



## Resultados y Lecciones en

# Reducción de Boro en Aguas de Riego

Proyecto de Innovación en  
**XV Región de Arica y Parinacota**





**Fundación para la Innovación Agraria**  
MINISTERIO DE AGRICULTURA



# **Resultados y Lecciones en Sistema para Reducir la Concentración de Boro en Aguas de Riego**



**Proyecto de Innovación en  
XV Región de Arica y Parinacota**

Valorización a febrero de 2009



---

SERIE EXPERIENCIAS DE INNOVACIÓN PARA EL EMPRENDIMIENTO AGRARIO

---

## Agradecimientos

En la realización de este trabajo agradecemos sinceramente la colaboración de los técnicos y profesionales vinculados al proyecto y a los participantes en las distintas actividades desarrolladas, en especial a:

- Camilo Urbina A., ingeniero agrónomo, ASITEC Ltda.
- Leonardo Figueroa T., profesor, Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad de Tarapacá, Arica.

## Resultados y Lecciones en

### **Sistema para Reducir la Concentración de Boro en Aguas de Riego**

Proyecto de Innovación en la XV Región de Arica y Parinacota

Serie **Experiencias de Innovación para el Emprendimiento Agrario**

**FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA**

Registro de Propiedad Intelectual N° 189.742

ISBN N° 978-956-328-056-2

ELABORACIÓN TÉCNICA DEL DOCUMENTO

Francisco Albornoz G. y Fernando Cartes M. – Cartes y Le-Bert Cía. Ltda.

(Capablanca Consultores Ltda.)

REVISIÓN DEL DOCUMENTO Y APORTES TÉCNICOS

Francisca Fresno y Gabriela Casanova - Fundación para la Innovación Agraria (FIA)

EDICIÓN DE TEXTOS

Gisela González Enei

DISEÑO GRÁFICO

Guillermo Feuerhake

IMPRESIÓN

Ograma Ltda.

Se autoriza la reproducción parcial de la información aquí contenida, siempre y cuando se cite esta publicación como fuente.

# Contenidos

---

---

|   |    |
|---|----|
| <b>Sección 1. Resultados y lecciones aprendidas</b> ..... | 5  |
| 1. Antecedentes.....                                      | 5  |
| 2. El valor de la herramienta desarrollada .....          | 8  |
| 2.1 La innovación tecnológica.....                        | 8  |
| 2.2 La conveniencia económica para el productor .....     | 9  |
| 3. Claves de viabilidad.....                              | 12 |
| 4. Asuntos por resolver.....                              | 13 |
| 5. Situación actual.....                                  | 13 |

---

|   |    |
|---|----|
| <b>Sección 2. El proyecto precursor</b> .....                               | 15 |
| 1. El entorno económico y social.....                                       | 15 |
| 2. El proyecto precursor .....  | 16 |
| 3. Resultados.....  | 18 |
| 4. Problemas enfrentados durante el desarrollo del proyecto precursor ..... | 19 |
| 5. Desarrollos posteriores .....  | 19 |

---

|   |    |
|---|----|
| <b>Sección 3. El valor del proyecto</b> ..... | 21 |
|---|----|

---

|  |    |
|--|----|
| <b>ANEXOS</b>  |    |
| 1. Concentración de boro en ríos del norte de Chile..... | 25 |
| 2. Factibilidad económica.....                           | 26 |
| 3. Literatura consultada.....                            | 27 |
| 4. Documentación disponible y contactos.....             | 28 |

---



## SECCIÓN 1

# Resultados y lecciones aprendidas

El presente libro tiene el propósito de compartir con los actores del sector los resultados, experiencias y lecciones aprendidas en un proyecto que se planteó para resolver el problema de las altas concentraciones de boro (B) presentes en el agua superficial y subterránea que se utiliza para riego, en el valle del río Lluta.

Se espera que esta información, que se ha sistematizado en la forma de una “innovación aprendida”,<sup>1</sup> aporte a los interesados una nueva herramienta que les permita mejorar la productividad de sus cultivos.

## ► 1. Antecedentes

Los análisis y resultados que se presentan en este documento han sido desarrollados a partir de las experiencias y lecciones aprendidas en la ejecución del proyecto de innovación (“proyecto precursor”)<sup>2</sup> “Desarrollo de un sistema económico para la reducción de la concentración de boro en aguas de varias cuencas problemáticas de la zona norte hasta niveles que viabilicen su uso en el riego para permitir una agricultura diversificada”. El proyecto fue financiado por FIA y ejecutado por la Universidad de Tarapacá y la empresa ASITEC Ltda., entre fines del año 2002 y principios de 2006, y contó con la participación de dos agricultores, como agentes asociados.

El objetivo principal de esta iniciativa fue desarrollar un sistema de bajo costo, que permitiera reducir la concentración de boro presente en el agua de riego del valle de Lluta, a fin de ser utilizada en un mayor número de especies y así aprovechar la potencialidad agroecológica del valle.

Para la ejecución de esta iniciativa se desarrolló un método capaz de remover el boro presente en el agua, que se implementó a escala piloto en predios del valle del río Lluta, y se evaluó su viabilidad técnica y económica para el cultivo de especies sensibles a este elemento. Este trabajo se basó en experiencias desarrolladas anteriormente por la Universidad de Tarapacá, en las cuales se pudo remover a muy bajo costo en laboratorio, más del 97% del boro presente en el agua, dada cualquier concentración inicial.

<sup>1</sup> “**Innovación aprendida**”: análisis de los resultados de proyectos orientados a generar un nuevo servicio o herramienta tecnológica. Este análisis incorpora la información validada del proyecto precursor, las lecciones aprendidas durante su desarrollo, los aspectos que quedan por resolver y una evaluación de los beneficios económicos de su utilización en el sector.

<sup>2</sup> “**Proyecto precursor**”: proyecto de innovación a escala piloto financiado e impulsado por FIA, cuyos resultados fueron evaluados a través de la metodología de valorización de resultados desarrollada por la Fundación, análisis que permite configurar la innovación aprendida que se da a conocer en el presente documento. Los antecedentes del proyecto precursor se detallan en la sección 2 de este documento.



El desarrollo de la actividad agrícola depende, entre otros factores, de la cantidad y calidad del agua disponible para riego. La calidad varía ampliamente de acuerdo a la cantidad y tipo de sales que contenga, ya que algunos compuestos salinos son tóxicos para las plantas; los más importantes para la agricultura son los cloruros, el sodio y el boro (Ayers & Westcot, 1994).

Los fenómenos tóxicos ocurren cuando ciertos compuestos químicos, tomados por la planta desde el suelo o agua de riego, se acumulan en las hojas durante el proceso de transpiración, hasta el punto que pueden provocarle daños. El grado del daño depende del tiempo de exposición, así como de la concentración del compuesto tóxico, sensibilidad del cultivo al compuesto y requerimientos hídricos de la planta.

Sin embargo, en cantidades adecuadas el boro es uno de los micronutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas superiores. Está involucrado en procesos como la formación de la pared celular, elongación del tubo polínico y transporte de azúcares, entre otros. No obstante, el rango entre déficit y toxicidad al boro es muy estrecho, por lo que la regulación entre la absorción y exclusión en la célula son fundamentales para mantener el equilibrio interno (PUC [en línea]).

Los síntomas de toxicidad por boro generalmente aparecen primero en las hojas viejas, que se tornan amarillas, con puntos amarillos o tejidos secos en las puntas y bordes de las hojas, síntomas que avanzan hacia el centro de la hoja (entre la nervadura) en la medida que la concentración de boro en los tejidos aumenta, lo cual afecta el crecimiento y rendimiento de los cultivos (Ayers & Westcot, *op. cit.*).

De acuerdo a la concentración máxima de boro en el agua de riego que pueden tolerar los cultivos sin que se afecte su crecimiento y producción, se pueden diferenciar las siguientes categorías (Ayers & Westcot, *op. cit.*):

- muy sensibles (< 0,5 mg/l): limonero, mora;
- sensibles (0,50 - 0,75 mg/l): avocado, pomelo, naranjo, damasco, duraznero, cerezo, ciruelo, higuera, vid, nogal, cebolla;



- moderadamente sensibles (1,00 - 2,00 mg/l): ajo, trigo, cebada, girasol, sésamo, frutilla, lupino, topinambur, poroto, maní;
- moderadamente tolerantes (2,00 - 4,00 mg/l): lechuga, repollo, apio, avena, maíz, alcachofa, tabaco, mostaza;
- tolerantes (4,00 - 6,00 mg/l): sorgo, tomate, alfalfa, perejil, remolacha;
- muy tolerantes (6,00 - 15,00 mg/l): algodón, espárrago.

El boro, presente en el suelo es altamente móvil y se lixivia con facilidad. Los factores que influyen la adsorción del boro a las partículas de suelo son: pH del suelo, textura, contenido de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, humedad y temperatura.

En Chile, una de las fuentes naturales de boro más importantes es la ulexita,<sup>3</sup> que se encuentra en importantes salares ubicados a gran altitud sobre el nivel del mar y a veces en zonas de cabecera de fuentes de aguas superficiales, como el de Surire en la provincia de Parinacota, (Figuroa *et al.*, 1998). Esto ha originado en distintos lugares del norte del país, valles de uso agrícola “boratados”, tanto en sus aguas como en sus suelos, particularmente en la provincia de Arica (FIA, 2006).

El contenido de boro en algunos ríos del norte del país fluctúa entre 10 y 40 mg/l y alcanza concentraciones de hasta 16 en el río Lluta y de 29 en el río Camarones (Anexo 1). Estas concentraciones de boro en el agua limitan fuertemente el potencial agrícola de estos valles, y en el caso específico de Arica, el problema también afecta a parte de la población que consume aguas con niveles superiores a 0,3 mg/l, que es la norma recomendada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para el agua potable. Al respecto, la legislación chilena en su norma de agua potable (NCh409<sup>4</sup>), no contempla un valor máximo permitido de boro para aguas de consumo humano, a diferencia de las normas de otras naciones y de lo señalado por la Organización Mundial de la Salud, OMS (Cuadro 1).

**CUADRO 1. Concentración máxima permitida de boro en agua para consumo humano, según normativas internacionales**

| País u organización, año                | Boro (mg/l) |
|---|-------------|
| Organización Mundial de la Salud (1995) | 0,3         |
| Colombia (1998)                         | 0,3         |
| Guatemala (1998)                        | 1,0         |
| Canadá (1995)                           | 5,0         |
| Reino Unido (1991)                      | 2,0         |
| Alemania (1990)                         | 1,0         |
| España (1990)                           | 1,0         |
| Italia (1985)                           | 1,0         |

En el agua el boro se presenta en forma de anión borato, soluto muy difícil de remover mediante los métodos tradicionales de desalinización. Los métodos actuales para remover el boro del agua son de alto costo, lo que impide su uso en agricultura y encarece el uso para agua potable. El método más utilizado para desalinizar el agua por su relativo menor costo, es la osmosis inversa; sin embargo, no remueve más del 50% del boro presente, lo que puede ser insuficiente dependiendo de su concentración inicial, y considerando la Norma Chilena (NCh 1.333<sup>5</sup>), que indica que el agua de regadío puede contener como máximo 0,75 mg/l.

<sup>3</sup> La ulexita es un mineral globular, blanco, con una estructura interna fibrosa, que pertenece a la familia de los boratos. En Chile se utiliza, fundamentalmente, en la producción de ácido bórico, colemanita sintética y bórax (UNAP [en línea]).

<sup>4</sup> NCh409/1.Of2005 Agua potable - Parte 1: Requisitos; NCh409/2.Of2004 Agua potable - Parte 2: Muestreo.

<sup>5</sup> NCh1333. Of1978 MOD.1987. Requisitos de calidad del agua para diferentes usos.

## ► 2. El valor de la herramienta desarrollada

---

Como se señaló anteriormente, en el norte de Chile existen valles de uso agrícola que, aunque presentan condiciones agroclimáticas favorables para la agricultura, también presentan altas concentraciones de boro, situación que restringe su explotación a cultivos resistentes a este elemento. Por otro lado, el método empleado más frecuentemente para disminuir su concentración es la osmosis inversa, que no es suficiente para las cantidades presentes en estos ríos, considerando que sólo es capaz de remover hasta el 50% del boro contenido en el agua.

Como resultado del proyecto precursor se desarrolló un sistema de bajo costo que disminuye en forma efectiva la concentración de boro en las aguas de riego, hasta niveles tolerables para gran parte de los cultivos. Esto amplía las posibilidades de los valles nortinos para desarrollar una agricultura más atractiva, ya que se pueden seleccionar cultivos más rentables dentro de una mayor variedad. Sin embargo, este método requiere ser complementado con un sistema que permita aislar el suelo libre de boro de posibles contaminaciones por efecto de capilaridad del boro desde las napas subterráneas.

El proyecto precursor se implementó y evaluó en el campo en predios del valle del río Lluta, no obstante, su utilidad se extiende a todos los valles del norte de Chile, que presenten altas concentraciones de boro en sus aguas de riego.

### 2.1 La innovación tecnológica

---

El boro presente en el agua en forma de anión borato ( $B(OH_4)^-$ ), es un soluto muy difícil de remover por los métodos de desalinización tradicionales, que lo extraen en forma insuficiente; por lo tanto, el agua tratada sigue conteniendo una alta proporción de este ión en solución.

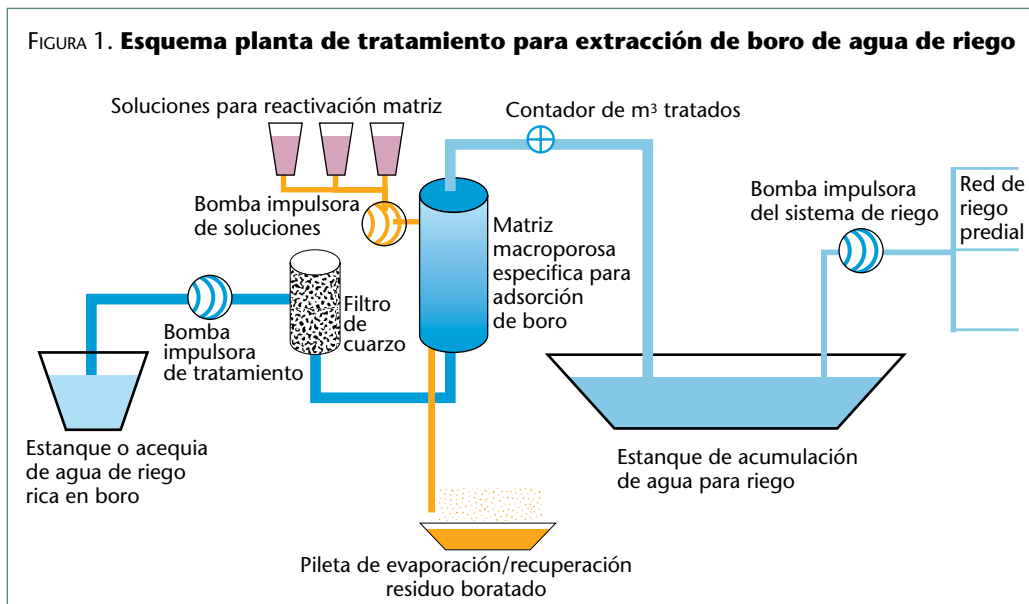
En este contexto, y en un ámbito netamente tecnológico, el proyecto aporta el desarrollo y la implementación a escala productiva de un sistema que permite reducir la concentración de boro desde 40 a menos de 3 mg/l (por  $m^3$  de agua procesada), lo que representa una oportunidad para desarrollar las potencialidades agrícolas de algunos valles de la Región de Arica y Parinacota, cuyas aguas presentan concentraciones de boro que limitan el desarrollo de numerosos cultivos.

Los resultados permiten disponer de una solución tecnológica capaz de satisfacer distintos requerimientos de calidad con relación a la concentración máxima de boro contenida en el agua de riego, asociada a requerimientos de instalación y operación económicamente viables. Esta innovación tecnológica corresponde a un sistema diseñado para ser usado en combinación con sistemas de riego tecnificado.

El sistema de tratamiento está formado por una unidad de filtrado físico (anillas y cuarzo) y la unidad de abatimiento de boro, a través de las cuales una bomba impulsa el agua desde una toma (preferentemente ubicada en un estanque o en una zona especialmente adaptada del canal de riego); el agua tratada se recolecta en un estanque que abastece la red de riego (Figura 1).

Adicionalmente se requieren estanques menores para almacenar agua tratada, a fin de preparar las soluciones que se utilizan para reactivar la capacidad del equipo.

FIGURA 1. Esquema planta de tratamiento para extracción de boro de agua de riego



El sistema desarrollado es aplicable a diversas calidades de aguas (en cuanto a contenido de boro), desde varias decenas de mg/l hasta unas pocas unidades, así como a variadas concentraciones y diversidad de sales disueltas.

El agua tratada sólo cambia con relación a su concentración de boro, es decir no se ven afectadas sus otras cualidades originales, por lo tanto es aplicable a cualquier “método de cultivo”, siempre y cuando el medio físico de arraigo para la planta sea controlado en su aporte de boro. En otras palabras, el sistema de tratamiento del agua y su producto, no presentan restricciones para ser aplicadas en riego.

## 2.2 La conveniencia económica para el productor

Pese a las excelentes características agroclimáticas de algunos valles de la región de Arica y Paríacota, su potencial agropecuario se ve limitado por las altas concentraciones de boro presentes en aguas de riego y en el suelo.

Aunque en bajas cantidades este elemento es fundamental para el desarrollado de los vegetales, en altas concentraciones resulta tóxico. Por ello, en la región se cultivan principalmente aquellas especies que son altamente tolerantes como, por ejemplo: maíz choclero, alfalfa, cebolla, ajo y betarraga. El abastecimiento de otras hortalizas y vegetales proviene de otras zonas, lo cual incluye altos costos de transporte.

En este contexto, el sistema implementado a escala productiva por el proyecto precursor, que disminuye las concentraciones de boro a niveles apropiados para la agricultura, entrega a los agricultores de la Región una alternativa para diversificar sus cultivos, explotando alternativas de vegetales más rentables.

El sistema debe ser dimensionado de acuerdo a las necesidades específicas del tratamiento requerido, de manera de optimizar los factores de costo de inversión y de tratamiento. Las dimensiones de la planta se determinan básicamente de acuerdo a la concentración inicial de boro en el agua a tratar y al nivel máximo de boro deseado en el agua tratada. Para el caso específico de la planta prototipo, las condiciones fueron:



- agua de ingreso con 39 mg/l de B;
- agua de salida con B promedio  $\leq 0,5$  mg/l;
- necesidades diarias de tratamiento = 30 m<sup>3</sup>
- restricciones horarias de funcionamiento del equipo: ninguna (24 h continuas);
- manejo de la solución concentrada de boro: pileta de evaporación con recolección periódica del precipitado.

El principal costo variable está compuesto por el precio de los insumos de reactivación de la capacidad de la matriz adsorbente específica, y por el valor asociado al consumo de energía eléctrica como un costo secundario menor.

El costo de los insumos depende de las condiciones específicas de la capacidad de compra y negociación de cada usuario, en particular porque el precio de los insumos de regeneración muestra una gran diferencia entre las compras a granel y al detalle, dadas las relativas complejidades del manejo de productos químicos. El Cuadro 2 presenta el costo de instalación de la planta prototipo, por parte de ASITEC Ltda., en el valle de Lluta).

**CUADRO 2. Costos directos y de insumos para una planta prototipo de tratamiento de agua para riego con alto contenido de boro (valores actualizados a moneda de enero de 2009)**

| Ítem                    | Cantidad/ciclo (unidades) | Precio/unidad | Costo total/ciclo de operación* (\$) |
|-------------------------|---------------------------|---------------|--------------------------------------|
| Soda cáustica 50% (l)   | 4,5                       | 360           | 1.620                                |
| Ácido sulfúrico 98% (l) | 9                         | 360           | 3.240                                |
| Energía eléctrica (Kw)  | 4                         | 120           | 480                                  |
| Costo total/ciclo       | -                         | -             | 5.340                                |

\* 1 ciclo = 8 horas de funcionamiento del equipo.

Fuente: ASITEC (2009).

A partir de esta situación se ha extrapolado el costo de un tratamiento probable, en condiciones similares de entorno y capacidad de compra de insumos (al detalle, en tambores) y con tarifa eléctrica monofásica. El Cuadro 3 ilustra el rango de costos para distintos requerimientos de tratamiento, en función del contenido inicial de boro que se requiera remover.

**CUADRO 3. Costos directos de operación del equipo prototipo, extrapolados a diversos requerimientos de tratamiento según la concentración de boro en el agua a tratar**

| [B] en solución acuosa a tratar (mg/l) | [B] en solución acuosa tratada* (mg/l) | Volumen total tratado/ciclo de operación del equipo (m <sup>3</sup> ) | Costos directos del tratamiento (\$/m <sup>3</sup> )** |
|--|--|---|--|
| 39                                     | 0,75                                   | 12,7  | 420  |
| 35                                     | 0,75                                   | 14,2  | 376  |
| 30                                     | 0,75                                   | 16,6  | 321  |
| 25                                     | 0,75                                   | 20,0  | 266  |
| 20                                     | 0,75                                   | 25,2  | 212  |
| 15                                     | 0,75                                   | 34,1  | 157  |
| 10                                     | 0,75                                   | 52,5  | 102  |
| 8                                      | 0,75                                   | 67,0  | 80   |
| 7                                      | 0,75                                   | 77,8  | 69   |
| 6                                      | 0,75                                   | 92,6  | 58   |
| 5                                      | 0,75                                   | 114,4   | 47   |
| 4                                      | 0,75                                   | 149,5   | 36   |
| 3                                      | 0,75                                   | 216,0   | 25   |
| 2                                      | 0,75                                   | 388,8   | 14   |
| 1                                      | 0,75                                   | 1944,0  | 3  |

[B] Concentración de boro.

\* Límite máximo según la NCh1333. Of1978 MOD.1987 (Requisitos de calidad del agua para diferentes usos), que coincide con el valor para descarga de residuos industriales líquidos a cursos de aguas superficiales sin dilución, según el Decreto Supremo N° 90/2000 (Establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales).

\*\* Extrapolados según los datos registrados en la planta prototipo.

Fuente: ASITEC (2009).

El valor de adquisición de una planta de tratamiento es función de la cantidad de boro del agua a tratar y del caudal diario que requiere tratamiento. Según ASITEC (2009) se requiere un estudio detallado de las condiciones y requerimientos particulares de cada cliente y, por lo tanto, no es posible hacer un ejercicio de valorización previo que permita aproximarse a este valor, sin riesgo de entregar una apreciación muy diferente a la situación real.

Como lineamientos generales, existen considerables economías de escala al aumentar el tamaño de las plantas de tratamiento con relación al caudal a tratar y, por otro lado, existen algunas restricciones de dinámica hidráulica definidas por la cinética de adsorción del boro en la matriz macroporosa, que indican que concentraciones más bajas de boro en el agua a tratar requieren relativamente un mayor tamaño total de planta, que concentraciones más altas, sin afectar los costos directos de tratamiento, aunque se debe aumentar relativamente el costo de inversión.

No obstante lo anterior y a modo exclusivamente referencial, se puede señalar, de acuerdo a los antecedentes del proyecto precursor, que el costo de adquisición de un equipo para tratar 350 m<sup>3</sup>/día, se estima en \$ 35.000.000, incluido el proyecto, diseño, construcción, instalación, puesta en marcha y servicio de control y monitoreo por seis meses.

Por otra parte, es relevante señalar que el equipo se entrega con una capacidad de caudal de tratamiento diario que, según el sistema de cultivo empleado, puede cubrir una mayor o menor superficie bajo cultivo (Cuadro 4).

CUADRO 4. **Superficie regable con 350 m<sup>3</sup>/día según sistema de cultivo empleado**

| Sistema de cultivo empleado  | Superficie promedio (ha) |
|------------------------------|--------------------------|
| Riego por goteo en suelo     | 10*                      |
| Riego por goteo en sustratos | 20**                     |
| Hidroponía                   | 80**                     |

\* Consumo de agua promedio estimado: 35 m<sup>3</sup>/día/ha durante la duración de un cultivo hortícola.

\*\* En estos sistemas comerciales de riego se utiliza un 10 a 50% del agua normalmente requerida en sistemas de cultivo tradicional. No necesariamente existe una equivalencia entre superficies ya que las productividades son muy distintas, favorables a los sistemas que no utilizan el suelo para el enraizamiento.

Fuente: FIA (2006).

Cabe destacar que la inversión en este sistema de tratamiento de aguas es bonificable según la Ley 18.450/1985, Fomento a la inversión privada en riego y drenaje, por ser un dispositivo para la eliminación de contaminantes de las aguas de riego.

Las experiencias efectuadas evidencian que el manejo del suelo contaminado en las cuencas afectadas por boro puede llegar a ser bastante complejo, por lo cual los sistemas que prescinden del suelo como medio de enraizamiento son más atractivos (sustratos e hidroponía), desde un punto de vista no sólo técnico, sino también económico, para ser empleados en combinación con el sistema de tratamiento de agua desarrollado.

En el Anexo 2 se realiza un ejercicio que permite estimar la conveniencia de utilizar esta tecnología, tomando como base el cultivo de tomates en un sistema hidropónico en invernadero.

### ► 3. Claves de viabilidad

El sistema implementado por el proyecto precursor resultó ser eficaz y eficiente en su objetivo de disminuir la concentración de boro en las aguas de riego de los valles de la Región de Arica y Parinacota. Sin embargo, el desafío de cultivar nuevas especies en la Región queda sujeto a la implementación de este sistema en conjunto con medidas que se hagan cargo de los siguientes temas:

- El suelo cultivable de la Región también contiene concentraciones tóxicas de boro, por lo que antes de sembrar es necesario limpiar la tierra del exceso de este mineral.
- Una vez que el suelo cultivable y el agua de riego se encuentran limpias de boro, es necesario aislar la tierra de cultivo para evitar una potencial recontaminación, que puede ocurrir por capilaridad desde las napas subterráneas.
- Es necesario dimensionar exactamente las operaciones que implicará el cultivo de nuevas especies, ya que de ello dependen las características que debe tener el sistema de eliminación de boro de las aguas de riego. Este aspecto representa un riesgo, ya que las características medioambientales de la Región influirán en el desarrollo de los cultivos, con resultados distintos a los de otras zonas donde tradicionalmente se cultivan.

## ► 4. Asuntos por resolver

---

La herramienta tecnológica desarrollada demostró ser eficiente en términos de reducir la concentración de boro en el agua; no obstante, es importante avanzar en otros aspectos que permitan masificar el uso de esta tecnología, de modo que puedan acceder a ella, pequeños y medianos agricultores, lo que plantea tres desafíos importantes:

- **Disminución de los costos de inversión y operación:** se puede esperar que tiendan a disminuir en la medida que exista una mayor demanda por la fabricación de estos equipos, de manera que el desafío de la empresa comercializadora de esta tecnología es difundirla y explorar usos en mercados distintos al agrícola como, por ejemplo, la disminución de boro en la emisión de residuos industriales líquidos.

En el caso de los pequeños agricultores, es importante promover mecanismos de asociatividad que permitan aprovechar las economías de escala en la fabricación de estos equipos y generar un mayor poder de negociación para la adquisición de insumos químicos, que es el principal componente del costo de operación de esta tecnología.

- **Acceso a financiamiento:** este es un aspecto clave para el acceso de los pequeños y medianos agricultores a esta tecnología, lo cual impone un desafío a la institucionalidad pública en términos de desarrollar instrumentos que apoyen su adquisición por parte de este segmento de agricultores.
- **Desarrollo de investigación para la introducción de cultivos más rentables:** para un aprovechamiento óptimo de esta tecnología se requiere investigar y establecer patrones de cultivo de nuevas especies adaptadas a las potenciales zonas beneficiadas, así como su difusión a los agricultores de la zona, donde las universidades y centros de investigación cumplen un rol preponderante.

## ► 5. Situación actual

---

La empresa asociada al proyecto precursor, ASITEC Ltda., ha continuado mejorando la tecnología desarrollada para el abatimiento de boro, en virtud del trabajo conjunto de sus profesionales con el Departamento de Química de la Universidad de Tarapacá, Arica, en el marco del Convenio de Desempeño UTA – MINEDUC, a través del cual se desarrolla la línea estratégica de investigación de remoción de boro en aguas.

Con respecto a la comercialización de esta tecnología, se ha fabricado una primera planta comercial que se instaló para el tratamiento de aguas de riego en la empresa agrícola Euro Plant Chile S.A., recientemente establecida en el valle de Lluta, cuyo objetivo es producir plantines de tomate bajo invernadero.

El equipo tuvo un costo de inversión de \$ 10 millones y con él se trata un flujo de agua diario de 32 m<sup>3</sup>, en dos ciclos de operación de 10 horas; normalmente éste ingresa a la columna con una concentración de boro de 36 a 39 mg/l y sale con un promedio de concentración menor a 0,5 mg/l.





## SECCIÓN 2

# El proyecto precursor

## ► 1. El entorno económico y social

El norte de Chile es un área geográfica donde predomina el clima desértico; como consecuencia, las fuentes de aguas superficiales y subterráneas son un recurso muy valioso, ya que las condiciones climáticas permiten una alta productividad bajo condiciones de riego. Sin embargo, el alto contenido de boro en las aguas de varios ríos de las regiones de Arica y Parinacota, de Tarapacá y de Antofagasta (concentraciones superiores a 10 mg/l, hasta 40), limitan fuertemente el potencial agrícola de sus valles, debido a la toxicidad de este elemento para la mayoría de los cultivos, cuando su contenido en el agua de riego es superior a 3 mg/l.

En el caso del valle del río Lluta, la presencia de boro en el agua (en general, sobre 10 mg/l), ha incidido en el menor desarrollo económico del valle, en comparación con el de otras zonas con similares condiciones de clima y suelo, como es el caso del valle de Azapa, cuyas aguas de riego contienen baja concentración de este elemento, lo que ha permitido el desarrollo de una agricultura altamente competitiva y rentable, aún con caudales inferiores y mayores costos de bombeo.

La agricultura del valle de Lluta está orientada principalmente al cultivo de maíz choclero y alfalfa y, en menor proporción, de cebolla, ajo, betarraga y otras hortalizas tolerantes a la presencia de boro en el agua de riego. En general, se utiliza material genético endémico, adaptado a las condiciones de boro del valle, cuyos rendimientos son inferiores a los esperables en condiciones de riego con agua sin boro. Esto, sumado a que los intentos por introducir material genético mejorado no han dado buenos resultados, ha contribuido a que la agricultura del valle sea de subsistencia,



sin acceso a fuentes de financiamiento, lo que ha dificultado el desarrollo y crecimiento de las empresas y productores agrícolas.

De acuerdo a un estudio realizado por el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP) el año 2007, el 80% de los pequeños agricultores usa riego tradicional, mientras que el resto emplea riego por goteo; el 85% realiza las labores agrícolas utilizando maquinaria propia o arrendada y el resto en forma manual.

## ► 2. El proyecto precursor

---

El proyecto precursor “Desarrollo de un sistema económico para la reducción de la concentración de boro en aguas de varias cuencas problemáticas de la zona norte hasta niveles que viabilicen su uso en el riego para permitir una agricultura diversificada”, fue financiado por FIA y ejecutado por la Universidad de Tarapacá y la empresa ASITEC Ltda., entre fines de 2002 y principios de 2006, y contó con la participación de dos agricultores, como agentes asociados.

El objetivo del proyecto fue desarrollar un sistema de bajo costo, que permitiera reducir la concentración de boro presente en el agua de riego del valle de Lluta, a fin de ser utilizada en el cultivo de un mayor número de especies y así aprovechar la potencialidad agroecológica del valle. Además, este sistema podría ser aplicado a otras cuencas del norte grande de Chile, como el valle de Camarones y del Loa, cuyas aguas de riego también tienen niveles altos de boro.

Para ello, el equipo de trabajo se basó en un método que había desarrollado anteriormente, que en laboratorio había sido capaz de remover más del 97% del boro presente en el agua y que por sus características de diseño y sencillez era factible implementar a escala comercial.

A través de este sistema se logró reducir el nivel de boro disuelto en el agua desde niveles de 40 mg/l a menos de 3,<sup>6</sup> a un costo que no supere los US\$ 0,2/m<sup>3</sup> de agua procesada, para que sea conveniente utilizarlo con fines agrícolas.

El sistema desarrollado consiste básicamente en la utilización de un compuesto polihidroxilado (PHi), que junto a las formas de boro presentes en las aguas de riego del valle de Lluta forman un “complejo boro-phi” que es posible extraer mediante el uso de un adsorbente. El desarrollo del proyecto se estructuró sobre la base de tres líneas de acción:

- **Optimización de los parámetros de funcionamiento del sistema propuesto, en etapa experimental y respecto de la relación costo-beneficio**

El objetivo de esta etapa fue determinar en laboratorio las mejores condiciones de funcionamiento del sistema. Para esto se evaluaron diversos compuestos polihidroxilados (phi) y adsorbentes respecto de su capacidad acoplejante (PHi) y de absorción, a fin de encontrar las condiciones de funcionamiento óptimas, dadas las características del medio, tales como pH, presión del agua y concentración de boro, entre otras.

Finalmente, se fabricó una matriz macroporosa inerte recubierta en forma estable con la molécula phi seleccionada, a un costo razonable y con posibilidades de reutilizarla en forma indefinida. Se probó la matriz a escala de laboratorio y se optimizó la velocidad de flujo del agua con respecto del boro adsorbido. Luego se estudió y optimizó el método para remover

<sup>6</sup> Según la Norma chilena de calidad del agua para diferentes usos (NCh1333. Of1978 MOD.1987), la concentración de boro en el agua para riego no debiera ser mayor a 0,75 mg/l.

el boro adsorbido antes de reutilizar la matriz, y se determinó un esquema de operación de un sistema basado en una columna con la matriz macroporosa, que resultó factible de proyectar a una escala mayor, con relativa sencillez.

- **Desarrollo y aplicación de un sistema piloto para disminuir por adsorción el boro en aguas superficiales del valle del río Lluta**

En esta etapa se pusieron a prueba las conclusiones obtenidas en la etapa anterior. La aplicación del sistema se realizó en los predios de los agricultores asociados al proyecto, donde en uno se utilizaba el suelo como sustrato, y en el otro, un sistema hidropónico. Para el primer caso se proyectó y construyó un sistema adecuado con el método de riego existente; se comenzó a lavar el suelo destinado a la plantación y se monitoreó periódicamente su nivel de boro, mediante puntos fijos de toma de muestras.

Una vez que se alcanzó la concentración de boro deseada en el suelo, se estableció el primer ciclo de cultivos demostrativos, con especies y/o variedades altamente sensibles a este elemento, como poroto verde, soya, pepino de ensalada híbrido y maíz choclero híbrido (Semameris). Al principio, el desarrollo de los cultivos fue satisfactorio en términos de germinación, emergencia y crecimiento; sin embargo, con el tiempo se observó un deterioro progresivo de las plantas debido a que la concentración de boro aumentó significativamente en el suelo, ya que migró, por capilaridad, desde las napas subterráneas y alcanzó concentraciones similares e incluso superiores a las iniciales.

Para solucionar este problema, se lavó nuevamente el suelo del terreno experimental y parcialmente se reemplazó con suelo libre de boro del valle de Azapa; se aisló del efecto de capilaridad por medio de una capa de ripio y plástico perforado para facilitar el drenaje. Sin embargo, esto sólo se pudo aplicar en 7 hileras de la plantación, debido al alto costo involucrado.

Una vez iniciado el segundo ciclo de cultivos demostrativos, donde se incorporó una mayor variedad de especies sensibles al boro (melón, sandía, pepino de ensalada, zapallo italiano, maíz híbrido súper dulce semiprecoz, poroto verde y tomate), se presentaron problemas con los equipos de tratamiento de aguas, debido a que el filtro de cuarzo se saturaba. Se modificó el sistema incorporando un prefiltro de anillos que permitió evitar definitivamente el ingreso de sedimentos al sistema; sin embargo, los tiempos de mantenimiento aumentaron considerablemente, ya que en el período de mayor presencia de sedimentos en el agua el filtro se saturaba cada 15 minutos, lo cual dificultaba su operación. Pese a esto, los cultivos mostraron un desarrollo vigoroso.

Paralelamente, en el predio con cultivos hidropónicos se construyó e instaló una microestación de tratamiento con capacidad para 2.100 l de agua/ciclo de tratamiento, con un máximo de 3 ciclos/jornada. Esta unidad se utilizó para regar cultivos en sustrato o hidropónicos en un pequeño invernadero de 25 m<sup>2</sup>, en el cual se cultivó una amplia variedad de hortalizas altamente sensibles al boro (poroto verde, melón, sandía, pepino de ensalada, zapallo italiano, tomate cherry, pimentón, jengibre, frutilla, albahaca, cilantro, perejil, romero, ciboulette, lechuga) que mantuvieron un crecimiento y comportamiento productivo vigoroso.

- **Preparación y transferencia de los paquetes tecnológicos desarrollados, a los agentes afectados por la presencia de boro en las aguas de riego**

Con el fin de dar a conocer los resultados obtenidos y las potencialidades del sistema diseñado,

se efectuó un total de tres seminarios de difusión en Arica, Antofagasta y Camarones, y una actividad de difusión final que incluyó visitas a las unidades experimentales.

Paralelamente, y durante todo el proyecto, se efectuaron visitas particulares de agricultores interesados, así como de profesionales y autoridades de organismos de apoyo a la agricultura, junto con dirigentes sectoriales.

### ► 3. Resultados

---

Durante la ejecución del proyecto precursor se obtuvieron los siguientes resultados según la especie cultivada, a partir de los cultivos experimentales en suelo:

- **Porotos verdes:** debido a que este es un cultivo particularmente sensible a la salinidad, se obtuvo una muy baja productividad; se estima un rendimiento/ha equivalente a 973,3 kg, muy por debajo del promedio de esta especie.
- **Pepino de ensalada:** este cultivo tuvo un crecimiento vigoroso hasta mayo, cuando las temperaturas comenzaron a bajar, pese a que se instaló una barrera de plástico. El daño sufrido durante su exposición al frío no permitió que se expresara todo su potencial productivo. Se estima que en condiciones favorables se podría obtener un rendimiento aproximado de 31,25 t/ha.
- **Sandía:** este cultivo se inició en una época fuera de lo normal para la especie (a mediados del verano), por esta razón, el crecimiento de sus frutos se vio afectado por las bajas temperaturas del invierno y otoño. Sin embargo, el vigoroso crecimiento vegetativo inicial permite concluir que en condiciones normales, este cultivo sería posible en esta zona, con un rendimiento estimado de 15.000 unidades/ha. Paralelamente, se presentaron otros problemas, ajenos a los objetivos primarios del proyecto:
  - debido a las condiciones de calcio y nitrógeno existentes en ese momento, los primeros frutos sufrieron “blossom end rot” (BER) o “podrición seca apical del fruto”;
  - producto de la escasez natural de polinizadores en la zona, en general se apreció un desarrollo pobre de semillas y muchas de ellas no polinizadas; esto se traduce, además, en una mayor heterogeneidad del grado de madurez y de desarrollo interno de los frutos, y se obtuvieron ejemplares con características de frutos sin semillas.
- **Melón:** éste tuvo un comportamiento muy similar al de la sandía, con la salvedad que no presentó BER. Debido a la madurez del fruto a bajas temperaturas, éstos fueron pequeños (menos de 500 gr cada uno) pero abundantes, y se estima un rendimiento potencial de 37.000 unidades/ha, lo cual es superior al promedio.
- **Zapallo italiano:** pese a que este cultivo no estuvo protegido del efecto de la capilaridad del boro proveniente de las napas subterráneas, tuvo un notable comportamiento vegetativo y productivo, y se evidenció su gran potencial en la zona. Sin embargo, se presentaron dos problemas importantes:
  - efecto de la baja polinización en la forma de sus frutos;
  - proliferación de hongos del tipo “polvillo” u “oidio”, debido a la excesiva humedad relativa matinal.

De esta forma, en mejores condiciones respecto a humedad matinal y considerando un peso promedio de 350 gr/unidad, se estima que una hectárea tendría un rendimiento potencial de 17.550 frutos.

- **Maíz híbrido súper dulce:** los choclos estuvieron fuertemente afectados por gusanos, roedores y fallas de polinización en los bordes, lo cual limitó la calidad y tamaño de las mazorcas, aunque ningún daño estuvo relacionado con la presencia de boro. El rendimiento estimado alcanza a 48.000 unidades/ha para la variedad Semameris y 72.000 para Dynamo.

Respecto del cultivo experimental hidropónico, pese a poder cultivarse una amplia variedad de especies sensibles al boro, no se obtuvieron las condiciones óptimas de cultivo, principalmente por el gran desarrollo vegetativo de las plantas, que ocuparon superficies individuales mayores a las proyectadas, especialmente para el caso del zapallo italiano. Otro factor importante fue el intenso ataque de ácaros fitófagos que comprometieron el inicio del ciclo productivo, problema que afectó en mayor medida a sandías y melones. Sin embargo, se pueden hacer estimaciones de rendimiento por hectárea para el caso del tomate cherry (216 ton/ha), poroto verde (16,5) y pepinillo para encurtido (18.000 kg/ha en dos meses de cultivo).

#### ► **4. Problemas enfrentados durante el desarrollo del proyecto precursor**

---

Los principales problemas que enfrentó la ejecución del proyecto precursor fueron:

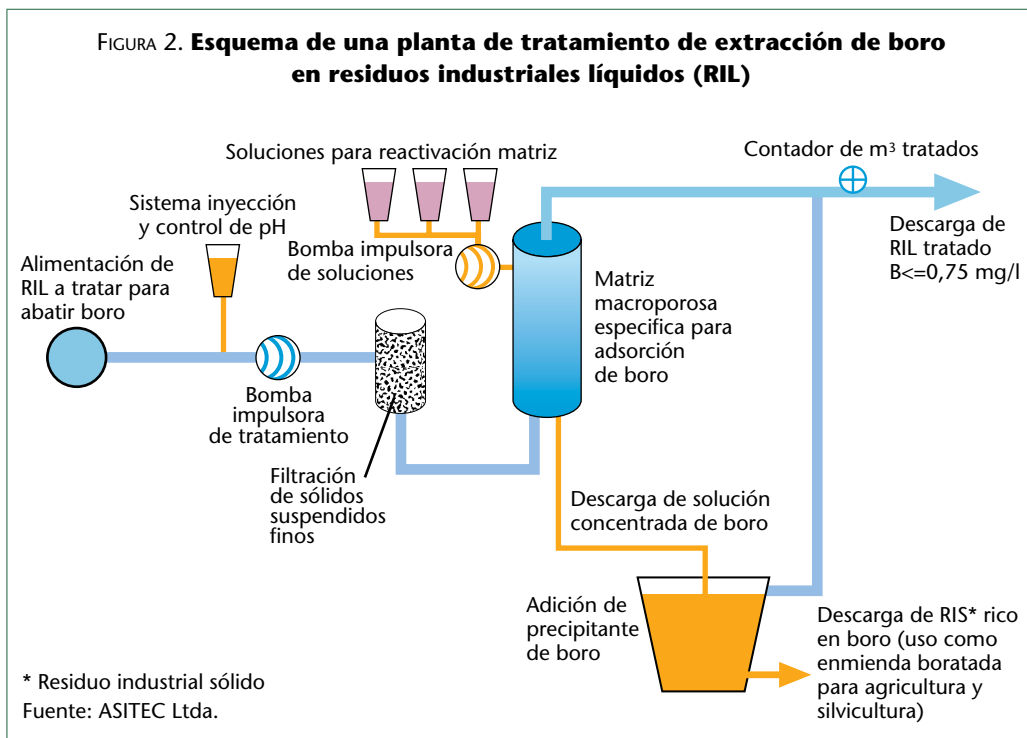
- Alta concentración de boro en el suelo de cultivo.
- Contaminación del suelo lavado, por efecto de capilaridad del boro desde napas subterráneas: lavado y aislamiento.
- Falta de insectos polinizadores en la zona: afecta el potencial cultivo de algunas especies (sandías y melones, por ejemplo).
- Otras condiciones minerales del suelo de cultivo, como la alta concentración de nitrógeno y falta de calcio, hicieron difícil el cultivo de especies como sandías y zapallos italianos, ya que producen problemas fisiológicos que sólo se puede prevenir efectivamente con una adecuada fertilización cálcica y un manejo moderado de la fertilización nitrogenada. No existe un método curativo eficaz, por lo cual se perdió una gran parte de la producción experimental.
- Presencia de plagas en nuevos cultivos de la zona; por ejemplo, ácaros en tomate cherry.
- Se presentaron limitaciones hidráulicas en el diseño del sistema, ya que la construcción del modelo original resultó inadecuada para soportar la presión asociada al caudal de operación deseado (10 m<sup>3</sup>/hora); sólo después de dos reparaciones de la estructura del sistema fue posible llegar a un caudal de operación máximo de 4,9 m<sup>3</sup>/hora, con una capacidad efectiva de tratamiento por jornada de trabajo de 35 m<sup>3</sup>. Estas limitaciones hidráulicas no permitieron un flujo de mayor velocidad para tratamiento ni para el retrolavado, aunque se estaba trabajando en ello.

#### ► **5. Desarrollos posteriores**

---

Después del término del proyecto precursor han surgido nuevas posibilidades de uso para la tecnología desarrollada, como en el tratamiento de residuos industriales líquidos, en particular de

industrias cuyas aguas residuales están obligadas a cumplir con el D.S. 90/2000, señalado anteriormente, que regula la emisión de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales.<sup>7</sup> La Figura 2 ilustra el sistema de tratamiento propuesto por la empresa ASITEC Ltda. para reducir la concentración de boro en residuos industriales líquidos.



<sup>7</sup> Establece que el límite máximo permitido para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua fluviales es de 0,75 mg/l en cuerpos sin capacidad de dilución y de 3 mg/l para aquellos con capacidad de dilución.

## SECCIÓN 3

# El valor del proyecto

De acuerdo a lo señalado anteriormente, sin dudas el principal logro técnico del proyecto precursor fue la demostración de la posibilidad de reducir el alto contenido de boro de las aguas de la cuenca del río Lluta, hasta un nivel compatible con la funcionalidad biológica de especies que, de otro modo, son incapaces de completar su ciclo biológico.

La tecnología desarrollada constituye un aporte valioso para el aprovechamiento de recursos hídricos, hasta ahora subvalorados por su contaminación natural, en una zona con un clima privilegiado y alto potencial productivo.

Si bien el uso agrícola fue el objetivo central de la iniciativa de innovación, en la actualidad se observa interés de otros sectores productivos por utilizar esta herramienta en sus procesos, particularmente en aquellas industrias cuyas aguas residuales están obligadas a cumplir con el D.S. 90/2000 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia.







# Anexos

---

Anexo 1. Concentración de boro en ríos del norte de Chile

---

Anexo 2. Factibilidad económica

---

Anexo 3. Literatura consultada

---

Anexo 4. Documentación disponible y contactos

---



## ANEXO 1. Concentración de boro en ríos del norte de Chile

En los cuadros 1 y 2 se presenta la concentración promedio de boro en aguas para riego de olivos en distintos sectores del norte de Chile y en distintas secciones del río que riega el valle de Camarones, respectivamente.

**CUADRO 1. Concentración de boro en aguas para riego de olivos en distintos sectores del norte de Chile**

| Sector     | Fuente de agua                 | Boro (mg/l) |
|------------|--------------------------------|-------------|
| Lluta 1    | Canal río Lluta km 15          | 16,6        |
| Lluta 2    | Canal río Lluta km 25          | 9,5         |
| Chiza 1    | Vertiente canalizada           | 2,2         |
| Chiza 2    | Vertiente en surgencia         | 1,9         |
| Suca       | Vertiente                      | 1,9         |
| Miñi-Miñe  | Vertiente                      | 1,3         |
| Quipinta   | Vertiente                      | 3,1         |
| Casablanca | Canal río Quebrada de Tarapacá | 6,0         |
| Loanzana   | Canal río Quebrada de Tarapacá | 4,6         |
| Guatacondo | Vertiente                      | 1,8         |
| Copiapó    | Canal río Copiapó              | 1,4         |
| Huasco     | Canal río Huasco               | 0,9         |
| Taltal     | Pozo                           | 1,2         |
| Toconao    | Canal superficial              | 0,6         |
| San Pedro  | Canal superficial              | 1,1         |

Fuente: Figueroa *et al.* (1998).

**CUADRO 2. Concentración de boro en secciones del río que riega el valle de Camarones**

| Sector (Nº de observaciones)       | Boro (mg/l) |
|------------------------------------|-------------|
| Illapata (12)                      | 6,3 ± 0,9   |
| Taltape (19)                       | 9,4 ± 1,7   |
| Conanoxa (18)                      | 12,0 ± 3,0  |
| Extremo oriente hacienda Cuya (19) | 13,3 ± 3,6  |
| Baden hacienda Cuya (18)           | 17,0 ± 2,5  |
| Puente Cuya (18)                   | 21,2 ± 4,8  |
| Desembocadura (15)                 | 29,1 ± 18,8 |

Fuente: Zumaeta (1981).

## ANEXO 2. Factibilidad económica

A modo referencial se realiza este ejercicio tomando como base el cultivo de tomates en un sistema hidropónico en invernadero, que permite estimar la conveniencia de utilizar esta tecnología.

Se analiza el Valor Actual Neto (VAN) del negocio asociado a la mayor producción de tomate producto del uso de agua de riego tratada con la tecnología desarrollada, ya que el resto de los costos del cultivo en ambas situaciones (con agua tratada y no tratada) son los mismos.

De acuerdo a investigaciones realizadas en el valle de Lluta (Albornoz, 2007), para el cultivo hidropónico del tomate es posible aumentar los rendimientos comerciales desde 18,4 t/ha a 51,2, al disminuir la concentración de boro del agua de riego desde 7,1 ppm a 0,8 (Cuadro 1).

**CUADRO 1. Rendimiento de un cultivo de tomate con agua tratada (eliminación de boro) y sin tratar**

| Rendimiento (t/ha)         | RIEGO                          |                                   |
|----------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
|                            | Agua tratada<br>(0,8 ppm boro) | Agua sin tratar<br>(7,1 ppm boro) |
| Total                      | 64,1                           | 40,1                              |
| <b>Comercial/categoría</b> |                                |                                   |
| 2°                         | 27,9                           | 15,8                              |
| 1°                         | 22,4                           | 2,6                               |
| Extra                      | 0,9                            | 0                                 |
| Total                      | 51,2                           | 18,4                              |
| Comercial incremental      | 32,8                           |                                   |

Fuente: basado en Albornoz (2007).

Se ha supuesto un consumo de agua diario de 30 m<sup>3</sup>/ha, sin reutilizarla, por lo que podría ser incluso menor, y un costo de adquisición del equipo de aproximadamente \$ 10 millones, capaz de entregar 77 m<sup>3</sup> de agua tratada por ciclo de funcionamiento, con un costo de tratamiento aproximado de \$ 69/m<sup>3</sup> para las concentraciones de boro establecidas.

Considerando el funcionamiento del equipo durante 16 horas/día (2 ciclos), se pueden satisfacer los requerimientos hídricos del cultivo de 5,1 ha de tomate hidropónico en invernadero, lo que permitiría obtener una producción incremental de 167,3 t, con sólo una cosecha en el año. Suponiendo un precio pagado a productor de \$ 598/caja de 20 kg, equivalente al 10% del precio promedio pagado en el mercado mayorista de Santiago (mayo a septiembre, entre 2007 y 2009), se obtiene un margen bruto incremental/ha de, aproximadamente, \$ 5 millones, con un costo de tratamiento de cerca de \$ 2 millones. Se estima un VAN de \$ 1.253.552, a cinco años, para una tasa de descuento del 12% (Cuadro 2). Cabe señalar que no se ha considerado valor residual del equipo al quinto año, por lo que se subestima VAN calculado.

**CUADRO 2. Análisis de rentabilidad (\$)**

| Ítem                        | Año 0       | Año 1 a 5 |
|-----------------------------|-------------|-----------|
| Ingresos brutos             | -           | 5.034.525 |
| Costos tratamiento del agua | -           | 1.912.680 |
| Inversión equipo            | -10.000.000 | -         |
| Flujo de caja neto          | -10.000.000 | 3.121.845 |

VAN: \$ 1.253.552

Tasa de descuento: 12%

## ANEXO 3. **Literatura consultada**

---

Albornoz, F., Torres, A., Tapia, M.L. y Acevedo, E. 2007. Cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) hidropónico con agua desalinizada y desborificada en el valle de Lluta. IDESIA (Chile), 25(2): 73-80.

ASITEC. 2009. Sistema para abatimiento de boro en solución acuosa. Características generales, aplicaciones, base para análisis de costo de tratamiento. S/d.

Ayers, R.S. & Westcot, D.W. 1994. Water quality problems. In: Water quality for agriculture. [En línea]. FAO Irrigation and Drainage Papers. 29 Rev 1. <<http://www.fao.org/DOCREP/003/T0234E/T0234E01.htm#ch1.2>> [Consulta: febrero, 2009].

FIA. 2006. Desarrollo de un sistema económico para la reducción de la concentración de boro en aguas de varias cuencas problemáticas de la zona norte hasta niveles que viabilicen su uso en el riego para permitir una agricultura diversificada. Informe final proyecto precursor: Fundación para la Innovación Agraria (FIA) – Universidad de Tarapacá.

Figueroa, L., Tapia, L., Bastías, E., Escobar, H. y Torres, A. 1998. Niveles de boro en el agua de riego utilizada en olivicultura del norte de Chile. Pp.: 167:188. [En línea]. En: Memorias del Taller Internacional Gestión de la Calidad del Agua y Control de la Contaminación en América Latina y el Caribe. Food and Agricultural Organization (FAO). Arica, Chile - Tacna, Perú. 30 de septiembre - 4 de octubre. <<http://www.rlc.fao.org/es/tierra/pdf/gestio/tema23.pdf>>

PUC. [En línea]. Transporte de boro. Laboratorio de Bioquímica, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Católica de Chile. <<http://www.bio.puc.cl/labs/arce/boro.html>> [Consulta: febrero, 2009].

UNAP. [En línea]. Ulexita. Museo Mineralógico. Universidad Arturo Prat, Iquique, Chile. <[http://www.unap.cl/museomin/basededatos/mineria\\_no\\_metalica.htm](http://www.unap.cl/museomin/basededatos/mineria_no_metalica.htm)> [Consulta: febrero, 2009].

Zumaeta, O. 1981. Constituyentes químicos de varias aguas de riego de las provincias de Arica y Parinacota, Primera Región, Chile. Rev. Univ. del Norte, Arica N° 8, Serie Química.

Además se contó con información obtenida en entrevistas a las siguientes personas:

- Sr. Leonardo Figueroa Tagle, coordinador del proyecto precursor, correo electrónico: Lfiguero@uta.cl
- Sr. Camilo Urbina Alonso, ingeniero agrónomo, ASITEC LTDA. correo electrónico: curbina@asitec-innovacion.com

## ANEXO 4. Documentación disponible y contactos

---

La publicación “Resultados y Lecciones en Sistema para Reducir la Concentración de Boro en Aguas de Riego”, se encuentra disponible a texto completo en el sitio de FIA en Internet ([www.fia.gov.cl](http://www.fia.gov.cl)), en la sección Banco de Negocios FIA.

El Banco de Negocios FIA se implementó durante el año 2008 y su objetivo es transferir un conjunto de opciones de proyectos y negocios factibles desde el punto de vista de su rentabilidad económica y viabilidad técnica, incluyendo además, información de los ámbitos de mercado, gestión y comercialización.

También incorpora el análisis de los resultados de iniciativas y proyectos con bajo potencial de aplicación inmediata por otros usuarios, aunque con resultados valiosos y orientadores, donde se consignan las oportunidades y las limitantes que quedan por superar en las opciones analizadas.

Este servicio técnico comercial es una instancia pionera en Chile, que se inserta en el trabajo que realiza la Fundación y está orientado a difundir y explotar los resultados valorizados de los proyectos que ha cofinanciado.

Para ingresar directamente a las publicaciones, siga los pasos que se detallan a continuación:

1º: entrar a <http://aplicaciones.fia.cl/valorizacion/home.aspx>

2º: en el menú (izquierda) seleccionar “Planes de negocio y modelos aprendidos-Documentos”

3º: seleccionar “Ver Todo”

4º: seleccionar “Ver Ficha”

5º y último: seleccionar “Documentos Asociados”. Aquí se encuentran los libros y fichas correspondientes a cada plan de negocio o modelo aprendido.

En esta misma sección existe el campo “Precursores”, que ofrece vínculos hacia los proyectos precursores que dieron origen a los documentos y que se encuentran en la base de datos de iniciativas apoyadas por FIA. Desde esta base de datos se accede a la ficha resumen de cada proyecto precursor, que contiene información adicional sobre éstos, y a los contactos de los ejecutores y profesionales participantes. Adicionalmente, esta ficha contiene un vínculo al SIG (Sistema de Información Geográfica) de FIA, para identificar con precisión la ubicación del proyecto en particular.

Toda esta documentación puede consultarse también en los Servicios de Información para la Innovación de FIA, ubicados en:

### **Santiago**

Loreley 1582, La Reina, Santiago. Fono (2) 431 30 96

### **Talca**

6 norte 770, Talca. Fono-fax (71) 218 408

### **Temuco**

Bilbao 931, Temuco. Fono-fax (45) 743 348