

## NUEVA TECNOLOGÍA ABAR

# Permite remover el exceso

Las aguas superficiales de los ríos de las regiones de Tarapacá y Atacama presentan concentraciones de boro que limitan, en rendimiento o calidad, el cultivo de importantes especies vegetales e impiden el establecimiento de otras especies, potenciales alternativas productivas. Para la remoción del exceso boro del agua, Fundación Chile (FCh) creó la tecnología ABAR, la que se desarrolló especialmente para las condiciones del Norte de Chile, como un nuevo método, eficiente y de bajo costo, para el abatimiento de boro.

El boro presente en el agua superficial de la zona norte del país es de origen natural. En el río Lluta la concentración del elemento varía entre 28 y 38 mg/l, dependiendo de la estacionalidad y el régimen hidrológico; en el río Copiapó las concentraciones están en el rango de 1 a 5 mg/l; y en el río Huasco son de entre 1 y 2 mg/l.

La norma actual para riego –NCh1333– define en 0,75 mg/l el límite máximo de boro en el agua de riego. Este parámetro se estableció debido a que el boro es un inhibidor del crecimiento de los cultivos y puede llegar a causar toxicidad en las plantas, pese a que en dosis mínimas es fundamental para el adecuado desarrollo de casi todos los cultivos. En el caso del agua para consumo humano, Chile no incluye al boro como parámetro en la norma de agua potable; sin embargo, la Organización Mundial de la Salud recomienda un límite máximo de 0,5 mg/l.

Luego de una fase de investigación y desarrollo a nivel de laboratorio, banco y piloto, que contó con financiamiento propio (de Fundación Chile) y co-financiamiento del Fondo de Innovación del Ministerio de Obras Públicas, se logró esta tecnología basada en el uso de una resina específica para la remoción de boro desde aguas urbanas, rurales y de riego del norte de Chile, en especial para las regiones de Tarapacá y Atacama, donde se han realizado las experiencias.



Planta piloto que opera en el Fundo Rodeo de la empresa Agrícola Jaime Prohens del valle de Copiapó.

## Validación de ABAR y funcionamiento de la tecnología

Para validar la tecnología se trataron las aguas del río Lluta, cuya concentración de boro es de 32 mg/l; las aguas del río Azapa y del río Acha, con contenidos de boro de 2 mg/l. También se aplicó ABAR en aguas de uso urbano de la ciudad de Arica, cuya concentración de boro es de 9 mg/l. En la región de Atacama, en tanto, se realizaron 12 estudios de tratabilidad con muestras de agua provenientes de los valles de Copiapó y Huasco. Según los profesionales de FCh, en todos los casos mencionados lograron remover completamente el boro presente en las aguas, alcanzando capacidades de captación de boro entre 3 y 6 miligramos por gramo de resina.

En la actualidad se encuentra funcionando una planta piloto que opera en el Fundo Rodeo de

la empresa Agrícola Jaime Prohens del valle de Copiapó. Empresa especializada en la producción de uva de mesa de exportación. La capacidad de tratamiento de la planta permite un rango de operación que oscila entre 5 y 20 m<sup>3</sup>/día (es flexible a los requerimientos del cliente), siendo capaz de tratar concentraciones iniciales de boro de 0,5 a 50 mg/l. Como se puede apreciar en las fotografías, el diseño de la planta piloto permite desplegarla en espacios pequeños y transportarla fácilmente. El propósito del pilotaje es evaluar el escalamiento de la tecnología a nivel industrial.

De la tecnología ABAR se destaca su gran eficiencia en la captura de boro y su bajo costo de operación. Las resinas pueden ser regeneradas y utilizadas nuevamente y son compatibles con una gran variedad de matrices. El agua a tratar es pasada a través de columnas empacadas con el material

# de boro del agua de riego



En el río Copiapó las concentraciones de B están en el rango de 1 a 5 mg/l.

adsorbente (resina) el que posee un grupo funcional específico que capta selectivamente el boro. El contaminante (boro) se acumula en el material hasta su colmatación y en este momento se realiza el proceso de regeneración, el que le devuelve a la resina su capacidad para seguir captando el elemento. Las resinas pueden ser regeneradas en ciclos sucesivos logrando una duración estimada de 3 a 10 años, lo que dependerá principalmente del diseño de operación.

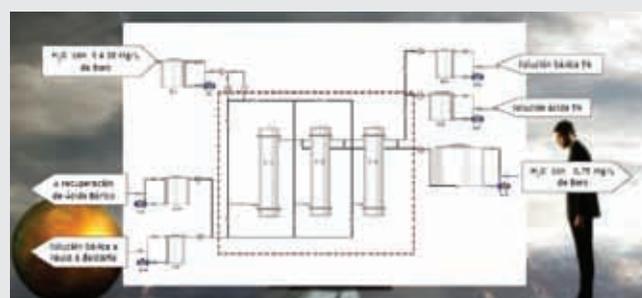
## Comparación de ABAR con otras tecnologías existentes

Durante los años 2006 y 2007 un equipo de FCh estudió para el

MOP distintas alternativas para la remoción de boro desde aguas naturales urbanas, rurales y de riego provenientes del Norte de Chile. En el proceso se estudiaron distintos materiales adsorbentes e intercambiadores tales como: zeolitas tipo catalizador, zeolitas modificadas, carbón activado, cenizas, jacinto de agua, coseta y resinas específicas.

De ese estudio se desprende que al comparar la tecnología ABAR con otras tecnologías existentes, se observa que la primera es capaz de remover más del 99% del boro del agua de riego en tanto que la osmosis inversa (por medio de membranas), de alta demanda energética, remueve como máximo un 60% del boro luego de hacer pasar repetidas veces el

## Diseño de planta de tratamiento y condiciones de operación



Esquema de una planta de tratamiento de abatimiento de boro de Tecnología ABAR.

**Condiciones de Operación:** De operación continua, aplicable en un amplio rango de concentración (1-30 mg/l) y pH (5-9), el pre-tratamiento es sólo físico y se aplica cuando el contenido de sólidos suspendidos es muy elevado, se trabaja a temperatura ambiente. Los caudales que permite tratar van desde menos de 1 m<sup>3</sup>/día a más de 10.000 m<sup>3</sup>/día. La duración del ciclo es de 1 a 10 días, en tanto que el tiempo de residencia (el tiempo que demora el agua en pasar a través de toda la planta) es de 3 a 10 minutos.

**Eficiencia de remoción:** Las resinas son específicas para capturar boro, tienen eficiencias de remoción mayores al 99 % con volúmenes de rechazo no superiores al 8 %. Se recupera el boro como ácido bórico.

**Costos de inversión:** Los equipos necesarios para este tipo de tecnología no requiere de grandes inversiones, dada la simpleza del sistema basado en columnas de intercambio.

**Costos de Operación:** No requieren mayores gastos de operación ni mantenimiento, bajo consumo de

energía, los tiempos de recambio de resinas puede ir desde 3 hasta 10 años dependiendo del volumen de agua a tratar. La concentración de boro en las aguas está directamente relacionada con el número de veces que es necesario regenerar la resina. El costo operacional del uso de la resina está asociada principalmente al uso de dos regenerantes uno ácido (ácido sulfúrico) y otro básico (hidróxido de sodio) en soluciones diluidas.

**Diseño Ingeniería:** Columnas de baja presión, la alimentación es a régimen ascendente y múltiple evitando la formación de canalillos, maximizando la adsorción y rentabilizando el tratamiento, el tratamiento de las columnas es con un lavado en contracorriente permitiendo minimizar la cantidad de insumos y minimizando los costos de tratamiento. El sistema es modular, es decir que puede acoplarse a otros sistemas de tratamiento, requiere de poco espacio, se ajusta a la demanda de cada empresa y es compacto, por lo que puede transportarse fácilmente.

## Sensibilidad al boro de los principales cultivos de Atacama

A nivel nacional, la Región de Atacama representa el 14,1 % de la superficie de uva de mesa y el 20,1 % de la superficie de olivos. El segundo grupo más importante dentro de la actividad agropecuaria de la región son las forrajeras donde el principal cultivo es la Alfalfa. El tercer lugar lo ocupan las hortalizas, las que presentaron una baja de un 11% en superficie respecto del año 1997. Las viñas y parrones de uva pisquera, en tanto, ocupan 723 ha.

La resistencia de las diferentes especies cultivadas respecto del contenido de boro en el agua de riego varía considerablemente entre ellas. Algunos de los principales cultivos podrían estar siendo afectados por las características físico-químicas de las aguas

de la Región de Atacama, limitando su calidad y rendimiento.

Al comparar la concentración de boro del agua con la tolerancia de los cultivos a ese elemento se puede observar que existe un riesgo real sobre la actividad agropecuaria de la región. Especies como la uva de mesa y el olivo, los de mayor importancia en Atacama, así como alcachofa, porotos y arveja, podrían ser afectados por la calidad del agua, lo que produciría impactos negativos en la calidad de los cultivos y en su rendimiento. El elevado contenido de boro en el agua produce amarillamiento, manchado o necrosis en el tejido de las hojas y acumulación de boro en plantas y frutos, lo que provoca una dramática disminución de la calidad del pro-

ducto, disminuye el crecimiento de las plantas y el rendimiento de los cultivos.

Según diferentes autores, los síntomas típicos de toxicidad por boro en las plantas son el quemado de las hojas, manchas cloróticas y/o necróticas, generalmente en los bordes de las hojas.

Debido a las tendencias mundiales, expresadas en los acuerdos de libre comercio, los estándares de calidad de los productos de exportación son cada vez más restrictivos, por lo que a futuro no es posible descartar efectos negativos sobre las exportaciones debido a la deficiente calidad del agua de riego utilizada en la zona.

**Tabla: Sensibilidad o tolerancia al boro de cultivos agrícolas**

Nivel de tolerancia	Concentración de boro en agua de riego (mg/l)	Cultivo agrícola
Muy sensible	< 0,5	Mora, limón
Sensible	0,5 - 0,75	Durazno, cereza, ciruela, uva, cebolla, girasol, pomelo, naranja, higo, nogal
Sensible	0,75-1	Ajo, trigo, cebada, frutillas, porotos
Sensible Moderadamente	1,0 - 2,0	Pimienta roja, arveja, zanahoria, rábano, papa, pepino, olivo
Tolerante Moderadamente	2,0 - 4,0	Lechuga, repollo, apio, avena, maíz, alcachofa, tabaco, trébol, calabaza, olivo, zapallo
Tolerante	4,0 - 6,0	Tomate, alfalfa, perejil, betarraga, remolacha
Muy Tolerante	6,0 - 15,0	Espárragos, algodón

agua por las membranas. Otra técnica de membrana, la electrodiálisis, alcanza remociones máximas de sólo un 45 % y ABAR presenta costos de implementación y operación menores en ambos casos.

Al comparar ABAR con técnicas basadas en absorción mediante superficies tales como carbón activado, cenizas, quitosano, alúmina, carbonatos, entre otros, se afirma que éstas sólo son capaces de tratar bajos caudales en tanto que ABAR puede ser utilizada en un amplio rango de caudales. Debido a lo complejo de su regeneración, los materiales absorbentes



*Síntomas de toxicidad por boro en planta de frutilla.*

requieren de recambios más frecuentes. Además la capacidad de captación de boro de los absorbentes es menor a 0,5 mg B/g de

absorbente, en tanto que ABAR es capaz de capturar, en operación continua con tiempos de residencia de 2 a 5 minutos, 3 mg B/g de resina.

Al comparar ABAR con otras resinas comercializadas en Chile, de igual o inferior capacidad de captación de boro, se destaca que ABAR puede ser aplicada a aguas con pH entre 5 y 8, por lo que no se requiere de un pretratamiento para ajustar el pH. En tanto que los proveedores de otras resinas recomiendan ajustar el pH a 8, lo que implica un pretratamiento con un agente alcalino. Incluso

la resina de ABAR es aproximadamente 4 veces más barata que otras resinas.

La tecnología de co-precipitación sobre oxihidróxidos de aluminio, magnesio y hierro presenta como desventajas el generar grandes volúmenes de lodos (ABAR no genera lodos), los que deben ser desechados en alguna parte. Además la co-precipitación es ineficiente para remover concentraciones menores a 100 mg/l de boro e introduce químicos en el agua.

Según los datos de FCh esta tecnología constituye una mejora respecto de las alternativas existentes ya que utiliza una ingeniería de proceso de última generación que implica un aumento en el tiempo de vida del elemento adsorbente, maximiza la capacidad de adsorción, minimiza corrientes residuales y permite obtener un subproducto de valor comercial como lo es el ácido bórico.

La tecnología ABAR apunta a solucionar potenciales incrementos en las exigencias de calidad del agua de riego de los cultivos destinados a la exportación, ya que se considera probable que las exigencias sobre los productos alimentarios aumenten a nivel internacional. Además las normativas internacionales ya establecen concentraciones máximas permitidas de boro en el agua de riego, diferenciadas de acuerdo al tipo de cultivo regado. Particularmente, las concentraciones de boro detectadas en las aguas de los ríos de la Región de Atacama, menores a las encontradas en los ríos de la Región de Tarapacá, hacen factible su implementación y operación debido al menor costo y mayor duración de los ciclos. **CR**

**Más información sobre la tecnología y el proyecto en ejecución en:**  
[www.innovacionambiental.cl/abar](http://www.innovacionambiental.cl/abar)