000x + 1479,388118393250000000000000000000 \quad (R^2 = 0,9924)$$



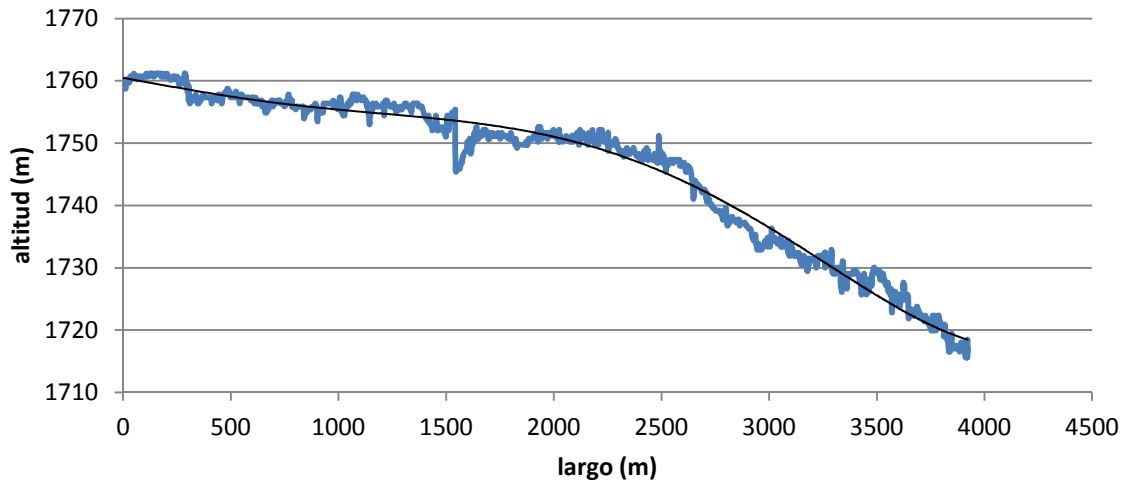
**Figura 24.** Ajuste de regresión en el Canal Martínez:

$$y = -0,000022057484730216700000000000x^3 - 0,003922640017229640000000000000x^2 + 1,514,844314293380000000000000000000 \quad (R^2 = 0,9188)$$



**Figura 25.** Ajuste de regresión en el Canal Ventura:

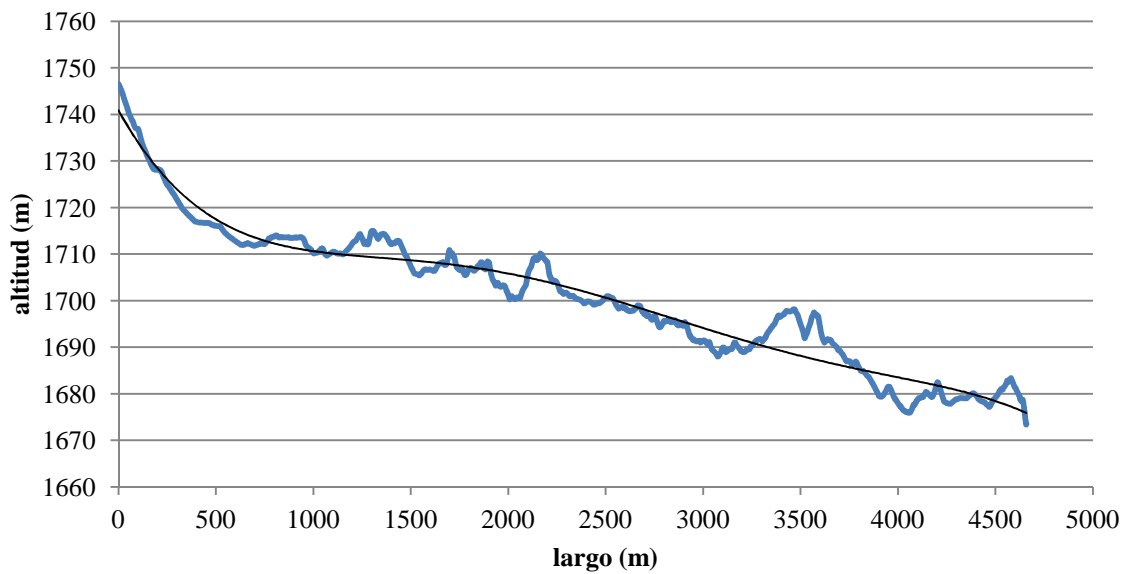
$$y = -0,000000025056573077888000000000x^3 + 0,000025110203226042000000000000x^2 - 0,015264502385889500000000000000x + 1,480,699889269570000000000000000000 \quad (R^2 = 0,9107)$$



**Figura 26.** Ajuste de regresión en el Canal Mal Paso (superior):

$$y = 0,0000000000000000305423275804425x^5 - 0,0000000000002340835905916950000x^4 + 0,000000004578629305557190000000x^3 - 0,000001555627946459030000000000x^2 - 0,006086713089644040000000000000x + 1.760,475479641230000000000000000000$$

(R<sup>2</sup> = 0,9804)



**Figura 27.** Ajuste de regresión en el Canal Mal Paso (inferior):

$$y = -0,0000000000000000464603235442659x^5 + 0,0000000000006325794956059240000x^4 - 0,000000031727437807202400000000x^3 + 0,000070589525462239100000000000x^2 - 0,074969185723603000000000000000x + 1.740,879528695480000000000000000000$$

(R<sup>2</sup> = 0,9535)

## **Apéndice II**

**Planos de la cartografía base y de los diseños finales**



**Figura 28.** Cartografía base de la unificación Mal Paso.

**Figura 29.** Cartografía base de la unificación Cortadera.

**Figura 30.** Diseño final canal Cortadera con las isohipsas de presión para la zona a regar y el tipo de tubería seleccionada para cada tramo.

**Figura 31.** Diseño final canal Mal Paso con las isohipsas de presión para la zona a regar y el tipo de tubería seleccionada para cada tramo.

### Apéndice III

#### Memorias de cálculo de los proyectos

**Cuadro 5.** Memoria de cálculo del diseño de las tuberías del canal Cortadera.

Material	Largo	Flujo	Velocidad	Presión de Salida	Pérdidas
	m	L seg <sup>-1</sup>	m seg <sup>-1</sup>	kPa	kPa
14" (350mm) HDPE SDR 21	966,38	108	1,346	254,53	37,24
14" (350mm) HDPE SDR 21	104,31	105	1,308	262,48	3,82
14" (350mm) HDPE SDR 21	103,13	105	1,308	269,47	3,78
14" (350mm) HDPE SDR 21	82,838	102	1,271	274,43	2,87
14" (350mm) HDPE SDR 21	107,11	102	1,271	279,45	3,72
12" (300mm) HDPE SDR 21	114,62	99	1,487	283,33	5,92
12" (300mm) HDPE SDR 21	68,87	99	1,487	283,71	3,55
12" (300mm) HDPE SDR 21	57,54	96	1,442	285,79	2,81
12" (300mm) HDPE SDR 17	65,95	96	1,521	287,04	3,66
12" (300mm) HDPE SDR 17	51,96	93	1,474	288,24	2,73
12" (300mm) HDPE SDR 17	54,65	93	1,474	289,29	2,86
12" (300mm) HDPE SDR 17	54,86	90	1,426	290,50	2,71
12" (300mm) HDPE SDR 17	42,4	90	1,426	292,33	2,09
12" (300mm) HDPE SDR 17	40,9	87	1,379	293,37	1,90
12" (300mm) HDPE SDR 17	42,41	87	1,379	295,32	1,97
12" (300mm) HDPE SDR 17	68,8	84	1,331	299,19	3,00
12" (300mm) HDPE SDR 17	82,25	84	1,331	303,44	3,58
12" (300mm) HDPE SDR 17	59,09	81	1,284	306,91	2,41
12" (300mm) HDPE SDR 17	80,25	81	1,284	312,46	3,28
12" (300mm) HDPE SDR 17	102,16	78	1,236	321,30	3,89
12" (300mm) HDPE SDR 17	122,08	78	1,236	332,32	4,65
12" (300mm) HDPE SDR 17	107,91	75	1,188	344,17	3,83
12" (300mm) HDPE SDR 17	118,77	75	1,188	357,59	4,21
12" (300mm) HDPE SDR 13,5	149,26	72	1,23	377,17	5,90
12" (300mm) HDPE SDR 13,5	115,19	72	1,23	392,21	4,54
12" (300mm) HDPE SDR 13,5	73,53	69	1,179	403,23	2,69
12" (300mm) HDPE SDR 13,5	51,34	69	1,179	411,16	1,87
12" (300mm) HDPE SDR 13,5	27,38	66	1,128	415,13	0,92
12" (300mm) HDPE SDR 13,5	37,28	66	1,128	420,67	1,26
10" (250mm) HDPE SDR 13,5	39,15	63	1,514	425,74	2,76
10" (250mm) HDPE SDR 13,5	34,21	63	1,514	429,22	2,41
10" (250mm) HDPE SDR 13,5	37,33	60	1,442	434,64	2,41
10" (250mm) HDPE SDR 13,5	47,34	60	1,442	440,41	3,05

10" (250mm) HDPE SDR 13,5	31,75	57	1,37	444,41	1,86
10" (250mm) HDPE SDR 13,5	28,05	57	1,37	447,67	1,65
10" (250mm) HDPE SDR 13,5	27,87	54	1,298	452,05	1,48
10" (250mm) HDPE SDR 13,5	32,34	54	1,298	456,21	1,73
10" (250mm) HDPE SDR 13,5	44,92	51	1,226	461,89	2,16
10" (250mm) HDPE SDR 13,5	32,5	51	1,226	466,21	1,56
10" (250mm) HDPE SDR 13,5	31,14	48	1,154	470,74	1,34
10" (250mm) HDPE SDR 13,5	31,36	48	1,154	475,27	1,35
10" (250mm) HDPE SDR 13,5	32,64	45	1,081	479,90	1,25
10" (250mm) HDPE SDR 11	45,84	45	1,179	724,46	2,16
10" (250mm) HDPE SDR 11	40,22	42	1,101	759,99	1,68
10" (250mm) HDPE SDR 11	47,26	42	1,101	900,97	1,97
10" (250mm) HDPE SDR 9	44,78	39	1,14	971,30	2,12
10" (250mm) HDPE SDR 7,3	43,91	39	1,323	1037,85	2,97
10" (250mm) HDPE SDR 7,3	39,86	36	1,221	1038,45	2,33
10" (250mm) HDPE SDR 7,3	40,01	36	1,221	1039,05	2,34
10" (250mm) HDPE SDR 7,3	38,44	33	1,119	1040,07	1,92
10" (250mm) HDPE SDR 7,3	34,8	33	1,119	1040,28	1,75
10" (250mm) HDPE SDR 7,3	41,81	30	1,018	1041,47	1,77
10" (250mm) HDPE SDR 7,3	41,82	30	1,018	1042,55	1,77
8" (200mm) HDPE SDR 7,3	39,81	27	1,423	1042,46	4,00
8" (200mm) HDPE SDR 7,3	41,57	27	1,423	1041,22	4,18
8" (200mm) HDPE SDR 7,3	38,79	24	1,265	1042,97	3,15
8" (200mm) HDPE SDR 7,3	42,74	24	1,265	1044,40	3,47
8" (200mm) HDPE SDR 7,3	35,93	21	1,107	1047,98	2,30
8" (200mm) HDPE SDR 7,3	37,6	21	1,107	1051,47	2,40
8" (200mm) HDPE SDR 7,3	44,59	18	0,949	1056,08	2,16
8" (200mm) HDPE SDR 7,3	47,94	18	0,949	1062,57	2,32
6" (150mm) HDPE SDR 7,3	46,46	15	1,34	1068,58	5,75
6" (150mm) HDPE SDR 7,3	48,85	15	1,34	1075,28	6,04
6" (150mm) HDPE SDR 7,3	47,67	12	1,072	1086,04	3,94
6" (150mm) HDPE SDR 7,3	50,37	12	1,072	1098,52	4,17
6" (150mm) HDPE SDR 7,3	3,048	9	0,804	1118,93	0,15
6" (150mm) HDPE SDR 7,3	3,048	9	0,804	1128,57	0,15
6" (150mm) HDPE SDR 7,3	3,048	6	0,536	1138,28	0,07
6" (150mm) HDPE SDR 7,3	3,048	6	0,536	1148,01	0,07
6" (150mm) HDPE SDR 7,3	3,048	3	0,268	1157,78	0,02
6" (150mm) HDPE SDR 7,3	3,048	3	0,268	1167,55	0,02

---

**Cuadro 6.** Memoria de cálculo de los componentes que permiten calcular el golpe de ariete en tuberías complejas para el proyecto Cortadera.

<b>Grosor de la Pared</b>	<b>Diámetro Medio</b>	<b>Celeridad</b>	<b>Largo</b>	<b>Celeridad x Largo</b>
mm	mm		m	
18,644	400,6385561	57,03156455	93,24	5317,623079
18,644	399,2253646	57,1322541	217,03	12399,41311
18,644	397,8071528	57,2338394	94,1	5385,704287
18,644	396,3838668	57,33633489	65,96	3781,904649
18,644	394,9554518	57,43975537	67,31	3866,269934
18,644	393,521852	57,54411597	101,39	5834,397918
18,644	392,0830104	57,64943219	37,04	2135,334968
18,644	390,6388692	57,75571991	44,55	2573,017322
18,644	389,1893693	57,86299538	52,37	3030,285068
18,644	387,7344507	57,97127525	45,82	2656,243832
18,644	386,2740521	58,08057658	34,94	2029,335346
18,644	384,8081111	58,19091684	34,09	1983,728355
18,644	383,3365642	58,30231396	37,55	2189,251889
18,644	381,8593465	58,4147863	39,02	2279,344961
18,644	380,376392	58,52835269	41,41	2423,659085
18,644	378,8876333	58,64303244	37,65	2207,910172
18,644	377,3930017	58,75884536	28,93	1699,893396
18,644	375,8924271	58,87581177	30,75	1810,431212
18,644	374,3858382	58,99395252	26,98	1591,656839
16,561	372,873162	55,7186678	25,42	1416,368535
16,561	371,354324	55,83232106	31,4	1753,134881
16,561	369,8292485	55,94714372	36,89	2063,890132
16,561	368,2978579	56,06315763	35,37	1982,953885
16,561	366,760073	56,18038522	30,02	1686,535164
16,561	365,2158132	56,29884954	32,5	1829,71261
16,561	363,664996	56,41857428	22,78	1285,215122
16,561	362,107537	56,5395838	20,43	1155,103697
16,561	360,5433503	56,66190313	18,76	1062,977303
16,561	358,9723478	56,78555802	20,71	1176,028907
16,561	357,3944397	56,91057495	19,21	1093,252145
16,561	355,8095342	57,03698117	20,36	1161,272937
16,561	354,2175372	57,16480474	22,35	1277,633386
16,561	352,6183528	57,29407452	16,46	943,0604667
16,561	351,0118827	57,42482025	26,23	1506,253035
16,561	349,3980265	57,55707253	21,53	1239,203772
16,561	347,7766812	57,69086292	24,58	1418,04141
16,561	346,1477416	57,82622392	23,07	1334,050986
16,561	344,5111001	57,96318905	30,88	1789,903278
16,561	342,8666463	58,10179286	26,98	1567,586371

16,561	341,2142673	58,24207099	29,13	1696,591528
16,561	339,5538474	58,3840602	29,04	1695,473108
16,561	337,885268	58,52779845	36,23	2120,462138
16,561	336,2084077	58,67332492	38,67	2268,897475
16,561	334,5231419	58,82068005	38,41	2259,302321
16,561	332,829343	58,96990564	40,1	2364,693216
16,561	331,1268799	59,12104488	38,48	2274,977807
16,561	329,4156185	59,27414241	39,58	2346,070557
16,561	327,6954207	59,42924439	35,47	2107,955298
14,478	325,9661452	55,71934955	37,2	2072,759803
14,478	324,2276467	55,86830291	37,7	2106,23502
14,478	322,479776	56,01927002	30,59	1713,62947
14,478	320,72238	56,17230046	26,04	1462,726704
14,478	318,9553011	56,32744554	26,51	1493,240581
14,478	317,1783775	56,48475846	34,19	1931,213892
14,478	315,3914428	56,64429438	47,85	2710,429486
14,478	313,594326	56,80611051	59,83	3398,709592
14,478	311,7868508	56,97026619	53,43	3043,921322
14,478	309,9688362	57,13682304	35,67	2038,070478
14,478	308,1400955	57,30584504	31,67	1814,876112
14,478	306,3004367	57,47739867	30,95	1778,925489
14,478	304,4496619	57,65155303	36,85	2124,459729
14,478	302,5875669	57,82837997	42,55	2460,597568
14,478	300,7139417	58,00795426	40,83	2368,464772
14,478	298,8285693	58,19035371	51,23	2981,09182
14,478	296,9312258	58,37565936	51,22	2990,001272
14,478	295,0216804	58,56395567	67,17	3933,740902
14,478	293,0996946	58,75533066	50,68	2977,720158
13,183	291,165022	56,25602878	58,11	3269,037833
13,183	289,2174081	56,44483033	47,56	2684,51613
13,183	287,2565895	56,63684527	50,06	2835,240474
13,183	285,282294	56,83217344	45,82	2604,050187
13,183	283,2942398	57,03091922	39,36	2244,73698
13,183	281,2921353	57,23319178	34,6	1980,268435
13,183	279,2756782	57,43910542	30,48	1750,743933
13,183	277,2445554	57,64877989	28,73	1656,249446
16,332	275,1984422	64,39065093	32,98	2123,603668
16,332	273,1370016	64,63268183	31,87	2059,84357
16,332	271,059884	64,87933485	26,27	1704,380126
16,332	268,9667262	65,13077137	25,13	1636,736285
16,332	266,8571507	65,38716107	28,21	1844,571814
16,332	264,730765	65,64868245	29,92	1964,208579
16,332	262,5871607	65,91552346	28,66	1889,138902



16,332	260,4259128	66,18788215	40,38	2672,666681
16,332	258,2465781	66,46596741	40,18	2670,60257
16,332	256,0486949	66,74999975	42,92	2864,909989
16,332	253,8317814	67,04021217	46,67	3128,766702
16,332	251,5953344	67,33685107	45,07	3034,871878
16,332	249,3388285	67,64017731	46,49	3144,591843
20,193	247,0617138	75,53637961	72,28	5459,769518
20,193	244,7634154	75,88918575	38,49	2920,97476
20,193	242,4433307	76,25039798	38,84	2961,565457
20,193	240,1008281	76,62038396	47,08	3607,287677
17,018	237,735245	70,70366524	35,52	2511,394189
17,018	235,3458854	71,06077943	58,77	4176,242007
17,018	232,9320176	71,42710794	33,66	2404,236453
17,018	230,4928717	71,80308791	49,52	3555,688913
17,018	228,0276364	72,18918706	51,51	3718,465026
17,018	225,5354563	72,58590663	35,26	2559,379068
17,018	223,015428	72,99378448	33,19	2422,663707
21,438	220,4665965	82,36887831	104,26	8587,779253
21,438	217,8879511	82,85320887	148,45	12299,55886
21,438	215,2784204	83,35214274	78,63	6553,978984
26,314	212,6368674	92,87916487	74,02	6874,915784
26,314	204,5075905	94,69915426	23,31	2207,437286
26,314	201,7250446	95,34713366	256,58	24464,16755
26,314	198,9035764	96,01794962	29,56	2838,290591
26,314	196,0415052	96,71309388	42,04	4065,818467
26,314	193,137026	97,43420322	33,84	3297,173437
26,314	190,188196	98,18307845	15,58	1529,692362
26,314	187,1929191	98,9617066	20,25	2003,974559
26,314	184,1489289	99,77228694	39,62	3952,978009
26,314	181,0537685	100,6172617	24,98	2513,419196
26,314	177,9047671	101,4993522	19,41	1970,102425
21,107	174,6990132	91,77704999	15,03	1379,409061
21,107	171,4333232	92,64340162	12,83	1188,614843
21,107	168,1042039	93,55232854	14,77	1381,767893
21,107	164,7078092	94,50775386	11,92	1126,532426
21,107	161,239888	95,51414539	12,35	1179,599696
21,107	157,6957214	96,57661903	19,47	1880,346773
21,107	154,0700478	97,70106745	18,34	1791,837577
21,107	150,3569709	98,89432196	19,59	1937,339767
21,107	146,5498473	100,1643582	16,99	1701,792446
21,107	142,641147	101,5205607	23,57	2392,839615
21,107	138,6222777	102,9740668	46,33	4770,788514
16,205	134,4833631	91,65553613	17,51	1604,888438

16,205	130,2129564	93,14002315	16,01	1491,171771
16,205	125,7976672	94,75333387	23,13	2191,644612
16,205	121,2216653	96,51711458	24,2	2335,714173
16,205	116,4660088	98,45869401	27,3	2687,922347
13,614	111,507714	92,25650125	29,67	2737,250392
13,614	106,3184337	94,47145601	22,49	2124,663046
13,614	100,8625223	96,98134857	22,72	2203,416239
13,614	95,09409799	99,86543041	23,36	2332,856454
11,024	88,95238355	92,94662117	24,19	2248,378766
11,024	82,35390461	96,58197696	24,91	2405,857046
11,024	75,17848543	101,0638763	27,92	2821,703426
8,56	67,24168154	94,19659528	37,26	3509,76514
8,56	58,23300441	101,1865398	41,69	4218,466846
8,56	47,547049	111,9177436	2,662	297,9250335
8,56	33,62084077	132,9232042	1,331	176,9207849

**Cuadro 7.** Cálculo del golpe de ariete para el proyecto Cortadera.

Largo total m	Celeridad	Factor K HDPE	Golpe de ariete (vel 1,5 m s <sup>-1</sup> ) kPa
5534,993	97,56944682	1400	146,3541

**Cuadro 8.** Memoria de cálculo del diseño de las tuberías del canal Mal Paso.

<b>Material</b>	<b>Largo</b>	<b>Flujo</b>	<b>Velocidad</b>	<b>Pérdida</b>	<b>Presión de Salida</b>
	m	L seg <sup>-1</sup>	m seg <sup>-1</sup>	kPa	kPa
18" (450mm) HDPE SDR 26	93,24	182	1,314	2,49	5,15
18" (450mm) HDPE SDR 26	217,03	182	1,314	5,81	12,58
18" (450mm) HDPE SDR 26	94,1	179,4	1,295	2,45	15,51
18" (450mm) HDPE SDR 26	65,96	179,4	1,295	1,72	17,32
18" (450mm) HDPE SDR 26	67,31	176,8	1,277	1,71	19,15
18" (450mm) HDPE SDR 26	101,39	176,8	1,277	2,57	21,38
18" (450mm) HDPE SDR 26	37,04	174,2	1,258	0,91	22,13
18" (450mm) HDPE SDR 26	44,55	174,2	1,258	1,10	25,14
18" (450mm) HDPE SDR 26	52,37	171,6	1,239	1,26	25,65
18" (450mm) HDPE SDR 26	45,82	171,6	1,239	1,10	25,82
18" (450mm) HDPE SDR 26	34,94	169	1,22	0,81	26,28
18" (450mm) HDPE SDR 26	34,09	169	1,22	0,79	26,76
18" (450mm) HDPE SDR 26	37,55	166,4	1,202	0,85	27,18
18" (450mm) HDPE SDR 26	39,02	166,4	1,202	0,88	27,66
18" (450mm) HDPE SDR 26	41,41	163,8	1,183	0,91	27,93
18" (450mm) HDPE SDR 26	37,65	163,8	1,183	0,83	28,08
18" (450mm) HDPE SDR 26	28,93	161,2	1,164	0,62	28,34
18" (450mm) HDPE SDR 26	30,75	161,2	1,164	0,66	28,57
18" (450mm) HDPE SDR 26	26,98	158,6	1,145	0,56	28,66
16" (400mm) HDPE SDR 26	25,42	158,6	1,449	0,93	28,70
16" (400mm) HDPE SDR 26	31,4	156	1,426	1,12	28,66
16" (400mm) HDPE SDR 26	36,89	156	1,426	1,31	28,43
16" (400mm) HDPE SDR 26	35,37	153,4	1,402	1,23	28,18
16" (400mm) HDPE SDR 26	30,02	153,4	1,402	1,04	28,13
16" (400mm) HDPE SDR 26	32,5	150,8	1,378	1,09	27,72
16" (400mm) HDPE SDR 26	22,78	150,8	1,378	0,77	27,65
16" (400mm) HDPE SDR 26	20,43	148,2	1,354	0,67	27,58
16" (400mm) HDPE SDR 26	18,76	148,2	1,354	0,61	27,65
16" (400mm) HDPE SDR 26	20,71	145,6	1,33	0,65	27,60
16" (400mm) HDPE SDR 26	19,21	145,6	1,33	0,61	27,67
16" (400mm) HDPE SDR 26	20,36	143	1,307	0,62	27,84
16" (400mm) HDPE SDR 26	22,35	143	1,307	0,68	27,75
16" (400mm) HDPE SDR 26	16,46	140,4	1,283	0,48	28,24
16" (400mm) HDPE SDR 26	26,23	140,4	1,283	0,77	28,26
16" (400mm) HDPE SDR 26	21,53	137,8	1,259	0,61	28,63
16" (400mm) HDPE SDR 26	24,58	137,8	1,259	0,70	28,81
16" (400mm) HDPE SDR 26	23,07	135,2	1,235	0,64	29,45
16" (400mm) HDPE SDR 26	30,88	135,2	1,235	0,84	29,78
16" (400mm) HDPE SDR 26	26,98	132,6	1,212	0,72	30,34
16" (400mm) HDPE SDR 26	29,13	132,6	1,212	0,77	30,94

16" (400mm) HDPE SDR 26	29,04	130	1,188	0,75	31,96
16" (400mm) HDPE SDR 26	36,23	130	1,188	0,92	33,09
16" (400mm) HDPE SDR 26	38,67	127,4	1,164	0,95	34,20
16" (400mm) HDPE SDR 26	38,41	127,4	1,164	0,94	35,60
16" (400mm) HDPE SDR 26	40,1	124,8	1,14	0,95	37,10
16" (400mm) HDPE SDR 26	38,48	124,8	1,14	0,91	38,84
16" (400mm) HDPE SDR 26	39,58	122,2	1,117	0,90	40,48
16" (400mm) HDPE SDR 26	35,47	122,2	1,117	0,81	42,37
14" (350mm) HDPE SDR 26	37,2	119,6	1,427	1,56	43,75
14" (350mm) HDPE SDR 26	37,7	119,6	1,427	1,58	44,72
14" (350mm) HDPE SDR 26	30,59	117	1,396	1,23	45,74
14" (350mm) HDPE SDR 26	26,04	117	1,396	1,05	47,05
14" (350mm) HDPE SDR 26	26,51	114,4	1,365	1,02	49,27
14" (350mm) HDPE SDR 26	34,19	114,4	1,365	1,31	52,65
14" (350mm) HDPE SDR 26	47,85	111,8	1,334	1,77	57,24
14" (350mm) HDPE SDR 26	59,83	111,8	1,334	2,22	61,01
14" (350mm) HDPE SDR 26	53,43	109,2	1,303	1,89	63,43
14" (350mm) HDPE SDR 26	35,67	109,2	1,303	1,27	66,08
14" (350mm) HDPE SDR 26	31,67	106,6	1,272	1,07	69,02
14" (350mm) HDPE SDR 26	30,95	106,6	1,272	1,05	72,87
14" (350mm) HDPE SDR 26	36,85	104	1,241	1,20	77,66
14" (350mm) HDPE SDR 26	42,55	104	1,241	1,38	82,25
14" (350mm) HDPE SDR 26	40,83	101,4	1,21	1,27	88,72
14" (350mm) HDPE SDR 26	51,23	101,4	1,21	1,59	95,26
14" (350mm) HDPE SDR 26	51,22	98,8	1,179	1,51	105,02
14" (350mm) HDPE SDR 26	67,17	98,8	1,179	1,98	111,94
14" (350mm) HDPE SDR 26	50,68	96,2	1,148	1,42	120,94
12" (300mm) HDPE SDR 26	58,11	96,2	1,384	2,57	127,38
12" (300mm) HDPE SDR 26	47,56	93,6	1,347	2,00	135,07
12" (300mm) HDPE SDR 26	50,06	93,6	1,347	2,10	142,09
12" (300mm) HDPE SDR 26	45,82	91	1,309	1,82	148,19
12" (300mm) HDPE SDR 26	39,36	91	1,309	1,57	153,77
12" (300mm) HDPE SDR 26	34,6	88,4	1,272	1,31	158,73
12" (300mm) HDPE SDR 26	30,48	88,4	1,272	1,16	163,64
12" (300mm) HDPE SDR 26	28,73	85,8	1,234	1,03	169,57
12" (300mm) HDPE SDR 21	32,98	85,8	1,288	1,31	175,11
12" (300mm) HDPE SDR 21	31,87	83,2	1,249	1,20	179,59
12" (300mm) HDPE SDR 21	26,27	83,2	1,249	0,99	183,99
12" (300mm) HDPE SDR 21	25,13	80,6	1,21	0,89	189,26
12" (300mm) HDPE SDR 21	28,21	80,6	1,21	1,00	194,43
12" (300mm) HDPE SDR 21	29,92	78	1,171	1,00	199,90
12" (300mm) HDPE SDR 21	28,66	78	1,171	0,96	205,21
12" (300mm) HDPE SDR 21	40,38	75,4	1,132	1,27	212,65

12" (300mm) HDPE SDR 21	40,18	75,4	1,132	1,27	220,01
12" (300mm) HDPE SDR 21	42,92	72,8	1,093	1,27	227,85
12" (300mm) HDPE SDR 21	46,67	72,8	1,093	1,37	236,17
12" (300mm) HDPE SDR 21	45,07	70,2	1,054	1,25	244,13
12" (300mm) HDPE SDR 21	46,49	70,2	1,054	1,29	252,15
12" (300mm) HDPE SDR 17	72,28	67,6	1,071	2,12	263,63
12" (300mm) HDPE SDR 17	38,49	67,6	1,071	1,13	269,36
12" (300mm) HDPE SDR 17	38,84	65	1,03	1,06	274,96
12" (300mm) HDPE SDR 17	47,08	65	1,03	1,29	281,06
10" (250mm) HDPE SDR 17	35,52	62,4	1,391	2,05	284,29
10" (250mm) HDPE SDR 17	58,77	62,4	1,391	3,39	288,64
10" (250mm) HDPE SDR 17	33,66	59,8	1,333	1,80	290,76
10" (250mm) HDPE SDR 17	49,52	59,8	1,333	2,65	293,11
10" (250mm) HDPE SDR 17	51,51	57,2	1,275	2,54	327,39
10" (250mm) HDPE SDR 17	35,26	57,2	1,275	1,74	362,46
10" (250mm) HDPE SDR 17	33,19	54,6	1,217	1,50	427,64
10" (250mm) HDPE SDR 13,5	104,26	54,6	1,312	5,67	502,94
10" (250mm) HDPE SDR 13,5	148,45	52	1,25	7,39	535,81
10" (250mm) HDPE SDR 13,5	78,63	52	1,25	3,91	565,10
10" (250mm) HDPE SDR 11	74,02	46,8	1,226	3,75	568,70
10" (250mm) HDPE SDR 11	23,31	46,8	1,226	1,18	569,86
10" (250mm) HDPE SDR 11	256,58	44,2	1,158	11,71	581,18
10" (250mm) HDPE SDR 11	29,56	44,2	1,158	1,35	582,38
10" (250mm) HDPE SDR 11	42,04	41,6	1,09	1,72	584,19
10" (250mm) HDPE SDR 11	33,84	41,6	1,09	1,38	585,55
10" (250mm) HDPE SDR 11	15,58	39	1,022	0,57	586,35
10" (250mm) HDPE SDR 11	20,25	39	1,022	0,74	587,29
10" (250mm) HDPE SDR 11	39,62	36,4	0,954	1,28	589,24
10" (250mm) HDPE SDR 11	24,98	36,4	0,954	0,80	590,59
10" (250mm) HDPE SDR 11	19,41	33,8	0,886	0,55	591,54
8" (200mm) HDPE SDR 11	15,03	33,8	1,376	1,22	591,60
8" (200mm) HDPE SDR 11	12,83	31,2	1,27	0,90	591,78
8" (200mm) HDPE SDR 11	14,77	31,2	1,27	1,04	592,01
8" (200mm) HDPE SDR 11	11,92	28,6	1,164	0,72	592,38
8" (200mm) HDPE SDR 11	12,35	28,6	1,164	0,74	592,72
8" (200mm) HDPE SDR 11	19,47	26	1,058	0,98	593,41
8" (200mm) HDPE SDR 11	18,34	26	1,058	0,92	594,14
8" (200mm) HDPE SDR 11	19,59	23,4	0,953	0,81	595,09
8" (200mm) HDPE SDR 11	16,99	23,4	0,953	0,71	595,95
8" (200mm) HDPE SDR 11	23,57	20,8	0,847	0,79	597,41
8" (200mm) HDPE SDR 11	46,33	20,8	0,847	1,56	600,24
6" (150mm) HDPE SDR 11	17,51	18,2	1,255	1,65	600,36
6" (150mm) HDPE SDR 11	16,01	18,2	1,255	1,51	600,52

6" (150mm) HDPE SDR 11	23,13	15,6	1,076	1,65	601,32
6" (150mm) HDPE SDR 11	24,2	15,6	1,076	1,73	602,24
6" (150mm) HDPE SDR 11	27,3	13	0,897	1,40	603,94
5" (125mm) HDPE SDR 11	29,67	13	1,272	3,53	603,94
5" (125mm) HDPE SDR 11	22,49	10,4	1,018	1,80	604,99
5" (125mm) HDPE SDR 11	22,72	10,4	1,018	1,81	606,13
5" (125mm) HDPE SDR 11	23,36	7,8	0,763	1,11	608,20
4" (100mm) HDPE SDR 11	24,19	7,8	1,167	3,19	608,35
4" (100mm) HDPE SDR 11	24,91	5,2	0,778	1,59	610,49
4" (100mm) HDPE SDR 11	27,92	5,2	0,778	1,78	612,98
3" (80mm) HDPE SDR 11	37,26	2,6	0,643	2,30	616,86
3" (80mm) HDPE SDR 11	41,69	2,6	0,643	2,56	621,75

**Cuadro 9.** Memoria de cálculo de los componentes que permiten calcular el golpe de ariete en tuberías complejas para el proyecto Mal Paso.

Grosor de la Pared	Diámetro Medio	Celeridad	Largo	Celeridad x Largo
mm	mm		m	
13,183	310,6675	54,4643175	679	36981,27158
13,792	259,258	60,97049523	69,95	4264,886142
13,792	259,258	60,97049523	41,1	2505,887354
13,792	259,258	60,97049523	35,67	2174,817565
13,792	259,258	60,97049523	39,59	2413,821906
13,792	259,258	60,97049523	20,43	1245,627218
13,792	259,258	60,97049523	28,31	1726,07472
13,792	259,258	60,97049523	43,83	2672,336806
13,792	259,258	60,97049523	46,24	2819,2757
13,792	259,258	60,97049523	88,25	5380,646204
13,792	259,258	60,97049523	40,15	2447,965384
13,792	251,6125	61,8881623	50,01	3095,026996
13,792	251,6125	61,8881623	42,2	2611,680449
13,792	251,6125	61,8881623	34,37	2127,096138
11,074	201,879	61,9108056	22,04	1364,514155
11,074	201,879	61,9108056	35,85	2219,502381
11,074	201,879	61,9108056	153,53	9505,165983
11,074	201,879	61,9108056	65,26	4040,299173
11,074	201,879	61,9108056	57,97	3588,9694
11,074	201,879	61,9108056	39,68	2456,620766
11,074	201,879	61,9108056	37,85	2343,323992
11,074	201,879	61,9108056	39,34	2435,571092
11,074	201,879	61,9108056	60,55	3748,699279
11,074	201,879	61,9108056	18,3	1132,967742

11,074	208,0005	60,99467686	105,84	6455,676599
11,074	208,0005	60,99467686	273,17	16661,91588
11,074	208,0005	60,99467686	59,55	3632,233007
11,074	208,0005	60,99467686	67,74	4131,779411
13,64	205,435	68,09939857	56,5	3847,616019
13,64	205,435	68,09939857	31,38	2136,959127
13,64	205,435	68,09939857	35,12	2391,650878
13,64	205,435	68,09939857	47,06	3204,757697
10,49	157,785	68,14398757	81,43	5548,964908
10,49	157,785	68,14398757	58,87	4011,636548
10,49	157,785	68,14398757	36,41	2481,122588
10,49	157,785	68,14398757	86,98	5927,164039
10,49	157,785	68,14398757	69,9	4763,264731
10,49	157,785	68,14398757	59,13	4029,353985
10,49	157,785	68,14398757	105,94	7219,174043
10,49	157,785	68,14398757	53,65	3655,924933
8,814	132,4865	68,16681953	67,28	4586,263618
8,814	132,4865	68,16681953	11,5	783,9184246
7,137	107,1625	68,20374325	53,57	3653,674526
7,137	107,1625	68,20374325	54,64	3726,652531
6,985	103,2765	68,73002226	66,6	4577,419483
6,985	80,34	77,89987456	1029,6	80205,71085
3,302	43,612	72,7091499	64,8	4711,552913
3,302	43,612	72,7091499	70,94	5157,987094
3,302	43,612	72,7091499	59,62	4334,919517

**Cuadro 10.**Calculo del golpe de ariete en el proyecto Mal Paso.

Largo total (m)	Celeridad	Factor K HDPE	Golpe de ariete (vel. 1,5 m s <sup>-1</sup> )
m			kPa
4496,69	66,0796	1400	99,1192

## Apéndice VI

### Cotizaciones de los proyectos

**Cuadro 11.** Cotización de precios para el diseño del entubamiento de Cortadera.

ITEM	Cantidad	Precio (pesos)
<b>a) Tuberías HDPE</b>	<b>metros</b>	
14" SDR 26	960	
14" SDR 21	403.78	
12" SDR 21	241.03	
12" SDR 17	1094.46	
12" SDR 13,5	453.98	
10" SDR 13,5	450.16	
10" SDR 11	133.31	
10" SDR 9	44.78	
10" SDR 7,3	280.64	
8" SDR 7,3	281.04	
6" SDR 7,3	675.5	
3" SDR 7,3	36	
		108.914.500
<b>b) Reducción HDPE</b>	<b>unidades</b>	
350mm a 300mm	1	
300mm a 250mm	1	
250mm a 200mm	1	
200mm a 150mm	1	
		123.500
<b>Hidrante de riego tipo H con 2 salidas marca BERMAD</b>		
<b>c) Código según catálogo serie 900</b>	<b>unidades</b>	
9H2*10*02*24*_*_	36	
		7.200.000
<b>e) Spigot Electro fusión</b>	<b>unidades</b>	
	36	
		2.533.000
<b>f) Canal desarenador por decantación (Caudal 108 l/s) de concreto</b>	<b>unidades</b>	
100m x 2m x 1m (L x Anch. x Alt) pend 0,000002% (T.res=27min)	1	
		3.000.000
<b>g) Cámara de ingreso a tubería de concreto con malla</b>	1	300.000
<b>h) Válvula elastomérica 350mm con uniones en brida</b>	1	600.000



i) <b>Compuerta de regulación de caudal tipo Parshall (1m x 0,6 m)</b>	2	500.000
j) <b>Fletes e ingeniería de diseño</b>	1	48.068.400
<b>TOTAL (\$)</b>		<b>168.239.400</b>

**Cuadro 12.** Cotización de obras y materiales de soporte para el entubamiento del canal Cortadera.

<b>Excavación</b>	<b>Encamado</b>	<b>Soldadura</b>	<b>Estabilizado</b>	<b>Relleno</b>
10.037.360	4.542.219	15.056.040	21.197.022	1.053.922
<b>TOTAL (\$)</b>				<b>51.886.563</b>

**Cuadro 13.** Cotización de precios para el diseño del entubamiento del proyecto Mal Paso.

<b>ITEM</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio (pesos)</b>
<b>a) Tuberías HDPE</b>	<b>metros</b>	
18" SDR 26	1130.12	
16" SDR 26	831.02	
14" SDR 26	792.11	
12" SDR 26	58	
12" SDR 21	446.72	
12" SDR 17	196.07	
10" SDR 17	310.96	
10" SDR 13,5	284.7	
10" SDR 11	638.31	
8" SDR 11	184.26	
6" SDR 11	281.46	
3" SDR 7,3	70	
		129.112.345
<b>b) Reducción HDPE</b>	<b>unidades</b>	
450mm a 400mm	1	
400mm a 350mm	1	
350mm a 300mm	1	
300mm a 250mm	1	
250mm a 200mm	1	
200mm a 150mm	1	
		263.210

c) <b>Hidrante de riego tipo H con 2 salidas marca BERMAD</b> <b>Código según catálogo serie 900</b> 9H2*10*02*24*_*_*	<b>unidades</b> 70	14.000.000
e) <b>Spigot Electro Fusión</b>	<b>unidades</b> 60	5.034.445
f) <b>Canal desarenador por decantación (Caudal 182 l/s) de concreto</b> 150m x 2m x 1m (L x Anch. x Alt) (T.res=27min)	<b>unidades</b> 1	3.000.000
g) <b>Cámara de ingreso a tubería de concreto con malla</b>	1	300.000
h) <b>Válvula Elastomérica 450mm con uniones en brida</b>	1	750.000
i) <b>Compuerta de regulación de caudal tipo Parshall(1m x 0,6 m)</b>	2	500.000
j) <b>Fletes e Ingeniería de diseño</b>	1	61.184.000
<b>TOTAL (\$)</b>		<b>214.144.000</b>

**Cuadro 14.** Cotización de obras y materiales de soporte para el entubamiento del proyecto Mal Paso.

<b>Excavación</b>	<b>Encamado</b>	<b>Soldadura</b>	<b>Estabilizado</b>	<b>Relleno</b>
10.307.470	4.664.447	15.461.190	21.767.422	1.082.283
<b>TOTAL (\$)</b>				<b>\$53.282.812</b>

## Apéndice V

### Flujos de caja de los proyectos

**Cuadro 15.** Flujo de caja y cálculo de la TIR y el VAN para el proyecto Mal Paso.

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>INGRESOS Y COSTOS AFECTOS A IMPUESTO</b>											
<b>ingresos del proyecto</b>											
Ahorro en energía para riego	0	23.930.914	23.930.914	23.930.914	23.930.914	23.930.914	23.930.914	23.930.914	23.930.914	23.930.914	23.930.914
Ahorro en agua a valor de mercado	0	105.515.460	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>EGRESOS E INGRESOS NO AFECTOS A IMPUESTO</b>											
Activo Fijo (Inversión Inicial)	-206.242.812	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Activo Nominal (Ingeniería y fletes)	-61.184.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capital de Trabajo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	-267.426.812										
<b>COSTOS DEL PROYECTO</b>											
Costos fijos (Mantenimiento y reparación)	0	-800.000	-800.000	-800.000	-800.000	-800.000	-800.000	-800.000	-800.000	-800.000	-800.000
Amortización de Activo nominal	0	6.118.400	6.118.400	6.118.400	6.118.400	6.118.400	6.118.400	6.118.400	6.118.400	6.118.400	6.118.400
Depreciación de activo Fijo	0	10.312.141	10.312.141	10.312.141	10.312.141	10.312.141	10.312.141	10.312.141	10.312.141	10.312.141	10.312.141
Impuesto a la utilidad	0	-24.663.075	-6.725.447	-6.725.447	-6.725.447	-6.725.447	-6.725.447	-6.725.447	-6.725.447	-6.725.447	-6.725.447
utilidad después de impuesto	0	120.413.839	32.836.007	32.836.007	32.836.007	32.836.007	32.836.007	32.836.007	32.836.007	32.836.007	32.836.007
<b>FLUJO NETO DE CAJA</b>	<b>-206.242.812</b>	120413839	32836007	32836007	32836007	32836007	32836007	32836007	32836007	32836007	32836007
<b>VAN</b>	\$ 61.545.307,91										
<b>TIR</b>	21%										
	Electric. (\$/kW)	Diésel (\$/L)	Agua (\$/m <sup>3</sup> )								
*Precios considerados	60,842	636	900								
	(+ ) 18467 \$ kW <sub>malaño</sub> <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>										







**Cuadro 19.** Flujo de caja y cálculo de la TIR y el VAN para el proyecto Cortadera.

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>INGRESOS Y COSTOS AFECTOS A IMPUESTO</b>											
<b>Ingresos del proyecto</b>											
Ahorro en energía para riego	0	14.737.720	14.737.720	14.737.720	14.737.720	14.737.720	14.737.720	14.737.720	14.737.720	14.737.720	14.737.720
Ahorro en agua a valor de mercado	0	167.731.560	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>EGRESOS E INGRESOS NO AFECTOS A IMPUESTO</b>											
Activo Fijo (Inversión Inicial)	-172.057.563	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Activo Nominal (Ingeniería y fletes)	-48.068.400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capital de Trabajo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	-220.125.963										
<b>COSTOS DEL PROYECTO</b>											
Mantenimiento y reparación	0	-620.000	-620.000	-620.000	-620.000	-620.000	-620.000	-620.000	-620.000	-620.000	-620.000
Amortización de Activo nominal	0	4.806.840	4.806.840	4.806.840	4.806.840	4.806.840	4.806.840	4.806.840	4.806.840	4.806.840	4.806.840
Depreciación de activo Fijo	0	8.602.878	8.602.878	8.602.878	8.602.878	8.602.878	8.602.878	8.602.878	8.602.878	8.602.878	8.602.878
Impuesto a la utilidad	0	-33.194.030	-4.679.664	-4.679.664	-4.679.664	-4.679.664	-4.679.664	-4.679.664	-4.679.664	-4.679.664	-4.679.664
utilidad después de impuesto	0	162.064.968	22.847.774	22.847.774	22.847.774	22.847.774	22.847.774	22.847.774	22.847.774	22.847.774	22.847.774
<b>FLUJO NETO DE CAJA</b>	<b>-172.057.563</b>	162064968	22847774	22847774	22847774	22847774	22847774	22847774	22847774	22847774	22847774
<b>VAN</b>	\$ 80.855.782,87										
<b>TIR</b>	32%										
	Electric. (\$/kW)	Diésel (\$/L)	Agua (\$/m <sup>3</sup> )								
*Precios considerados	60,842	636	900								
	(+ ) 18467 \$ kW <sub>instalado</sub> <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>										





**Cuadro 21.** Flujo de caja y cálculo de la TIR y el VAN para el proyecto Cortadera, con el precio de la energía igualado a cero.

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>INGRESOS Y COSTOS AFECTOS A IMPUESTO</b>											
<b>ingresos del proyecto</b>											
Ahorro en energía para riego	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ahorro en agua a valor de mercado	0	167.731.560	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>EGRESOS E INGRESOS NO AFECTOS A IMPUESTO</b>											
Activo Fijo (Inversión Inicial)	-172.057.563	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Activo Nominal (Ingeniería y fletes)	-48.068.400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capital de Trabajo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>COSTOS DEL PROYECTO</b>											
Mantenimiento y reparación	0	-620.000	-620.000	-620.000	-620.000	-620.000	-620.000	-620.000	-620.000	-620.000	-620.000
Amortización de Activo nominal	0	4.806.840	4.806.840	4.806.840	4.806.840	4.806.840	4.806.840	4.806.840	4.806.840	4.806.840	4.806.840
Depreciación de activo Fijo	0	8.602.878	8.602.878	8.602.878	8.602.878	8.602.878	8.602.878	8.602.878	8.602.878	8.602.878	8.602.878
Impuesto a la utilidad	0	-30.688.617	-2.174.252	-2.174.252	-2.174.252	-2.174.252	-2.174.252	-2.174.252	-2.174.252	-2.174.252	-2.174.252
utilidad después de impuesto	0	149.832.661	10.615.466	10.615.466	10.615.466	10.615.466	10.615.466	10.615.466	10.615.466	10.615.466	10.615.466
<b>FLUJO NETO DE CAJA</b>	<b>-172.057.563</b>	<b>149832660,9</b>	<b>10615466,0</b>	<b>10615466,0</b>	<b>10615466,0</b>	<b>10615466,0</b>	<b>10615466,0</b>	<b>10615466,0</b>	<b>10615466,0</b>	<b>10615466,0</b>	<b>10615466,1</b>
<b>VAN</b>	<b>\$</b>										
	15.155.480,93										
<b>TIR</b>	16%										
	Electric. (\$/kW)	Diésel (\$/L)	Agua (\$/m <sup>3</sup> )								
*Precios considerados	0	0	900								
	0	\$ kW instalado <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>									

