



Universidad de Chile
Facultad de Ciencias Agronómicas

Evaluación técnico económica del entubamiento presurizado de dos canales de riego en la comuna de Alto del Carmen, Región de Atacama.

Rodrigo Márquez Ing. Agrónomo.
Julio Haberland Ing. Agr. Ph. D.
Cristián Kremer Ing Agr. Ph D.

Este trabajo fue realizado en el marco de desarrollo del programa UCHILECREA-ATACAMA

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 de los proyectos mineros en desarrollo.

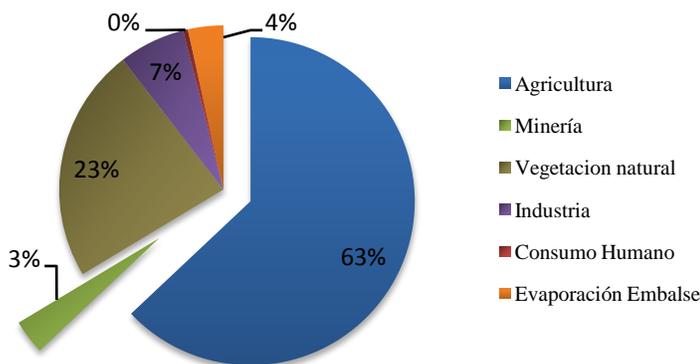


Figura 1. Distribución del uso del recurso hídrico en la cuenca del valle del Huasco (Martínez, 2012).

La búsqueda del uso eficiente del agua ha conducido a una alta adopción del riego tecnificado dentro de los predios (45% de goteo y 1% de microaspersión), mientras que en la conducción extrapredial, es decir los canales de riego, se ha optado frecuentemente por soluciones

subóptimas (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.

La inversión inicial es recuperable, incluso generando saldos positivos antes del décimo periodo, si al considerar en el flujo de caja los ahorros energéticos potenciales y la recuperación del recurso hídrico como ingresos, hoy desperdiciado en términos productivos.

Por otro lado, la alta demanda por el recurso agua ha permitido que el precio de agua se cotice hasta \$ 9.330.000 por acción, por lo que 1 m³ de disponibilidad 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 L • s⁻¹ de caudal en la Región de Atacama, lo que es equivalente a \$ 913 por m³ disponible de agua.

Bajo las condiciones de escasez hídrica, planteadas anteriormente, y dado el valor comercial del recurso hídrico en la cuenca, 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; menor robo de agua y además, se reducen los costos de mantenimiento y se posibilita la entrega del agua en forma presurizada (Valenzuela, 2008; Guzmán,

2008) como si fuera una matriz de riego trabajando con una bomba eléctrica.

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; posiblemente el factor social, plasmado en forma de desinterés, desconocimiento y desconfianza sean también un obstáculo a sortear para su incorporación.

Inversión inicial en un canal entubado versus ahorros potencial.

Se puede asumir que un proyecto de entubamiento presurizado lograría 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 uno de los arranques de cada usuario del entubamiento. 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, como documenta Guzmán (2008).

Materiales y método

Selección de canales

En un trabajo de selección de canales coordinado por UCHILECREA Atacama y con la participación de la Junta de Vigilancia del Río Huasco, se seleccionaron 2 canales con potencial de entubamiento y unificación a lo largo de la cuenca, usando como criterio la predisponibilidad de los usuarios a colaborar con el estudio, la topografía favorable y un número de usuarios relevante desde el punto de vista de superficie y utilización activa de sus derechos de agua.

Canal Cortadera. Ubicado en la Sección II, Valle El Tránsito (Figura 2). Considera unificar los canales Cortadera, de 1840 m del longitud; Martínez, de 1130 m; Álamos, de

860 m y Ventura, de 870 m, todos abastecidos directa o indirectamente por las aguas del río Chollay y que corren paralelos entre sí, a lo largo del valle. En conjunto, estos canales riegan una superficie de 18,4 hectáreas (DGA, 1995), presentándose la distribución de usuarios y sus acciones en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características del proyecto de canalización unificado Cortadera, volumen anual y caudal instantáneo.

Canal	Acciones	Usuarios	Volumen m ³ /año	Caudal L • s ⁻¹
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

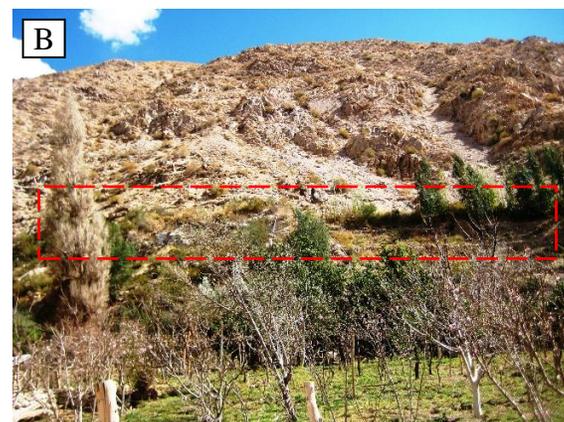


Figura 2. Fotografías del entorno del canal Cortadera. A) encajonamiento valle abajo, desde la bocatoma en el Río Chollay; B) Canal Cortadera en su recorrido por la ladera de los cerros del valle (recuadro rojo).

Canal Mal Paso. Localizado en la Sección I, Valle El Carmen (Figura 3). Considera al canal Mal Paso, de 3916 m de longitud, con bocatoma sobre el río homónimo del valle y al antiguo canal Hornitos, hoy fusionado como un brazo del Mal Paso. En conjunto estos canales riegan 48,3 hectáreas (DGA, 1995), presentándose la distribución de usuarios y sus acciones en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Características del proyecto de canalización unificado Mal Paso, volumen anual y caudal instantáneo.

Canal	Acciones	Usuarios	Volumen m ³ /año	Caudal L • s ⁻¹
Mal Paso	56	19	196.954	18,48
Hornitos	4	7	72.562	1,32
TOTAL	60	26	269.516	19,80



Figura 3. Entorno del canal Mal Paso. A) bocatoma del canal en el Río El Carmen, contiguo a un paredón rocoso; B) valle abajo, desde el canal Mal Paso Superior.

Una vez seleccionados los dos canales, se procedió a 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.

Resultados y discusión

La 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 mm•día⁻¹. El grupo de frutales promedia, durante ese mismo mes, 6,1 mm•día⁻¹. El grupo de hortalizas, con riego por goteo, promedia una demanda máxima de 7,17 mm•día⁻¹ netos. La alfalfa posee una demanda máxima de 8,13 mm• día⁻¹ con un sistema de riego por aspersión, también en enero.

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 mm •día⁻¹ de demanda neta; el grupo de frutales promedia durante ese mismo mes, 6,89 mm/día. El grupo de hortalizas promedia una demanda máxima en enero de 9,61 mm/día netos. La alfalfa posee una demanda máxima de 8,13 mm/día también en enero.

Para los cálculos de costo energético y diseño hidráulico se considera un consumo máximo neto de 8,63 mm/día (2,60 L•s⁻¹) y 9,73 mm/día (2,84 L•s⁻¹), para Mal Paso y Cortadera respectivamente, contemplando un escenario con la mayor evapotranspiración factible desde el punto de vista teórico.

El costo de regar

Los sistemas de riego tecnificados (goteo, aspersión y microaspersión) 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). Para evaluar los costos económicos de regar en la zona impactada por el estudio, se estimó 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 cuantificó con la ecuación 1, mientras que la cantidad de energía se consideró la ecuación 2.

$$CE = E \text{ (kW)} \bullet P \text{ (\$/kW)} \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde *CE* es el costo de la energía, *E* la energía consumida en kilowatts y *P* el precio por kilowatts.

$$kW = \frac{Q \text{ (L/s)} \bullet Ht \text{ (m)}}{102 \bullet Efb \bullet Efm} \text{(Ecuación 2)}$$

Donde la energía en kilowatts (*kW*) depende del caudal movilizado (*Q* ; en litros/segundo), la presurización aplicada o altura manométrica total, (*Ht*), la eficiencia de la bomba (*Efb*) y la eficiencia 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.

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. Según información del SERNAC, el precio del diésel en los últimos 12 meses, a septiembre de 2012, ha promediado \$ 636 / L (CNE, 2012). Este combustible posee un rendimiento energético de 10,72 kW • L⁻¹.

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 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. 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 pequeñas 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.

Se calcularon costos promedio de los diferentes cultivos factibles de cultivar en cada zona (cuadros 3 y 4), promediando \$ 199.553/ha con electricidad) y \$ 413.882/ha con diésel para la unificación Cortadera; y \$ 199.263/ha con electricidad y \$ 413.216/ha 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 y \$ 244.193/ha para Cortadera y Mal Paso, respectivamente.

Criterios del diseño de canales entubados

Dentro de los materiales adecuados para este tipo de proyectos se consideraron las tuberías de policloruro de vinilo (PVC) y las de polietileno de alta densidad (HDPE). Siendo este último el más adecuado dada la comparación técnica realizada.

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

Entre de los criterios de diseño, los cuatro más gravitantes considerados fueron la entrega de caudal, presurización del agua, golpe de ariete y diámetro de la tubería.

Cuadro 3. Cálculo del costo energético mínimo para regar cultivos tradicionales en la zona de Cortadera. Elaboración del autor basado en información de la CNR (1997), FAO (2006), FAO (2007) y Osorio et al. (2009).

Cortadera	Máx. Dem. neta (mm mes ⁻¹)	Demanda hídrica (mm temporada ⁻¹)	Presión de diseño (kPa)	Caudal de diseño (L s ⁻¹ ha ⁻¹)	Tiempo anual de riego (h)	Potencia instalada requerida (kW)		Costo anual (pesos ha ⁻¹)	
						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

Cuadro 4. Cálculo del costo energético mínimo para regar cultivos tradicionales en la zona de Mal Paso. Elaboración del autor basado en información de la CNR (1997), FAO (2006), FAO (2007) y Osorio et al. (2009).

Mal Paso	Máx. Dem. neta (mm mes ⁻¹)	Demanda hídrica (mm temporada ⁻¹)	Presión de diseño (kPa)	Caudal de diseño (L s ⁻¹ ha ⁻¹)	Tiempo anual de riego (h)	Potencia instalada requerida (kW)		Costo anual (pesos ha ⁻¹)	
						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 Pisquera	232,6	708,3	264,87	1,158	1699,0	0,8758	2,0435	113811,7	157899,0
Alfalfa	252,1	2097,4	353,16	1,255	4641,7	1,2657	2,9534	445702,8	614866,9

Entrega de caudal

Se buscó que cada usuario tuviera a disposición intrapredialmente, como mínimo, en todo momento el flujo de agua que le corresponde, según los derechos de agua en posesión, sin embargo, el diseño contempló una entrega de caudal que cubriera la demanda del cultivo más demandante en el mes de mayor demanda evapotranspirativa. Además, se consideró como superficie de riego toda el área adyacente al proyecto cuya pendiente fuera menor a 45%.

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

Presurización del agua

El caudal entregado debió tener una presión que la haga funcional al ser aplicada a sistemas de riego tecnificado. Se buscó una presión funcional de 196,2 kPa (20 mca), la cual puede impulsar 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 fue evaluado por sobrepresiones causadas por este fenómeno en el peor de los casos (cierre simultáneo de todos los arranques) para asegurar una vida útil lo más extensa posible. Como criterio de evaluación se consideró una velocidad de flujo normal de $1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ que se detiene ($0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) en un segundo.

Diámetro de la tubería

Se busca la minimización del diámetro de las tuberías utilizadas, permitiendo una optimización de costos en los materiales utilizados. El criterio dominante fue mantener la velocidad inferior a $1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Los diseños

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 $2,84 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ o $108,0 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ en total.

La velocidad promedio para el caudal anterior es de $1,20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ y la máxima velocidad es de $1,52 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. La presión dinámica en el primer arranque es de 254,2 kPa (25,9 mca), mientras que en el más alejado es de 1167,4 kPa (119,0 mca), siendo las pérdidas totales bajo flujo dinámico de 219,4 kPa en toda la tubería. El golpe de ariete para el diseño propuesto resultó ser una sobrepresión de 99,1 kPa (10,1 mca), para una velocidad de flujo de $1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

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 $2,6 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ o $182 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ en total.

La velocidad promedio del flujo interno es de $1,20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ y la máxima es de $1,45 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. 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. El golpe de ariete para las condiciones propuestas resultó en una sobrepresión de 146,4 kPa.

Los costos de construcción estimados, según las cotizaciones realizadas en reconocidas empresas del rubro pertinente, permitieron determinar costos totales para entubamientos del Canal Cortadera de \$ 220.125.963 y en Mal Paso de \$ 267.426.812, de los cuales \$ 48.068.400 y \$ 61.184.000, respectivamente, se consideran activos nominales.

Los ahorros en agua y energía

El área bajo riego, con una presión superior a 245,3 kPa (25,0 mca), 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; en el 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.

Adicionalmente, las pérdidas por ineficiencias de conducción de agua en canales abiertos promedian el 43,5% (CIREN, 2007 y Guzmán, 2008), lo que al

considerar el caudal de los canales en base a las acciones que se poseen, se pueden calcular pérdidas de agua de 186.368,4 m³/año, para Cortadera, y de 117.239,4m³/año, para Mal Paso. Tomando en consideración el precio máximo del agua en la zona (\$ 900 m⁻³), se obtienen pérdidas equivalentes a \$167.731.560, en Cortadera, y de \$105.515.460 en Mal Paso.

Análisis de rentabilidad y sensibilidad a la variación de los costos y ahorros

Para el caso de Cortadera se determinó un VAN de \$ 80.855.782 y una TIR de 32% (Cuadro 6). En Mal Paso se estimó un VAN de \$ 61.545.307 y una TIR de 21% (Cuadro 7). 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 6 y 7 permite indicar que para Cortadera, la inversión inicial se recuperaría luego del segundo periodo, mientras que para 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 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/año.

La sensibilidad al precio del agua influye en el VAN a una tasa de \$ 79.320 por cada peso en el que varía el precio de 1 m³ de agua, igualándose a cero cuando se alcanza un precio de \$ 124 /m³.

Respecto a los costos de construcción del proyecto, 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 variará en 1,73%, 1,16% y 2,73%, respectivamente, lo que permite concluir que este proyecto es por sobre todo sensible a la variación de los costos iniciales y en última instancia a la variación en el precio del agua.

En el caso de Cortadera, la sensibilidad a la disminución en el precio de la energía 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/año.

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 m³ de agua, igualándose a cero cuando se alcanza un precio de \$ 259 /m³.

Respecto a los costos de construcción del proyecto, el VAN presenta una tasa de variación inversa de cerca de \$ 0,43 por cada peso que varían los costos iniciales, 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 variará en 0,81%, 1,40% y 1,17% respectivamente, lo que permite concluir que este proyecto es por sobre todo sensible a la variación de los costos de la energía y, en última instancia a la variación en el precio del agua.

Cuadro 6. Flujo de caja en un periodo de 10 años para el proyecto Mal Paso.

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
INGRESOS Y COSTOS AFECTOS A IMPUESTO												
ingresos del proyecto												
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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
EGRESOS E INGRESOS NO AFECTOS A IMPUESTO												
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	
COSTOS DEL PROYECTO												
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	-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	-4.679.664	
utilidad después de impuesto	0	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	22.847.774	
FLUJO NETO DE CAJA	-172.057.563	22847773,66	22847773,66	22847773,66	22847773,66	22847773,66	22847773,66	22847773,66	22847773,66	22847773,66	22847773,66	
VAN	-\$ 32.626.217,98											
TIR	6%											
*Precios considerados	Electric. (\$/kW) 60,842	Diésel (\$/L) 636	Agua (\$/m ³) 0									
	(+ 18467 \$ kW _{instalado} ⁻¹ año ⁻¹)											

Cuadro 7. Flujo de caja en un periodo de 10 años para el proyecto Cortadera.

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
INGRESOS Y COSTOS AFECTOS A IMPUESTO												
ingresos del proyecto												
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	
EGRESOS E INGRESOS NO AFECTOS A IMPUESTO												
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											
COSTOS DEL PROYECTO												
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	
FLUJO NETO DE CAJA	-206.242.812	120413839	32836007	32836007	32836007	32836007	32836007	32836007	32836007	32836007	32836007	
VAN	\$ 61.545.307,91											
TIR	21%											
*Precios considerados	Electric. (\$/kW) 60,842	Diésel (\$/L) 636	Agua (\$/m ³) 900									
	(+ 18467 \$ kW _{instalado} ⁻¹ año ⁻¹)											

Aplicación en terreno

El entubamiento de canales, bajo las condiciones topográficas encontradas en la zona, permite a los agricultores conectarse a una matriz de riego presurizada, sin gastos de energía ni filtraje, en el caso del riego tecnificado; tampoco genera gastos importantes en mantenimiento de los acueductos y posibilita el control volumétrico del caudal entregado, previniendo conflictos respecto a los derechos de utilización entre los usufructuarios.

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 de alto valor comercial en la zona estudiada.

La inversión inicial es recuperable, incluso generando saldos positivos antes del décimo periodo, si se consideran en los flujos de caja, los ingresos por ahorro energético y del recurso hídrico, hoy desperdiciado en términos productivos.

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

Glosario

s	=	segundos
L	=	litros
m	=	metros
ha	=	hectárea
kW	=	kilo vatio
mm	=	milímetros
kPa	=	kilo pascales
mca	=	metros de columna de agua

Literatura

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. 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.shtm. 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. 4th 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.



Rodrigo Márquez. Ing. Agr.
Exalumno de la Universidad de Chile



Julio Haberland. Ing. Agr. Ph. D.
Profesor de la Universidad de Chile



Cristián Kremer. Ing. Agr. Ph. D.
Profesor de la Universidad de Chile

Valenzuela, G. 2008. Análisis comparado entre conducción abierta y entubada. Revista Chileriego 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.

EDITORES

Prof. Rodrigo Callejas. Ing. Agr. Dr. agr. sc.

Prof. Luis Sazo. Ing. Agr.

Prof. Ricardo Marchant. Ing. Agr. MBA.

Prof. Gabino Reginato. Ing. Agr. Mg.Sc.