CONCURSO NACIONAL DE PROYECTOS DE INNOVACIÓN AGRARIA 2002

FORMULARIO DE PRESENTACIÓN DE PROPUESTAS

La propuesta de proyecto deberá presentarse en este formulario, en tres ejemplares (un original y dos copias) y en disquet. Aquellos postulantes que no cuenten con medios computacionales, pueden transcribir el contenido del proyecto directamente a este cuadernillo.

Antes de iniciar la preparación del proyecto y el llenado del formulario se solicita leer con detención todos los puntos del "Instructivo para la Presentación de Propuestas", a fin de evitar errores que dificultarán posteriormente la evaluación de la propuesta por parte de la Fundación, o que puedan ser motivo de rechazo de la propuesta en las etapas de admisión o evaluación.

El formulario está dividido en secciones, que incluyen cierto espacio para la presentación de la información. Si el espacio en una sección determinada no es suficiente, se podrán agregar hojas adicionales, identificando la sección a la cual pertenecen. Podrá adjuntarse además cualquier otro tipo de información adicional o aclaratoria que se considere importante para la adecuada descripción de la propuesta.

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA

FOLIO DE BASES [ ]

CÓDIGO (uso interno) **FIA–PI–C– 2002-S-75**

1. ANTECEDENTES GENERALES DEL PROYECTO

NOMBRE DEL PROYECTO:

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 viabilizen su uso en el riego para permitir una agricultura diversificada

Línea Temática: DIVERSIFICACIÓN **Rubro:** AGRÍCOLA

Región(es) de Ejecución: PRIMERA REGIÓN (I)

Fecha de Inicio: 04/11/2002

Fecha de Término: 20/07/2004

DURACIÓN: 21 meses

AGENTE POSTULANTE:

Nombre : UNIVERSIDAD DE TARAPACÁ
Dirección : GENERAL VELÁSQUEZ # 1775 Ciudad y Región: ARICA I REGIÓN
RUT :
Teléfono : Fax y e-mail:
Cuenta Bancaria : BANCO SANTANDER

AGENTES ASOCIADOS:

EMPRESARIA PAOLA GAETE

REPRESENTANTE LEGAL DEL AGENTE POSTULANTE:

Nombre : LUIS TAPIA ITURRIETA
Cargo : RECTOR
RUT : Firma:
Dirección : GENERAL VELÁSQUEZ # 1775 Ciudad y Región: ARICA I REGIÓN
Fono: : Fax y e-mail:

REPRESENTANTE LEGAL DEL AGENTE ASOCIADO:

Nombre : PAOLA ANGELICA GAETE PARRA
Cargo : PROPIETARIA
RUT : Firma:
Dirección : ALONSO DE ERCILLA # 877 Ciudad y Región: ARICA I REGIÓN
Fono : Fax y e-mail:

COSTO TOTAL DEL PROYECTO
(Valores Reajustados) : $ [ ]

FINANCIAMIENTO SOLICITADO
(Valores Reajustados) : $ [ ] [ ] %

APORTE DE CONTRAPARTE
(Valores Reajustados) : $ [ ] [ ] %

GOBIERNO DE CHILE FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

2. EQUIPO DE COORDINACIÓN Y EQUIPO TÉCNICO DEL PROYECTO

2.1. Equipo de coordinación del proyecto
(presentar en Anexo A información solicitada sobre los Coordinadores)

COORDINADOR DEL PROYECTO		
NOMBRE LEONARDO FERNANDO FIGUEROA TAGLE	RUT	FIRMA
AGENTE UNIVERSIDAD DE TARAPACA		DEDICACIÓN PROYECTO (%/año) 20
CARGO ACTUAL **DIRECTOR DEPARTAMENTO DE QUÍMICA**		CASILLA
DIRECCIÓN GENERAL VELÁSQUEZ # 1775		CIUDAD ARICA
FONO	FAX	E-MAIL

COORDINADOR ALTERNO DEL PROYECTO		
NOMBRE LORENA CORNEJO PONCE	RUT	FIRMA
AGENTE UNIVERSIDAD DE TARAPACA		DEDICACIÓN PROYECTO %/AÑO 10
CARGO ACTUAL ACADEMICO JORNADA COMPLETA		CASILLA
DIRECCIÓN GENERAL VELÁSQUEZ # 1775		CIUDAD ARICA
FONO	FAX	EMAIL

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA

2.2 . Equipo Técnico del Proyecto
(presentar en Anexo A información solicitada sobre los miembros del equipo técnico)

Nombre Completo y RUT	Profesión	Especialidad	Función y Actividad en el Proyecto	Dedicación al Proyecto (%/año)	Firma
LEONARDO FERNANDO FIGUEROA TAGLE	LABORATORISTA QUÍMICO	EXPERTO EN AGUAS Y SUELO	COORDINADOR	20	
LORENA DEL PILAR CORNEJO PONCE	LABORATORISTA QUÍMICO	QUÍMICA ANALITICA	COORDINADOR ALTERNO	10	
MARLENE VASQUEZ SIAU	INGENIERO CIVIL BIOQUIMICO	EXPERTO EN PROCESO	ENCARGADO DE LA EJECUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES, ANALISIS DE RESULTADOS, ELABORACIÓN DE INFORMES	50	
CAMILO ANDRES URBINA	INGENIERO AGRONOMO	EXPERTO AGRÍCOLA	ENCARGADO DE LAS PRUEBAS DE CAMPO, ANALISIS DE RESULTADOS, ELABORACIÓN DE INFORMES	25	
PERCY DAUELSBERG	ADMINISTRADOR PREDIO LLUTA		RESPONSABLE DEL PREDIO EXPERIMENTAL	25	

GOBIERNO DE CHILE FUNDACIÓN UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

3. BREVE RESUMEN DEL PROYECTO

(Completar esta sección al finalizar la formulación del Proyecto)

El alto contenido de boro (concentraciones superiores a 10 miligramos de boro por litro y de hasta 40 mg B / l) en aguas de varios ríos del norte grande (I y II regiones) limita fuertemente el potencial agrícola de los mismos, debido a la toxicidad del boro para la mayoría de los cultivos al superar los 3 miligramos por litro en el agua de riego. El problema afecta también a parte de la población de Arica, que consume aguas con mucho más de 0,3 miligramos de boro por litro, que es la norma recomendada por la OMS. Los métodos actuales para remover el boro del agua son de alto costo, que impiden su uso en agricultura, y encarecen el uso para agua potable. El método que más se ha empleado para desalinizar el agua, por su relativo menor costo, la osmosis inversa, no remueve más del 50% del boro presente en el agua, insuficiente dada las altas concentraciones iniciales. El equipo profesional que ha elaborado la presente propuesta ha desarrollado un método eficaz a nivel de laboratorio que remueve más del 97% del boro en el agua (dada cualquier concentración inicial) y que puede ser implementado a escala práctica en operaciones agrícolas a nivel de predio, por su bajo costo, a nivel de plantas ya instaladas, en especial si existe el proceso de osmosis inversa, caso en el cual el costo de tratamiento para remover el boro resulta marginal. La presente propuesta tiene por objetivo desarrollar el método en su implementación por medio de la optimización de los parámetros económicos de funcionamiento, y permitir su uso en agricultura de cualquier tipo, así como su incorporación a sistemas de agua potable. El proyecto se ha dividido en 3 etapas; en la primera se desarrollará y optimizará el método a nivel de laboratorio en la Universidad de Tarapacá; posteriormente se los resultados se replicaran a nivel piloto o precomercial, en donde se cultivaran diferentes variedades de hortalizas y/o flores sensibles al boro, regadas con agua superficiales del valle de Lluta tratadas y depuradas de boro. Luego se desarrollará un plan de transferencia a los sectores objetivo. Es clave en la implementación de resultados la participación de un agricultor del valle de Lluta, afectado por el problema para el desarrollo a nivel piloto, que permitirá validar en un marco práctico y realista la eficacia y eficiencia del sistema desarrollado, además de formar la base del plan de transferencia como unidad demostrativa; todos estos elementos se incorporaron en la formulación de la propuesta a fin de que los resultados sean rápidamente adoptados por quienes son los principales afectados por la presencia de boro en el agua.

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS
Y PROYECTOS

4. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA A RESOLVER

El presente proyecto se ha planteado para resolver el problema de las altas concentraciones del elemento boro (símbolo B) presentes en el agua superficial y subterránea que se utiliza para riego, consumo humano y animal en los Valles de los ríos Lluta, Camarones y Loa. Estas concentraciones de boro, que varían en un rango entre 10 y 40 miligramos de B por litro según la cuenca y el nivel de extracción, resulta tóxica para la mayoría de los cultivos (el problema comienza con sobre 3 miligramos de boro por litro) y hay evidencia sustancial de que existen riesgos para la salud humana y animal con concentraciones superiores a 0,3 miligramos de boro por litro de agua potable (norma OMS).

La importancia económica del problema, en el caso agrícola, queda de manifiesto analizando el precio de las tierras agrícolas (utilizado como índice indirecto de la rentabilidad potencial de los terrenos) en el Valle de Lluta, comparado al del Valle de Azapa, que no tiene el problema del boro. Debe tenerse en cuenta que la única diferencia productiva entre estos valles se debe a la calidad del agua, ya que el clima y suelo son similares. El precio de una hectárea con derechos de agua en el Valle de Lluta se encuentra en el rango 3 a 8 millones de pesos; una hectárea en el Valle de Azapa con derechos de agua vale entre 12 y 25 millones de pesos. Como se ve, la rentabilidad potencial es al menos 3 veces mayor en el Valle de Azapa respecto al Valle de Lluta, el cual tiene una superficie bajo cultivo de 2.700 hectáreas. Si a esto se añade que el Valle de Lluta cuenta con suficiente agua de riego, la cual es superficial (no tiene el costo de bombeo desde pozo profundo), queda en evidencia el gran potencial económico que alcanzaría de solucionarse el problema del boro; cabe destacar que se da una situación análoga para el Valle de Camarones (15 a 20 miligramos de boro por litro), y repetible también en el Valle del río Loa (17 miligramos de boro por litro), con 2.000 y 3.500 hectáreas cultivadas, respectivamente.

GOBIERNO DE CHILE
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA
UNIDAD DE
Y PROY

Por otro lado, al incorporarse el punto de vista de salud humana, ya que las aguas del río Lluta surten parcialmente de agua potable a la ciudad de Arica, a la luz de los antecedentes recopilados, la relevancia social del problema, aunque de difícil cuantificación económica, es tremendamente relevante. Es importante destacar que, en el caso del agua potable que se utiliza en la ciudad de Arica para el riego de jardines privados y municipales, la contaminación con boro resulta en la muerte gradual de muchas especies ornamentales, lo que deteriora la calidad de vida de los habitantes aún más, hecho que así ha venido ocurriendo en los últimos meses.

Lamentablemente, el boro, presente en el agua naturalmente en forma de anión borato ($B(OH_4)^-$), es un soluto muy difícil de remover por los métodos de desalinización tradicionalmente de menor costo, los que lo retiran en forma insuficiente, por lo cual el agua tratada sigue conteniendo una alta proporción del ion en solución. El método de desalinización más barato, aún demasiado caro para su uso en agricultura tradicional, es la Osmosis Inversa, y remueve en el mejor de los casos un 50% del boro presente en el agua. Sin embargo, el equipo profesional que ha desarrollado la presente propuesta ha encontrado una forma innovativa de aplicar principios químicos conocidos, logrando un método que ha demostrado ser capaz de remover más del 97% del boro presente en el agua, a nivel de laboratorio. Este método, por sus características de sencillez y diseño, es factible de implementar a escala práctica para adaptarlo a las necesidades agrícolas a nivel de riego en predios, y de agua para bebida, a nivel de plantas de agua potable ya instaladas, con el componente adicional de ser potencialmente de bajo costo y muy alta eficiencia respecto a las alternativas, lo cual se espera lograr por medio de la ejecución del presente proyecto.

Lográndose el objetivo de la propuesta, las perspectivas económicas a corto plazo, incluso dentro del periodo de ejecución del proyecto, son auspiciosas por un incremento de la actividad agrícola en base a una diversificación de rubros, así como un negocio tecnológico basado en la comercialización de la tecnología para usos agrícolas e industriales.

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS
Y PROYECTOS
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA

Con el proyecto se quiere llevar el nivel de Boro disuelto en el agua desde niveles de 40 miligramos por litro (mg / l) a menos de 3 mg / l (uso agrícola). El costo de remoción de boro por metro cúbico procesado no debe superar los US$ 0,2 para el uso agrícola. En el caso agrícola del Valle de Lluta y similares, se espera abrir un amplio panorama de especies cultivables con respecto a las escasas y poco rentables alternativas que hoy existen dada la fitotoxicidad del boro. En el caso agrícola del valle de Azapa y similares se contará con agua de alta calidad para viabilizar los cultivos de mayor sensibilidad al boro. El incremento previsto en los flujos, de implementarse los resultados del proyecto, es del orden de 14 veces al 5 año, comparado a la mantención de la situación actual.

GOBIERNO DE CHILE
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

5. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

1. ESTRUCTURA Y PROPIEDADES QUÍMICAS DEL ELEMENTO BORO:

El elemento químico Boro, de símbolo B, es el de número atómico 5 dentro del grupo IIIB del sistema periódico de los elementos. Entre sus propiedades atómicas cabe destacar que posee una masa atómica = 10,81, un radio covalente = 0,82Å, un radio atómico = 1,17Å, un volumen atómico = 4,6cm^3/mol (Tabla Periódica de los Elementos, Sargent-Welch Scientific Company).

2. OCURRENCIA EN LA NATURALEZA DEL ELEMENTO BORO:

El boro es un elemento ubicuo en el ambiente, que se presenta en forma natural en más de 80 minerales, y constituyendo el 0,001% de la corteza terrestre. A pesar de que las rocas sedimentarias contienen más boro que las rocas ígneas, el elemento es encontrado más comúnmente en rocas graníticas y pegmatites. Las erupciones volcánicas liberan ácido bórico (ácido ortobórico, $B(OH)_3$) y Trifluoruro de Boro (BF_3). En consecuencia, las concentraciones de boro en el agua en regiones volcánicas son altas. El agua de mar también contiene ácido bórico, siendo la evaporación de lagunas de agua de mar una de las formas comerciales de extracción de boro (Health Canada, 1991).

Los compuestos de Boro, principalmente el ácido bórico y el borato de sodio (Borax, $Na_2B_4O_7*10H_2O$), se utilizan en la preparación de desinfectantes y medicamentos, en la manufactura de vidrio borosilicato, como componente de pinturas, como antioxidantes para soldadura, y en las industrias de cosméticos, curtiembre, textil, de fabricación de pinturas y de proceso de maderas. El Borax y el ácido bórico se usan en Canadá como insecticidas; el borax también se usa como agente antimicrobiano, y extensivamente como compuesto de limpieza. (Health Canada, 1991).

GOBIERNO DE CHILE
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

El boro es un elemento esencial para el crecimiento vegetal y se aplica directamente al suelo como fertilizante. El borato de sodio y el ácido bórico se utilizan también como agentes fungostáticos en hortalizas, frutales y forestales. (Health Canada, 1991)

El contenido de boro varía entre 0,002 y 0,1 mg/g de peso seco (Health Canada, 1991). Es altamente móvil en este medio y se lixivia con facilidad. Los factores que influencian la adsorción del boro a las partículas de suelo incluyen pH del suelo, textura, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, humedad y temperatura.

En la perspectiva histórica, los compuestos de Boro son conocidos desde la época de los Babilonios, existiendo evidencia de que han sido usado por los Egipcios, Chinos, Tibetanos y Árabes. En cuanto a su ocurrencia, de origen natural, al ser un elemento demasiado reactivo, no se le encuentra en el estado libre, de hecho se encuentra combinado en diversos minerales, como por ejemplo "sassolite" (H_3BO_3) existente en Italia, "colemanite" ($Ca_2B_6O_{11}*5H_2O$), "kernite" (rasurite $Na_2B_4O_7*4H_2O$) en Estados Unidos, "boracite" ($Mg_7B_{10}Cl_2O_{30}$) en Alemania y "ulexite" ($CaNaB_5O_9*8H_2O$) en Bolivia, Perú y Chile.
(www.if.ufrj/teaxching/elemen/e00520.html).

Cabe destacar que la ocurrencia natural de la ulexita en el norte de Chile, representa una de las razones que en la perspectiva de la génesis asociada a la geoquímica han dado origen a "valles boratados tanto en sus aguas como en sus suelos", de uso agrícola, dentro de la provincia de Arica en particular, como en general en distintos lugares a lo largo del norte de nuestro país (Figueroa et al, 1994).

La ulexita, contiene de Boro aproximadamente un 30% expresado como trióxido de boro, B_2O_3, siendo la porción solubilizada en agua lo suficientemente importante como para generar elevadas concentraciones relativas en la solución resultante, particularmente en las aguas naturales que están disponibles para ser utilizadas en

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS
Y PROYECTOS
FUNDACIÓN PARA LA

actividades como el riego de cultivos y como recurso de bebida para hombres y animales. Siendo el agua natural de precipitación lluvia, la que dentro del ciclo que le es propio comienza a interactuar física y químicamente con los minerales de la corteza terrestre, el principal medio de transporte del Boro hacia sectores de acumulación como las "aguas subterráneas" o hacia sectores ubicados pendiente abajo vía "aguas de escorrentía", se debe destacar las formas de ocurrencia del elemento en la solución acuosa. Al respecto, cuando la concentración de la especie química "bórax" ($Na_2B_4O_7*10H_2O$) alcanza un nivel ≤ 0,1M, equivalente a 43.000mg/L de B, se disocia en las especies $B(OH)_3$ conocida como ácido bórico, monobásico y débil, con pKa = 9,24, donde la aceptación de electrones provenientes del OH^- del agua, cualidad que lo califica como ácido Lewis, permite la reacción y existencia de la especie química $B(OH)_4^-$ conocida como anión borato:

$B(OH)_3 + HOH \leftrightarrow B(OH)_4^- + H^+$ (I); $Ka = 5,8 *10^{-10}$

Resulta evidente que la proporción de ambas especies en la solución acuosa son dependientes del pH del medio, esto es que mientras más ácido es éste, entonces la predominancia será a favor de la especie molecular no ionizada ácido bórico e inversamente, mientras más básico es el medio, la especie predominante será la especie iónica monovalente borato. (Walsh y Beaton, 1973).

A concentraciones ≤ 0,025M del ion $B(OH)_4^-$ equivalente a 270mg/L del elemento B, en los sistemas acuosos naturales sólo están presentes esencialmente especies mononucleares $B(OH)_3$ trigonal y $B(OH)_4^-$ tetraédica (Kotton y Wilkinson, 1988).

Para el boro se reportan varios métodos analíticos:

- El método de la curcumina, consiste en la acidificación y evaporación en presencia de curcumina para producir rosocianina, la cual se extrae con etanol y se compara fotométricamente con estándars. Se recomienda para concentraciones de boro en el agua entre 0,1 y 1,0 mg/l.

- El método del carmín, que implica la combinación con carmín o ácido carmínico en ácido sulfúrico seguida por medita fotométrica. Se recomienda para concentraciones de boro en el agua entre 1 y 10 mg/l.
- Determinación espectrofotométrica con 1,1'diantrimida o azometina-H para concentraciones entre (0,01 y 0,2 mg/l.).
- Determinación volumétrica seguida por destilación (óptima para aguas que contienen más de 0,2 mg/l. y contienen turbidez no filtrable).

3. REACCIONES DEL ÁCIDO BÓRICO EN MEDIO *ACUOSO (dentro del contexto del proyecto)*:

Dado que las concentraciones de Boro en las aguas naturales existentes en la región, alcanzan hasta un máximo de algunas pocas decenas de mg B/L (Figueroa, 1994), entonces tenemos que las especies químicas predominantes que existen en estas soluciones corresponden a las hidroxiladas señaladas en la ecuación (I). Cabe destacar la reactividad del ácido bórico en la solución acuosa con algunos polialcoholes para formar complejos queláticos ácidos. Con alcoholes polihidroxílicos, que tienen grupos hidróxidos *cis*, el ácido bórico forma complejos quelatos por pasos:

1:1 $(CH2)_2(O)_2B^{(-)}(OH)_2$
ó
1:2 $(CH2)_4(O)_4B^{(-)}(OH)_4$

pudiendo estos últimos ser muy estables. En los complejos 1:1, la acidez de los grupos OH excede la del $B(OH)_3$, de modo que si se añade glicerol a una solución de ácido bórico, éste se puede valorar usando hidróxido de sodio acuoso (Kotton et al, 1988). La complejación del Boro con compuestos polihidroxílicos es un aspecto muy conocido de la química del elemento (Woods, 1996).

4. PRINCIPALES LUGARES CON PRESENCIA NOTABLE DE BORO EN AGUAS PARA USO AGRÍCOLA O POTABLE:

En Turquía existen fuentes de agua potable variadas en función de la concentración de Boro, por ejemplo aguas con 8,5 a 29 mg B/L, otras con 2,05 a 2,5 mg B/L y otras con 0,03 a 0,40 mg B/L (Reprod. Toxicol., 1998).

En varios sectores del norte de Chile, desde la I Región Tarapacá a la III Región Atacama, a lo largo de algo menos que 2.000 Km, se cultiva el olivo, en una diversidad de suelos y aguas en relación con sus respectivas características nutricionales y de salinidad (Tapia et al, 1995).

Concentración de Boro en aguas para riego de olivos de distintos sectores del norte de Chile. Comparación con el valle de Lluta (Figueroa et al, 1998).

Sector Agua de Riego	Fuente de Agua	B 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

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS
Y PROYECTOS
FUNDACIÓN AGRARIA

En el valle de Camarones, dentro de la provincia de Arica, para el período de los años 1977 – 1979, distintos sectores del río homónimo, las concentraciones de Boro fueron las siguientes:

Sector (Nº de observaciones)	mg B/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

(Zumaeta Dattoli, Oscar.1981. Constituyentes químicos de varias aguas de riego de las provincias de Arica y Parinacota, Primera Región - Chile. Revista Arica Nº8, Serie Química, Universidad del Norte)

Se observa una situación comparable a la del valle de Lluta, de hecho en el valle de Camarones la diversidad de cultivos, en el valle propiamente tal, es también muy limitada.

4.1 Caracterización de los Valles de Lluta y Azapa en cuanto a la calidad de sus aguas:

El norte de Chile es un área geográfica en la cual el clima predominante es característicamente desértico. Debido a esto, las fuentes de agua superficial y subterráneas son un recurso muy valioso. Adicionalmente, y desde el punto de vista agrícola, las condiciones agroclimáticas (esto es, las variables climáticas de importancia para la agricultura como temperaturas, luminosidad, etc.) presentes en la zona norte (I a III regiones) permiten una alta productividad si se dispone de agua para riego, por lo cual, si bien es cierto la magnitud de la superficie agrícola total de la zona norte es pequeña con respecto al concierto nacional, su productividad e importancia económica son altas. Sin embargo, y como se verá en el desarrollo de las

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA

siguientes secciones, existen serias limitantes respecto a la calidad del agua que se utiliza para riego en diversas cuencas de esta zona, en especial en lo que se refiere al boro. A continuación se caracterizarán desde el punto de vista hidrológico las dos cuencas de mayor importancia agrícola de la I Región, ambas ubicadas en la provincia de Arica, para establecer la magnitud del problema de la presencia de Boro, toda vez que además de utilizarse para riego esta agua también están siendo utilizadas para consumo humano.

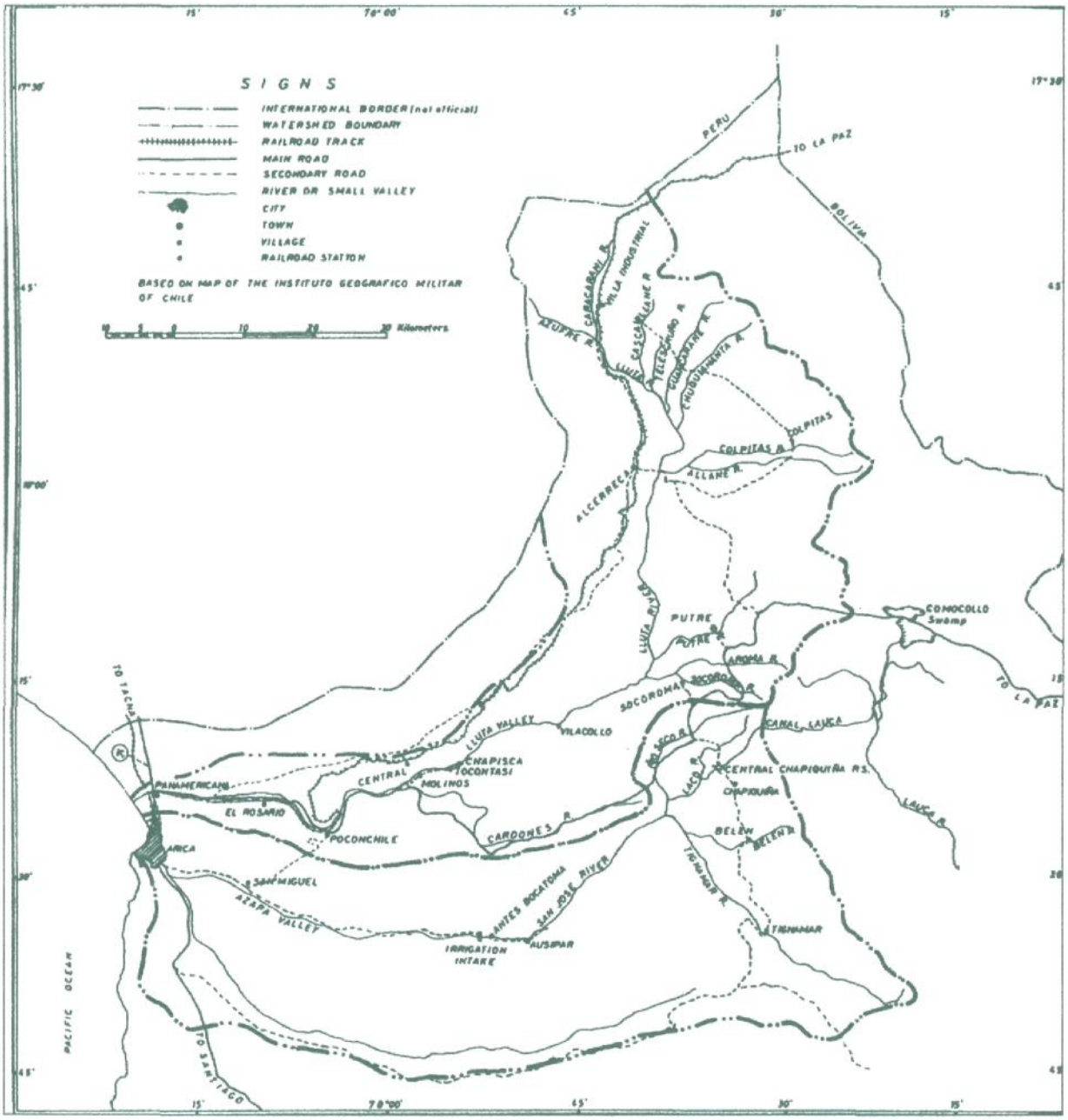
4.1.1 Caracterización de la cuenca del Valle de Lluta (JICA, 1995):

El río Lluta abarca una cuenca hidrográfica de 3,378 km^2. El agua se origina en la Cordillera de los Andes, con una altura de 4,000 - 5,000 m. Las precipitaciones de la cuenca se limitan a las áreas superiores de la cordillera. Las precipitaciones promedio anuales aumentan gradualmente de cero en el valle del Bajo Lluta, a 350 mm en la Cordillera de los Andes.

El agua es recolectada por los tributarios aguas arriba y transferida por el río principal a las planicies aguas abajo del río. Finalmente es descargada al mar en el borde norte de la ciudad de Arica. Los principales tributarios aguas arriba que recolectan el agua son: Azufre, Caracarani, Cascavillane, Teleschuño, Guancarane, Chuquiananta, Colpitas, Allane, Putre, Aroma y Socoroma.

El agua del río se extrae en 80 puntos en el valle a Lluta a 65 km de distancia entre Vilacollo y Panamericana para el riego de 2,784 ha de terreno para cultivo, que se extienden a lo largo del río Lluta. La extracción de agua de río en los tramos aguas arriba de Vilacollo es insignificante.
La extracción de agua subterránea se limita al área inferior del valle de Lluta. Una pequeña cantidad de agua subterránea es bombeada por aproximadamente dos pozos para regadío y usos industriales.
La ubicación del sistema fluvial de la cuenca del río Lluta, se muestra en la figura siguiente:

GOBIERNO DE CHILE
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS



GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS
Y PROYECTOS
FUNDACION PARA LA INNOVACION AGRARIA

Caudal Superficial del Río Principal y Tributarios

El flujo del río Lluta en Tocontasi y Chapisca ha sido observado por la DGA desde 1946. Los caudales promedios, de 80% y 90% de excedencia, por temporada, se resumen a continuación:

	Ene.-Mar.	Abr.-Jun	Ju l.-Sep.	Oct.-Dic.	(Unidad 1/s) Promedio
Promedio	3.950	1.790	1.742	1.382	2.216
80% Excedenc.	1.752	1.455	1.454	1.116	1.444
90% Excedenc.	1.357	1.261	1.370	1.050	1.260

Las fuentes de agua del río Lluta se limitan a los siguientes tributarios aguas arriba (ver Figura):

(1) Caracarani
(2) Azufre
(3) Tributarios de la ladera oriental (Cascavillane, Teleschuño, Guancarane y Chuquiananta).
(4) Colpitas (Colpitas y Allane)
(5) Putre y Otros (Putre, Aroma y Socoroma)

En este estudio se llevó a cabo, entre Junio 1 al 3 de 1993, una observación simultánea del caudal de los tributarios superiores junto con el Río Lluta en Chapisca. Los resultados se muestran a continuación:

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS
Y PROYECTOS
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA

Río	Flujo(1/s)	Porcent. (%)	Probabilidad de Excedencia del Flujo en Junio (%)
Caracarani (en Humapalca)	394	33	50
Azufre	76	6	
Tributarios de la ladera oriental	334	29	
Sub-total (Caracarani en Alcerreca)		(68)	50
Colpitas	231	19	95
Putre y Otros	360	31	
Pérdida	-211	-15	
Lluta (en Chapisca)	1.184	100	95
Nota: La pérdida incluye el consumo de agua para regadío en Putre, Socoroma y el valle de Lluta aguas arriba de Chapisca, y errores de observación.			

Caudal Superficial Excedente

Existen aproximadamente 2.500 ha de terrenos para cultivo irrigados en los tramos aguas abajo de Tocontasi y Chapisca. Consumen gran parte del agua superficial para riego de cultivos. El agua restante es descargada al mar como agua excedente.

La estación fluviométrica localizada en los tramos inferiores del río es Panamericana. Esta estación está ubicada 2 km aguas arriba de la desembocadura del río. El flujo superficial observado en esta estación proporciona una aproximación del agua superficial excedente de la cuenca del río Lluta.

Los caudales promedios de 80% y 90% de excedencia, por temporada en Panamericana, es el siguiente:

	Ene.-Mar.	Abr.-Jun.	Jul.-Sep.	Oct.-Nov.	Promedio
Promedio (l/s)	3,744	906	643	248	1,385
80% Exced. (l/s)	520	390	409	76	349
90% Exced. (l/s)	340	274	348	63	256

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA

Características Sobresalientes de la Calidad del Agua Superficial

La DGA ha llevado a cabo un completo análisis del río Lluta desde 1967. El agua del río Lluta está muy contaminada por el agua de los tributarios aguas arriba de Azufre y Colpitas. Los elementos contaminantes son originados principalmente de fuentes de contaminación naturales. Los principales elementos que afectan la calidad del agua excediendo los límites permisibles para agua potable son: As, B, Fe, Cl, y SO_4. Los contenidos de As, B, Fe, Cl, y SO_4 en los principales sitios de la cuenca del Lluta se ven en tabla adjunta. En este estudio se condujo un análisis simultáneo de la calidad del agua de los tributarios de aguas arriba, junto con el río Lluta (Chapisca), para identificar las fuentes de contaminación (ver datos en tabla adjunta).

Calidad del Agua Superficial (Valle de Lluta)

Río	Punto de muestra	As (mg/l)	B (mg/l)	Fe (mg/l)	Cl (mg/l)	SO_4 (mg/l)	pH
Caracarani	Huamapalca	0.120	3.23	1.17	165	285	7.80
Azufre	Huamapalca	1.246	19.05	61.94	1,377	2,111	2.11
Caracarani	Alcerreca	0.140	5.81	4.79	219	305	5.72
Colpitas	Alcerreca	0.465	21.55	1.41	545	223	7.53
Lluta	Alceneca	0.209	9.85	4.83	309	284	6.28
Lluta	Tocontasi	0.305	10.69	3.82	323	310	6.89
Lluta	Poconchile	0.173	11.17		411	373	7.05
Lluta	Panamericana	0.124	16.84	2.37	704	751	7.43
Limite permisible		0.05		0.30	250	250	6.0-8.5

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS
Y PROYECTOS
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA

Calidad de Agua Tributarios (Curso Superior) (Observado en Jun 1993)								
Río	Tasa de flujo		As		B		Fe	
	(l/s)	(%)	(mg/l)	(%)	(mg/l)	(%)<3	(mg/l)	(%)
Caracarani	394	28.2	0.085	5.2	2.30	6.3	0.26	1.2
Azufre	76	5.4	4.308	51.1	25.72	13.5	82.24	75.0
East Tributaries	334	23.9	0.112	5.8	0.23	0.5	2.75	11.0
Cascavillane	(82)	(5.8)	(0.421)	(5.4)	(0.48)	(0.3)	(10.30)	(10.1)
Otros <1	(252)	(18.1)	(0.012)	(0.4)	(0.15)	(0.2)	(0.30)	(0.9)
Colpitas	231	16.6	0.981	35.3	13.28	21.2	2.38	6.6
Colpitas superior	(211)	(15.1)	(1.058)	(34.8)	(14.10)	(20.6)	(2.54)	(6.4)
Allane superior	(20)	(1.4)	(0.175)	(0.5)	(4.74)	(0.6)	(0.74)	(0.2)
Putre y otros <2	360	25.8	0.045	2.6	1.22	3.0	1.43	6.2
Total / promedio	1,395	100.0	0.460	100.0	4.77	43.5	6.19	100.0
Lluta (en Chapisca)	1,184		0.270		12.22	100.0	2.55	
Limite Permisible			0.05				0.30	

Notas:
<1 Otros: Teleschuño, Guancarane y Chuquiananta
<2 Otros: Aroma y Socoroma
<3 B (%) : Porcentaje al Lluta, en Chapisca
Promedio: Promedio ponderado de todos los tributarios.

Las características sobresalientes de la calidad del agua de la cuenca del río Lluta son las siguientes:

(1) Las mayores fuentes de As las constituyen los ríos Azufre y Colpitas Superior que representan el 86.4% del total de As de la cuenca.

(2) La principal fuente de Fe la representa el río Azufre con un porcentaje de 75% del total de Fe de la cuenca.

(3) Los ríos Azufre y Colpitas Superior constituyen las grandes fuentes de B. No

GOBIERNO DE CHILE
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

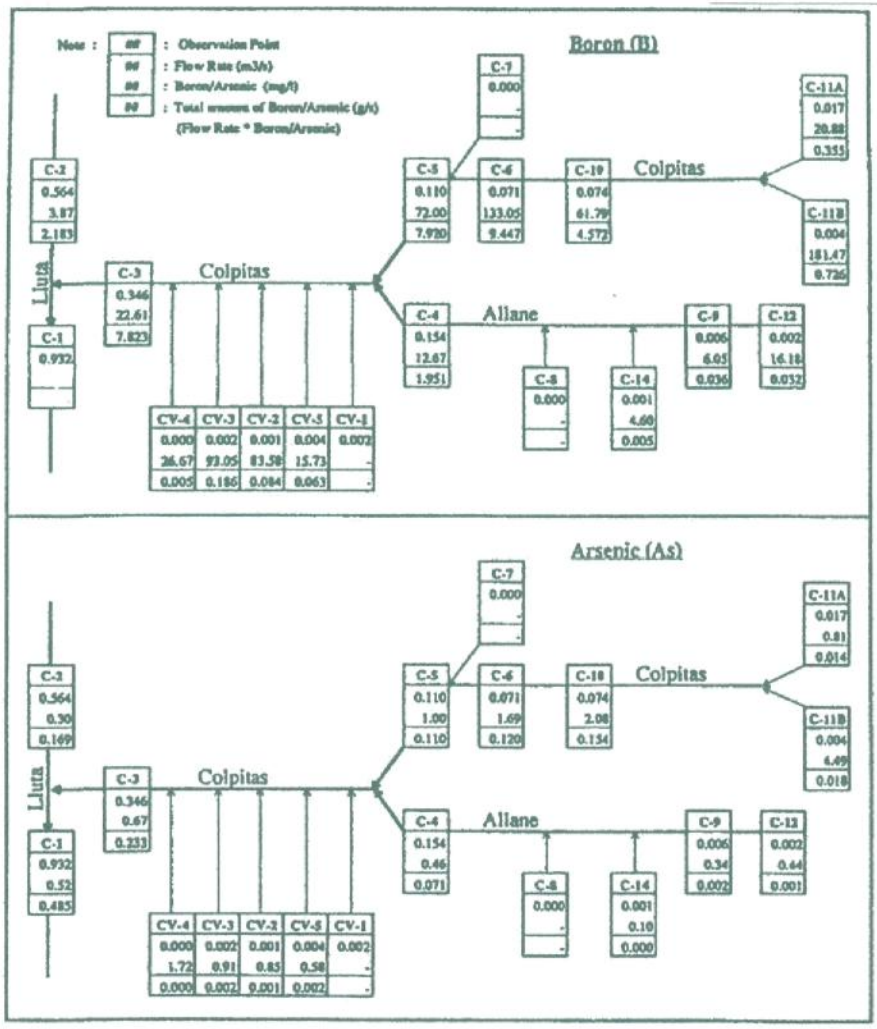
obstante, una parte considerable proviene de fuentes distintas a los tributarios observados en Junio de 1993.

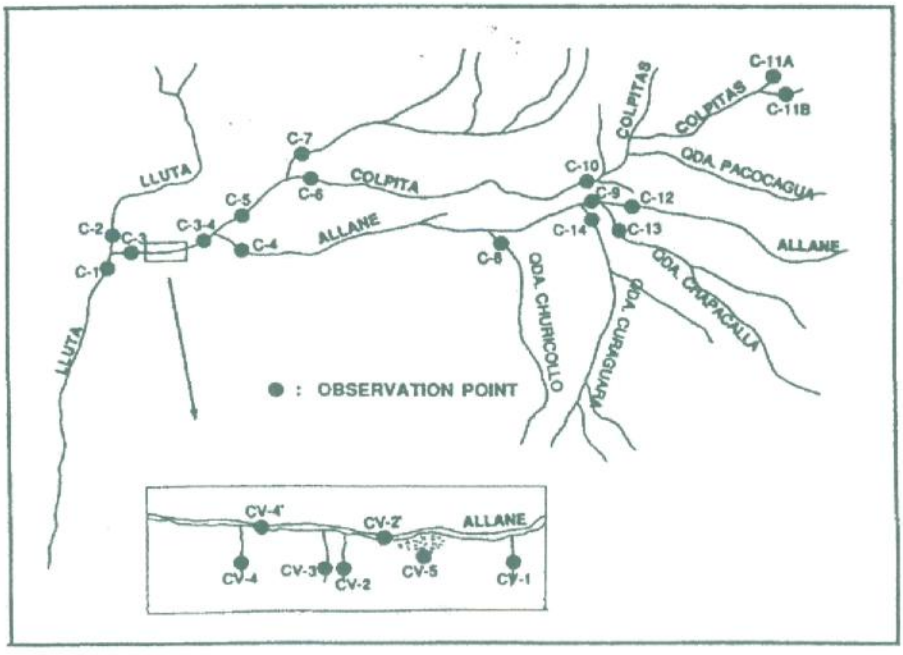
(4) En el valle de Lluta, As y Fe disminuyen gradualmente hacia aguas abajo desde Tocontasi hasta Panamericana debido a efectos de purificación natural. Por otra parte, B, Cl y S04 aumentan hacia aguas abajo.

Fuentes de Contaminación del Agua Superficial

Este estudio efectuó una detallada observación sobre calidad del agua, en Noviembre de 1993, con el propósito de identificar las principales fuentes de contaminación del agua de los ríos Azufre y Colpitas. La calidad del agua observada en cuanto a As y B en cada punto de los ríos Azufre y Colpitas se indica en las siguientes figuras:

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS
Y PROYECTOS
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA





GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA

Río Azufre

Las cargas contaminantes de As y B en el río Azufre aumentan gradualmente hacia abajo hasta el punto A-8. Sin embargo, disminuyen considerablemente entre el punto A-8 y el punto A-5A, aún cuando el caudal aumenta en estos tramos. De allí en adelante, nuevamente aumentan entre el punto A-5A y el puntoA-3 (desembocadura del Azufre), a pesar de que el caudal disminuye en estos tramos.

El caudal y las cargas contaminantes por sector fluvial se detallan a continuación:

Sector Fluvial	A-8	A-5A	A-3
Caudal(l/s)	48	119	74
Contenido de As(mg/l)	6.75	0.01	5.21
Carga de As (g/s)	0.324 (83.9%)	0.001(0.3%)	0.386 (100%)
Contenido de B (mg/l)	28.93	6.82	27.87
Carga de B (g/s)	1.389 (67.4%)	0.812 (39.4%)	2.062 (100%)

Las mayores fuentes de contaminación se presentan entre los puntos A-5A y A-3. Se considera que las cargas de contaminación surgen de los lechos ya que los tributarios que se unen al río entre las dos secciones no contenían agua superficial durante el periodo de observación.

La producción de carga contaminante de los lechos entre los puntos A-5A y A-3 representa un 99.7% para el As y un 60.6% para el B de las cargas totales de contaminación en la desembocadura del Azufre.

El desvío del cauce existente entre los puntos A-5A y A-3 se considera como uno de los proyectos prospectados para reducir el As y B del río Azufre. Sin embargo, esta desviación no sería suficiente como para solucionar completamente el problema del

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS
Y PROYECTOS
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA

boro, ya que otros afluentes también lo aportan.

Río Colpitas

La mayor proporción de As y B se origina aguas arriba del punto C-10. El porcentaje de carga de contaminación en este punto a la carga total del río Colpitas (carga en el punto C-3) corresponde a 66.1% de As y 58.4% de B, como se indica a continuación:

Sección Fluvial	C-10	C-3
Caudal (l/s)	74	346
Contenido de As (mg/l)	2.08	0.67
Carga de As (g/s)	0.154(66.1%)	0.233(100%)
Contenido de B (mg/l)	61.79	22.61
Carga de B (g/s)	4.572 (58.4%)	7.823 (100%)

Se considera la construcción de un estanque de evaporación del agua del río en el punto C-l0, como uno de los proyectos prospectados para reducir el As y B del río Colpitas. Sin embargo, esta medida implica reducir el caudal disponible aguas abajo al perderse el agua por evaporación.

Acuíferos del Valle de Lluta

La ubicación y el tamaño de los acuíferos en el valle del Bajo Lluta se estimaron en base a las pruebas de sondaje de JICA junto con datos previos de sondaje. La parte principal del acuífero se ubica en los depósitos fluviales que se distribuyen en el valle entre Panamericana y Rosario. La distancia entre Panamericana y Rosario es de aproximadamente 18 km. La pequeña parte restante del acuífero está contenida en la

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA

formación Concordia que se distribuye en las áreas aguas abajo de la Panamericana. La distancia entre la Panamericana y la costa es aproximadamente 2 km. Los depósitos fluviales se dividen en dos unidades, superior e inferior, mediante una fina capa de toba, en el área entre la Panamericana y Chacabuco. No obstante, la capa de toba desaparece en Chacabuco, integrando tanto las unidades superiores como inferiores en el área aguas arriba de Chacabuco. La formación Concordia también se divide en dos unidades, superior e inferior, mediante una fina capa de toba.

Almacenamiento Estimado de Agua Subterránea

El principal acuífero del valle del Bajo Lluta se extiende desde Rosario hasta la costa. Sin embargo, no se puede esperar un gran desarrollo de agua subterránea en el acuífero de la formación Concordia, distribuido aguas abajo de Panamericana, debido a los efectos de la intrusión marina. Por consiguiente, el acuífero localizado en el área entre Panamericana y Rosario se considera como el más probable. El almacenamiento total de agua subterránea se estima en 107 millones de m3.

Nivel y Calidad del Agua Subterránea

Extracción Existente de Agua Subterránea

La extracción actual de agua subterránea en el valle del Bajo Lluta es reducida. El agua subterránea es extraída sólo de diez (10) pozos y dos (2) manantiales para uso de riego, potable e industrial. Estos se resumen según se indica:

Area	Acuífero Poco Profundo	Acuífero Profundo
Chuilona Villa Frontera	8 pozos	2 pozos
Poconchile		1 vertiente
Bocanegra		1 vertiente

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS
Y PROYECTOS
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA

Nivel del Agua Subterránea

El nivel del agua subterránea del acuífero poco profundo en el área de Villa Frontera es del orden de 5 m a 27 m, dando un promedio de 20 m bajo superficie. Por Otro lado, el nivel del agua subterránea del acuífero profundo que se distribuye desde Panamericana hasta Rosario fluctúa entre los 6 m y los 74 m, con un promedio de 30 m.

Calidad del Agua Subterránea

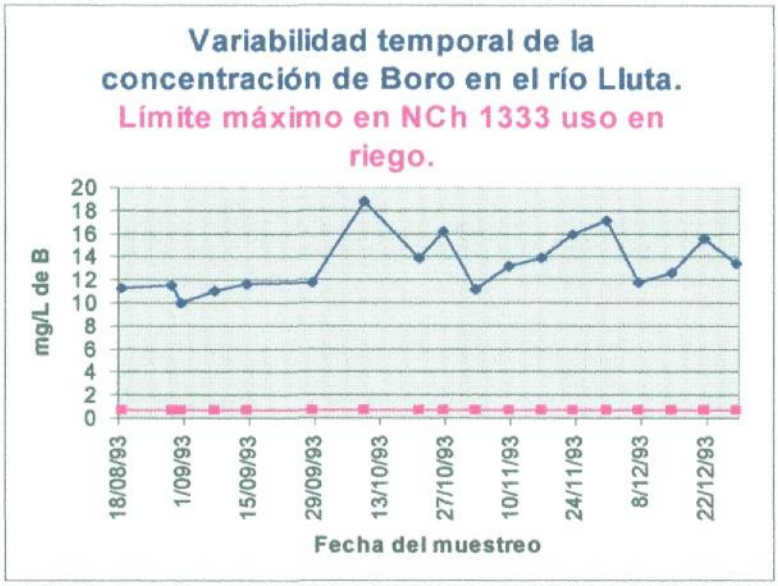
Principales Elementos Contaminantes del Agua

La calidad del agua subterránea tanto de los acuíferos poco profundos como profundos fue analizada por este estudio durante Julio de 1993, Octubre de 1993 y Febrero de 1994. La calidad del agua excede el limite permisible para uso potable en cuanto a elementos que influyen sobre ella. Tales elementos son: TSD, Na, S04, Cl, B y Fe. El As del agua subterránea se encuentra dentro del limite permisible, a pesar de que el agua superficial del río Lluta está muy contaminada con As. El contenido de los elementos mayores anteriormente indicados se resume a continuación, comparado con el del agua superficial:

Elemento	AguaSubterránea		Agua Superficial	
	Poco Profunda	Profunda	Tocontasi / Chapisca	Límite Permisible
TSD	3,522	3,452	1,051	1,000
Na	503	529	198.9	200
SO_4	919	852	310	250
Cl	1,110	949	323	250
B	18.94	21.87	10.69	
Fe	0.51	1.53	3.817	0.30
As	0.033	0.029	0.305	0.050

Otros análisis independientes de los realizados por JICA (1995) arrojan la siguiente cantidad de Boro para las aguas subterráneas del río Lluta (Leonardo Figueroa, Comunicación personal):

Estas concentraciones son lo suficientemente elevadas para, como se verá más adelante, generar una condición límite al desarrollo de una importante diversidad de cultivos de interés económico. Como se ha visto, de modo similar aún cuando en concentraciones inferiores, se presenta el fenómeno en las aguas superficiales del río Lluta, las que con mucha frecuencia alcanzan valores del orden de 12 mg B/l, dependiendo de la época del año asociada a caudales diferentes, de la zona de observación a lo largo del río, de la condición climática desarrollada en los distintos ríos tributarios que dan origen al río Lluta en la zona de precordillera o cordillerana propiamente tal. El siguiente gráfico muestra la variación de la calidad del agua respecto al Boro en el agua superficial del río Lluta (Leonardo Figueroa, Comunicación Personal).



Se destacan significativamente entre la diversidad de valores de concentración, principalmente por el hecho de que valor promedio es superior a 10 mg/L, realidad que se sostiene en el tiempo cuando observamos los valores obtenidos cada 15 días del mismo río canalizado en el período ocurrido entre el 17 de agosto y el 28 de diciembre de 1993, con un promedio de 13,4 mg/L, una desviación estándar de 2,44, un máximo de 18,8 mg/L y un mínimo de 10,0 mg/L (FONDEF AI-14, 1994), por lo que esta particular realidad es un hecho que revela el riego con agua significativamente boratada.

Desde la perspectiva de calidad del agua en función de la concentración del elemento Boro, los límites de Boro en agua de riego indicados por Leeden et al, en 1990, para cultivos semitolerantes, entre los que el olivo está ubicado como medianamente semitolerante, las aguas de Lluta clasifican como impropias, con una concentración de Boro >2,5 mg B/L (ver cuadro a continuación); de modo semejante clasifican de acuerdo a la norma Chilena 1333, que establece el límite máximo permitido con 0,75 mg B/L.

Límites de concentración de Boro (ppm) en las aguas de Riego (adaptado de Van der Leeden et al, 1990)			
Clasificación del agua	Grupo de cultivos		
	Sensibles	Semi tolerantes	Tolerantes
Excelente	<0.33	<0.67	<1
Buena	0.33 a 0.67	0.67 a 1.33	1 a 2
Permisible	0.67 a 1	1.33 a 2	2 a 3
Dudosa	1 a 1.25	2 a 2.5	3 a 3.75
No utilizable	>1.25	>2.5	>3.75

4.1.2 Cuenca del Río San José (Valle de Azapa) (JICA, 1995)

El río San José abarca una cuenca hidrográfica de 3,187 km^2. Las precipitaciones de la cuenca se concentran en las áreas de la Cordillera de los Andes, con una altura de 4,000 – 5,000 m. El promedio anual de agua caída aumenta en forma gradual de cero, en la parte baja, a 200 mm en las áreas superiores. Los principales tributarios de las cabeceras, fuentes naturales de la cuenca, son los ríos Laco, Seco y Tignamar. Los recursos de agua natural de la cuenca son reducidos. Por lo tanto, en 1962 se construyó el canal Lauca para desviar el río Lauca (río internacional que fluye hacia Bolivia a través de la frontera) y así aumentar el agua disponible en los tramos aguas abajo del río San José. El agua desviada del río Lauca es descargada a la Central Chapiquiña, generando energía hidroeléctrica. Después de unirse al agua natural del río San José, sigue el curso principal de éste hasta el inicio del Canal Azapa. Finalmente ingresa al Océano Pacífico en la ciudad de Arica. El agua conducida desde la bocatoma del canal Azapa riega 3,213 ha de tierras agrícolas del valle de Azapa, junto con las vertientes y el agua subterránea disponibles en el valle. El valle de Azapa contiene, además, un gran acuífero de agua subterránea. El agua potable de Arica proviene en su totalidad de estas aguas subterráneas (Ver figura en sección anterior).

Caudal Superficial

Recarga al Valle de Azapa

Desde 1967, la DGA ha observado el flujo superficial del río San José, en las estaciones de aforo de Ausipar y Antes Bocatoma. Este caudal incluye el agua desviada desde el río Lauca. Por otro lado, también desde 1967, existen en la estación de energía hidroeléctrica Central Chapiquiña datos disponibles sobre el agua desviada.

Las estaciones de Ausipar y Antes Bocatoma captan toda el agua de sus cuencas aguas arriba, incluida tanto el agua superficial como subterránea, ya que los lechos en las estaciones están formados de rocas del basamento impermeable. El agua subterránea en las cuencas de aguas arriba aparece en el río como agua superficial antes de llegar a las estaciones. Por consiguiente, el caudal superficial observado en Ausipar y Antes Bocatoma es considerado como el influjo de agua total que ingresa al valle de Azapa.

El caudal promedio mensual en Ausipar y Antes Bocatoma fluctúa entre 694 l/s, en Octubre, y 2,272 l/s en Febrero, con un promedio anual de 1,101 l/s. El promedio mensual de agua desviada en la Central Chapiquiña es relativamente constante. Se encuentra en el orden de 752 l/s en Junio y 879 l/s en Enero, dando como promedio 796 l/s. El balance de los caudales en Ausipar y Antes Bocatoma y la Central Chapiquiña constituye el caudal propio de la cuenca.

Los caudales promedio anuales de la cuenca del Río San José, se resumen de la siguiente manera:

Caudal desviado del Lauca:	796 l/s
Caudal natural:	305 l/s
Caudal en Ausipar y Antes Bocatoma:	1,101 l/s

Descarga al Mar

Las crecidas del río San José, generalmente ocurren entre enero y febrero. Gran parte de estas crecidas se infiltra en los lechos para recargar el agua subterránea del valle de Azapa. Sin embargo, el remanente es descargado al mar. La descarga promedio anual al mar se estima en 149 l/s ó 13.5% del caudal en Ausipar y Antes Bocatoma.

Calidad del Agua Superficial

Desde 1967, la DGA ha observado la calidad del agua superficial del río San José en Antes Bocatoma. Todos los elementos que afectan la calidad del agua, a excepción del As y Fe, se encuentran bajo los límites permisibles para uso potable en Chile. La concentración promedio de As y Fe en Antes Bocatoma se indica a continuación, en comparación con la del canal Lauca.

	As (mg/l)	Fe (mg/l)
Canal Lauca	0.087	0.268
Antes Bocatoma	0.080	1.399
Límite Permisible	0.050	0.3

En cuanto al Boro en el agua superficial del Valle de Azapa, JICA (1995) no hace ningún comentario en particular.

La calidad del agua superficial del Valle de Azapa también ha sido descrita por Fundación Chile (1999), considerando el contenido de boro y comparándola con las normas chilenas para agua de riego, como se muestra a continuación:

UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

	Canal Lauca		Canal Azapa		Norma Ch.
	Rango	Valor Medio	Rango	Valor Medio	
Parámetro	**mg/l**	**mg/l**	**mg/l**	**mg/l**	**mg/l**
Total Sólidos Disueltos	593-880	778	416-772	556	100Ó
Hierro	0,06-2,8	1,5	0,1-2,2	0,9	5,0
Arsénico	0,02-0,3	0,17	0,05-0,3	0,04	0,10
Sulfato	80-153	107	120-170	150	250
Cloruro	22-42	30	33-76	57	200
Manganeso	0,1-0,18	0,15	0,06-2,2	0,12	0,2
Boro	1,0-1,3	1,1	1,5-1,9	1,7	0,75

Claramente se aprecia que las aguas superficiales del Valle de Azapa, aún siendo mucho mejores que las del Valle de Lluta, no cumplen las normas chilenas para el agua de riego en lo que se refiere a boro, TDS y Arsénico.

Almacenamiento Estimado del Agua Subterránea

El principal acuífero de esta área se extiende desde el área costera de Arica hasta Cabuza, en el valle de Azapa. El acuífero ubicado en los tramos aguas arriba de Cabuza, se considera insignificante. El acuífero que existe bajo el nivel del mar en el área urbana tampoco se considera aprovechable.
La reserva total de agua subterránea se estima en 302 millones de m^3.

Nivel y Calidad del Agua Subterránea

Extracción del Agua Subterránea Existente

El agua subterránea del valle de Azapa y del área urbana de Arica, se extrae de 206 pozos. La extracción de agua subterránea existente se calculó en base a entrevistas

UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

a los usuarios, las que se efectuaron durante este Estudio. Además, se extrae agua de cinco (5) vertientes para uso de riego en el valle de Azapa. La extracción de agua de manantial existente fue observada durante este Estudio. Los resultados de las entrevistas y observación de descargas se resumen a continuación.

	N° de Pozos/Manantiales	Extracción (l/s)
Agua subterránea		
Arica Municipal	39	730.0
Riego	122	302.0
Individual Doméstico	30	43.0
Industrial	3	4.0
Otros	12	6.4
Agua de manantial		
Riego	5	73.0
Total	211	1,158.4

Nivel del Agua Subterránea

El nivel estático del agua subterránea del valle de Azapa y área urbana de Arica ha sido observado en pozos seleccionados por la DGA desde 1962. El nivel freático ha disminuido gradualmente desde 1977. En una ocasión se recuperó hasta cierto punto debido a la recarga de las crecidas del Río San José ocurridas entre 1984 y 1988. Desde entonces, ha descendido nuevamente. El descenso durante 15 años, de 1977 a 1992, en los pozos representativos se indica a continuación.

Ubicación de Pozos	Descenso (m)
San Miguel (aguas arriba)	3
Las Maltas	15
Pago de Gomez	20
Saucache	30

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS
FUNDACION PARA LA INNOVACION AGRARIA

San Miguel se ubica aguas arriba de la confluencia de la quebrada El Diablo. El descenso del nivel freático en San Miguel (aguas arriba) es pequeño. Se considera que se debe a los efectos de embalse del ramal impermeable de la quebrada El Diablo.

Calidad del Agua Subterránea

Existen datos disponibles sobre la calidad del agua subterránea de 61 pozos localizados en el valle de Azapa y área urbana de Arica; estos datos provienen de la ESSAT y la DGA. Los pozos mencionados están ampliamente distribuidos desde el área urbana hasta Cabuza. Las características sobresalientes de la calidad del agua subterránea se indican a continuación:

Los elementos críticos referidos a la calidad del agua subterránea de esta área son: TSD, SO_4, Cl y NO_3. Por otra parte, As, B, además de otros elementos, en general son aceptables para uso potable.

Los contenidos de TSD, SO_4, Cl y NO_3 se resumen a continuación.

	TDS	SO_4	Cl	NO_3
Rango (mg/l)	519-2,835	117.1-861.3	71.3-577.6	0.0-113.1
Promedio(mg)	913	253.2	154.2	9.6
Límite Permisible	1.000	250	250	10.0

En todos los pozos, el elemento B es inferior a 1.8 mg/l y el As es inferior al límite permisible de 0.05 mg/l (sin embargo, este nivel de Boro ya es problemático, como se verá más adelante, para cultivos altamente sensibles como la frutilla).

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA

Variación Histórica

La salinidad del agua subterránea en la parte baja del valle de Azapa y área urbana de Arica ha ido en aumento durante los últimos años. La DGA ha llevado a cabo estudios para obtener la variación histórica de la conductividad eléctrica de los numerosos manantiales localizados en los tramos medios e inferiores del valle de Azapa. La conductividad promedio de las vertientes durante los últimos años se estima aproximadamente como se indica:

	1975	1986	1987	1990	1990
CE (mmho/cm)	1,300	1,500	1,600	1,800	1,900

Se proyecta que aumente a 2,200 mmho/cm en el año 2000 y 2,600 mmho/cm en el 2010.

5. SITUACIÓN DE LAS AGUAS SERVIDAS QUE SE OBTIENEN DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO DE ARICA:

Este tema requiere un análisis específico a la luz de un conocido y controversial proyecto que se viene planteando desde hace algún tiempo, y en especial ha sido impulsado por CORFO, basado en estudios e información técnica provistas por Fundación Chile (1999). Si bien es cierto aún no se ha determinado con exactitud la disponibilidad de aguas servidas de Arica, se ha planteado la posibilidad de utilizarlas para regar una superficie de entre 800 y 2.000 hectáreas (promedio 1.500 hectáreas, Fundación Chile, 1999) con un caudal estimado entre 320 y 800 l/s (promedio 400 l/s efectivos). El análisis de la calidad de las aguas servidas, efectuado por ESSAT y presentado por Fundación Chile (1999) es el siguiente:

Propiedad	Unidad	Resultado
DBO 5	mg / l	430
DQO	mg / l	807
Aceites y Grasas	mg / l	57
Detergentes	mg / l saam-las	11,76
Nitrógeno	mg / l	47,6
Fósforo	mg / l	12,5
Sólidos suspendidos totales	mg / l	350
Arsénico	mg / l	0,02
Cobre	mg / l	0,13
Manganeso	mg / l	011
Hierro	mg / l	1,66
Zinc	mg / l	0,24
Cadmio	mg / l	<0,01
Mercurio	mg / l	<0,01
Plomo	mg / l	<0,01
Turbiedad	NTU	100
PH		7,5
Coliformes fecales	NMP /100 ml	$1x10^7$
Conductividad	µS / cm	2.830
Cloruros	mg / l	514

Lamentablemente, en este análisis se dejó fuera el elemento boro, el cual se encuentra en un nivel de alrededor de 6 mg/l (Leonardo Figueroa, comunicación personal). Como se verá en la siguiente sección, las probabilidades de hacer una agricultura exitosa y rentable con este tipo de aguas, dado el contenido de boro, y de no mediar un tratamiento específico, son muy bajas; los tratamientos para limpieza de boro disponibles actualmente, por otro lado, son de alto costo, lo que limitaría

fuertemente la rentabilidad de esta iniciativa, haciendo aún más relevante e importante el presente proyecto, el cual de ser exitoso, permitirá viabilizar el uso de esta agua en agricultura, si aumentar el costo de tratamiento del efluente servido, ya que el agua será purificada de boro antes de ingresar a la red de agua potable, por lo cual el efluente ya estará limpio.

6. EFECTO GENERAL DEL BORO SOBRE LAS PLANTAS:

El boro ha sido reconocido desde 1923 como un micronutriente esencial para las plantas superiores. A través de los años, se han propuesto muchos roles para el boro en las plantas, incluyendo funciones en el transporte de azúcares, síntesis y lignificación de la pared celular, estructura de la pared celular, metabolismo de los carbohidratos, metabolismo del ARN, respiración, metabolismo del ácido indol acético, metabolismo de los fenoles y transporte de membranas celulares. Sin embargo, el mecanismo de la participación del boro en cada caso permanece indeterminado. Trabajos recientes se han enfocado en dos grandes componentes de la célula vegetal: la pared celular y las membranas celulares. En ambas, el boro podría cumplir una función estructural efectuando labor de puente entre grupos hidroxilos. En las membranas, podría también estar envuelto en transporte de iones y reacciones de óxido reducción al estimular enzimas como la nicotinamida adenina dinucleótido (NADH) oxidasa. Es muy cierto también que existe una estrecha ventana entre los niveles de boro requeridos por las plantas y los que resultan tóxicos para ellas. Los mecanismos de toxicidad del boro en las plantas también son desconocidos. En plantas leguminosas fijadoras de nitrógeno, la aplicación foliar de boro causa hasta 1000% de incremento en la concentración de ácido alantoico en las hojas. In vitro se ha demostrado que el boro inhibe la alantoato amidohidrolasa dependiente de manganeso, y una aplicación foliar de manganeso previa a la aplicación foliar de boro elimina la acumulación en las hojas de ácido alantoico.
La interacción entre el borato y cationes divalentes como el manganeso puede alterar las vías metabólicas, lo cual podría explicar porqué altas concentraciones de boro pueden ser tóxicas para las plantas (Blevins y Lukaszewski, 1994).

Como se ve, dentro de los diversos nutrientes requeridos por los vegetales, el boro, en pequeñas cantidades, es uno de los más importantes para el desarrollo de las plantas, pudiendo llegar a convertirse en un tóxico si se presenta en cantidades significativas, cualidad que lo clasifica como un elemento ambivalente, es decir es esencial y tóxico de acuerdo a la interacción elemento- planta. De acuerdo a su respuesta frente a la presencia de boro en el agua de riego, algunas especies se pueden clasificar como sigue:

Tolerancia relativa a la presencia de Boro en solución en el agua de riego de algunos cultivos agrícolas.	
Muy sensible (<0,5 mg B/L)	**Moderadamente Sensible (1,0 - 2,0 mg B/L)**
Limón	Zanahoria
Sensible (0,5 -0,75 mg B/L)	**Moderadamente Tolerante (2,0 - 4,0 mg B/L)**
Aguacate Naranja	Lechuga Maíz
Sensible (0,75 – 1,0 mg B/L)	**Tolerante (4,0 - 6,0 mg B/L)**
Cebada Frutilla	Sorgo Alfalfa
	Muy Tolerante (6,0 - 15 mg B/L)
	Algodón Espárrago
Fuente: http: // www.cepis.org.pe/muwww/fulltext/repind53/wta/wtatab25.html	

Por su parte, Van der Leeden et al (1990) clasifican los cultivos de acuerdo a su tolerancia al boro presente en el agua de riego de la siguiente manera:

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS
FUNDACIÓN

A. Límites de concentración de Boro (ppm) en las aguas de Riego (adaptado de Van der Leeden et al, 1990)

Clasificación del agua	Grupo de cultivos		
	Sensibles	Semi tolerantes	Tolerantes
Excelente	<0.33	<0.67	<1
Buena	0.33 a 0.67	0.67 a 1.33	1 a 2
Permisible	0.67 a 1	1.33 a 2	2 a 3
Dudosa	1 a 1.25	2 a 2.5	3 a 3.75
No utilizable	>1.25	>2.5	>3.75

B. Grupos de cultivos clasificados según tolerancia al boro en el agua de riego, ordenados de mayor a menor tolerancia dentro de cada grupo. (adaptado de Van der Leeden et al, 1990).

Sensibles	Semi tolerantes	Tolerantes
Pécano	Maravilla	Tamarix
Nogal	Papa	Espárrago
Alcachofa de Jerusalén	Algodón (algunas variedades)	Palma
Porotos	Tomate	Palma Datilera
Olmo	Arveja	Remolacha
Ciruelo	Nabo	Alfalfa
Peral	Olivo	Gladiolo
Manzano	Cebada	Haba
Uva (Sultanina y Málaga)	Trigo	Cebolla
Higo	Maíz	Repollo
Níspero	Avena	Lechuga
Cereza	Zinnia	Zanahoria
Durazno	Zapallo	
Damasco	Pimiento	
Frambuesa	Camote	
Naranjo	Poroto lima	
Palto		
Uva		
Limón		

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA

La amplia revisión de Ferreyra et al (1997) abarca un mayor número de especies, describiéndolas en términos de su susceptibilidad a la salinidad y al boro presentes en el suelo y agua de riego. Como se observa en el cuadro anterior y en el siguiente, el número de especies que son capaces de crecer y producir rendimientos aceptables en medios con alta concentración de boro es reducido, sin entrar a discutir la rentabilidad económica de la producción de estas.

Tolerancia relativa de distintos cultivos a la presencia de altos niveles de Boro y salinidad en el agua de riego (ordenadas de mayor a menor tolerancia) (Adaptado de Ferreyra et al, 1997)

Cultivo	% de emergencia	% de sobrevivencia	Efecto observado de la salinidad y el boro	Tolerancia a la salinidad	Tolerancia al Boro
Espárrago	90	90	1	T	VT
Betarraga	70	100	1	T	T
Remolacha	90	30	1	T	T
Acelga	100	95	1	T	-
Tuna	90	100	1		-
Alcachofa	90	90	2	MT	MT
Cebolla	95	90	2	S	VT
Espinaca	50	30	2	MS	-
Haba	70	40	3	S	S
Zanahoria	30	10	3	S	MS
Apio	30	30	3	MS	VT
Papa	95	70	3	MS	MS
Chalote	100	90	3	-	-
Chicharo	80	0	4 +	-	-
Cilantro	30	0	4	-	-
Gladiolos	90	40	4	-	MS
Maíz híbrido	80	10	4	MS	MT
Suddex	40	20	4	-	-
Poroto	20	0	5 +	-	S
Frambuesa	100	0	5 +	S	MT
Buckwheat	70	0	5	-	-
Garbanzo	25	0	5 +	-	-
Algodón	0	0	5	T	VT
Caupí	45	0	5	-	MT
Pepino Ens.	10	0	5 +	MS	MS
Lenteja	70	0	5 +	-	-
Poroto lima	0	0	5	S	-
Lupino	80	0	5 +	-	-

Tolerancia relativa de distintos cultivos a la presencia de altos niveles de Boro y salinidad en el agua de riego (ordenadas de mayor a menor tolerancia) (Adaptado de Ferreyra et al, 1997)

Cultivo	% de emergencia	% de sobrevivencia	Efecto observado de la salinidad y el boro	Tolerancia a la salinidad	Tolerancia al Boro
Marigold	50	0	5 +	-	MS
Melón	60	0	5 +	-	-
Pepino dulce	50	0	5 +	-	-
Poroto pallar	30	0	5 +	-	-
Perejil	0	0	5 +	-	T
Arveja	80	0	5	S	MS
Maní	40	0	5 +	-	-
Pimiento	60	0	5 +	MS	MS
Mora	90	0	5	S	-
Soya	30	0	5	-	-
Zapallo	10	0	5 +	MT	T
Frutilla	80	0	5	S	S
Camote	60	0	5 +	MS	S
Tomate	0	-	1	MS	VT
Sandía	30	0	5 +	MS	-

Clave:

Efecto combinado observado de la salinidad y el boro.

1: No hay daño visible.
2: Ligera necrosis y reducción de crecimiento.
3: Necrosis moderada y reducción moderada a severa del crecimiento.
4: Necrosis intensa y severa, reducción severa del crecimiento.
5: Letal, presenta nula a escasa emergencia, seguida de muerte inmediata.

Tolerancia a salinidad y Boro.

VT: Muy tolerante.
T: Tolerante.
MT: Moderadamente tolerante.
MS: Moderadamente sensible.
S: Sensible.

Para el caso del tomate, si bien es cierto que en el trabajo de Ferreyra et al (1997) aparece con un grado de tolerancia al Boro y a la salinidad en el agua de riego bastante alta (similar incluso a la del espárrago) este cultivo, que se realiza con cierta frecuencia en el valle de Lluta, presenta importantes diferencias varietales en su respuesta, y hasta el momento, no se ha logrado encontrar una variedad con suficiente duración en postcosecha (como para permitir su envío a los mercados de la zona central) que se adapte bien a las condiciones del valle de Lluta.

Como se ve en la información previa, la fitotoxicidad del boro representa un grave problema en muchas áreas donde se desarrolla la agricultura, principalmente en regiones áridas y particularmente dentro del norte de Chile, en las que generalmente existen suelos con un gran contenido de este elemento, como también en las aguas de riego que en forma natural contienen una alta concentración relativa a la sensibilidad del cultivo específico (Figueroa, 1994). En la actualidad, la presencia de boro en las aguas de riego es una limitante seria a la actividad agrícola que se desarrolla en varios de los valles de la zona norte de nuestro país (Lluta, Camarones, Loa, incluso a algunos cultivos altamente susceptibles del valle de Azapa), y la única vía de solución intentada hasta el momento, por no existir alternativas para remover el boro que sean lo suficientemente económicas como para permitir su uso en explotaciones agrícolas, ha sido buscar cultivos que toleren la presencia relativamente abundante de este elemento en agua y suelo. Los cuadros anteriores indican que el espárrago es una de las alternativas de mayor interés, pero este cultivo, por el alto grado de inversión requerida, está al alcance de pocos productores, y dado que el principal mercado es el de exportación, está lejos de ser la solución principal para esta zona. Se encuentran actualmente en ejecución dos proyectos (financiamiento por parte de FIA y FDI) en los cuales el espárrago está siendo evaluado como alternativa para el valle de Lluta, y pese a que los resultados han sido positivos, han dejado ver que el costo de establecimiento y el periodo improductivo inicial son factores en contra de la masificación del cultivo a corto y mediano plazo (Arenas, Jorge, y Urbina, Hernán, comunicación personal, asesor y coordinador proyectos FDI y FIA respectivamente).

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA

El Boro solubilizado en las aguas, es uno de los factores significativos que llegan a limitar el desarrollo de una agricultura diversificada, en función a que su exceso relativo produce un efecto negativo en el desarrollo de diversas especies vegetales al actuar como un tóxico específico (Ayers, R.S. y Westcot, O.W., 1987).

Ferreyra et al (1997) señalan que es notable que se hayan efectuado numerosos estudios referentes al efecto por separado de la salinidad y del boro sobre el crecimiento y rendimiento de diversos cultivos. Sin embargo para el caso de los efectos combinados de salinidad y boro (presentes al mismo tiempo, como es el caso de las aguas de interés para el presente proyecto) existen pocos estudios y las conclusiones son contradictorias. Ferreyra et al (1997) mencionan 3 estudios que señalan que los efectos del boro y la salinidad sobre el comportamiento del cultivo son independientes, mientras que otro estudio señala que la salinidad tiende a reprimir la absorción de boro por parte de las plantas. Sin embargo, parece haber una respuesta diferencial frente a estas variables según la especie cultivada, lo que imposibilita la extrapolación de estos resultados a priori. Existe también un potencial efecto moderador del clima en la respuesta al boro, ya que en general se observa que en los climas más calurosos el efecto del boro es menor, probablemente debido a una menor absorción de agua por la planta al existir mayor estrés hídrico (Ferreyra et al, 1997).

Los síntomas visuales del exceso de boro presentado en plantas, pueden ser fácilmente identificados en los estados fenológicos iniciales, al contrario de los síntomas de deficiencia. El primer síntoma se manifiesta cuando las extremidades de las hojas se tornan amarillas y en casos más extremos incluso la pérdida total del follaje equivalente a la muerte del vegetal (Bradford, 1965)

La distribución del boro en las hojas y los síntomas de toxicidad están relacionados a la venación (distribución de los nervios en las hojas u órganos foliares), es decir, cuando el boro es transportado por el fluido fisiológico acuoso que luego es parte de

GOBIERNO DE CHILE
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

la evapotranspiración al concentrarse en las orillas de las hojas (Oertli et al, 1961). En los estados más agudos, la presencia sucesiva del boro produce una necrosis progresiva de las hojas, las extremidades y orillas se colocan amarillas hasta llegar al nervio central. Luego las extremidades y orillas parecen quemadas y más tarde toda la hoja se verá envuelta hasta su caída prematura (Oertli et al, 1961).

7. BORO CON RELACIÓN A LA SALUD HUMANA O DE ANIMALES:

En el pasado, el boro ha sido considerado no esencial para los mamíferos. Sin embargo, un estudio relativamente reciente indicó un estrecho rango de niveles en la sangre humana (Clarke et al, 1987), y estudios de suspensión de la ingesta de boro en ratas (Uhrich et al 1984, Nielsen ,1985) sugieren podría ser un elemento esencial. El Boro cumple algunos de los criterios que se utilizan para declarar a un nutriente como esencial, pero no ha sido posible establecer que su deficiencia pueda significar que alguna función biológica sea desmejorada de óptima a subóptima (Hunt y Nielsen, 1982).

Experimentos en animales indican que el boro puede indirectamente influenciar el metabolismo del calcio, fósforo, magnesio y colecalciferol (Nielsen, 1985).

El efecto del boro en el metabolismo de los minerales más importantes y su rol potencial como inhibidor de la osteoporosis en humanos ha sido estudiado. El boro redujo la excreción vía urinaria de calcio y magnesio en 12 mujeres post menopausicas que consumieron una dieta baja en boro (0.25 mg/d) durante 119 días, seguida por una dieta suplementada con 3.0 mg/d de Boro por 48 días; esta reducción fue más notoria cuando la ingesta de magnesio en la dieta fue baja. La suplementación con boro también incrementó los niveles en el suero sanguíneo de b-estradiol sérico y testosterona (Nielsen et al, 1987).

Los compuestos de boro son rápida y completamente absorbidos desde el tracto gastrointestinal (Siegel y Watson, 1986), a través de las membranas mucosas, y a

GOBIERNO DE CHILE
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

través de piel dañada o erosionada. Las concentraciones de boro en el hígado, riñón , cerebro y sangre de ratas se incrementó continuamente durante los primeros nueve días de exposición a agua potable conteniendo 100 mg/l de borato de sodio, ocurriendo las concentraciones peak en los tejidos del riñón. Los niveles en el riñón, hígado y cerebro gradualmente volvieron a valores normales hacia el final del periodo de exposición de 21 días, mientras que la concentración en la sangre continuó elevándose hasta el día 21 (Magour et al, 1982). El boro no se acumula en los tejidos normales pero puede concentrarse en tumores cerebrales malignos (Benson et al, 1984). En tejidos humanos, se han reportado las siguientes concentraciones medias de boro (mg/g peso vivo, Hamilton et al, 1972/1973):

Concentración media de boro (mg/g peso vivo) según Hamilton et al (1972/73)	
Riñón	0.6
Pulmón	0.6
Ganglios linfáticos	0.6
Sangre	0.4
Hígado	0.2
Músculos	0.1
Testículos	0.09
Cerebro	0.06

El boro es eliminado del cuerpo principalmente por el riñón, con cantidades menores que son excretadas en las heces, sudor y saliva (Jansen et al, 1984). Aproximadamente la mitad del boro absorbido por el ser humano es excretado durante las primeras 24 horas después de una administración intravenosa de 562 a 611 mg de ácido bórico (Jansen et al, 1984). Más del 92% de eliminación ha sido reportada dentro de las 96 horas posteriores a la ingestión de 750 mg de ácido bórico en agua o 50 mg en un ungüento emulsionado colocado sobre la piel de voluntarios (Aas Jansen et al, 1984).

Se ha reportado un cierto número de casos de envenenamiento agudo de seres

humanos por ácido bórico o bórax a través de la ingestión, inyección parenteral, enemas y por aplicación de ungüentos, talcos, etc. a grandes áreas de piel quemada o dañada (Underwood, 1977). Los síntomas de envenenamiento agudo por boro incluyen nauseas, vómitos, diarrea, dolor de cabeza, erupciones en la piel, descamación, y evidencia de estimulación del sistema nervioso central seguida por depresión. (Anónimo, 1983). En casos severos, la muerte ocurre a los 5 días como resultado de colapso circulatorio y shock (Harvey, 1975). La dosis precisa letal de ácido bórico ha sido estimada en 15 a 20 gramos para adultos, 5 a 6 gramos para niños y 1 a 3 gramos para recién nacidos. (Siegel et al, 1986; Dixon et al, 1976). Los niños, los ancianos e individuos con desórdenes renales son el segmento de la población más susceptible a los efectos tóxicos agudos del boro.

Krasovskii et al (1976) examinaron la función sexual de hombres (mediante cuestionario) que vivían en áreas con concentraciones variables de boro en el agua potable (0.015, 0.05 ó 0.3 mg/kg). Se reportó la existencia de una tendencia hacia la reducción de la función sexual en hombres del segmento que consumían agua con la mayor concentración de boro (0.3 mg/kg). Sin embargo, la validez de los resultados no pudo ser determinada debido a la falta de información incluida en la publicación del estudio.

En estudios conducidos por Weir y Fisher (1972) grupos de 5 machos jóvenes y 5 hembras jóvenes de perros raza beagle fueron alimentados con dietas conteniendo concentraciones de bórax ó ácido bórico del orden de 17,5 175 o 1.750 ppm como equivalente boro por un periodo de 90 días. La apariencia, comportamiento, eliminación, peso corporal y consumo de alimento fueron normales en animales de todos los grupos de dosis, produciéndose sin embargo una muerte en el grupo de mayor consumo. No se produjeron efectos adversos en el grupo alimentado con 175 ppm boro (como bórax ó ácido bórico), mientras que tanto el bórax como el ácido bórico en niveles de 1.750 causaron severa atrofia testicular en los machos.

En un estudio separado 4 perros beagle machos y 4 hembras fueron expuestos a

concentraciones de boro, como bórax ó ácido bórico, de 0, 58, 117 y 350 ppm durante dos años ó a 1170 ppm por 38 semanas. No se encontraron diferencias en apariencia, comportamiento, apetito, eliminación, peso corporal, consumo de alimento, peso de los órganos o en parámetros hematológicos y bioquímicos entre los animales del grupo control y los del grupo expuesto a 350 ppm tanto como bórax o ácido bórico. Los únicos efectos adversos observados fueron cambios testiculares (disminución de la espermatogénesis y atrofia del epitelio seminífero del los túbulos) en machos expuestos a la máxima dosis de alguno de los dos compuestos (1170 ppm). El nivel en el cual no se observan efectos adversos (NOAEL por sus siglas en inglés) fue considerado como 350 ppm de boro (Weir y Fisher, 1972) equivalente a una concentración de boro de 8.75 mg/kg peso vivo por día (EPA, 1987). Los mismos investigadores (Weir y Fisher, 1972) condujeron un estudio en el cual 10 ratas albino Sprague-Dawley macho y 10 hembras ingirieron bórax ó ácido bórico en su dieta a niveles de 52.5, 175, 525, 1.750 ó 5.250 ppm de equivalente boro durante 90 días. No se observaron efectos adversos obvios en ratas que consumieron 525 ppm o menos, mientras que el crecimiento y la eficiencia de utilización del alimento fueron significativamente reducidas por las dosis mayores. Sin embargo, atrofia parcial testicular se observó e 4 ratas que consumieron 525 ppm de boro como bórax y en 1 rata que ingirió 525 ppm como ácido bórico. Se observó atrofia completa de los testículos en todos los machos expuestos a 1.750 ppm de boro (como bórax ó ácido bórico).

En un estudio adicional, 35 machos y 35 hembras ratas Sprague-Dawley cercanas al destete recibieron dosis a través del alimento de 117, 350 ó 1.170 ppm equivalentes a boro como bórax ó ácido bórico durante dos años. Los animales en los grupos que recibieron las dosis menores se observaron normales en cuanto a apariencia y comportamiento, no observándose tampoco alteraciones histológicas. En cambio, las ratas que ingirieron 1.170 ppm tuvieron gruesa cobertura de pelaje, colas desviadas, posición encorvada, hinchazón y descamación de las plantas de las patas, uñas anormalmente largas, escroto encogido en los machos, párpados inflamados, y descarga de sangre por los ojos. Atrofia de los testículos y epitelio seminífero fue

observada en todos los machos que recibieron 1.170 ppm a los 6, 12 y 24 meses, así como una talla menor de los testículos. El NOAEL fue considerado como 350 ppm boron (Weir y Fisher, 1972), equivalente a una concentración de boro de 17,5 mg/kg peso vivo por día (EPA, 1987).

En otro estudio, más limitado, (Seal y Weeth, 1980) ratas macho Long-Evans cercanas al destete (15 por cada grupo de dosis) fueron expuestos a agua potable conteniendo 0, 150 ó 300 mg/l de boro como bórax y a una dieta basal conteniendo 54 mg/g de boro por 70 días. La ingesta diaria total de boro en este estudio se estima en 23.7 y 47.4 mg/kg de peso vivo por día para los grupos de dosis 150 y 300 mg/l, respectivamente (EPA, 1987). El crecimiento fue reducido en un 7.8 y 19.8% en el grupo sometido a 150 ó 300 mg/l, respectivamente. Las ratas que consumieron agua conteniendo 300 mg/l de boro tuvieron uñas largas, sacos escrotales atrofiados y pelaje muy grueso. Se reportó una disminución significativa en el peso de los testículos, vesículas seminales, baso y fémur derecho en ambos grupos experimentales respecto al control. El número de ratas con presencia de espermatozoos en el grupo sometido a 300 mg/l (3 de 15) fue significativamente menor que en los otros dos grupos. EL nivel de triglicéridos y proteínas del plasma sanguíneo, hematocrito % de grasa en el hueso fueron todos menores en el grupo de mayor dosis de boro en el agua. El nivel menor al cual se observan efectos adversos (LOAEL por sus siglas en ingles) en este estudio fue considerado como 150 mg/l (23.7 mg/kg peso vivo a día).

En un estudio de Lee et al. (1978), grupos de 18 ratas Sprague-Dawley machos recibieron 500, 1000 ó 2000 ppm de boro como bórax en la dieta por 30 y 60 días. Las ingestas estimadas para los 3 grupos de dosis fueron 12.5, 25 y 50 mg/kg peso vivo al día al día. A los 30 días, hubo una reducción de espermatocitos, espermátides y espermatozoos maduros en los 2 grupos de dosis más alta. A los 60 días, aplasia germinal completa o casi completa se observó en los mismos grupos, y el peso testicular y del epidídimo fueron significativamente menores. La acumulación de boro en testículos aparentemente se incrementó tanto con el aumento de la dosis como

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS
Y PROYECTOS
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN

con la duración de la exposición.

En un estudio en el cual 54 ratones de la variedad Charles River CD fueron expuestos durante toda su vida al consumo de agua potable con contenido de boro de 5 ppm como metaborato de sodio, no se encontraron efectos en la ganacia de peso corporal, incidencia de tumores (basado en un examen grueso de tumores al fallecimiento) o en la longevidad (Schroeder y Mitchener, 1975).

En un bioensayo de carcinogénesis conducido bajo el auspicio del National Toxicology Program (NTP), (National Toxicology Program, 1987) grupos de 50 machos y 50 hembras de ratón variedad B6C3F1 fueron alimentados con dietas con contenidos de 2500 ó 5000 ppm de ácidos bórico por dos años. La sobrevivencia fue reducida ambos grupos de machos tratados; debe notarse, sin embargo, que 5 machos en el grupo de mayor dosis se ahogaron accidentalmente. Se observó una disminución relacionada con la dosis de boro en la ganancia de peso corporal tanto en los ratones hembras como en los machos, y la incidencia de atrofia testicular e hiperplasia de las células intersticiales fue mayor en los machos en el grupo de dosis más alta. No se reportó un incremento relacionado al compuesto en estudio en la incidencia de tumores. Se concluyó que, bajo las condiciones del estudio, el ácido bórico no es carcinogénico en ratones. La sensibilidad de este estudio puede haber estado reducida, sin embargo, debido a la sobrevivencia reducida de los machos tratados.

El NTP (National Toxicology Program, 1987) también evaluó el estudio de alimentación crónica en ratas Sprague-Dawley conducido por Weir y Fisher (1972) y concluyó que este estudio provee datos adecuados que apoyan una falta de efecto carcinogénico del ácido bórico en ratas.
En un bioensayo limitado en el cual se utilizó una suspension de ácido bórico en goma tragacanth al 2% que fue administrada intra vaginalmente dos veces por semana durante 50 semanas, no hubo evidencia concluyente de carcinogenicidad en el tracto genital de ratones hembra. (Boyland et al, 1966).

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS
Y PROYECTOS

En una serie de tests de genotoxicidad conducidos por el NTP (1987) el ácido bórico resultó no ser mutagénico en células procariotas ni en eucariotas. Tampoco indujo intercambio de cromátidas hermanas ni aberraciones cromosomales en células ováricas de hamster chino. Tampoco se encontró evidencia de actividad mutagénica del bórax ó del ácido bórico en tests de pre incubación en ***Salmonella typhimurium*** (Benson et al, 1984).

En un estudio de cruzamiento en serie que involucró 5 ratasde cada grupo experimental con dosis de boro del experimento de Lee et al (1978), la tasa de preñez, tamaño de camada y aparencia fueron normales para hembras vírgenes no expuestas a boro fecundadas por machos que consumieron 500 ppm de boro. La tasa de preñez fue reducida en las hembras fecundadas por ratas macho expuestas a la ingesta de 1000 ó 2000 ppm de boro durante 30 ó 60 días. Los machos que consumieron 1000 y 2000 ppm fueron infertiles; la fertilidad en el grupo que consumió 1000 ppm regresó a la normalidad 4 semanas después de la cesación de la exposición al boro, mientras que los machos que consumieron 2000 ppm permanecieron infértiles hasta 32 semanas después de descontinuado el tratamiento. La infertilidad se debió aparentemente a la disminución de células germinales.

Weir y Fisher (1972) condujeron un estudio reproductivo sobre 3 generaciones de ratas Sprague-Dawley alimentadas con dietas conteniendo bórax ó ácido bórico a niveles de 117, 350 ó 1.170 ppm de boro. No se produjeron efectos adversos en la reproducción con los niveles de 117 ó 350 ppm, mientras que todas las ratas que fueron alimentadas con 1.170 ppm de boro fueron estériles.

Heindel et al (1994) investigaron la toxicidad del ácido bórico en el desarrollo de las madres y durante la gestación de ratones, ratas y conejos. En las ratonas madres, se observaron daños renales menores (dosis de ácido bórico superior o igual a 248 mg/kg/día), incremento en el consumo de agua y en el peso relativo de los riñones (dosis de ácido bórico superior o igual a 1003 mg/kg/día), así como ganancia de peso

disminuida durante el tratamiento. Las ratas madres exhibieron un peso incrementado del hígado y del riñon (dosis de ácido bórico superior o igual a 163 mg/kg/día), ingesta alterada de agua y/o comida (dosis de ácido bórico superior o igual a 163 mg/kg/día), y ganancia de peso disminuida (dosis de ácido bórico superior o igual a 330 mg/kg/día). En las conejas madres, los signos de toxicidad incluyeron descenso de la ingesta de alimento durante el tratamiento y sangramiento vaginal asociado a las pérdidas durante la preñez (dosis de ácido bórico superior o igual a 250 mg/kg/día).

7.1 Clasificación del boro en cuanto a su riesgo para los seres humanos

Según el organismo de salud de Canadá (Health Canadá, 1991), el boro es clasificado desde el punto de vista de su carcinogenicidad en la categoría IVC (probablemente no carcinogénico para el hombre). Asimismo, La ingesta diaria aceptable (ADI por sus siglas en Inglés) se calcula de la siguiente manera:

ADI = (17.5 mg/kg de peso vivo al día/500) = **0.035 mg/kg** de peso vivo al día

Donde:

17.5 mg/kg de peso vivo al día es el NOAEL para atrofia testicular y disminución de la espermatogénesis en ratas.
500 es el factor de incertidumbre (10 para la variación intraespecífica; 10 para la variación interespecífica y 5 por la inclinación de la curva de respuesta frente a las dosis de boro).

Basada en esta ADI, el valor recomendado de boro en el agua potable, basado exclusivamente en consideraciones de salud, se calcula como sigue:

(0.035 mg/kg peso vivo por día * 70 kg peso vivo *0.20)/1.5 l/día = **0.3 mg/l**

GOBIERNO DE CHILE
FUNDACIÓN PARA LA
UNIDAD DE
Y PROYE

Donde:

0.035 mg/kg peso vivo por día es la ADI, calculada previamente
70 kg de peso vivo es el peso promedio corporal de un humano adulto.
0.20 es la proporción de la ingesta total de boro asignada al agua potable (los datos disponibles son insuficientes para estimar esta proporción)
1.5 l/d es consumo diario promedio de agua potable de un adulto.

Sin embargo, la publicación de Health Canada (1991), recalca que en el establecimiento de una concentración máxima aceptable (MAC por sus siglas en inglés) para el agua potable, deben tomarse en cuenta los métodos disponibles y prácticos para el tratamiento y análisis de agua. En el caso del boro, se señala que la tecnología de tratamiento disponible en la práctica es incapaz o inadecuada para reducir las concentraciones de boro en el agua potable canadiense a un nivel menor que 5 mg/l; en base a esto, se ha establecido un MAC provisorio para el boro en agua potable de (IMAC) de 5 mg/l, el cual se revisa periódicamente a la luz de nuevos datos.

La Environmental Protection Agency de Estados Unidos de Norteamérica (2000) establece las siguientes definiciones para describir los estándares de agua potable y recomendaciones de salud:

Nivel de Acción (Action Level): La concentración de un contaminante la cual, si es excedida, gatilla el tratamiento u otros requerimientos los cuales deben ser seguidos por un sistema de producción de agua potable. Para el plomo o el cobre es el nivel el cual, si se excede en más de un 10% de las casa muestreadas, gatillan la necesidad de tratamiento.

Grupo de Carcinogenecidad (Cancer Group): Un juicio calificativo basado en el peso de la evidencia respecto a la probabilidad de que un químico pueda ser carcinógeno para humanos. Cada químico se ubica en una de las siguientes cinco categorías:

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA

Grupo	Categoría
A	Carcinogénico para Humanos.
B	Probable Carcinogénico para Humanos:
B1	Indica evidencia limitada en humanos;
B2	Indica suficiente evidencia en animales e inadecuada o ninguna evidencia en humanos.
C	Posible Carcinogénico para Humanos
D	No clasificable como carcinógeno humano
E	Evidencia de no carcinogenicidad para humanos

Riesgo de Cáncer 10^{-4} (10^{-4} Cancer Risk): La concentración de un químico en el agua potable que corresponde a un riesgo estimado durante la vida de contraer cancer de 1 en 10.000.

Nivel equivalente en el agua Potable (DWEL: Drinking Water Equivalent Level): Una concentración de un químico a la cual una exposición durante toda la vida no produce efectos adversos (a parte del cáncer); se asume que toda la exposición al contaminante proviene del agua potable.

Recomendación Sanitaria (HA: Health Advisory): Una estimación de los niveles aceptables en el agua potable para una sustancia química, basada en la información sobre los efectos en la salud disponible; una recomendación sanitaria no es un estándar Federal legalmente exigible, pero sirve como una guía técnica para la ayuda de las autoridades Federales, estatales o locales.

Recomendación Sanitaria para un día (One day HA): La concentración de un químico en el agua potable que no se espera que cause ningún efecto adverso (fuera del cáncer) cuando la exposición se efectúa por un máximo de un día.

Recomendación Sanitaria para 10 días (Ten day HA): La concentración de un

químico en el agua potable que no se espera que cause ningún efecto adverso (fuera del cáncer) cuando la exposición se efectúa por un máximo de diez días.

Recomendación Sanitaria para toda la vida (Lifetime HA): La concentración de un químico en el agua potable que no se espera que cause ningún efecto adverso (fuera del cáncer) cuando la exposición se efectúa durante toda la vida.

Meta Máxima de nivel de un Contaminante (MCLG: Maximum Contaminant Level Goal): Un nivel no exigible establecido como meta sanitaria el cual se fija en un nivel al cual no se conocen o no se anticipan efectos adversos en la salud de las personas y que permite un adecuado margen de seguridad.

Nivel Máximo de un Contaminante (MCL: Maximum Contaminant Level): El mayor nivel de un contaminante que se permite en el agua potable. Se fijan tan cerca como sea posible de los MCLG usando la mejor tecnología de tratamiento y tomando el costo en consideración. Los MCL son estándares legalmente exigibles.

En la misma publicación de la EPA (2000), al boro se le clasifica de la siguiente manera (se especifica que todos los valores para boro están en revisión, por lo tanto son provisorios):

Químico	Estándar			Documento de status de Recomendación Sanitaria	Recomendación Sanitaria						Grupo de carcinogenicidad
	Status de la regulación	MCLG (mg/l)	MCL (mg/l)		Niño de 10 Kg.		RfD (mg/kg/dia)	DWEL (mg/l)	Lifetime (mg/l)	Mg/l para el riesgo de cancer 10^{-4}	
					One Day (mg/l)	Ten day (mg/l)					
Boro	-	-	-	D 92	4	0.9	0.09	3	0.6	-	D

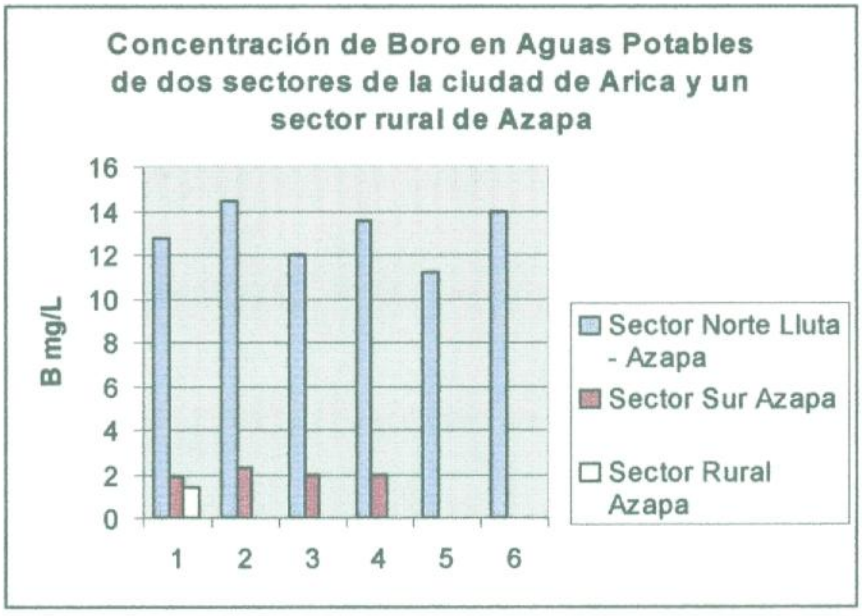
Cabe destacar que efectivamente la legislación chilena no contempla para aguas de consumo humano o potables en su NCh409, el requisito del parámetro Boro (sin embargo sí lo contempla en su NCh1333 en el caso de aguas cuyo uso es el de riego, con un valor máximo de 0,75mg/L) pero no es menos cierto que las Normas de otras naciones así como de organizaciones internacionales relativas a los requisitos de Boro en aguas de carácter potable efectivamente sí lo contemplan y explicitan con un

valor de Límite máximo permitido, entre las cuales la mencionada Norma de Canadá es la que acepta el mayor valor de Boro:

País u Organización - Año	**Boro mg/L**
OMS - 1995	0.3
COLOMBIA - 1998	0.3
GUATEMALA - 1998	1.0
CANADA - 1995	5.0
REINO UNIDO - 1991	2.0
ALEMANIA - 1990	1.0
ESPAÑA - 1990	1.0
ITALIA - 1985	1.0

7.2 Situación del agua potable en la ciudad de Arica

En el caso de Arica, en la actualidad se está viviendo una particular condición adquirida por la vía de la incorporación de aguas subterráneas de Lluta previamente desalinizadas, pero con baja eficiencia para el caso del elemento Boro. El suministro de agua desalinizada con una muy elevada concentración de Boro al sistema de abastecimiento de agua potable en la ciudad de Arica, con una distribución que no es homogénea desde el punto de vista de las fuentes de captación del agua, es decir que el recurso hídrico "potabilizado" sólo en términos de "cloración y filtración", está conformado para un sector de la ciudad por "alguna" combinación de aguas obtenidas desde la fuente histórica en la cuenca del valle de Azapa más la "nueva fuente" de aguas subterráneas del valle de Lluta y para otro o segundo sector de la ciudad la conformación corresponde exclusivamente a la fuente histórica de la cuenca de Azapa, última con concentraciones de Boro significativamente más bajas (Figueroa, L. y Cornejo, L. 2000).



UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

Sector Norte	Fecha
Población Villa Socoroma	24/11/98
Pob. Cardenal Raúl Silva. 1ª Etapa	08/10/99
Pob. Cardenal Raúl Silva. 5ª Etapa	08/10/99
Barros Arana. Pob. Industriales 1	08/10/99
Avda. Santa María 2174	08/10/99
Población Juan Noé	08/10/99
Sector Sur	Fecha
Pampa Nueva(E.Flores/O.Belmar)	08/10/99
Población Tucapel 7 - Psje.7 1962	08/10/99
Juan Antonio Ríos	08/10/99
18 Septiembre / Blanco Encalada	08/10/99
Sector Rural Azapa	Fecha
Cerro Sombrero Azapa	30/06/99

La situación descrita corresponde a una condición de impacto ambiental que se caracteriza por aumentar significativamente la dosis de Boro que la población humana ingiere en modo crónico a través del agua de bebida entregada como recurso potable por la empresa sanitaria respectiva, sin embargo no existen antecedentes suficientes que demuestren ya sea la inocuidad o toxicidad del elemento bajo las condiciones de "borismo crónico descrito".

La información indica que estamos frente al problema de un abastecimiento discriminante en calidad de agua con relación al contenido de Boro, donde el sector de la ciudad que está influenciado por las aguas tratadas y no tratadas del valle de Lluta, en su población "consumidora cautiva" del agua, está sometida a una ingesta crónica del elemento, a partir de las proximidades del mes de mayo de 1998, en dosis que superan en un mínimo de 600% aproximadamente a lo que históricamente se suministró al total de la población. En resumen estamos frente al problema de "borismo crónico", en un nivel de hipótesis, que afecta a una parte significativa de la

población de Arica ciudad, sin conocer ni la cualidad ni la magnitud de la afección, sin conocer el grado de amenaza del factor Boro ni la eventual vulnerabilidad del factor Individuo humano, hecho que probablemente aparece en nuestra ciudad como uno de los pocos casos registrados en zonas urbanizadas del mundo, sino el único, que es generado por directa responsabilidad del "hombre" y respecto del cual existen antecedentes escasos.

Otro aspecto de menor relevancia, pero con un efecto práctico que causa molestia notoria a la población que habita en la porción de la ciudad de Arica afectada por la presencia de boro en el agua potable, es la muerte por intoxicación con boro de la gran mayoría de las especies ornamentales utilizadas en los jardines privados y municipales, lo cual produce un efecto sicológico negativo al ser imposible mantener un entorno embellecido dada la limitación en las especies ornamentales que toleran el boro.

La Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR: Agency for Toxic Substances and Disease Registry), 1995, señala como concepto general "los efectos de exposición a cualquier sustancia peligrosa depende de la dosis, la duración, cómo usted está expuesto, rasgos y hábitos personales, y si otros químicos están presentes". Indica entre otros aspectos referidos al Boro, "existe poca información sobre el efecto en la salud de exposiciones en el largo plazo"; "es posible medir concentración de Boro en orina y sangre"; "no es conocido si el nivel de Boro medido en el cuerpo puede usarse para saber si los problemas en salud ocurrirán".

Los antecedentes vertidos por las monografías de "Environmental Health Criteria (EHC) referidas al Boro en EHC 204, 1998, son semejantes a los indicados anteriormente (ATSDR) y con relación a la exposición al Boro indican que para humanos la media global (mundial) de concentración en el agua de bebida era considerada para ser entre 0,1 y 0,3 mg de Boro por litro; que la absorción diaria de boro por la dieta es estimada en 1,2 mg/día; que hay una falta de datos suficientes de toxicidad en humanos; y recomienda que deben evitarse suplementos dietéticos

FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA
UNIDAD DE GESTIÓN Y PROYECTOS

excedidos de los valores medios globales de ingesta tolerable.

7.3 Referencia relativa a las aguas minerales en Chile

En Chile, el Reglamento Sanitario de los Alimentos en su Art. 32, con relación a las "Aguas Minerales" destinadas al consumo humano, señala para el Borato una cantidad máxima de 30 mg/L calculada como ácido bórico, equivalente a 5 mg B/L. Sólo considerando esta perspectiva, reconociendo que el agua mineral para bebida es una alternativa con un costo muy alto relativa al agua potable, reconociendo que su consumo es más bien ocasional al contrario del agua potable que es diario, entonces la regulación de la fuente de Boro en el agua potable parece imperativa, lo que implica la aplicación de un tratamiento para la separación como parte del proceso de potabilización.

8. TRATAMIENTO DEL AGUA CON BORO

Como se ha visto en la información presentada hasta el momento, la presencia de boro en el agua implica una serie de problemas para su uso en riego, al ser el boro tóxico para la gran mayoría de los cultivos de importancia económica, y para su uso como agua potable, al haber claros indicios de que causa problemas a la salud humana. Resulta clara entonces la necesidad de remover este elemento cuando se lo encuentra presente. La separación del Boro, borato o ácido bórico, contenido en las aguas, puede ser factible a través de diversas tecnologías, cada una de ellas con su propia eficiencia y costo asociado. El tratamiento de aguas destinado a la disminución del contenido de sales o sólidos disueltos del agua, entre los cuales se encuentra el Boro, pasa por los métodos más tradicionales como:

- Destilación.
- Intercambio Iónico con Polihidroxilos.
- Sistemas de Absorción biológicos.
- Coprecipitación.

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS
Y PROYECTOS
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA

- Osmosis Inversa.
- Desionización Capacitiva.
- Ultrafiltración.

Dependiendo de los principios de cada uno de los métodos señalados, las aguas son previamente tratadas o preparadas para hacer más eficiente el sistema, ya sea ajustando un pH, filtraciones previas, adición de reactivos para generar precipitaciones químicas o formación de complejos de Boro, etc. Sin embargo, si bien existen estos métodos para el tratamiento del agua destinados o adaptables a la eliminación del boro presente en ella, estos presentan uno o más de los siguientes inconvenientes (elaboración propia a partir de diversas fuentes):

Inconveniente	**Métodos**
Alto costo de infraestructura y equipamiento necesario (lo hace inviable para uso agrícola y encarece el agua potable)	Destilación. Intercambio Iónico con Polihidroxilo. Sistemas de Absorción biológicos. Coprecipitación. Osmosis Inversa. Desionización Capacitiva. Ultrafiltración.
Alto costo de operación por uso de energía (lo hace inviable para uso agrícola y encarece el agua potable)	Destilación. Intercambio Iónico con Polihidroxilo. Osmosis Inversa. Desionización Capacitiva.
Alto costo de mantenimiento (lo hace inviable para uso agrícola y encarece el agua potable)	Sistemas de Absorción biológicos. Osmosis Inversa. Desionización Capacitiva. Ultrafiltración.
Eficiencia insuficiente de eliminación del boro en los niveles presentes en nuestras aguas	Osmosis Inversa.

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA

Como se ve, en el contexto de la presente propuesta, en el caso de las aguas para uso en riego o bebida de animales, resulta poco frecuente la utilización de algunos de los métodos señalados, dado que para los volúmenes de agua requerida, los costos asociados los hacen impracticables, salvo en el riego de cultivos que generan una elevada rentabilidad, en casos muy particulares y en una escala pequeña.

A modo de ejemplo, actualmente se utiliza en nuestra provincia el método de la Osmosis Inversa, que resulta el más económico dentro de las alternativas actualmente existentes para la desalinización del agua que se utiliza para diferentes actividades económicas, cada cual de máxima importancia. Algunos ejemplos de empresas que emplean este sistema son:

El de la Agrícola SILMAR, la que produce frutilla en el valle de Azapa, con un sistema de cultivo altamente tecnificado. Al respecto conviene aclarar que la frutilla es una especie que sufre efectos tóxicos del boro con concentraciones en el agua superiores a 0,5 ppm, siendo una de las especies más sensibles, por lo tanto aún con los bajos niveles de boro presentes en las aguas del valle de Azapa se requiere la utilización de un método de limpieza para el boro. Para tener un punto de referencia, el costo de tratamiento que esta empresa ha estimado para cada m^3 de agua empleado en el riego (incluyendo la depreciación del equipo, el costo de la energía utilizada y el precio de la membrana de OI) asciende a aproximadamente $1.200 por m^3.

Agrícola Tarapacá, la que desaliniza el agua subterránea de la cuenca del valle de Lluta, destinada a la bebida de aves (pollos) reproductoras.

La empresa desalinizadora de aguas, DESALARI, la que trata aguas subterráneas también del Valle de Lluta para entregarla a la empresa sanitaria de Arica y destinada al recurso de agua potable para la ciudad.

La empresa Agropiemonte, que trata agua de la cuenca del valle de Azapa para

cultivos hidropónicos de hortalizas.

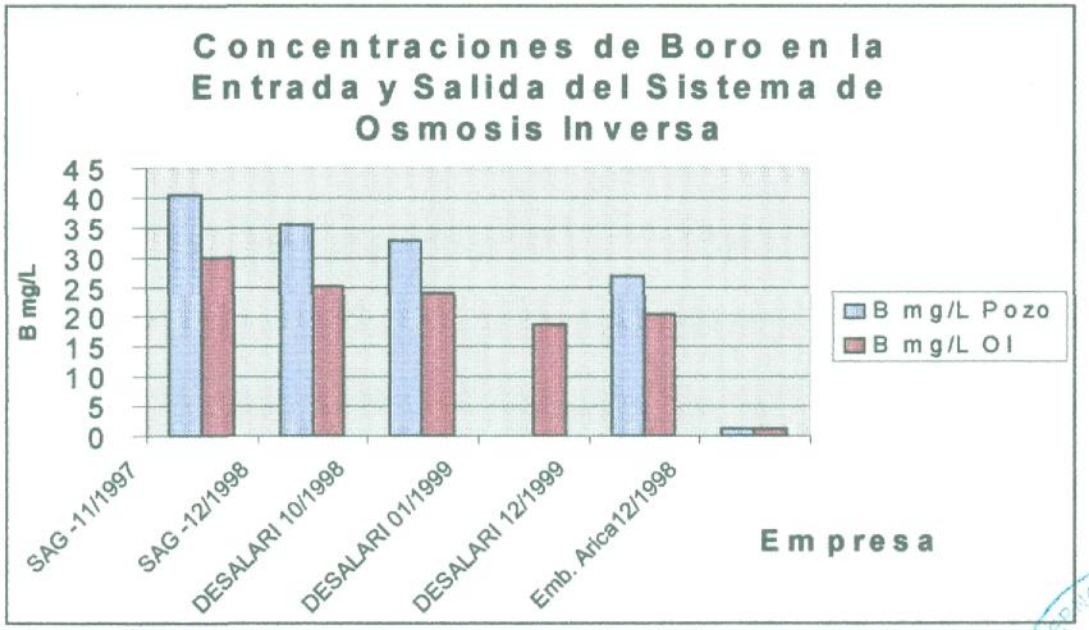
Lamentablemente, como ya se ha mencionado, la Osmosis Inversa no posee toda la eficiencia requerida o deseable para remover el borato o el ácido bórico contenido en el agua, cuestión que se observa en el cuadro siguiente de acuerdo a la experiencia de un fabricante:

ARISTOCRAT QUALITY REJECTION REPORT
REVERSE OSMOSIS

Material	%Rejection	En el Agua Producto OI
Borate	30 - 50	70 - 50

Water Refining Company - Pinnacle Point Commercial Center
7091 Pinnacle Drive, Unit A, Fort Myers, Florida 33907

Del mismo modo se observa que los resultados son de baja eficiencia en la experiencia local o de la experiencia generada en Arica (Figueroa L. 2000. Informe a CONAMA I REGION):



GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

Con absoluta claridad se observa que esta tecnología y del modo aplicada tiene el inconveniente de no ser eficiente con relación al Boro y además de tener un costo relativo elevado.

Cabe destacar, que algunos de los métodos enunciados en esta sección se basan en los mismos principios químicos conocidos en los cuales se sustenta el desarrollo tecnológico que se desea poner en práctica por medio de la implementación de la presente propuesta. Sin embargo, la utilización de estos métodos no consigue costos de operación similares a los que se espera obtener de la presente propuesta, o requieren de inversiones cuantiosas en la planta de tratamiento, que los deja absolutamente fuera de las posibilidades de la agricultura al nivel que existe hoy en día en el área geográfica de impacto del proyecto.

9. TRATAMIENTOS ALTERNATIVOS PARA DESARROLLAR DURANTE EL PROYECTO

La combinación de tecnologías, de principios químicos, de principios físicos, de experiencias, en general de conocimientos científicos destinados a la solución de un determinado problema, en este caso de forma específica el de remover el contenido de Boro desde un agua natural o tratada hasta niveles de concentración que satisfagan los requerimientos de un cultivo, de un animal o de seres humanos para permitir su normal desarrollo, han permitido a los formuladores de la presente propuesta diseñar, ensayar y evaluar a escala experimental un sistema de remoción del Boro desde el agua que lo contiene como uno de sus solutos. El sistema se ha experimentado en una fase de inicio en laboratorio y escala semi piloto, para el efecto de establecer que tiene una eficiencia significativa y que por ello cuenta con perspectivas de ser aplicable en escala mayor mediante el estudio y experimentación que el proyecto propuesto debiera financiar. Se destacan los principales aspectos de lo propuesto:

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS
Y PROYECTOS
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA

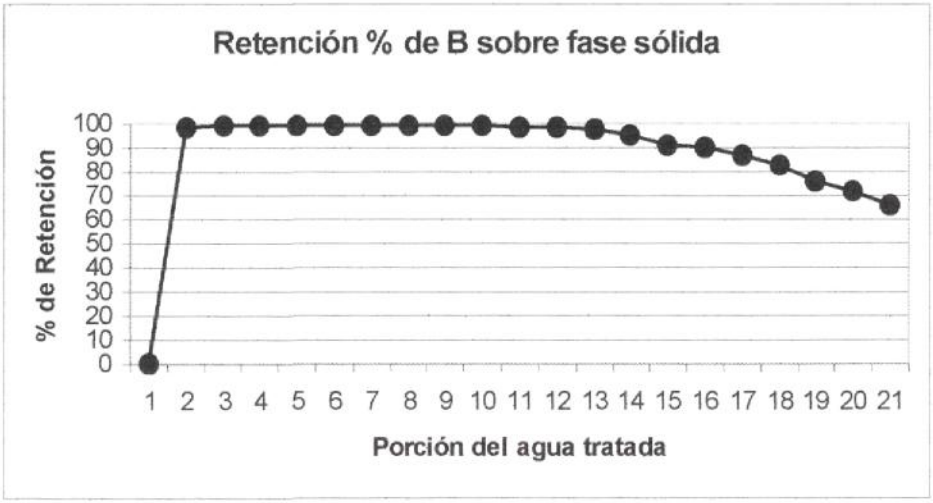
9.1 Fundamentos científicos y tecnológicos:

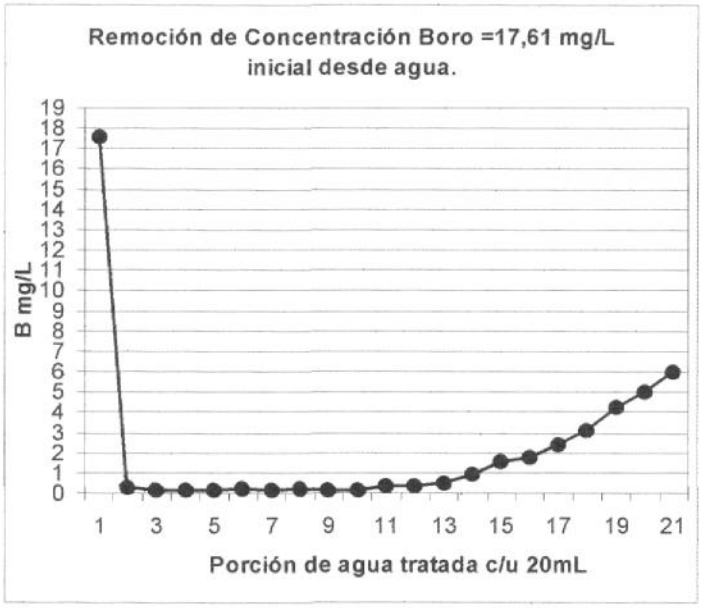
Reacciones del Boro con Polihidroxilados:

Como se especificó anteriormente en el texto, el borato o el ácido bórico forma complejos con compuestos polihidroxilados, carbohidratos o sus derivados reducidos, generando un aumento en el tamaño de la molécula que contiene al Boro. Esta molécula, posee características que le permiten ser adsorbida por la fase sólida carbón activado, adsorbente ampliamente utilizado para la remoción de distintos tipos de solutos, entre otros sustancias orgánicas disueltas, iones o combinaciones tales como complejos borato - carbohidrato. El carbón activado se obtiene desde distintas fuentes de origen en la naturaleza, así como en diferentes tamaños de partícula (Plaza De Los Reyes, Orellana, F. y Urizar, S. 1997).

Adsorción de Borato - polihidroxilado sobre carbón activado:

El modelo experimental permite disminuir la concentración de Boro inicial existente en el agua hasta con eficiencias superiores al 95%, característica que resulta útil cuando se trata de agua con una muy elevada concentración del elemento, como se observa en el siguiente gráfico que ha sido obtenido a partir de datos experimentales propios del equipo formulador del proyecto a nivel de laboratorio:





Del experimento, los datos de la figura siguiente dan cuenta de la eficiencia relativa a la capacidad de disminución de la concentración inicial, hecho muy significativo dado que se obtienen concentraciones inferiores a 0.5 mg B/L, que son bien toleradas por la mayor parte de los cultivos. Nótese que el sistema, probado con parámetros absolutamente normales dentro del agua del Valle de Lluta, y sin haberse optimizado aún las concentraciones del elemento complejante, pudo remover eficientemente el boro en 14 volúmenes sucesivos ntes de empezar a saturarse, parámetro que puede ser optimizado para hacer que el costo de limpieza del filtro sea muy económico.

Adicionalmente, se estima que si el agua que contiene el complejo polihidroxilado – boro es hecha fluir a través de un sistema de Osmosis inversa, la remoción del boro sería prácticamente completa.

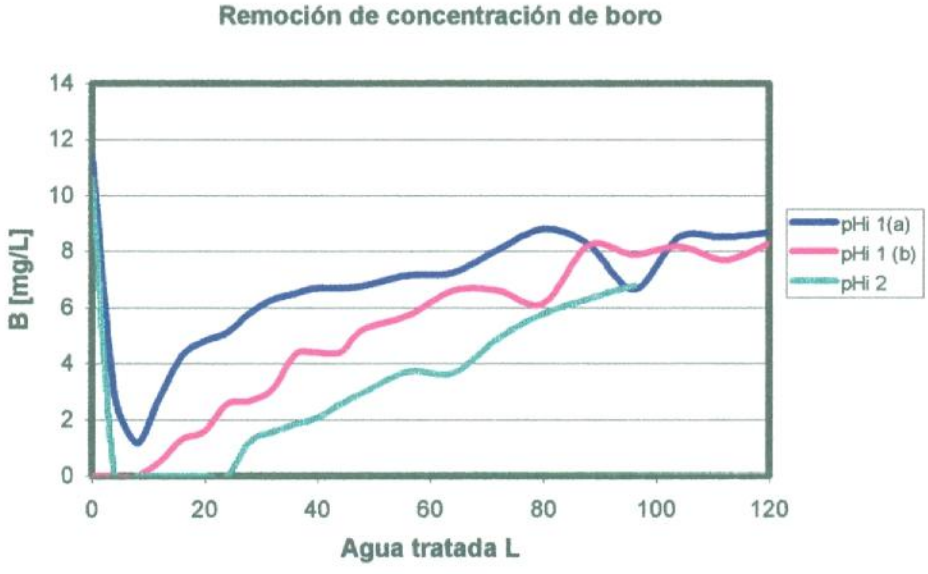
Pruebas a escala semi piloto de dos pHi sobre carbón activado

Se realizó una prueba de campo a mayor escala, empleando dos complejos de polihidroxilado-boro de diferente origen sobre una columna con carbón activado.

Las condiciones de operación fueron sencillas, con pocos parámetros de control, simulando un uso práctico del sistema a nivel operacional en predios agrícolas.

Los pHi empleados fueron de diferentes fuentes. El pHi 1, es un reactivo comercial, a diferencia del pHi 2, que es un subproducto industrial de bajo costo.

En los ensayos se usó agua de pozo de la cuenca del valle de Lluta, previamente filtrada para eliminar impurezas. El concentración de boro del agua de pozo filtrada era de 11,24.
Se usó dos concentraciones del pHi 1. En donde la concentración del pHi 1 (a) fue 10 veces más que la concentración del pHi 1 (b).



De los datos de la figura se puede ver que el principio de absorción del boro propuesto es efectivo, ya que en todos los casos se logra la disminución de la concentración inicial del boro, llegando a obtenerse valores no detectables de boro asumidos en la gráfica como 0 [mg/L].

En base a los resultados, es posible indicar que el complejo polihidroxilado – boro formado con el pHi 2, logra una mejor remoción del boro, pero pasado una cantidad de litros, al igual que con el complejo de pHi1, también se satura. Por lo que se debe estudiar las condiciones de reactivación del carbón activado para su posterior reutilización, proceso factible de realizar, ya que para ciertas aplicaciones esta estandarizado.

Dados los resultados es posible afirmar que es factible formar el complejo polihidroxilado-boro, que este es estable y puede ser removido a través del uso de carbón activo. Por lo que la ejecución del presente proyecto permitirá la optimización del sistema, determinando el o los polihidroxilos y su concentración adecuada, las condiciones de operación (pH), activación y reutilización del carbón activado, etc.

Todos estos aspectos serán evaluados y optimizados durante el desarrollo de las actividades del proyecto para brindar al sector agrícola y a las empresas de agua potable una manera eficaz y económica de remover el boro presente en las aguas. Debe aclararse que el principio planteado esta en proceso de patentamiento, por los formuladores para proteger el desarrollo intelectual realizado, impidiendo de esta forma que el descubrimiento sea utilizado y comercializado inescrupulosamente por terceras personas, salvaguardando el carácter benéfico social de la iniciativa.

Ampliación de la información presentada sobre la metodología desarrollada en laboratorio, para la reducción de la concentración de Boro en las aguas, señalando los compuestos a utilizar y los criterios establecidos para estimar un costo de operación del sistema de $132 / m3.

En este sentido es posible afirmar que existe una amplia variedad de compuestos polihidroxilados capaces de formar un enlace relativamente estable con el ión borato. Entre estos compuestos se pueden contar algunos carbohidratos simples como la manosa, fructosa, etc. todos, relativamente baratos y que se usan en una proporción entre 2:1 a 50:1 en relación al contenido de boro del agua, es decir, si el agua contiene 20 mg/lt de boro, se utilizan entre 40 y 1000 mg/lt de agente polihidroxilado por litro para el tratamiento del agua (40 a 1000 gramos por m3). El equipo de profesionales que ha presentado la propuesta en cuestión ha experimentado la utilización de este tipo de compuestos polihidroxilados, con un criterio de optimización económica, y ha encontrado uno que en principio permite el tratamiento a un costo mucho menor ya que su costo en cantidades a granel es aproximadamente de $90 por kg. Un aspecto de la utilización de este compuesto que no ha podido ser optimizado por falta de recursos para hacer las comprobaciones, es la proporción en que se debe agregar el compuesto al agua en tratamiento (10,5 mg/lt de boro), ya que en la prueba se usó una cantidad estándar de 200 mg/lt (200 gramos por m3) que fue adecuada para comprobar la eficacia del compuesto en acomplejarse con el boro. Sin embargo, en las primeras experiencias que fueron realizadas con manosa sí se alcanzó a probar el aspecto de optimización de la dosis, encontrándose que una reducción desde 1000 mg/lt de manosa hasta 100 mg/lt permitió un mejor resultado en la remoción de boro; de este modo, el punto de partida para una ulterior optimización de la concentración del compuesto acomplejante barato será una dosis de 100 mg/lt, lo cual implicaría un costo de $9 por metro cúbico tratado, pudiendo ser menor al optimizarse este parámetro.

El otro componente que afecta el costo del tratamiento es la matriz que retiene al complejo boro polihidroxilado, la cual también puede consistir de alguno entre varios compuestos que teóricamente son capaces de adsorber por afinidad química al complejo boro-phi. El equipo formulador de la propuesta ha trabajado inicialmente con carbón activado por ser este el adsorbente de más fácil disponibilidad. El carbón activado adquirido al detalle es costoso ($2.100 por kg.), aunque su precio a granel es bastante menor ($1.350/kg. con órdenes de 500 Kg.) y el precio en el mercado internacional es aún menor, alcanzando a los US$ 660 por tonelada, precio al cual, considerando un 60% de costos por flete y aranceles, el carbón podría estar disponible con un costo de $766 por Kg. (paridad dólar a CLP$ 725). Por otro lado, el carbón activado empleado en remover el complejo boro-phi sería reutilizable varias veces por medio de la limpieza con un sistema de lavado ácido; este aspecto es importante al pensar en la duración de la matriz adsorbente, ya que lo que es adsorbido es el carbohidrato acomplejante, quedando expuesto el ión borato, el cual se mantiene en esa forma en pH relativamente altos, pero que vuelve a la forma de ácido bórico frente a una baja de pH, forma en la cual se desliga del acomplejante, quedando la molécula de acomplejante adsorbida en la matriz, pero aún siendo capaz de acomplejarse con el ión borato una vez que el pH vuelve a subir (el pH del agua utilizada es suficiente para inducir esto). De lo anterior se desprende lógicamente que la optimización de la cantidad de compuesto polihidroxilado a utilizar es un factor que se relaciona intrínsecamente con la duración de la matriz de filtrado antes de una reactivación o recambio total (independientemente de cuantas veces sea necesario lavar el filtro para retirar el boro retenido), ya que para maximizar la duración de la matriz antes de un recambio o reactivación, se requiere minimizar la saturación del mismo con compuesto polihidroxilado adsorbido, ya que si se saturan todas las posiciones donde el complejo boro-phi se pueda adsorber, este podrá fluir libremente a través de la matriz sin lograrse el efecto deseado; de aquí se deduce que otro aspecto interesante y que tampoco ha sido evaluado hasta el momento es saber si el filtro saturado con agente acomplejante es capaz, una vez de ser sometido a un lavado ácido para remover el boro que pueda contener, de retener el borato libre en el agua, como una suerte de resina de intercambio iónico de muy bajo costo en que la estructura base es el carbón activado y el grupo activo es otorgado por el agente

polihidroxilado adsorbido en el carbón; este aspecto será evaluado pero se estima que el efecto depende demasiado de la granulometría del carbón activado empleado, ya que es sabido que las resinas de intercambio iónico tiene una altísima área superficial donde interactuar con el líquido, efecto que se deberá abordar con el carbón activado comercial.

No es fácil estimar a priori cuantas veces es posible reutilizar después de un lavado ácido el carbón activado antes de que su eficacia resulte inoperante para remover el complejo boro-phi por haberse saturado con el agente acomplejante. Sin embargo, la experiencia de uso del carbón activado para remover otros compuestos orgánicos indica que esta duración podría ser bastante prolongada si la concentración de sustancias a retener es baja (de ahí la importancia de optimizar la concentración del phi). Sin embargo, si tenemos que acotar la duración del filtro, podríamos decir, basados en las experiencias que ya hemos efectuado, que un kg. de carbón activado puede limpiar alrededor de 7 m3 de agua para dejarla con una concentración de boro menor a 3 mg/lt antes de tener que ser recambiado o reactivado el carbón activado, y en ese periodo el filtro debe lavarse con ácido unas 9 veces para remover el boro acomplejado con el phi, con lo cual el costo adicional por metro cúbico sería alrededor de $123, considerando un costo del ácido sulfúrico de $200 por litro y una solución de lavado al 1%. Por otra parte, la reactivación del carbón saturado es un proceso que permite recuperar gran parte de la capacidad de retención (90%) y consiste básicamente en un proceso de calcinado a altas temperaturas que volatiliza las sustancias orgánicas adsorbidas en el carbón. El costo de esta reactivación no es fácil de determinar porque depende mucho de las condiciones locales (costo de combustibles, disponibilidad de hornos, etc.), pero en general se habla de un 20 a 30% del costo de adquisición de carbón nuevo, con lo cual el costo sucesivo del carbón activado para utilizarlo en la remoción del boro sería menor aún.

La utilización de carbón activado, sin embargo, ha sido aquí mayormente descrita solamente porque es la alternativa más inmediata para retener el complejo boro-phi y hasta el momento ha sido la única que el equipo formulador de la propuesta ha podido evaluar con alguna detención en términos de su limitación de recursos.

Es necesario mencionar que existen otras alternativas de matriz filtrante, ya que en general se puede decir que por el principio químico de que "lo semejante retiene a lo semejante" cualquier material orgánico polihidroxilado o con alta superficie de intercambio es en teoría capaz de retener el complejo boro phi; entre ellos, existen numerosos ejemplos de residuos ricos en celulosa cuyo costo por kg. es en la práctica equivalente al costo de transporte. El equipo formulador ha realizado pruebas con residuos ricos en celulosa de origen vegetal, pero estos han resultado siempre estar saturados con boro en forma natural con lo cual no se ha podido verificar su eficacia en la retención del complejo boro-phi. Una prueba que se iba a hacer con celulosa casi pura quedó pendiente por falta de recursos para hacer los análisis de boro posteriores, pero esas pruebas se reasumirán en el marco de la ejecución del proyecto, con lo cual el costo de la matriz filtrante podría reducirse aún mucho más de lo hasta aquí expuesto.

En cuanto al tratamiento de lavado de la matriz para remover el boro acomplejado, este requiere el uso de un ácido fuerte (insumo disponible a bajo costo en cualquier lugar de Chile), que produce un eluto rico en boro que puede luego secarse por evaporación solar y dejar un residuo sólido que se puede vender como fertilizante boratado para uso forestal o agrícola.

De este modo, con los antecedentes experimentales actuales se ha estimado un costo no superior a los $132/m3, pero que al término de la investigación se espera ratificar o disminuir si es posible.

Evaluar adecuadamente el requerimiento de lavado de suelos, señalando los posibles riesgos de no conseguir una baja adecuada de las concentraciones iniciales de boro en el suelo, las estrategias para prevenir este problema; incorporando además, dentro de las actividades a realizar la medición de las concentraciones de boro en el suelo, en forma previa y posterior al lavado.

El problema de la concentración de boro inicial del suelo es un aspecto aparentemente muy importante a considerar en el marco del proyecto presentado; sin embargo, un análisis más detallado indica que es un problema que siempre se soluciona una vez de que se dispone de aguas con baja concentración de boro. Como punto de partida, hay que especificar que el boro no suele presentarse en forma natural en el suelo en concentraciones problemáticas salvo en el caso de que ese suelo esté siendo permanentemente regado con aguas ricas en boro; dicho de otra forma, el boro se presenta en el suelo en la medida en que exista boro en el agua de riego. Es conocido y ampliamente referenciado el hecho que el boro es una sal que se lixivia fácilmente del suelo si se aplica una sobre tasa de riego (por sobre las necesidades del cultivo), toda vez que el drenaje del suelo no presente limitaciones.

A continuación se presentan varios análisis de suelo efectuados por Leonardo Figueroa Tagle en suelos de los valles de la provincia de Arica.

Lugar de Origen de la muestra	Concentración de Boro mg/lt en solución de suelo MAFF 1:2,5	Conductividad eléctrica mS/cm a 25ºC en suelo MAFF 1:2,5
Azapa (cultivo de camote)	1,8	4,13
Chaca (cultivo de camote)	1,3	5
Lluta (Intento de cultivo de Camote)	27,1	16,21
Predio Donde se efectuará el proyecto Muestra 1	11,8	-
Predio Donde se efectuará el proyecto Muestra 2	11,3	-
Lluta (esparraguera) antes de establecimiento Muestra 1 (Análizadopor Agrolab Ltda.)	135,71	176,58
Lluta (esparraguera) antes de establecimiento Muestra 2 (Analizado por Agrolab Ltda.)	30	4,56
Lluta (esparraguera) 6 meses después de establecimiento Muestra 1	5	9,3
Lluta (esparraguera) 6 meses después de establecimiento Muestra 2	4,6	7,0
Lluta (esparraguera) 18 meses después de establecimiento Muestra 1	6,4	2,5
Lluta (esparraguera) 18 meses después de establecimiento Muestra 2	4,4	3,52

GOBIERNO DE CHILE
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

Como punto de comparación se muestra una tabla adaptada de valores interpretativos empleada para suelos de la zona central (Fuente Agrolab Ltda.)

Análisis	Unidad	Rango Interpretativo	
		Sin problemas	Problemas severos
C.E. extracto	MS/cm	<2	>4
B Soluble	mg/lt	<1	>3

Cabe mencionar que en el caso de los datos de suelo de una esparraguera esta es manejada aplicando alrededor de un 30% de exceso de riego con respecto a la Evapotranspiración Potencial máxima de 7 mm día (es decir, incorporando el 30% adicional se aplican hasta 91 m^3 por hectárea al día). Con la situación observada, en el peor de los casos, se podría establecer como metodología para bajar la concentración de boro en el suelo el hacer un cultivo de transición moderadamente tolerante al boro, regado con agua tratada y empleando una sobretasa del 30% para lavar gran parte del boro del suelo antes de iniciar los cultivos con especies sensibles; de aplicarse este cultivo de transición, el efecto del lavado se vería incrementado por la extracción de boro que realizan los cultivos, que puede ser del orden de los 400 mg B/Kg de materia seca cosechada.

Para el caso del predio que participa en el presente proyecto, el contenido de boro detectado es moderadamente alto, con lo cual se hace necesario pensar en la incorporación a la metodología del proyecto de un periodo de lavado del suelo antes de iniciar el establecimiento de los cultivos y el jardín demostrativo. Este lavado debería ser preferentemente sin la existencia de cultivo sobre el suelo y manteniendo el suelo saturado para acelerar el lavado, lo que se puede comprobar con el uso de un tensiómetro. La duración de este periodo deberá ser determinada mediante un monitoreo semanal del contenido de boro en el suelo, estableciéndose como criterio para iniciar las siembras y/o plantaciones un umbral de 4,5 a 6,5 mg B/lt. en los análisis MAFF 1:2,5. El único tratamiento alternativo que podría emplearse es

el relleno total de la capa superficial de suelo con tierra o materia orgánica, faena que podría tener un costo de alrededor de $1.300.000 por hectárea considerando el movimiento de material.

10. REFERENCIAS

Aas Jansen, J., Schou, J.S. and Aggerbeck, B. Gastrointestinal absorption and in vitro release of boric acid from water-emulsifying ointments. Food Chem. Toxicol., 22: 49 (1984).

Anónimo. Final report on the safety assessment of sodium borate and boric acid. J. Am. Coll. Toxicol., 2: 87 (1983).

Ayers, R.S. y Westcot, O.W. 1987. La calidad del agua en la agricultura. Estudio FAO, Riego y Drenaje 29

Benson, W.H., Berge, W.J. and Durough, H.W. Absence of mutagenic activity of sodium borate (borax) and boric acid in the Salmonella preincubation test. Environ. Toxicol. Chem., 3: 209 (1984).

Blevins, D.G. and Lukaszewski, K.M. Proposed Physiologic functions of Boron in Plants pertinent to animal and human metabolism. Environmental Heath Perspectives 102, Supplement 7, November 1994. 31-33.

Boyland, E., Roe, F.J.C. and Mitchley, B.C.V. Test for certain constituents of spermicides for carcinogenicity in genital tract of female mice. Br. J. Cancer, 20: 184 (1966).

Bradford, G. R.. "Boron" IN: Chapman, H.D. (ed), Diagnostic Criteria for Plants and Soils, Quality Printing Company, Inc., Texas, 1965, p-33-61

Clarke, W.B., Webber, C.E., Koekebakker, M. and Barr, R.D. Lithium and boron in human blood. J. Lab. Clin. Med., 109(2): 155 (1987).

Dixon, R.L., Lee, I.P. and Sherins, R.J. Methods to assess reproductive effects of environmental chemicals: Studies of cadmium and boron administered orally. Environ. Health Perspect., 13: 59 (1976).

Ferreyra, R.E., Aljaro, A.U., Ruiz, R.S., Rojas, L.P. y Oster, J.D. 1997. Behavior of 42 crop species grown in saline soils with high Boron concentrations. Agricultural water management 34 (1997) 111-124

Figueroa, L. y Cornejo, L. 2000. Impacto ambiental en la ciudad de Arica a causa de la introducción de borato en el agua potable. V Encuentro Química Analítica y Ambiental. Chile

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS
FUNDACION PARA LA INNOVACION AGRARIA

Figueroa et al, "Niveles de boro en aguas de riego y suelos que sustentan olivos en el Norte de Chile". IDESIA (CHILE), Vol.13, 1994.

Figueroa T., L.; L. Tapia I.; E. Bastías M; H. Escobar A. y A. Torres H. 1998. Taller Internacional sobre Gestión de la Calidad del Agua y Control de la Contaminación en América Latina. Food and Agricultural Organization. FAO. "Niveles de Boro en el agua de riego utilizada en olivicultura del norte de Chile". Universidad de Tarapacá.

Fundación Chile. 1999. Estudio prospectivo de nuevas opciones agrícolas y agroindustriales para Arica. Publicado por CORFO.

Hamilton, E.I., Minski, M.J. and Cleary, J.J. The concentration and distribution of some stable elements in healthy human tissues from the United Kingdom. Sci. Total Environ., 1: 341 (1972/1973).

Harvey, S.C. Antiseptics and disinfectants; fungicides, ectoparasiticides. In: Pharmacological basis of therapeutics. L.S. Goodman, A. Gilman, A.G. Gilman and G.B. Koelle (eds.). Macmillan, Toronto. p. 994 (1975).

Health Canada. 1991. Guidelines forCanadian Drinking water Quality. documento PDF titulado "Boron" obtenido en http://www.hc-sc.gc.ca/ehp/ehd/catalogue/bch_pubs/dwgsup_doc/dwgsup_doc.htm. 48 refs.

Heindel, J.J., Price, C.J., and B. Schwetz. The developmental toxicity of boric acid in mice, rats and rabbits. Environmental Heath Perspectives 102, Supplement 7, November 1994.

Hunt, C.D. and Nielsen, F.H. Interaction between boron and cholecalciferol in the chick. In: Proceedings of the 4th International Symposium on Trace Element Metabolism in Man and Animals. Vol. 4. J.M. Gawthorne, J.M. Howell and C.L. White (eds.). Springer-Verlag, Berlin. p. 597 (1982).

Jansen, J.A., Andersen, J. and Schou, J.S. Boric acid single dose pharmacokinetics after intravenous administration to man. Arch. Toxicol., 55: 64 (1984).

Japan International Cooperation Agency (JICA). 1995. El estudio sobre el desarrollo de los recurso de agua en la parte North de Chile. Informe Principal. Pacific Consultants International. Tokio.

Kotton y Wilkinson, Química Inorgánica Avanzada, 4ªEd.1988

Krasovskii, G.N., Varshavskaya, S.P. and Borisov, A.I. Toxic and gonadotropic effects of cadmium and boron relative to standards for these substances in drinking water. Environ. Health Perspect., 13: 69 (1976).

Ku, W.W., and R. Chapin. Mechanism of testicular toxicity of boric acid in rats: In vivo and In vitro studies. Environmental Heath Perspectives 102, Supplement 7, November 1994.

Lee, I.P., Sherins, R.J. and Dixon, R.L. Evidence of germinal aplasia in male rats by environmental exposure to boron. Toxicol. Appl. Pharmacol., 45: 577 (1978).

Magour, S., Schramel, P., Ovcar, J. and Maser, H. Uptake and distribution of boron in rats: interaction with ethanol and hexo-barbitol in the brain. Arch. Environ. Contam. Toxicol., 11: 521 (1982).
National Toxicology Program. Toxicology and carcinogenesis studies of boric acid (CAS No. 10043-35-3) in B6C3F 1 mice (feed studies). NTP Technical Report Series No. 324, Research Triangle Park, NC (1987).

Nielsen, F.H. Effects in rats of boron deprivation and of interactions between boron and fluoride, aluminum, magnesium, or calcium. In: Proceedings of the 5th International Symposium on Trace Elements in Man and Animals. Vol. 5. C.F. Mills, I. Bremner and J.K. Chesters (eds.). Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, Slough, U.K. p. 271.

Nielsen, F.H., Hunt, C.D., Mullen, L.M. and Hunt, J.R. Effect of dietary boron on minerals, estrogen, and testosterone metabolism in postmenopausal women. FASEB J., 1: 394 (1987).

Oertli, J. J. E KOHL, H. C. "Some Considerations about the Tolerance of Various Plant Species to Excessive Supplies of Boron". Soil Sci. 1961, 92: 243-247

Plaza De Los Reyes, Orellana, F. y Urizar, S. 1997. Carbones activos obtenidos de subproductos agrícolas nativos chilenos y de residuos forestales. Bol. Soc. Chil. Quím., 42, 493 – 499
Reprod. Toxicol. 1998 May-Jun; 12(3): 297-304

Seal, B.S. and Weeth, H.J. Effect of boron in drinking water in the male laboratory rat. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 25: 782 (1980).

Siegel, E. and Wason, S. Boric acid toxicity. Pediatr. Clin. North Am., 33: 363 (1986).

Schroeder, H.A. and Mitchener, M. Life-term effects of mercury, methyl mercury and nine other trace metals on mice. J. Nutr., 105:452 (1975).

Uhrich, K.E., Hunt, C.D. and Nielsen, F.H. Boron deprivation in rats. Proc. N.D. Acad. Sci., 38: 108 (1984).

Tapia, L. et al, 1995. Selección y evaluación de portainjertos de olivos (Olea europaea L.), resistentes a la salinidad y toxicidad específica para el norte de Chile. Informe Final FONDECYT 92-132, Universidad de Tarapacá, Arica, Chile

Underwood, E.J. Trace elements in human and animal nutrition. Academic Press, New York, NY. p. 436 (1977).

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA

U.S. Environmental Protection Agency. Health effects assessment for boron and compounds. Environmental Criteria and Assessment Office (1987)

U.S. Environmental Protection Agency. Office of Water(2000). Drinking Water Standards and Health Advisories. Washington D.C., E.U.A.

Van der Leeden, F., Troise, F. L. y D. K. Todd. 1990. The water Enciclopedia. Lewis Publishers. 808 p.

Walsh L.M. and J.D.Beaton, Soil and Plant Analysis, Soil Science Society of America, 1973.

Weir, R.J., Jr. And Fisher, R.S. Toxicologic studies on borax and boric acid. Toxicol. Appl. Pharmacol., 23: 251 (1972).

Woods, W.G. 1996. Journal of trace elements in experimental medicine, 9:(4) 153 - 163

6. MARCO GENERAL DEL PROYECTO

La situación actual del Valle de Lluta, similar a la de otros valles del norte de Chile (Camarones, Loa), que poseen disuelto en el agua que se emplea para el riego agrícola un relativamente alto contenido del elemento Boro (en general, sobre 10 Mg B/L), siendo que este elemento resulta tóxico a la mayoría de las especies vegetales de interés económico, y que sólo pueden ser empleadas regar para cultivos resistentes a la presencia de este elemento en altas concentraciones, no ha permitido un desarrollo agrícola económicamente importante de estos valles, a pesar de la disponibilidad de tierras cultivables y el caudal significativo de agua para riego existente; el impacto negativo de la presencia de boro en el agua de riego se dimensiona claramente al observar que, en condiciones iguales de clima y suelo, el agua de riego con concentraciones bajas de boro permite una agricultura altamente competitiva y rentable en el Valle de Azapa, aún con caudales inferiores y costos de bombeo muy superiores a los que se observan en el valle de Lluta.

Actualmente en el valle de Lluta, y motivado por la limitación expuesta, se cultiva mayoritariamente maíz choclero (1.700 há) y alfalfa (700 há), existiendo también cultivos de cebolla, ajo, betarraga y otras hortalizas tolerantes a la presencia de boro, de menor relevancia por su superficie limitada; con los costos y usualmente bajos márgenes que se obtienen con la comercialización de estos productos, no ha sido posible incorporar mayor tecnología de riego que la actual (riego superficial), por lo cual no se efectúan inversiones en el valle. Cabe mencionar que los cultivos que toleran el boro presente en el agua de este valle, aún así producen rendimientos inferiores a los esperables en condiciones sin boro, ya que en general se emplea material genético endémico y adaptado a crecer en estas condiciones, pero con bajos rendimientos; generalmente han fracasado los intentos por incorporar material genético mejorado, el cual suele no crecer.

Esto ha originado una situación crónica de agricultura de subsistencia que no permite el crecimiento y desarrollo de las empresas y productores agrícolas, los

cuales se encuentran con problemas de endeudamiento crónico, faltos de apoyo crediticio e imposibilitados de generar mayores ingresos al no contar con alternativas productivas de mejor rentabilidad u exportables en mejores condiciones.

Hasta ahora los métodos existentes para eliminar la presencia de boro en el agua han estado limitados a usos altamente rentables, debido al elevado costo de adquisición y operación de los mismos, quedando fuera del alcance de los productores agrícolas del valle de Lluta.

La presente propuesta viene a incorporar una solución tecnológica innovativa, económica y sustentable a la problemática situación expuesta, mediante el uso de principios químicos conocidos implementados de una forma innovadora.

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIO
Y PROYECTOS

7. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO

(Anexar además un plano o mapa de la ubicación del proyecto)

El presente proyecto es presentado por la Universidad Tarapacá como agente postulante. La cual tendrá la responsabilidad de gestionar, ejecutar y coordinar las etapas del propuesta en el presente proyecto.

La primera etapa, corresponde a las actividades que se realizarán a nivel de laboratorio, en donde se determinará un sistema de depuración del boro, definiendo el complejo pHi-boro que permita la remoción del boro considerando costo-beneficio, las condiciones de operación, estabilidad del complejo pHi-boro, uso de carbón activo u otro compuesto filtrante y su reactivación, etc. Esta etapa se realizará en el laboratorio del departamento de Química del campus Velasquez de la Universidad Tarapacá, ubicado en la ciudad de Arica en la I Región.

La segunda etapa, corresponde al escalamiento del sistema de depuración a escala piloto como para permitir el riego de 1 hectarea cultivada. Esta actividad se realizará en el predio de Doña Paola Gaete, ubicado al norte de la ciudad, en el Km. 42 valle de Lluta. En esta etapa se realizará la evaluación del sistema piloto en función de la producción de un cultivo sensible al boro, comparando la situación actual de riego usando agua rica en boro (control) contra la situación de regar con agua disminuida en su concentración de boro hasta niveles no fitotóxicos.

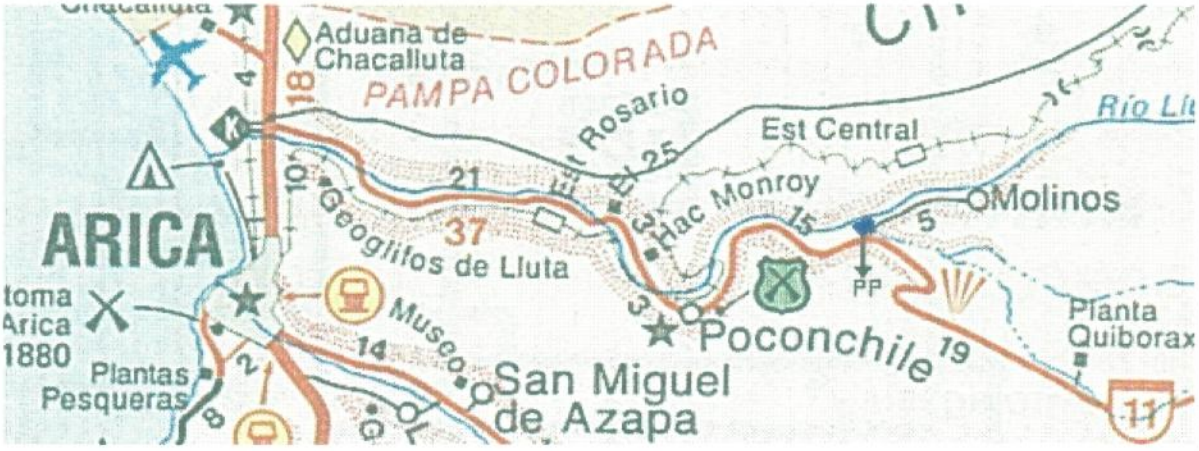
DESCRIPCION

El predio en que se realizaran las pruebas agronómicas, tiene aproximadamente 70 hectáreas de las cuales 2 están bajo riego por goteo para el cultivo de hortalizas. Aquí se evaluará la sobrevivencia, crecimiento y productividad a escala pre comercial de cultivos sensibles al boro para demostrar la posibilidad de incorporar estas especies al utilizar agua de riego superficial tratada por el método a desarrollar en el proyecto.

Actualmente en este predio cultiva básicamente heno de alfalfa para la venta, maíz choclero y eventualmente cebollas, tomates no larga vida u otras hortalizas.

MAPA

El predio del agente asociado esta a un costado de la carretera internacional Arica - La Paz Ch-11, a 52 Km. de la ciudad de Arica, como se observa en el mapa adjunto, en el cual el predio se encuentra indicado con el punto PP (Predio del Proyecto).



8. OBJETIVOS DEL PROYECTO

8.1. GENERAL:

La presente propuesta tiene por objetivo desarrollar un sistema de bajo costo que permita reducir las concentraciones de boro presente en aguas s en el valle de Lluta, que pueden ser aplicable a varias cuencas del norte grande, a niveles que hagan posible su utilización en agricultura con especies rentables.

8.2 ESPECÍFICOS:

1. Optimizar, a nivel experimental y desde el punto de vista de la relación costo-beneficio, los parámetros de funcionamiento del sistema propuesto, sólo o en combinación con Osmosis Inversa para la remoción del boro presente en el agua para uso agrícola.

   Indicadores

   - Determinación compuesto(s) secuestrante(s).
   - pH de operación.
   - Fuente y forma de Adsorbente del complejo boro-phi.
   - Duración y sistema de limpieza de adsorbente.
   - Rango de eficiencia esperable.

2. Desarrollar y Evaluar la aplicación de un sistema piloto para remover el boro presente en las aguas superficiales con fines agropecuarios.

   Indicadores

   - Diseños Prototipo de sistemas para depuración de aguas.
   - Construcción e instalación sistemas prototipo.
   - Pruebas en funcionamiento.
   - Eficiencia del sistema prototipo.

- Parámetros de costos de instalación, operación y mantenimiento.
- Sistemas de tratamiento de boro a nivel prototipo pre comercial instalados.
- Calidad de agua obtenida respecto al boro para uso agrícola.
- Producción piloto de cultivos de interés económico evaluada

Lluta ➔ especies que no se cultivan por exceso de boro).

- Determinación de aspectos adicionales del entorno agrícola que deben mejorarse para aprovechar el sistema al máximo (básicamente respecto al suelo contaminado con boro).
- Parámetros a optimizar para llevar a escala comercial.
- Costos preliminares a escala comercial para uso agrícola.

3. Preparar y Transferir el o los Paquetes tecnológicos desarrollados a los agentes afectados por la presencia de boro en las aguas.

Indicadores

- Seminarios y publicaciones de difusión efectuadas.
- Demostraciones en terreno a potenciales usuarios efectuadas.
- Demostración del sistema en situaciones similares efectuada (Camarones y Río Loa).
- Paquete(s) tecnológicos(s) y estrategia de transferencia determinadas.

GOBIERNO DE CHILE
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

9. METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTOS

(Describir en detalle la metodología y procedimientos a utilizar en la ejecución del proyecto)

A continuación se expone la metodología que se aplicará durante la ejecución del proyecto en busca de satisfacer los objetivos generales y específicos planteados.

Equipo de trabajo

El equipo de trabajo esta formado por profesionales de amplia experiencia, que han venido trabajando en el tema de la remoción del boro desde hace un tiempo.

El coordinador del proyecto, Leonardo Figueroa, representa a la Universidad de Tarapacá como agente postulante. Este profesional es director del departamento de Química, de esta casa de estudio, posee una amplia trayectoria y preocupación por el tema de toxicidad del boro, en aguas y suelos del norte de Chile. Ha participado en varios estudios sobre los niveles de boro en los suelos y aguas del norte, y su efecto en la agricultura. Como coordinador del proyecto, deberá establecer los lineamientos generales de este, gestionar su ejecución con los diferentes participantes y administrar los recursos del mismo. Es el representante del proyecto frente al FIA, y dedicará un 20% de su jornada de trabajo

El coordinado alterno, representada por Lorena Cornejo, Doctor en Ciencias con mención en Química analítica, académico jornada completa en la Universidad Tarapacá. Dado su curriculum y experiencia asesorará los diversos aspectos que permitan definir las condiciones óptimas para formación y estabilidad del Complejo "Boro-phi" , así como también del adsorbente, tanto en el laboratorio como en el sistema piloto. Además apoyará la gestión administrativa del coordinador cuanto se estime necesario. Tendrá una dedicación al proyecto de un 10% de su jornada de trabajo.

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

El proyecto ha considerado la participación de un profesional con experiencia en procesos productivos, la Señora Marlene Vásquez, Ingeniero Civil Bioquímico, tiene por función ejecutar las diferentes actividades de laboratorio como de campo, para desarrollar un sistema de remoción de boro, e implementar rápidamente los resultados a escala preproductiva. Es la responsable de ejecutar las actividades establecidas en el proyecto, y asesorar que la orientación del proyecto este encaminada en la obtención de un sistema de depuración escalable y comercial, que permita depurar las aguas en forma eficiente y al menor costo posible.

Además, tendrá la responsabilidad de recopilar los datos, analizarlos al interior del equipo de trabajo, y elaborar los informes de avance.

El proyecto tiene considerado además el apoyo de un Ingeniero Agrónomo, Camilo Urbina, quien tendrá la responsabilidad de diseñar , ejecutar y analizar los datos de las pruebas de campo que se realizará en el valle de Lluta. Su participación en el proyecto es de un 25% de su jornada laboral, desde que se inicia las actividades de campo

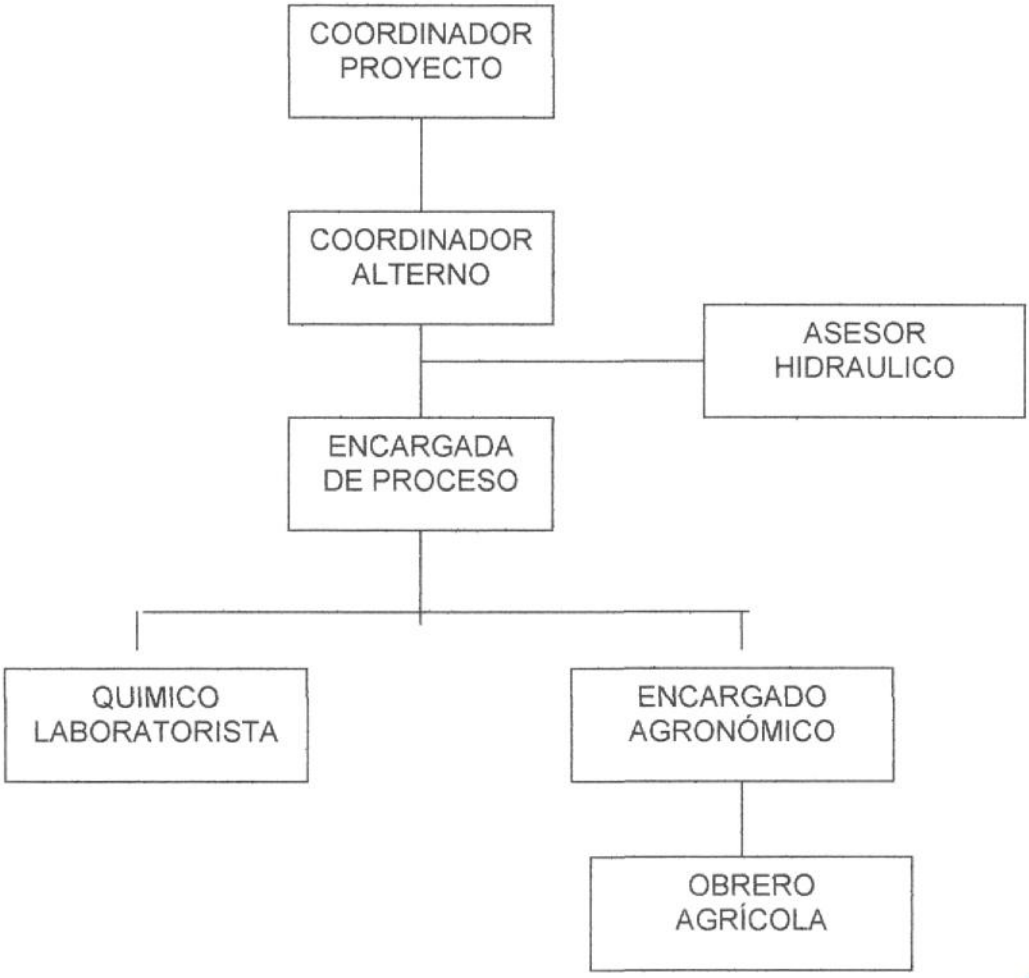
El proyecto contempla el asesoramiento de un profesional con experiencia en temas hidráulicos, de manera que realice los diseños hidráulicos del sistema de depuración de boro y su puesta en marcha. Este profesional es vital para el buen diseño del equipo, pues debe considerarse que este sistema deberá ser lo más simple posible y de fácil operación, pues esta considerado que su uso sea de campo.

Dado el alto número de análisis químicos que se realizarán durante todo el período que se ejecute el proyecto, la exactitud y velocidad de los resultados, el proyecto tiene contemplado la participación de un químico laboratorista con 50% de dedicación.

En las actividades de campo, se contará con la participación del administrador del predio del valle de Lluta, el cual dedicará al proyecto un 25% de su jornada de trabajo, desde que se inician las actividades de campo. Tendrá como función facilitar el desarrollo de las actividades en el predio y ejecutar las actividades establecidas en el proyecto, bajo la supervisión del ingeniero agrónomo

También el proyecto contempla un operario agrícola que trabajará en las labores de preparación de terreno, plantación, riego y de todas las actividades que se requieran en el predio experimental. Tendrá una dedicación de un 100% de su jornada de trabajo, iniciada la actividad de campo.

ORGANIGRAMA PROYECTO FIA



El Proyecto se ha tratado en función de líneas de trabajo interrelacionadas que corresponden a cada uno de los objetivos específicos que se desea lograr. Las líneas de trabajo se describen a continuación:

Línea de Trabajo 1:

1.1. Optimización a nivel laboratorio de un sistema de depuración de boro

En esta línea de trabajo se profundizará el conocimiento y la aplicación práctica de los principios en los que se basa el desarrollo tecnológico para remover el boro presente en el agua planteados en el estado del arte. Para ello, debido a la capacidad de análisis químico que se requiere para efectuar la experimentación, se procederá a la implementación de un laboratorio dedicado al proyecto. Este se encontrará en las dependencias de la facultad de ciencias químicas de la Universidad de Tarapacá, Campus Velásquez.

Dado el alto volumen de muestras a procesar durante una gran parte de esta etapa, y la complejidad y duración del protocolo de laboratorio para la determinación analítica de la concentración de boro en el agua, se requerirán los servicios por media jornada de un químico laboratorista en esta unidad experimental. En el mismo sentido, pese a que la Universidad cuenta con un laboratorio equipado para una gama importante de análisis, es necesario adquirir equipamiento específico para satisfacer los requerimientos del proyecto, a saber:

- Espectrofotómetro de absorción molecular tipo génesis,
- destilador (purificador) de agua,
- agitador de matraces,
- Bomba de Vacío

Los equipos existentes actualmente se utilizan tanto en la docencia como en la investigación, por lo que en general se encuentran con su tiempo de uso copado, o en un estado de deterioro que los hace incapaces de servir apropiadamente a los fines del proyecto, lo que implica que estos equipos, absolutamente necesarios para el proyecto, serán adquiridos e instalados en el laboratorio implementado, y administrados por el personal directivo y técnico del proyecto.

Con relación a los experimentos a realizar, se destaca que los reactivos químicos, solvente agua destilada o desionizada, y los materiales implícitos en la preparación de soluciones, los materiales utilizados como medios donde las reacciones se ejecutan y cualquier otro importante, corresponden a aquellos que garantizan en su calidad un nulo o mínimo controlado de Boro aportado. Otros no garantizados tendrán una evaluación previa en la dirección indicada antes de su utilización.

1.1.1 Selección de los secuestrantes de boro de mayor eficiencia y de más bajo costo

Dado que el Boro de origen natural está presente en la solución acuosa conformando compuestos hidroxilados del tipo $B(OH)_3$ ó $B(OH)_4^-$, que prácticamente no son adsorbidos por carbón (material de bajo costo entre los adsorbentes más conocidos) y pobremente retenidos en el agua de rechazo de un sistema de osmosis inversa, entonces la primera fase metodológica a ejecutar corresponde a la formación de un compuesto químico ligado al Boro que entre otras cualidades tiene la de ser una molécula de mayor tamaño que las originales, comportarse como un adsorbato y ser soluble en el medio acuoso. Para este efecto, se trabaja con compuestos polihidroxilados (phi) solubles en agua, de origen natural, inocuos, con capacidad secuestrante del Boro y que sean predeciblemente y relativamente eficientes con relación a la formación del **"Complejo Boro-phi"** posible de adsorber. Se prueban diferentes sustancias polihidroxiladas, carbohidratos o polialcoholes originarios de los carbohidratos reducidos, con características estéricas específicas, cada uno en concentraciones equivalentes y proporcionales a la concentración de Boro en la solución acuosa previamente preparada a partir de un estándar del elemento como el

ácido bórico, y en solución de pH conocido y único. Esta solución se pone en contacto físico con el adsorbente Carbón activado (C°act.), conocido en su origen y tamaño de partícula, en un sistema Batch, esto es una porción conocida en masa del adsorbente combinada con una porción volumétrica también conocida y discreta de la solución, colocadas dentro de un tubo de centrífuga de volumen apropiado de polipropileno o similar, libre de Boro, herméticamente cerrado, bajo agitación constante y medible, y durante un tiempo conocido. Las fases respectivas son separadas mediante centrifugación y filtración por membrana de 0,45□m, envasando en recipiente apropiado la fase líquida. Se mide la concentración de Boro en la solución resultante luego de la interacción de ésta con el adsorbente C°act. mediante reacción con Azometina-H o con la alternativa de reacción con Curcumina. La fracción de Boro obtenida de la diferencia entre la "Concentración inicial – Concentración final" equivale a la eficiencia relativa para la formación del **"Complejo Boro-phi"**. El modelo experimental se repite variando las concentraciones de las sustancias phi según la probabilidad de mejorar la eficencia (Esto permitirá evaluar, para efectos del objetivo del proyecto, la asociación eficiencia - costo).

1.1.2 Estudio de las condiciones óptimas para los secuestrantes

Seleccionado el o los "Compuestos phi" y la o las concentraciones de mayor eficiencia en la fase previa, el modelo se repite, ahora tomando como única variable el pH del medio de reacción o solución boratada en la formación del **"Complejo Boro-phi"** dentro de un rango de valores de pH entre 4,0 y 9,5 ambos como valores extremos de baja probabilidad de ocurrencia de encontrar en aguas de riego como las del río Lluta. El ajuste del pH se ejecuta con solución de ácido clorhídrico y/o hidróxido de sodio según corresponda, sin generar un medio tamponado.

1.1.3 Evaluación de las condiciones logradas en las fases 1.1.1 y 1.1.2 con relación a la variable concentración de Boro en la solución original.

En esta fase, el modelo experimental cambia con relación a la forma de interacción de la solución **"Complejo Boro-phi"** con el adsorbente sólido C°act., ahora dispuesto éste en masa conocida y guardando la misma relación con el volumen discreto de la solución, en un sistema de "Columna", de polipropileno o similar, a través de la cual la solución fluye. De acuerdo a lo óptimo seleccionado en las fases previas, ahora se ensaya con relación a la variable concentración de Boro en la solución acuosa, considerando desde un máximo inicial de 40 Miligramos de boro por litro (mg B/L) hasta un mínimo inicial de 2 mg B/L, valores acordes con los máximos en aguas para riego en los valles de Lluta y Azapa respectivamente. Se destaca que entre los óptimos logrados en las fases anteriores está la relación de concentración del "Compuesto phi" equivalente a la concentración del Boro en la solución original. Dado que se aumenta la adsorción en sistema de columna respecto del sistema Batch, es que para esta fase se escoge la columna como medio de reacción de adsorción, además que este modelo columnar de laboratorio es proyectable hacia una instalación de nivel piloto. El modelo experimental de esta fase implica el paso a través de la columna del adsorbente C°act. de varios e idénticos volúmenes discretos de la solución **"Complejo Boro-phi"** recogiendo y envasando en la secuencia respectiva e individualmente cada uno de ellos para la posterior medición del Boro en la solución.

1.1.4 Evaluación de eficiencia influenciada por el Tipo y Granulometría del C°act.

De acuerdo a lo óptimo de las fases 1.1.1 y 1.1.2, más una concentración única y definida para el Boro en la solución original, se experimenta en función del "tipo u origen del C°act." y de la "granulometría o tamaño de partícula" del C°act. En esta fase la eficiencia del sistema para la retención del **"Complejo Boro-phi"** se evalúa con relación a la capacidad relativa de adsorción que permita obtener el máximo

volumen de agua disminuida en la concentración inicial de Boro (sin tener que renovar el material) hasta valores límites máximos asociados a toxicidad específica local o del Valle de Azapa, esto es hasta un máximo de 2,5 mg B/L ó hasta valores inferiores al anterior explicitado que implican valores de toxicidad específica para cultivos sensibles, es decir hasta concentraciones menores que 1 mg B/L. El modelo experimental de esta fase implica el paso a través de la columna del adsorbente C°act. de varios e idénticos volúmenes discretos de la solución **"Complejo Boro-phi"** recogiendo y envasando en la secuencia respectiva e individualmente cada uno de ellos para la posterior medida del Boro en la solución.

Se evaluará también la capacidad del carbón activado de remover el ión borato una vez que se haya copado su capacidad de adsorción del complejo boro-phi, una vez que se lave con solución ácida para eluir el boro acomplejado el boro atrapado, como se mencionó en la sección de antecedentes respecto al lavado de la matriz, es decir, evaluando la capacidad del carbón activado de funcionar como resina de intercambio iónico de bajo costo en la cual el grupo activo es el phi adsorbido y el "back bone" son los gránulos de carbón activado.

1.1.5 Evaluación y selección de otro adsorbente del "Complejo Boro-phi"

Aplicando las mismas condiciones de operación del "complejo Boro-phi" y siguiendo el mismo modelo experimental de columna optimizado en las fases anteriores, se evaluará y seleccionará un adsorbente sólido diferente al C°act. Este adsorbente deberá ser inerte, de bajo costo y de fácil adquisición .

La evaluación de la eficiencia del sistema para la retención del "Complejo Boro-phi" se hará de acuerdo a la fase 1.1.4., incluyendo la evaluación de la capacidad de intercambio iónico una vez saturada la capacidad de adsorción del compuesto phi.

1.1.6. Evaluación del modelo optimizado en las fases anteriores con relación a su aplicación a soluciones boratadas de aguas naturales.

El modelo experimental de columna optimizado de las fases anteriores se aplica ahora, siempre en laboratorio, en función de las aguas naturales donde deberá ser aplicado al nivel productivo. Esto implica trabajar con las variables naturales controladas por simple medición, por ejemplo la conductividad eléctrica, los componentes iónicos mayores como cloruros y menores como silicatos solubles, y con las variables controladas experimentalmente por ajuste como el caso del pH. La metodología implica su aplicación en aguas subterráneas del valle de Lluta y en aguas superficiales del río homónimo; en este caso además de estar frente a la variable de concentración de Boro en el agua, que para el río es del orden de 13 mg B/L contra las de pozo con un orden de 30 mg B/L, en el caso de las aguas superficiales existe una mayor probabilidad de encontrar sustancias orgánicas disueltas capaces de ser adsorbidas por el C°act. u otro adsorbente, generando con ello una eventual competencia entre adsorbatos, esto es **"Complejo Boro-phi"** contra "sustancias orgánicas disueltas", aspecto que será evaluado a través de la medición de un eventual cambio en la duración del material adsorbente (C° act. u otro adsorbente) o a través de alteraciones en la eficiencia de remoción del boro. En esta fase, la metodología implica una filtración previa por membrana de 0,45um del agua para separar sólidos no disueltos, lo cual debería imitarse al llevar la instalación a escala piloto, por medio de un filtro de cuarzo. También esta fase metodológica se aplica a las aguas subterráneas del valle de Azapa dada su distinta concentración de Boro, del orden de 2,5 mg B/L y en general con diferentes concentraciones de las sales disueltas respecto de las del agua de Lluta.

1.1.7 Evaluación de la recuperación y reutilización del adsorbente sólido

Esta fase se aplica sobre el adsorbente (C°act. u otro seleccionado), que ha llegado a ser incapaz de satisfacer los requerimientos de calidad del agua producto que genera en su fenómeno de adsorción en cuanto a su concentración de Boro, es decir sobre un C°act. u otro adsorbente (seleccionado en la fase 1.1.5) que ha retenido Boro en cantidad conocida y por lo tanto se encuentra saturado. La metodología implica el "lavado ácido / básico" de la columna con el adsorbente, utilizando soluciones en distintas concentraciones, iniciando desde la más diluida, donde ésta es pasada por la columna en volúmenes discretos conocidos, recogiendo cada vez el líquido de lavado en recipientes separados, para en cada uno de ellos medir la concentración de Boro, hasta el punto en el que el líquido de lavado no contiene al elemento en concentración cuantificable o significativa al efecto, siendo esta concentración cuantificable de acuerdo al método de la reacción con Curcumina de mayor sensibilidad. De acuerdo a la generación de los datos respectivos, el proceso de lavado se modifica para el logro de mayor eficiencia económica del proceso.

1.2 Optimización a nivel laboratorio de un sistema de depuración de boro utilizado en combinación con Osmosis Inversa para aumentar su eficiencia

1.2.1 Reacción química para formación de "Complejo Boro-phi" con sustancia polihidroxilada (phi)

Como ya se enunció, dado que el Boro de origen natural está presente en la solución acuosa conformando compuestos hidroxilados del tipo $B(OH)_3$ ó $B(OH)_4^-$, que son parcialmente retenidos en el agua de rechazo de un sistema de Osmosis Inversa, de modo que este método no es eficaz para remover el boro disuelto en el agua, entonces la primera fase metodológica a ejecutar corresponde a la formación de un compuesto químico del Boro que entre otras cualidades tiene la de ser una molécula de mayor tamaño que las originales y ser soluble en el medio acuoso. Para este efecto, se trabaja con compuestos polihidroxilados solubles en agua, de origen

natural, inocuos, con capacidad secuestrante del Boro y que sean predeciblemente y relativamente eficientes con relación a la formación del **"Complejo Boro-phi"** posible de ser rechazado por una membrana de Osmosis Inversa (OI). Se prueban diferentes sustancias polihidroxiladas, carbohidratos o polialcoholes originarios de los carbohidratos reducidos, con características estéricas específicas, cada uno en concentraciones equivalentes a la reacción química del compuesto natural del Boro, con relación a una definida concentración de Boro en la solución acuosa previamente preparada a partir de un estándar del elemento como el ácido bórico, y en solución de pH conocido y único. Esta solución se procesa en el sistema de OI a escala o sistema piloto, de la Universidad de Tarapacá, para luego en fracciones sucesivas tanto del agua producto como del agua de rechazo, ir midiendo la eficiencia del **"Complejo Boro-phi"** en cuanto a la disminución de concentración de Boro en el agua, por medio de la observación cuantitativa tanto del Boro disminuido en concentración en el agua producto como en el Boro enriquecido en el agua de rechazo.

1.2.2 Evaluación del efecto del pH en la solución boratada sobre la formación del "Complejo Boro-phi"

Seleccionado el o los "Compuesto phi" y la o las concentraciones de mayor eficiencia en la fase 1.2.1, el modelo se repite, ahora tomando como única variable el pH del medio de reacción o solución boratada en la formación del **"Complejo Boro-phi"** dentro de un rango de valores de pH permitidos por la membrana del sistema de OI y/o entre valores de pH de 4,0 y 9,5 ambos como valores extremos de baja probabilidad de ocurrencia de encontrar en aguas de riego como las del río Lluta. El ajuste del pH se ejecuta con solución de ácido clorhídrico y/o hidróxido de sodio según corresponda, sin generar un medio tamponado.

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA

1.2.3 Evaluación de las condiciones logradas en las fases previas con relación a la variable concentración de Boro en la solución original

De acuerdo a lo óptimo seleccionado en las fases previas 1.2.1 y 1.2.2, paralelamente al ensayo con relación a la variable concentración de Boro en la solución acuosa que se efectúa en las fases señaladas en el punto 1.1.3, considerando probablemente desde un máximo inicial de 40 mg B/L hasta un mínimo inicial de 2 mg B/L, valores acordes con los máximos en aguas para riego en los valles de Lluta y Azapa respectivamente. Se destaca que entre los óptimos logrados en las fases anteriores está la relación de concentración del "Compuesto phi" equivalente a la concentración del Boro en la solución original. Para cada caso en evaluación, la eficiencia del sistema se controla por la vía de las observaciones de concentración de Boro tanto en el agua producto como en el agua de rechazo. Para el agua producto la eficiencia estará en niveles de aceptación si se logran concentraciones de Boro hasta valores límites máximos asociados a toxicidad específica de cultivos den el Valle de Azapa, esto es hasta un máximo de 2,5 mg B/L ó hasta valores inferiores al anterior explicitado que implican valores de toxicidad específica para cultivos sensibles, es decir hasta concentraciones menores que 1 mg B/L.

1.2.4 Evaluación de distintos tipos de membranas posibles de utilizar en el sistema de OI

Esta fase considera aplicar el uso de una o más membranas distintas de la utilizada en la fase anterior, suponiendo que eventualmente este sea un factor que mejore la eficiencia del sistema de disminución de la concentración de Boro en el agua, aunque pudiera ser considerado un eventual factor asociado más bien a costos de mantención más reducidos o a una eventual mayor resistencia de una alternativa de membrana al proceso bajo estudio. En esta fase se repiten los experimentos de las fases anteriores y se comparan entre sí bajo las mismas exigencias de eficiencia requeridas.

1.2.5 Evaluación del modelo optimizado en las fases anteriores con relación a su aplicación a soluciones boratadas de aguas naturales

El modelo experimental del sistema de OI optimizado de las fases anteriores ha tenido implícito en su ejecución, la variable de las aguas naturales donde deberá ser aplicado al nivel productivo. Esto implica trabajar con las variables naturales controladas por simple medición, por ejemplo la conductividad eléctrica, los componentes iónicos mayores como cloruros y menores como silicatos solubles, y con las variables controladas experimentalmente por ajuste como el caso del pH. La metodología implica su aplicación en aguas subterráneas del valle de Lluta; en este caso además de estar frente a la variable de concentración de Boro en el agua, que las de pozo de Lluta con un orden de 30 mg B/L, en el caso de las aguas naturales la presencia de sólidos no disueltos exige para la metodología una filtración previa del agua acorde al requerimiento específico de la membrana respectiva en uso para separar los sólidos no disueltos. También esta fase metodológica se aplica a las aguas subterráneas del valle de Azapa dada su distinta concentración de Boro, del orden de 2,5 mg B/L y en general con diferentes concentraciones de las sales disueltas respecto de las del agua de Lluta. Para el agua producto la eficiencia estará en niveles de aceptación si se logran concentraciones de Boro hasta valores límites máximos asociados a toxicidad específica local o del Valle de Azapa, esto es hasta un máximo de 2,5 mg B/L ó hasta valores inferiores al anterior explicitado que implican valores de toxicidad específica para cultivos sensibles, es decir hasta concentraciones menores que 1 mg B/L.

De obtenerse buenos resultados, el traspaso de estos a escala productiva, será directo pues hoy se utilizan equipos de OI en sistemas agrícolas y pecuarios, pertenecientes a las empresas Agrícola SILMAR Ltda. (para uso en hidroponía) y Agrícola Lombardi (para uso en hidroponía), ubicadas en el Valle de Azapa y Agrícola Tarapacá Ltda. (para uso en alimentación de aves) ubicada en el Valle de Lluta.

1.3 Metodología analítica para la cuantificación de la concentración de Boro en las distintas soluciones

Se describe a continuación la metodología que se empleará para la determinación del contenido de boro en el agua durante todas las etapas del proyecto, la cual es reconocida internacionalmente.

1.3.1 Método de la Azometina-H

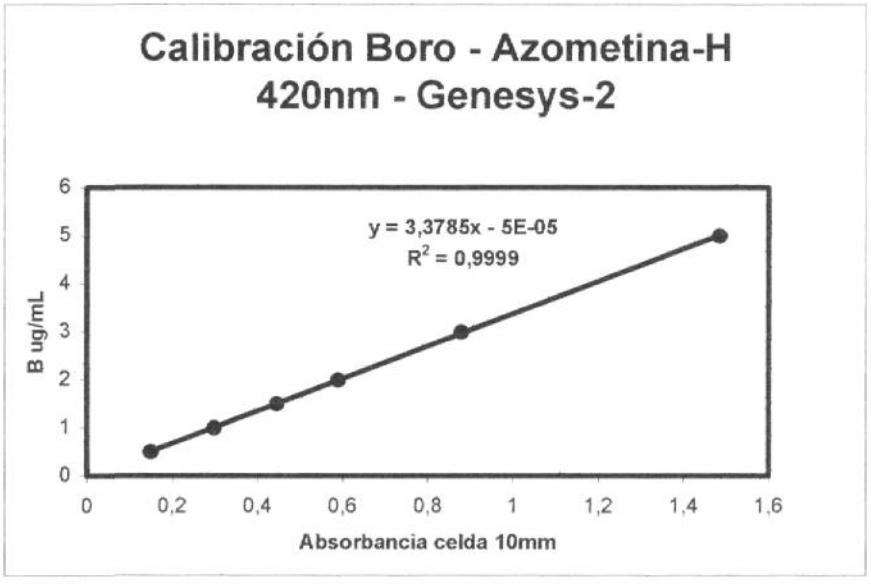
En cada una de las soluciones obtenidas, se aplica para la cuantificación del boro el método de la azometina-H (Zadzawka, A. Métodos de análisis de suelos, Estación experimental La Platina, INIA, Chile, 1990), utilizando un espectrofotómetro de abosorción molecular UV-VIS tipo Genesys o similar, que cubre un rango de concentración entre 0,5 y 5 mgB/L, sistema aplicado en múltiples ocasiones por nuestro equipo de trabajo, tanto en trabajos rutinarios, como de investigación y en procesos de ensayos de acreditación a Fries, J. and Getrost, H. 1977. Organic reagents for trace analysis. E. Merck Darmstadt. nte la Comisión de normalización y Acreditación de la Sociedad Chilena de Ciencias del Suelo y del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas - INIA del Ministerio de Agricultura de Chile y equivalente al método estándar Método ISO 9390: 1990 (E) - Water Quality - Determination of borate - Spectrometric method using azomethine-H.

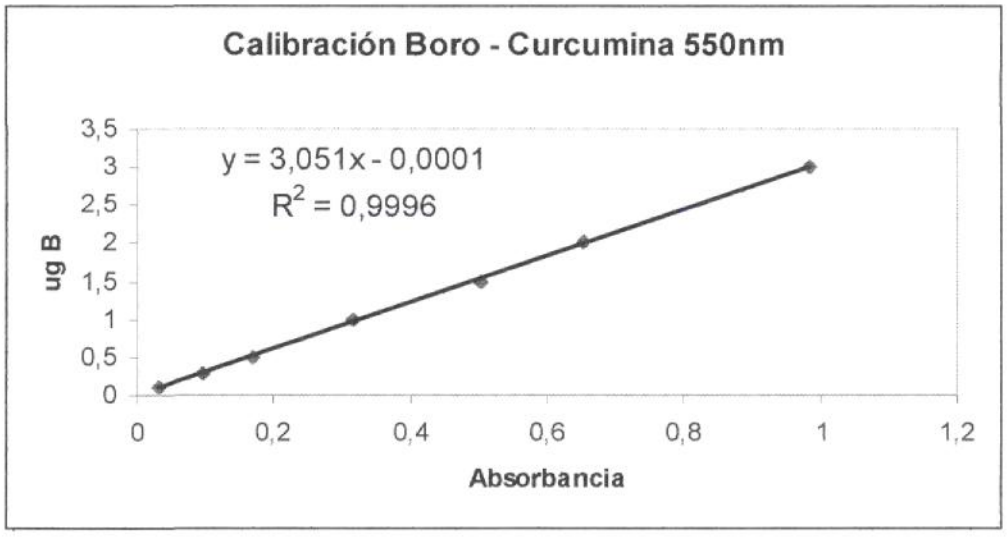
1.3.2 Método de la Curcumina

Corresponde también a un método instrumental vía absorción molecular, esta vez con el reactivo Curcumina. El método analítico de cuantificación es espectrofotometría de absorción molecular, en ácido oxálico de la rubreocurcumina midiendo a 550 nm, con un rango entre 0,1 y 3 ugB/mL, del orden de 10 veces más sensible que la alternativa anterior en A) (Fries, J. and Getrost, H. 1977. Organic reagents for trace analysis. E. Merck Darmstadt. 1977), el que sería aplicable para rangos de cuantificación en el que el método de la Azometina-H no es capaz de valorar por bajas concentraciones

GOBIERNO DE CHILE
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

del analito en cuestión presente. La situación se daría bajo condiciones de extrema eficiencia en alguna de las fases de experimentación, ante el imperativo de cuantificar en forma exacta y no relativa o "menor que". Este es un método también estandarizado bajo Normas relativas a calidad del agua (APHA).





Línea de trabajo 2:

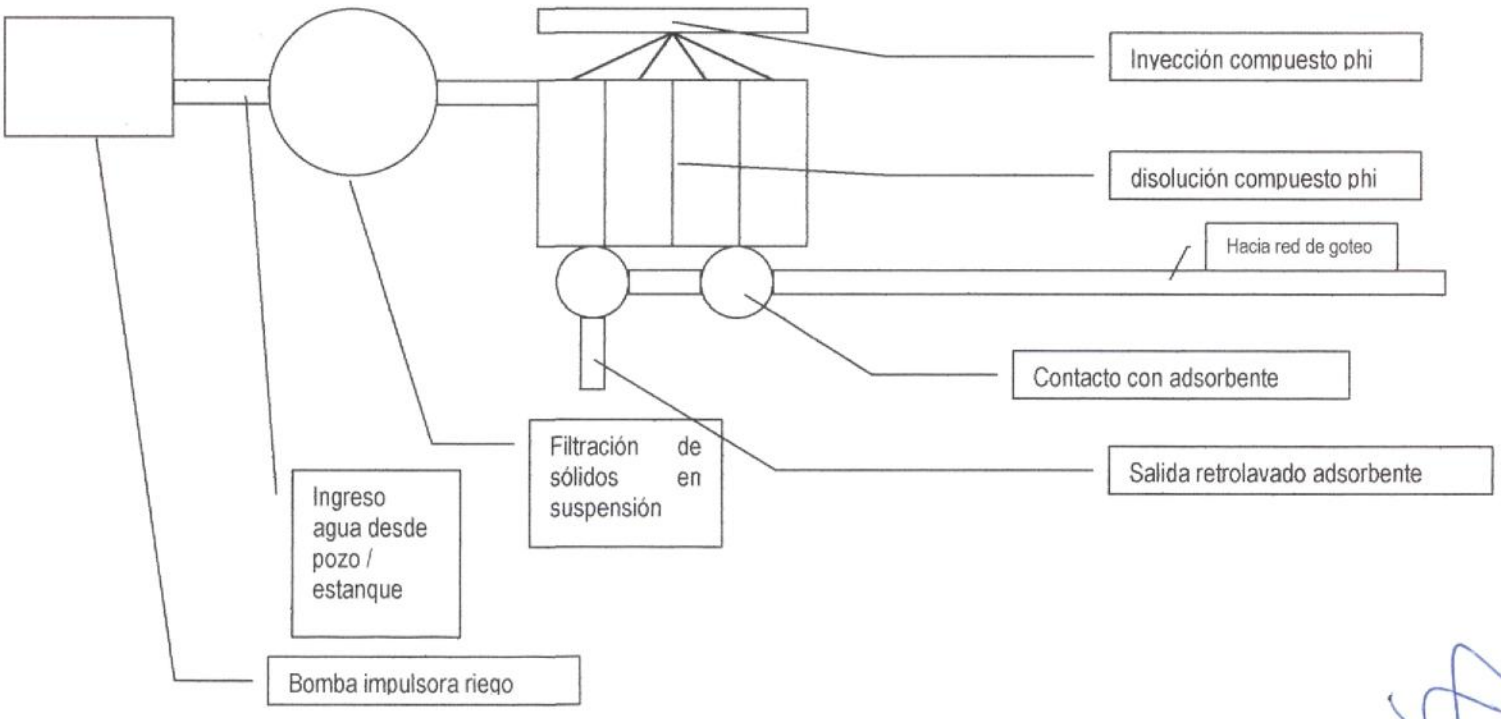
2.1 Desarrollo y aplicación de un sistema piloto para disminuir el boro en aguas superficiales y subterráneas del valle del río Lluta, transferible a situaciones similares

En esta etapa del proyecto se traspasará la experiencia acumulada en laboratorio durante la etapa previa hacia situaciones prácticas concretas, en las cuales se montarán sistemas piloto adaptados a sistemas de riego tecnificado y/o superficiales instalados en un predio, perteneciente a Paola Gaete Parra que se encuentra en la zona del alto Lluta, dedicándose actualmente a la obtención de forraje y hortalizas. El diseño prototipo del sistema de adición de compuesto complejante al agua y el contenedor del agente adsorbente, así como su construcción, serán diseñados y construidos durante la ejecución del proyecto, con asesoría de un experto en diseños hidráulicos para riego, financiado por el proyecto.

2.1.1 Diseño de sistemas piloto para depuración de boro en agua para uso agrícola en el Valle de Lluta

A partir de las experiencias acumuladas en la línea de trabajo 1, ya se contará con la o las mejores alternativas de compuesto phi que se utilizará para formar el complejo boro-phi, cuya estabilidad y capacidad de absorberse en un medio de carbón activado u otro adsorbente, harán factible una alta eficiencia en la remoción del boro; se habrá determinado también el pH óptimo y el adsorbente de mejor relación costo-beneficio, así como la mejor estrategia de limpieza-reciclado del medio adsorbente. Sin embargo, el compuesto phi debe tener la oportunidad de mezclarse adecuadamente con el agua para disolverse completamente y reaccionar, al pH óptimo, con el boro para formar el complejo boro-phi estable; además, el agua con el complejo boro-phi en solución debe ser puesta en contacto con el adsorbente activado con una tasa y tipo de flujo que maximicen la adsorción, y el sistema debe contar con una forma de retrolavado para la limpieza del agente adsorbente. Para ello deberán considerarse las características básicas de la estructura y forma de los sistemas de riego

tecnificado a los que se adosará el módulo piloto, para poder inyectar y mezclar adecuadamente el compuesto phi, circular a través del adsorbente activado, y limpiar el adsorbente activado. El modelo columnar de laboratorio propuesto previamente será tomado como base para el diseño de un módulo adaptable a los sistemas de riego por goteo disponibles para esta etapa, cuya forma, especificaciones de caudales, tipos de flujo, pérdidas de carga, etc. serán desarrollados en el presente proyecto, para poder posteriormente ser construido con los materiales más económicos y adecuados, que sean adaptables a diversos requerimientos de caudal a tratar, pensando en un sistema fabricable en serie. El siguiente esquema enseña de manera ilustrativa la estructura general que se espera tenga el sistema piloto resultante:



GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA

2.1.2 Aplicación y Optimización del sistema para disminuir el boro en aguas superficiales y subterráneas del valle del río Lluta

El predio del Valle de Lluta que participa en esta etapa cuenta con concentraciones de boro en el agua en los canales de regadío de alrededor de 12 mg B/L. Estas aguas son utilizadas para el cultivo de algunas especies con ecotipos locales altamente tolerantes al boro en el agua (alfalfa, maíz choclero y cebolla, principalmente); adicionalmente se utilizan para abrevar ganado bovino y caprino lechero.

En esta etapa, para el caso del sistema modular desarrollado, se instalara el sistema piloto adosado al sistema de riego tecnificado disponible en el predio ya mencionado. Una vez instalado, se realizará una marcha blanca del sistema, con un monitoreo permanente del contenido de boro resultante en el agua tratada, considerándose como parámetro de rendimiento satisfactorio un nivel de boro inferior a 2 mg B/L. Se requerirá un muestreo con una periodicidad diaria para determinar la curva de deterioro de la capacidad adsorbente seleccionado (Cºact. u otro), así como la frecuencia de lavado necesaria para el mismo; las muestras y contramuestras serán tomadas, transportadas por personal del predio en envases adecuados (libres de otras fuentes contaminantes de boro), hacia el laboratorio de la Universidad de Tarapacá.

Durante la operación del sistema instalado, se evaluarán los parámetros de costos adicionales por concepto de adición del compuesto phi, adquisición y limpieza del material adsorbente, mano de obra, aumento de requerimientos de potencia de bombas del sistema hidráulico de riego, y cualquier otro relevante en vista de una eventual utilización a escala comercial.

Se ha Incluido dentro de los posibles riesgos del proyecto, la necesidad de lavado demasiado frecuente de los filtros, que transforme en poco operativo y de alto valor las actividades de limpieza, señalando las estrategias para enfrentar este riesgo.

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA

En este sentido, determinar las necesidades de lavado es parte de las actividades que se han propuesto en la metodología de investigación para el desarrollo del sistema de tratamiento que se ha postulado en el presente proyecto. Hasta el momento se ha estimado como bajo el riesgo de que la necesidad de lavado de la matriz adsorbente se constituya en un problema práctico real que limite la aplicación del sistema de tratamiento. Sin embargo, si se quiere considerar este riesgo, se pueden hacer los siguientes alcances:

El problema del lavado del filtro frecuente se ha considerado como importante de incorporar en el diseño del sistema o módulo de tratamiento que se realizará para las experiencias piloto del proyecto, y que forzosamente deberá ser incluido en el diseño posterior definitivo. La solución a este respecto es hacer que el filtro sea de tipo cartucho, de fácil reemplazo, y que tenga el tamaño adecuado para que contenga una cantidad suficiente de material adsorbente tal que las necesidades de lavado y/o recambio sean bajas, idealmente no más de una vez a la semana. Adicionalmente, se ha puesto como condición de diseño que el lavado del material adsorbente sea del tipo automatizado utilizando el flujo de agua del propio sistema de riego por goteo, en el cual la inyección de la solución ácida de lavado no requiera contacto directo y que sea succionada de un recipiente recargable, y que luego de pasar por el material adsorbente esta solución sea descargada en una piscina de evaporación solar directamente, controlándose todo el proceso por medio de válvulas e interruptores de fácil comprensión para el usuario.

En el peor de los casos, si hubiese que lavar los cartuchos una vez al día, esto no es una práctica extraña al riego por goteo, en especial si se considera la necesidad de limpieza de los filtros de partículas (anillas o discos), que es diaria.

2.1.3 Evaluación de los sistemas piloto desarrollados aplicados en sistemas productivos agrícolas con especies sensibles al boro en el valle de Lluta

En esta etapa se continuará la evaluación del funcionamiento a escala piloto del sistema desarrollado hasta el momento en las fases previas, dentro de la unidad productiva disponible en el predio del agricultor participante en el proyecto, y ahora en función de la producción a escala comercial pequeña de un cultivo sensible al boro que no se puede actualmente realizar en este Valle. De este modo, utilizando como control la situación alternativa, es decir, el no emplear el sistema piloto desarrollado, se evaluará el impacto logrado. Asimismo, el predio en esta fase servirá de unidad demostrativa para la transferencia tecnológica. Para asegurar un planteamiento adecuado de los sistemas de cultivos que se evaluarán a escala piloto, se considera la subcontratación de asesoría agronómica independiente durante esta etapa.

2.1.3.1 Evaluación del sistema modular aplicado a la producción de un cultivo utilizando agua del río Lluta depurada de boro en el sector alto del Valle de Lluta.

En esta fase se empleará el sistema piloto instalado en el predio de Paola Gaete P. para realizar la evaluación del sistema piloto en función de la producción de un cultivo sensible al boro, comparando la situación actual de riego usando agua rica en boro (control) contra la situación de regar con agua disminuida en su concentración de boro hasta niveles no fitotóxicos por medio del sistema de depuración desarrollado.

La zona alta del Valle de Lluta se caracteriza por la presencia de terrazas fluviales estrechas de relieve con lomajes suaves y suelos profundos (más de 120 cm), también con tendencia a la presencia de mal drenaje en las terrazas más cercanas al cauce del río por baja diferencia de cotas con respecto a la superficie de la napa freática. Tradicionalmente se ha dedicado al cultivo de alfalfa (ecotipo local altamente tolerante al boro) para la alimentación de ganado vacuno lechero o de carne, siendo

el cultivo de choclos y cebollas actividades secundarias. La influencia marítima en las temperaturas casi no se da, encontrándose que debido a la distancia y la mayor altura (850-1000 m.s.n.m.) respecto de la costa, los máximos y mínimos son más extremos (desde 5ºC hasta 30 ºC en un solo día).

Paola Gaete P. posee terrenos agrícolas en esta zona del valle, en los cuales produce básicamente heno de alfalfa para la venta, maíz choclero y eventualmente cebollas, tomates no larga vida u otras hortalizas. Aquí se evaluará la sobrevivencia, crecimiento y productividad a escala pre comercial de cultivos sensibles al boro para demostrar la posibilidad de incorporar estas especies al utilizar agua de pozo tratada, intentando llegar a escala productiva dentro de la duración del proyecto, esperándose obtener rendimientos de los cultivos experimentales piloto para evaluar su potencial económico; se montarán estos cultivos piloto en una superficie de 1 hectárea sometida a riego tecnificado. Se utilizarán 5 cultivos (por determinar en el momento de su inicio debido a consideraciones de época de siembra, disponibilidad de material genético, etc.), en una superficie de 0,2 hectáreas cada uno, de las siguientes especies, todas de interés económico:

- Melones tipo tuna, escritos y variedad Galia (Cucumis melo, var reticulatus y var inodorus).
- Poroto verde (Phaseolus vulgaris)
- Zapallo italiano (Cucurbita sp.)
- Tomates híbridos larga vida (FA 144)
- Ají y pimiento (Capsicum annum)

Cabe destacar que ninguno de los cultivos de la lista es capaz de sobrevivir hasta la producción de rendimiento comercial actualmente en el Valle de Lluta.

La lista excluye especies frutales perennes debido a que la duración del proyecto no permite la evaluación de su productividad, solamente de su sobrevivencia, lo que resulta insuficiente para una proyección económica. Sin embargo, los agricultores participantes en el proyecto tienen alto interés en evaluar la sobrevivencia de estas

especies para estudiar la posibilidad de iniciar plantaciones de algunos frutales, por lo cual se instalaran, en un jardín de variedades, especies frutales experimentales en macetas, las cuales serán regadas con agua depurada de boro con el sistema piloto, que permitirán al menos evaluar la supervivencia inicial de las especies. Se probarán tanto frutales de hoja caduca (ya que la temperatura es más baja y el invierno se presenta frío) como frutales de hoja perenne mantenidos a resguardo del medio ambiente para comprobar su supervivencia al regarlas con agua depurada mediante el sistema piloto desarrollado. También se incluirán en este jardín de variedades otras hortalizas de interés económico para demostrar su supervivencia y crecimiento. En resumen, las especies que se probarán solamente a modo demostrativo en el jardín de variedades serán 19: Palto, Papaya, Chirimoya, Mango, Naranja, vid de mesa, duraznero, Limón, Pomelo, Lúcuma, Damasco, Frutilla (*Fragaria sp.), Lilium sp., Chrysanthemum, Schefleria sp.*, Rosas, Sandía (*Citrullus lanatus*), Maíces híbridos chocleros (*Zea mays*) y Pepino de ensalada (*Cucumis sativus*).

El terreno disponible será dividido en cinco sectores en los cuales se distribuirán las hileras de cada una de las especies a probar con las distancias estándares conocidas sobre y entre las hileras. Adicionalmente, el terreno será regado por al menos 2 meses antes de establecer las plantas, a manera de lograr un lavado de las sales presentes en el suelo por debajo de la capa de crecimiento de raíces.

Se evaluarán con una periodicidad semanal en cada uno de los sectores del estudio montado (mediciones hechas por personal del predio adecuadamente instruido al respecto) los siguientes aspectos de crecimiento y desarrollo:

- Crecimiento vertical y/o lateral (cm)
- Crecimiento del diámetro del tallo (cm)
- Evaluación visual
- Aparición de anomalías morfológicas
- Rendimiento (kg. o unidades / ha, cuando se obtenga)

Durante la duración del cultivo piloto se realizarán las labores normales de control de malezas, fertilización, control de insectos plaga según se requiera en cada especie.

GOBIERNO DE CHILE
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA
UNIDAD DE ESTUDIOS

Adicionalmente, durante todo el periodo del cultivo se continuará el monitoreo de la calidad del agua que se obtenga del sistema de tratamiento piloto en uso, así como la medición de costos asociados con respecto a la rentabilidad del cultivo (costo por m^3 de agua tratada).

La parcela demostrativa considerada en el proyecto tiene por objeto efectuar 5 cultivos piloto desde siembra a cosecha de las especies ya mencionadas, que son de especial interés para los productores del valle de Lluta; adicionalmente se realizará una prueba en combinación con Osmosis Inversa para frutilla (en un ensayo extrapredial con sistema hidropónico). Sin embargo se acotó la superficie a 5 cultivos porque existe una limitación de superficie regada por goteo en el predio asociado al proyecto y por eso se dispuso que una superficie mínima representativa de cultivos piloto sería de 0,20 há. para cada uno. Sin perjuicio de esto, y aunque en el proyecto esto ya se había considerado a nivel de macetas con especies frutales altamente sensibles al boro, se procederá a establecer un jardín de especies (200 m2) con las 19 especies ya enumeradas lo cual es de bajo costo y gran impacto visual, pero no sería posible llevar toda esa gama de cultivos a cabo en forma piloto productiva, sino solamente demostrativa. Para maximizar el efecto comparativo y el impacto visual, se replicará el jardín de variedades en dos porciones adyacentes una de las cuales será regada con agua sin tratar, lo cual servirá de apoyo visual a la transferencia del proyecto.

Es necesario indicar que se deberá adquirir un set de tensiómetros (30 y 60 cm. de profundidad) para poder monitorear el estado de tensión hídrica del suelo y de este modo asegurar que el suelo se mantenga con un adecuado nivel de humedad durante el periodo previo al cultivo (tensión de saturación para provocar el lavado del boro existente en el suelo) y durante el mismo (tensión capacidad de campo para mantener y promover una adecuada tasa de crecimiento).

UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

2.1.4 Análisis financiero de los negocios posibles en función de los resultados previos

Se confeccionará un análisis financiero de la producción de cultivos sensibles al boro en el Valle de Lluta considerando los costos asociados a la depuración de boro del agua, haciendo distinción entre los costos que se generan al utilizar las diversas fuentes del agua (superficial o subterránea, dado su contenido distinto de boro), sistema de tratamiento (módulo de alta tecnología asociado a riego por goteo, módulo económico asociado a riego por goteo y eventualmente a riego superficial), y cultivos. Esta información de costos será generada en las experiencias piloto efectuadas previamente y será proyectada al mediano y largo plazo. El análisis financiero será luego incorporado dentro de las publicaciones que se utilizarán en la fase de transferencia a los usuarios finales.

Línea de trabajo 3:

Esta línea de trabajo está orientada a efectuar la más amplia difusión del proyecto y sus resultados entre los usuarios objetivo de la tecnología a desarrollar en el proyecto, tendiente a promover y facilitar la adopción del sistema conseguido y evaluado, de modo de concretar los beneficios esperados a través del escalamiento comercial de los resultados prácticos del proyecto.

3.1 Preparación y transferencia de paquetes tecnológicos a agricultores afectados por la presencia de boro en el agua de riego.

En base a las experiencias realizadas durante la ejecución de la línea de trabajo 2 , será posible definir paquetes tecnológicos posibles de transferir. El paquete consistirá básicamente en:

- Asesoría técnica para seleccionar el tipo de sistema a utilizar (sólo o en combinación con osmosis inversa, de alta tecnología o económico, etc.) según la realidad de cada predio.

GOBIERNO DE CHILE
FUNDACIÓN
UNIDAD DE ESTUDIOS
Y PROYECTOS

- Asesoría técnico económica para iniciar nuevos negocios en base al empleo de la nueva tecnología.
- Servicio de monitoreo de calidad del agua (provisto por Universidad de Tarapacá Arica).
- Certificación de calidad de aguas para riego y bebida (provisto por Universidad de Tarapacá Arica).

3.2 Organización de Seminarios sobre el boro; sus efectos, realidad regional y nacional, y sus alternativas

Con el objeto de interiorizar a las comunas más afectadas por el problema del boro en sus aguas de los conocimientos y avances al respecto, así como de la realización, avances y resultados del proyecto, se organizarán seminarios con exponentes del equipo profesional participante en el proyecto, así como autoridades académicas, del servicio público, dirigentes agrícolas, etc. Se efectuará un seminario en cada una de las comunas afectadas por el problema, a saber:

- Seminario en Arica
- Seminario en Camarones
- Seminario en Antofagasta

El contenido, programa, duración, lugar y fecha de realización. Así como el costo de participación serán definidos oportunamente conforme al desarrollo de las actividades y logro de los objetivos planteados.

3.3 Realización de Publicaciones científicas y divulgativas

Se realizarán publicaciones en revistas científicas de nivel nacional, cuyo tema será el desarrollo de las etapas y resultados obtenidos durante el proceso de optimización del sistema de depuración de boro en aguas de alta concentración de esta sal. Se efectuarán 3 publicaciones a medida que se desarrollen las experiencias de laboratorio y las evaluaciones a escala piloto.

DE CHILE
DE ESTUDIOS
Y PROYECTOS
PARA LA INNOVACION AGRARIA

3.4 Organización de Visitas en terreno a los sistemas de depuración piloto y sistemas productivos agrícolas

Dado que el impacto principal del proyecto se da en los valles agrícolas de la I y II regiones que presentan problemas de boro en sus aguas, es considerado como fundamental romper el escepticismo de los agricultores frente a la eficacia de los resultados del proyecto por medio de demostraciones concretas en terreno. Dado que las áreas afectadas en general presentan una situación económica desmejorada, se ha planificado organizar visitas a terreno a las unidades piloto instaladas y en funcionamiento con producción de cultivos sensibles al boro (que servirán para estos efectos como unidad demostrativa). Estas visitas serán coordinadas a través de los municipios de las comunas más afectadas por el problema del boro, a fin de acomodar el traslado y alojamiento de los dirigentes y agricultores participantes. Se han planificado visitas en terreno al sistema piloto y cultivos del Valle de Lluta.

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS
Y PROYECTOS
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA

10. ACTIVIDADES DEL PROYECTO (adjuntar Carta Gantt mensual para la totalidad del proyecto)

AÑO 2002-2003

Objetivo Especif. Nº	Actividad Nº	Descripción	Fecha Inicio	Fecha Término
1	**Optimización a nivel laboratorio de un sistema de depuración de boro**		**04/11/2002**	**03/11/2003**
	1.1.	Contratación de personal	04/11/2002	18/11/2002
	1.2.	Cotización y adquisición de equipos y materiales	09/11/2002	23/12/2002
	1.3.	Implementación de laboratorio	24/12/2002	22/01/2002
	1.4.	Selección y adquisición de los secuestrantes y adsorbentes de mayor eficiencia y de más bajo costo	23/01/2003	07/05/2003
	1.5.	Estudio de las condiciones óptimas para los secuestrantes y adsorbentes	08/05/2003	06/07/2003
	1.6.	Desarrollo de metodología para la recuperación de los adsorbentes.	07/07/2003	28/08/2003
	1.7.	Evaluación de secuestrantes en combinación con sistema de Osmosis Inversa	21/08/2003	03/11/2003
	1.8.	Desarrollo de sistemas de depuración de boro y pruebas de eficiencia a escala de laboratorio en aguas naturales	21/08/2003	03/11/2003

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA

10. ACTIVIDADES DEL PROYECTO (adjuntar Carta Gantt mensual para la totalidad del proyecto)

AÑO 2003-2004

Objetivo Especif. Nº	Actividad Nº	Descripción	Fecha Inicio	Fecha Término
2	**Desarrollo y aplicación de un sistema piloto para disminuir el boro en aguas superficiales del valle del río Lluta, por adsorción.**		**06/08/2003**	**20/07/2004**
	2.1.	Diseño de un sistema piloto para depuración de boro en agua para uso agrícola.	06/08/2003	04/09/2003
	2.2.	Cotización, adquisición y adecuación e implementación del sistema piloto para depuración del boro.	05/09/2003	03/11/2003
	2.3.	Puesta en marcha del sistema y evaluación de funcionamiento.	04/11/2003	18/11/2003
	2.4.	Optimización del sistema piloto para la disminución del boro en aguas del valle de Lluta optimizado	19/11/2003	08/12/2003
	2.5.	Obtención de costos del sistema y costos de operación.	19/11/2003	08/12/2003
	2.6.	Estudio demostrativo de cultivos de interés económico regados con aguas depuradas de boro en el valle de Lluta	09/12/2003	20/07/2004
	2.6.1.	Selección de especies sensibles a boro para efectuar cultivos piloto, adquisición de Insumos y material genético	09/12/2003	22/12/2003
	2.6.2.	Preparación de terrenos	09/12/2003	06/02/2004
	2.6.3.	Establecimiento de cultivos piloto	07/02/2004	21/02/2004
	2.6.4.	Seguimiento y monitoreo de variables de crecimiento y desarrollo de las especies vegetales	22/02/2004	20/07/2004
	2.6.5.	Seguimiento y monitoreo de variables económicas.	22/02/2004	20/07/2004
	2.6.6.	Evaluación técnico económica de los cultivos de especies sensibles a boro en el valle de Lluta utilizando el sistema de eliminación de boro desarrollado	21/06/2004	20/07/2004

GOBIERNO DE CHILE
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

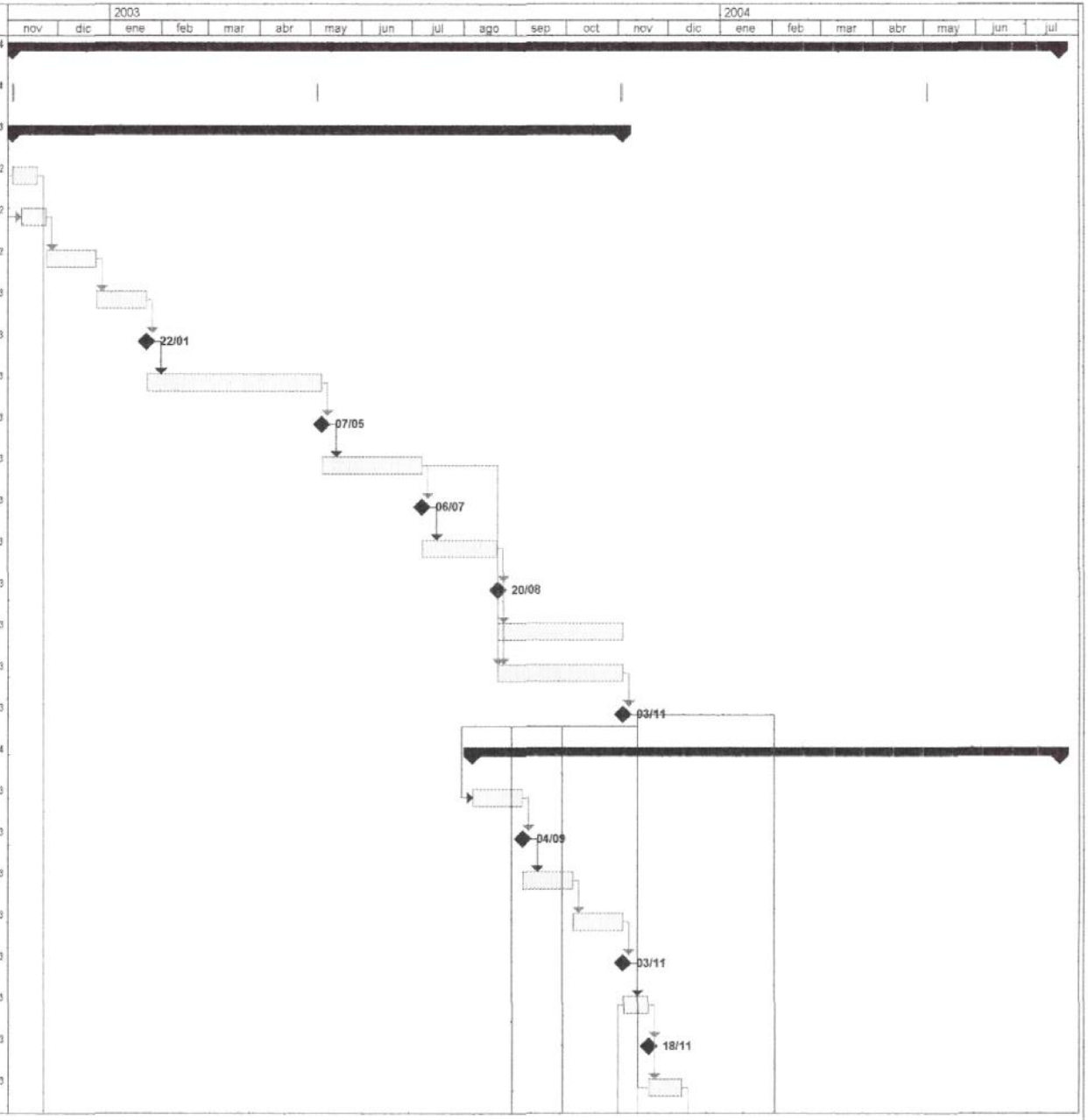
10. ACTIVIDADES DEL PROYECTO (adjuntar Carta Gantt mensual)

AÑO 2002-2004

Objetivo especif. Nº	Actividad N°	Descripción	Fecha Inicio	Fecha Término
3	**Preparación y transferencia de paquetes tecnológicos a agricultores afectados por la presencia de boro en el agua de riego**		**19/11/2002**	**20/07/2004**
	3.1.	Recopilación de información sobre el boro en otros ríos del norte, frutas y verduras.	19/11/2002	17/01/2003
	3.2.	Identificación de los factores críticos para la incorporación de la tecnología	15/09/2003	13/11/2003
	3.3.	Seminarios sobre el boro; sus efectos, realidad regional y nacional, y sus alternativas	05/09/2003	05/11/2003
	3.3.1.	Seminario Arica	05/09/2003	05/09/2003
	3.3.2.	Seminario Camarones	05/10/2003	06/10/2003
	3.3.3.	Seminario Antofagasta	04/11/2003	05/11/2003
	3.4.	Publicación desarrollo de un sistema de depuración de boro en aguas de alto contenido de este elemento	02/02/2004	20/07/2004
	3.5.	Visitas en terreno a los sistemas de depuración piloto y sistemas productivos agrícolas	28/01/2004	28/03/2004
	3.6.	Elaboración informe final Informe final entregado	22/05/2004	20/07/2004

GOBIERNO DE CHILE
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

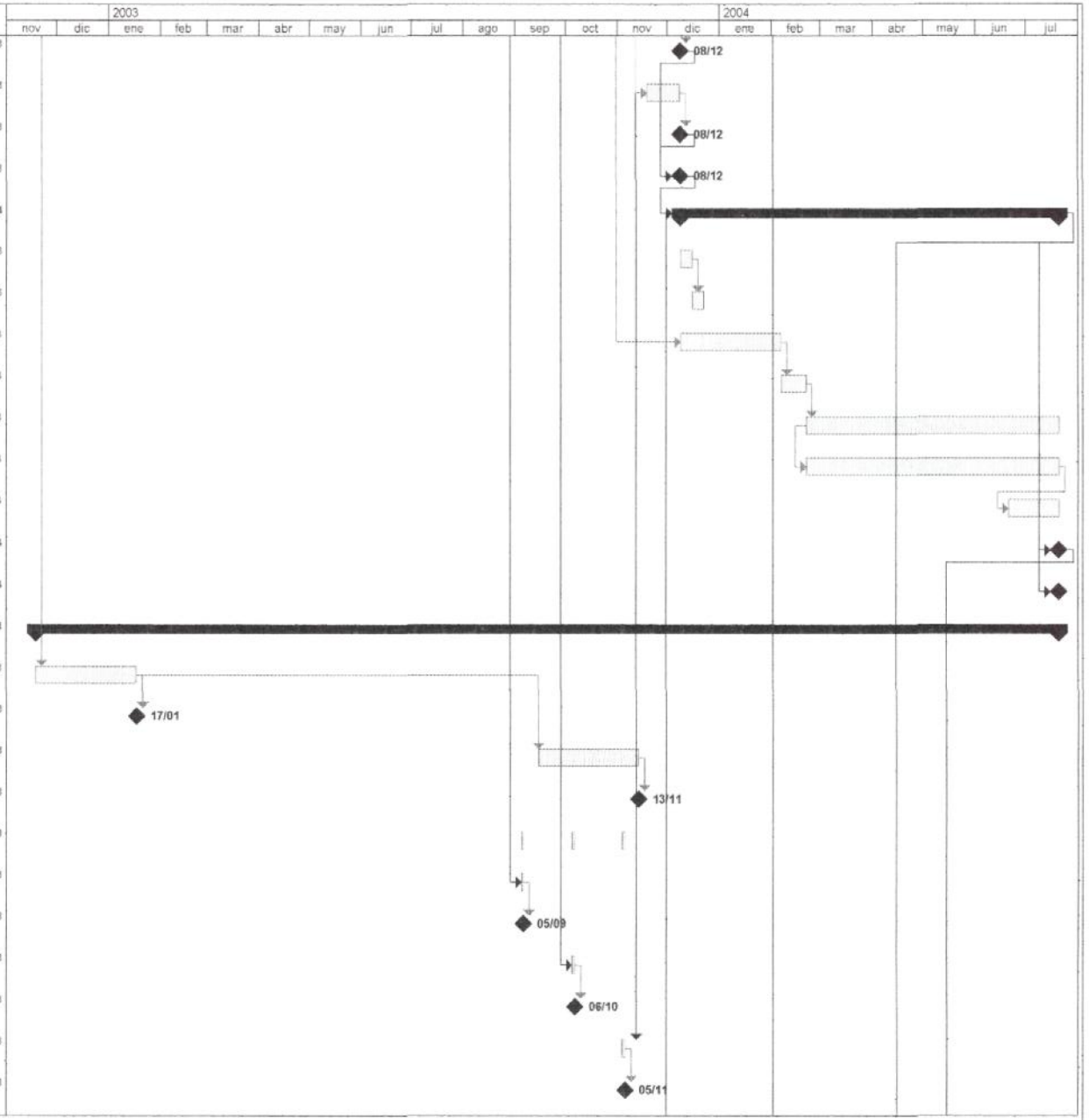
Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
1	**PROYECTO FIA SISTEMA DE ELIMINACIÓN BORO EN AGUA DEL VALLE DE LLUTA**	**625 días**	**04/11/02**	**26/07/04**
2	**Preparación de Informes de avance**	**547 días**	**04/11/02**	**03/05/04**
7	**Etapa 1. Optimización a nivel laboratorio de un sistema de depuración de boro**	**365 días**	**04/11/02**	**03/11/03**
8	Contratación de personal	15 días	04/11/02	18/11/02
9	Cotización de equipos y materiales	15 días	09/11/02	23/11/02
10	Adquisiciones equipos y materiales	30 días	24/11/02	23/12/02
11	Implementación de laboratorio	30 días	24/12/02	22/01/03
12	Laboratorios implementados	0 días	22/01/03	22/01/03
13	Selección y adquisición de los secuestrantes y adsorbentes de mayor eficiencia y de más bajo costo	105 días	23/01/03	07/05/03
14	Sesuestrantes seleccionados y adquiridos	0 días	07/05/03	07/05/03
15	Estudio de las condiciones óptimas para los secuestrantes y adsorbentes	60 días	08/05/03	06/07/03
16	Condiciones óptimas para los secuestrantes y absorventes determinadas	0 días	06/07/03	06/07/03
17	Desarrollo de metodología para la recuperación de los adsorbentes.	45 días	07/07/03	20/08/03
18	Metodología para la recuperación de absorventes desarrollada	0 días	20/08/03	20/08/03
19	Evaluación de secuestrantes en combinación con sistema de Osmosis Inversa	75 días	21/08/03	03/11/03
20	Desarrollo de sistemas de depuración de boro y pruebas de eficiencia a escala de laboratorio en aguas naturales	75 días	21/08/03	03/11/03
21	Sistema de laboratorio para la depuración de boro optimizado	0 días	03/11/03	03/11/03
22	**Etapa 2. Desarrollo y aplicación de un sistema piloto para disminuir el boro en aguas superficiales del valle del río Lluta por adsorción**	**350 días**	**05/08/03**	**26/07/04**
23	Diseño de un sistema piloto para depuración de boro en agua para uso agrícola	30 días	05/08/03	04/09/03
24	Sistema piloto para la depuración de boro diseñado	0 días	04/09/03	04/09/03
25	Cotización y adquisición de materiales y equipos	30 días	05/09/03	04/10/03
26	Adecuación e implementación del sistema piloto para depuración del boro.	30 días	05/10/03	03/11/03
27	Sistema piloto adecuado e implementado	0 días	03/11/03	03/11/03
28	Puesta en marcha del sistema y evaluación de funcionamiento	15 días	04/11/03	18/11/03
29	Evaluación preeliminar del desarrollo y aplicación del sistema piloto para disminuir el boro en aguas del Valle de Lluta	0 días	18/11/03	18/11/03
30	Optimización del sistema	20 días	19/11/03	08/12/03



Proyecto: gantt boro
Fecha: 25/10/02

Tarea
División
Progreso
Hito
Resumen
Tarea resumida
División resumida
Hito resumido
Progreso resumido
Tareas externas
Resumen del proyecto

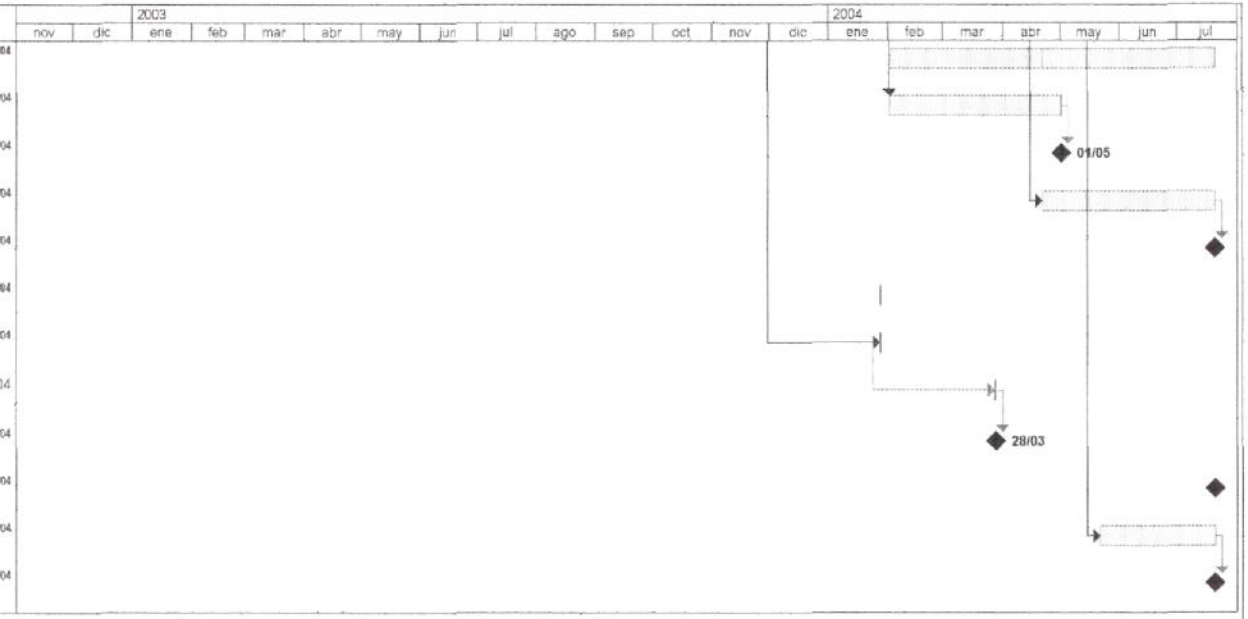
Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
31	Sistema piloto para la disminución del boro en aguas del valle de Lluta optimizado	0 días	08/12/03	08/12/03
32	Obtención de costos del sistema y costos de operación	20 días	19/11/03	08/12/03
33	Costos de sistemas y de operación estimados	0 días	08/12/03	08/12/03
34	Sistema piloto de eliminación de la concentración de boro en aguas superficiales y subterraneas del valle del río de Lluta Desarrollado	0 días	08/12/03	08/12/03
35	**Estudio demostrativo de cultivos de interes económico regados con aguas depuradas de boro en el valle de Lluta**	**225 días**	**05/12/03**	**20/07/04**
36	Selección de especies sensibles a boro para efectuar cultivos piloto	7 días	09/12/03	15/12/03
37	Adquisición de insumos y material gehético	7 días	16/12/03	22/12/03
38	Preparación de terrenos	60 días	09/12/03	06/02/04
39	Establecimiento de cultivos piloto	15 días	07/02/04	21/02/04
40	Seguimiento y monitoreo de variables de crecimiento y desarrollo de las especies vegetales	150 días	22/02/04	20/07/04
41	Seguimiento y monitoreo de variables económicas	150 días	22/02/04	20/07/04
42	Evaluación técnico económica de los cultivos de especies sensibles a boro en el valle de Lluta utilizando el sistema de eliminación de boro	30 días	21/06/04	20/07/04
43	Estudio demostrativo de cultivos de interés económico regados con aguas depuradas de boro en el valle de Lluta desarrolado	0 días	20/07/04	20/07/04
44	Impacto económico - social del uso del agua depurada de boro en sistemas productivos	0 días	20/07/04	20/07/04
45	**Etapa 3. Actividades de Transferencia**	**610 días**	**19/11/02**	**20/07/04**
46	Recopilación de información sobre el boro en otros ríos del norte, frutas y verduras.	60 días	19/11/02	17/01/03
47	Información Recopilada	0 días	17/01/03	17/01/03
48	Identificación de los factores críticos para la incorporación de la tecnología	60 días	15/09/03	13/11/03
49	Factores críticos identificados	0 días	13/11/03	13/11/03
50	Seminarios sobre el boro; sus efectos, realidad regional y nacional, y sus alternativas	**62 días**	**05/09/03**	**05/11/03**
51	Seminario Arica	1 día	05/09/03	05/09/03
52	Seminario Arica Desarrollado	0 días	05/09/03	05/09/03
53	Seminario Camarones	2 días	05/10/03	06/10/03
54	Seminario Camarones Desarrollado	0 días	06/10/03	06/10/03
55	Seminario Antofagasta	2 días	04/11/03	05/11/03
56	Seminario Antofagasta Desarrollado	0 días	05/11/03	05/11/03



Proyecto: gantt boro
Fecha: 25/10/02

Tarea
División
Progreso
Hito
Resumen
Tarea resumida
División resumida
Hito resumido
Progreso resumido
Tareas externas
Resumen del proyecto

Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
57	Publicación desarrollo de un sistema de depuración de boro en aguas de alto contenido de este elemento.	170 días	02/02/04	20/07/04
58	Publicación 1	90 días	02/02/04	01/05/04
59	Publicación 1 Presentada	0 días	01/05/04	01/05/04
60	Publicación 2	90 días	22/04/04	20/07/04
61	Publicación 2 Presentada	0 días	20/07/04	20/07/04
62	Visitas en terreno a los sistemas de depuración piloto y sistemas productivos agrícolas	61 días	28/01/04	28/03/04
63	1ª Visitas en terreno a los sistemas piloto y cultivos del Valle de Lluta	1 día	28/01/04	28/01/04
64	2 ªVisitas en terreno a los sistemas piloto y cultivos del Valle de Lluta	1 día	28/03/04	28/03/04
65	Visita A los sistemas piloto y cultivos del valle de Lluta	0 días	28/03/04	28/03/04
66	Transferencia de los resultados efectuada	0 días	20/07/04	20/07/04
67	Elaboración informe final	60 días	22/05/04	20/07/04
68	Informe final entregado	0 días	20/07/04	20/07/04



Proyecto: gantt boro
Fecha: 25/10/02

Tarea
División
Progreso
Hito
Resumen
Tarea resumida
División resumida
Hito resumido
Progreso resumido
Tareas externas
Resumen del proyecto

	Optimizar, a nivel experimental y desde el punto de vista de la relación costo-beneficio, los parámetros de funcionamiento del sistema propuesto, sólo o en combinación con Osmosis Inversa para la remoción del boro presente en el agua para uso agrícola.	Desarrollar y Evaluar la aplicación de un sistema piloto para remover el boro presente en las aguas superficiales con fines agropecuarios.	Preparar y Transferir el o los Paquetes tecnológicos desarrollados a los agentes afectados por la presencia de boro en las aguas.
	Compuesto acomplejante de boro y concentración óptima a utilizar determinada (06/07/2003).		
	Compuesto adsorbente del complejo boro phi seleccionado con una duración determinada y un sistema de lavado, regeneración y/o descarte determinados, junto con el costo asociado (03/11/2003).	Prototipo de sistema o módulo aplicable a riego por goteo diseñado.(4/9/2003)	
	Concentración de boro obtenida dentro de las condiciones determinadas <= 1.5 ppm. (03/11/2003)		
Nov. 2003		Prototipo construido e instalado, permitiendo lograr condiciones de operación de laboratorio (validación) 8/12/2003	
Dic. 2003		Parámetros de costo de instalación, operación y mantención determinados, costo variable por m3<= $132	
		Calidad de agua obtenida para uso agrícola <=3ppm boro.(07/02/2004)	Paquete tecnológico a transferir desarrollado, junto con la propiedad intelectual resguardada. (20/07/2004)
		Cultivos piloto sensibles a boro efectuados, junto con jardín de variedades con y sin tratamiento (20/07/2004)	Demostraciones en terreno a potenciales usuarios efectuadas con los cultivos piloto y el jardín de variedades(20/07/2004)
		Impacto del contenido inicial de boro en el suelo determinado (20/04/2004).	Difusión realizada en las comunas de Camarones y cuenca del Loa. (20/07/2004)
		Evaluación técnica económica realizada a Esc. Piloto.	
Julio 2004	Técnica de remoción de boro en agua para uso agrícola optimizada en laboratorio desde el punto de vista económico	Sistema piloto confeccionado y evaluado para validar los resultados de laboratorio. Especies sensibles al boro creciendo y produciendo empleando el sistema de tratamiento desarrollado. Viabilidad económica determinada	Paquete tecnológico transferible definido y mecanismo de transferencia establecido.

11. RESULTADOS ESPERADOS E INDICADORES

11.1 Resultados esperados por objetivo

Obj. Esp. Nº	Resultado	Indicador	Meta Final	Parcial Meta	Parcial Plazo
1	Parámetros óptimos para funcionamiento del sistema de remoción de boro en el agua	mg Boro/ lit	< 3 mg B/ lit	3 mg B/lit	3/11/2003
	Parámetros óptimos para incrementar la eficiencia de remoción del boro en sistemas de O.I.	mg Boro/ lit	< 3 mg B/ lit	3 mg B/lit	3/11/2003
2	Sistema piloto para remoción del boro en aguas contaminadas de uso agrícola	Nº sistema	2	1	3/11/2003
	Manejo, y operación del sistema piloto para remoción del boro en aguas contaminadas de uso agrícola	Unidad	Manual de operación	1	08/12/2003
	Costos del sistema piloto para remoción del boro en aguas contaminadas de uso agrícola	$/m^3 de agua depurada	< 0,2 US$/m^3	0,2 US$/m^3	08/12/2003
	Uso de los sistemas prototipos desarrollados en cultivos a escala piloto.	Viabilidad	1	1	20/07/2004
	Parcela con cultivos piloto	Nº especies/ Superficie	5 especies. 0,20 há cada una	5 esp. ; 0,20 ha	20/07/2004
	Jardín de variedades con especies sensibles al boro de alto valor económico	Especies sensibles al boro creciendo	19	19	20/07/2004
	Evaluación de impacto de utilización de los sistemas desarrollados llevados a escala comercial.	Incremento ingresos $/hectárea al año cultivada	$3.000.000 / ha	$1.500.000 / há	1/04/2004
3	Difusión de la tecnología desarrollada a los agentes y usuarios objetivos de la transferencia.	Nº actividades	Tres actividades: 1º Seminarios: Arica Camarones Antofagasta 2º Dos Visita en terreno 3º Dos publicaciones	40% 70% 100 %	05/11/2003 28/03/2004 20/07/2004

11.2 Resultados esperados por actividad

Obj. Esp. Nº	Activid. Nº	Resultado	Indicador	Meta Final	Parcial	
					Meta	Plazo
1	1.1.	Contratación de personal	Nº	5	100%	18/11/2002
	1.2.	Cotización y adquisición de equipos y materiales				
	1.3.	Implementación de laboratorio		Laboratorio implementado	100%	22/01/2003
	1.4.	Selección y adquisición de los secuestrantes y adsorbentes de mayor eficiencia y de más bajo costo	Nº	Secuestran. Y adsorbente seleccionado	100%	
	1.5.	Estudio de las condiciones óptimas para los secuestrantes y adsorbentes		Condiciones definidas	100%	06/07/2003
	1.6.	Desarrollo de metodología para la recuperación de los adsorbentes.		Metodología de recuperación adsorbente	100%	20/08/2003
	1.7.	Evaluación de secuestrantes en combinación con sistema de Osmosis Inversa	mg Boro/ lit	< 2,5 mg B/ lit	≤ 3 mg B / lit	03/11/2003
	1.8.	Desarrollo de sistemas de depuración de boro y pruebas de eficiencia a escala de laboratorio en aguas naturales	Unidad	2	1	03/11/2003
2	2.1.	Diseño de un sistema piloto para depuración de boro en agua para uso agrícola.		2	1	04/09/2003
	2.2.	Cotización, adquisición y adecuación e implementación del sistema piloto para depuración del boro.		Cotización y adquisición Adecuación e implementación	50% 100%	04/10/2003 03/11/2003
	2.3.	Puesta en marcha del sistema y evaluación de funcionamiento.			100%	18/11/2003

GOBIERNO DE CHILE
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

11.2 Resultados esperados por actividad

Obj. Esp. Nº	Activid. Nº	Resultado	Indicador	Meta Final	Parcial	
					Meta	Plazo
	2.4.	Optimización del sistema piloto para la disminución del boro en aguas del valle de Lluta optimizado	mg Boro/ lit	< 3 mg B/ lit	3 mg B/ lit	08/12/2003
	2.5.	Obtención de costos del sistema y costos de operación.	$/m^3 de agua depurada	< 0,2 US$/m^3	0,2 US$/m^3	08/12/2003
	2.6.	Estudio demostrativo de cultivos de interés económico regados con aguas depuradas de boro en el valle de Lluta	Nº de especies sensibles sobrevivientes al cultivo piloto	5	3	1/02/2004
	2.6.1.	Selección de especies sensibles a boro para efectuar cultivos piloto, adquisición de Insumos y material genético	Nº especies	5	100%	15/12/2003
	2.6.2.	Preparación de terrenos	Hect	1 hect	100%	06/02/2004
	2.6.3.	Establecimiento de cultivos piloto y una parcela demostrativa	Nº cultivos; Nº especies sensibles	5 cultivos, 19 especies sensibles	100%	21/02/2004
	2.6.4.	Seguimiento y monitoreo de variables de crecimiento y desarrollo de las especies vegetales	**Rendto por há**	80% del rendto. Comercial en zona sin limitación	60% del rendto. Comercial En zona sin limitación	01/04/2004
	2.6.5.	Seguimiento y monitoreo de variables económicas.	**Costo fijo y variable por hectárea**	110% de cultivo comercial en zona sin limitación	150% de cultivo comercial en zona sin limitación	1/04/2004
	2.6.6.	Evaluación técnico económica de los cultivos de especies sensibles a boro en el valle de Lluta utilizando el sistema de eliminación de boro desarrollado	**TIR**	TIR 25%	TIR 15%	1/04/2004

11.2 Resultados esperados por actividad

Obj. Esp. Nº	Activid. Nº	Resultado	Indicador	Meta Final	Parcial	
					Meta	Plazo
3	3.1.	Recopilación de información sobre el boro en otros ríos del norte, frutas y verduras.		100%	100%	17/01/2003
	3.2.	Identificación de los factores críticos para la incorporación de la tecnología		100%	100%	13/11/2003
	3.3.	Seminarios sobre el boro; sus efectos, realidad regional y nacional, y sus alternativas	Nº	Arica Camaro. Antofagas.	33% 66% 100%	05/09/2003 06/10/2003 05/11/2003
	3.4.	Publicación desarrollo de un sistema de depuración de boro en aguas de alto contenido de este elemento	Nº	1ª public. 2ª public.	50% 100%	01/05/2004 20/07/2004
	3.5.	Visitas en terreno a los sistemas de depuración piloto y sistemas productivos agrícolas	Nº	1ª visita 2ª visita	50% 100%	28/01/2004 28/03/2004
	3.6.	Elaboración informe final Informe final entregado	Nº	1	100%	20/07/2004

12. IMPACTO DEL PROYECTO

12.1. Económico

El impacto económico del proyecto está relacionado directamente a la apertura de la posibilidad de diversificar los rubros productivos y aprovechar completamente el potencial agroclimático de esta zona privilegiada en cuanto a sus temperaturas promedio relativamente altas durante todo el año. Una forma indirecta de apreciar el eventual impacto económico del proyecto es comparar la actual situación de agricultura de subsistencia y baja rentabilidad que predomina en el valle de Lluta (afectado por niveles de boro en el agua de riego) con la alta productividad y rentabilidad del valle de Azapa (con niveles de Boro en el agua <3 mg / B lt), considerando que ambos valles están bajo prácticamente iguales condiciones climáticas. Esta situación se refleja en el valor de la hectárea cultivable, que es entre 3 y 5 veces superior en el valle de Azapa. De esta forma, el impacto del éxito del proyecto sobre el patrimonio de los agricultores que dejan de estar limitados por el boro en el agua es al menos de esa magnitud, con lo cual su situación financiera y capacidad de inversión cambia y mejora absolutamente.

Ingresos por venta de la tecnología desarrollada: La tecnología propuesta para su desarrollo en el presente proyecto, que permitiría la remoción del boro en el agua, por su rango esperado de costos no tiene similar en el mundo actualmente. Pese a que el problema de la presencia de boro en las aguas destinadas a agricultura y/o consumo humano y animal no está muy difundido en el mundo ni representa un problema mayor para una gran parte de los agricultores a escala global (con excepción de ciertas áreas de Turquía y Australia, que presentan un mercado potencial inmediato para la venta de la tecnología), el problema si se da en un buen número de aplicaciones industriales, mineras y de generación de energía eléctrica, las cuales generan efluentes de agua significativos con altos contenidos de boro. La legislación al respecto en los países desarrollados (E.U.A y Canadá, principalmente), es muy estricta y fija sanciones para cualquier efluente que tenga niveles de boro por sobre los 5 mg / L. Este es un mercado de difícil cuantificación para vender la tecnología, pero es muy relevante dado que el alto costo de adquisición y operación de los

GOBIERNO DE CHILE
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

métodos tradicionales de remoción de boro hace altamente interesante cualquier método alternativo económico. Es importante además señalar que las compañías que requieren este tipo de sistemas en general no tienen problemas de capital, lo que les permite gran capacidad de adquisición de tecnologías probadas cuando la relación costo beneficio se demuestra alta, como sería el caso de la tecnología a desarrollar por medio del presente proyecto.

12.2. Social

Es claro que al existir un impacto económico positivo, se combina instantáneamente con un aumento del bienestar social; el aumento de la capacidad de inversión y de la rentabilidad se traduce en un aumento de los ingresos de los productores actualmente sometidos a un régimen de subsistencia, lo que abre oportunidades de nuevos negocios, y crea nuevos puestos de trabajo, mejorando sustancialmente la calidad de vida de los habitantes de los valles de Lluta, Camarones y Loa.

12.3. Otros (legal, gestión, administración, organizacionales, etc.)

Al existir una diversidad de cultivos posibilitada por la tecnología a optimizar en el proyecto, los nuevos negocios que surjan de ello tendrán una estructura mejor organizada, con mayores recursos para invertir en asociatividad y sistemas de información de precios, mayor grado de integración vertical y posibilidades de exportación. Esto se traducirá en una agricultura de mayor competitividad y capacidad de adaptación a las tendencias del mercado, con mayor capacidad de adopción tecnológica y que en definitiva se construirá en polo de desarrollo de las zonas afectadas, dejando de ser focos de pobreza y problemas sociales.

GOBIERNO DE CHILE
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

13. EFECTOS AMBIENTALES

13.1. Descripción (tipo de efecto y grado)

El proyecto considera la implementación de un sistema de depuración de boro de las aguas subterráneas y superficiales del valle de Lluta, que no presenta efecto ambientales negativos de importancia que estén por sobre el nivel de los efectos ambientales normales que tiene la actividad agrícola.

Más bien, la ejecución del proyecto tendrá un efecto ambiental positivo, al eliminar o disminuir la influencia de un contaminante natural presente en el agua de riego, lo que mejorará la calidad de vida de los productores y permitirá el desarrollo económico del valle.

13.2. Acciones propuestas

Dado que no se prevén efectos ambientales negativos, no debiera estimarse ninguna medida especial para mitigar los efectos ambientales, por sobre las que se emplean normalmente en este tipo de actividad.

Sin embargo, el residuo rico en boro que se genere por el proceso de limpieza de la matriz adsorbente, se deshidratará al sol en una piscina de evaporación pequeña y de alta relación superficie volumen y luego intentará comercializarse como fertilizante boratado para uso agrícola o forestal en zonas deficitarias de este elemento. Otra alternativa es recolectarlo periódicamente y almacenarlo en sacos para luego venderlo a la planta de proceso de QUIBORAX, empresa minera que elabora ácido bórico de alta pureza a partir de un mineral ampliamente presente y concentrado dentro de la cuenca del valle de Lluta.

Sin perjuicio de lo anterior, y a objeto solamente de dimensionar la escasa magnitud que tiene esta producción de residuos potenciales y dar a entender que no significa un problema o impacto negativo real a escala práctica, es posible afirmar que la cantidad de residuo boratado que se generará es pequeña y no guarda ninguna

GOBIERNO DE CHILE
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

relación con el nivel de boro presente en el entorno, que, sin ir más lejos, permite la existencia de la empresa minera QUIBORAX.

Como ejemplo de la alta presencia de boro en el medio del valle de Lluta es muy interesante analizar los datos de la descarga de las aguas de rechazo del sistema de osmosis inversa de la planta de tratamiento de agua potable para la ciudad de Arica, que desaliniza aguas subterráneas provenientes de pozos profundos en la cuenca del río Lluta, con altísimas concentraciones de boro (>50 mg/lt). Los datos del Cuadro siguiente (comunicación personal de Leonardo Figueroa Tagle) ilustran el gran poder de dilución que se observa con respecto a la descarga de este efluente, indicando un escaso impacto ambiental, si es que alguno.

Muestra	PH	CE mS/cm 25°C	Li mg/L	B mg/L	As mg/L	En % respecto a la muestra control			
						CE	Li	B	As
Aguas Arriba	8,04	4,275	1,62	27,51	0,056	100%	100%	100%	100%
Zona de descarga (Impacto)	7,85	15,9625	4,1	35,76	0,077	373%	253%	130%	138%
100 m aguas abajo	8,07	6,835	1,94	26,94	0,066	160%	120%	98%	118%
200 m aguas abajo	8,06	6,37	1,83	24,4	0,0565	149%	113%	89%	101%
500 m aguas abajo	8,26	4,9	1,82	24,3	0,052	115%	112%	88%	93%

13.3. Sistemas de seguimiento (efecto e indicadores)

No existen impactos negativos por lo que no esta considerado hacer un seguimiento de este.

15.2. Aportes de contraparte: criterios y métodos de valoración

Detallar los criterios utilizados y la justificación para el presupuesto por item y por año, indicando los valores unitarios utilizados y el número de unidades por concepto.

(para cada uno de los items de gasto se deberán especificar los criterios y metodología de valoración utilizada)

El aporte de este proyecto esta dado principalmente por el agente postulante la Universidad de Tarapacá (UTA) y por el agente asociado agricultora Paola Gaete del Valle de Lluta, que en conjunto aportan el 38,93% del costo total del proyecto.

Los criterios y métodos de valoración empleados para la estimación de los aportes más importantes se indican a continuación, el detalle completo de estos se adjuntan en anexos.

Item: RECURSOS HUMANOS

La Universidad valorizó como aporte las horas dedicadas del coordinador y coordinador alterno, que corresponde aproximadamente a un 20% y 10% respectivamente de su jornada de trabajo, considerando 44 horas semanales, durante toda la ejecución del proyecto. El coordinador planificará junto con el equipo de profesionales, las actividades a desarrollar. Además administrará, gestionará y coordinará la actividades del equipo de trabajo para la ejecución del proyecto

En cuanto los Recursos Humanos, técnicos y administrativo de la UTA son valorizados desde los primeros meses de iniciado el proyecto hasta su termino. En una primera parte apoyan la gestión y actividades que se desarrollan en la universidad y luego las actividades y gestiones administrativas del proyecto de las actividades de campo y transferencia.

En cuanto a los recursos humanos aportados por la empresaria agrícola, se valorizan desde que se inician las actividades de campo en el valle de Lluta, aproximadamente a los 1º meses de iniciado el proyecto hasta la finalización de este. Se estima que el

GOBIERNO DE CHILE
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

administrador del predio dedicará al proyecto un 22% de su jornada laboral, junto a un obrero agrícola que se dedicará su jornada completa a las actividades que se contempla desarrollar en el predio. Para esta estimar la participación del personal de campo, se considera una jornada laboral de 200 hr.

Item: EQUIPAMIENTO

En este item se asignó un valor mensual por el uso de los equipos aportados por la UTA y agricultor.

La universidad valorizó, por todo el período de ejecución del proyecto, el uso de las computadoras que ocuparan los coordinadores general y alterno, así como también los profesionales que participan en la ejecución del proyecto.

También se valorizó el uso de la planta de osmosis inversa, la cual será empleada por dos meses, una vez que se haya determinado el complejo boro-phi y el adsorbente adecuado. Esta actividad ha sido considerada dado el impacto que significa mejorar los % de remoción de boro por esta técnica, a los agricultores que ya tienen la inversión y sistema de OI instalado. Podrían cultivar especies muy sensibles al boro de gran rentabilidad, que hoy no se dan por la toxicidad del agua.

En las pruebas de campo se valoriza todo el sistema de riego del predio de Lluta, que se usará en las experiencias de validación del sistema prototipo de depuración de boro para aguas superficiales. Esta valorización parte de acuerdo a lo considerado en la carta Gantt, aproximadamente a los 8 meses de iniciado el proyecto.

También esta contemplado la valorización del uso de un tractor más sus implementos, por dos meses, lo que dura la preparación del terreno para cultivar.

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS
Y PROYECTOS

Item: INFRAESTRUCTURA

Los dos agentes participantes han valorizado su infraestructura, dando un valor mensual al uso de las instalaciones, el detalle se encuentra en el anexo de costos mensual. Las valorizaciones se hicieron de acuerdo a las actividades y su duración.

La Universidad valorizó sus laboratorios en donde se realizaran las pruebas preeliminares de evaluación y selección del complejo boro-phia, el adsorbente y condiciones de operación. En estas mismas unidades se analizaran y controlaran las actividades de campo, por el tiempo que duran el proyecto de 21 meses. También se ha considerado la valorización del uso de oficinas y sala de reuniones equipadas, las cuales se usaran en forma regular, por el mismo período de tiempo que dure el proyecto.

También se valoriza el uso del predio de Lluta, aportado por el agente asociado, en donde se realizaran las pruebas de validación del sistema de depuración de boro, desde que se inicia esta actividad de campo hasta que termina el proyecto, estimándose un período de 14 meses.

Item : MOVILIZACIÓN, VIÁTICOS Y COMBUSTIBLE

Se considera el costo alternativo del uso de un vehículo para el traslado del personal participante en las actividades de campo del proyecto. Esta valorización se inicia un mes antes del comienzo de las actividades contempladas en el objetivo específico 2, y hasta el término de este. Se estimo el costo alternativo del uso del vehículo por 15 días al mes, a un costo de 8.500 $/día, siendo finalmente el cargo mensual de $ 137.904 debido al reajuste, y considerando 13 meses de uso da $ 1.760.928.

También se valoriza un vehículo de trabajo, que sirve para el traslado de material y traslado del personal que trabajará en el predio durante todo el período que dure la etapas de ensayos de campo. Este es un vehículo de trabajo por lo que su valorización de uso día es de $ 10.000, y considerando su uso durante toda esta

etapa (20 meses), al cabo del proyecto se valoriza en $2.554.240 debido a los reajustes.

Item: MATERIALES E INSUMOS

Tanto el agente postulante como el asociado no tiene considerado valorización de materiales e insumos

Item: SERVICIO DE TERCEROS

No se ha considerado aportes de servicios de terceros por parte de los agentes postulante y asociado.

Item: DIFUSION

No se tiene aporte a este item de difusión

Item: GASTOS GENERALES

La Universidad valoriza los gastos generales incurridos en el desarrollo de este proyecto, de acuerdo a un gasto mínimo mensual por concepto de luz, agua, teléfono, y mantención de laboratorios y equipos instrumentales .

No se consideró valorización de gastos generales del predio agrícola ubicado en el valle de Lluta.

Item: IMPREVISTO

No se ha considerado aportes para imprevistos por parte de los agentes postulante y asociado.

Item: OTROS

No se tiene aporte a este item.

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS
Y PROYECTOS
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA

15.4. Financiamiento solicitado a FIA: criterios y métodos de valoración

Detallar los criterios utilizados y la justificación para el presupuesto por item y por año, indicando los valores unitarios utilizados y el número de unidades por concepto.

(para cada uno de los items de gasto se deberán especificar los criterios y metodología de valoración utilizada)

El financiamiento solicitado al FIA para la ejecución de este proyecto es de un 61,07% del costo total del proyecto.

Los criterios y métodos de valoración, más importantes, empleados para la solicitud de este financiamiento se indican a continuación, el detalle completo de estos se adjuntan en anexos.

Item: RECURSOS HUMANOS

En este Item se financia la participación de experimentados profesionales que apoyaran y asesoran los aspectos técnico científicos de esta propuesta. Dentro de los profesionales tenemos a:

Marlene Vásquez Siau, Ingeniero Civil Bioquímico, profesional con basta experiencia en la elaboración, ejecución e implementación de proyectos de innovación en áreas productivas quien estará a cargo, de diseñar, coordinar las actividades de laboratorio, así como las pruebas de terreno junto con el coordinador del proyecto. Es quien ejecutará y supervisará, que las actividades se realicen de acuerdo a lo planificado, además de analizar la información y elaborar los informes de avance y final del proyecto. Tendrá una dedicación de un 50% de su jornada de trabajo considerando, una jornada de 176 horas mes.

Camilo Urbina, Ingeniero Agrónomo, profesional destacado con experiencia en formulación, ejecución de proyecto en terreno, responsable del desarrollo de las actividades de campo. Prestará asesoría en los aspectos agrícolas de las pruebas de validación del sistema prototipo en el valle de Lluta. Colaborador en el análisis e interpretación de resultados. Dedicará al proyecto un 25% de la jornada laboral.

UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

Experto Hidráulico: Experto consultor, responsable del diseño del sistema prototipo para depuración de boro de aguas superficiales del valle de Lluta. Además apoyará la construcción y puesta en marcha del sistema. Dedicará aproximadamente un 18% de su jornada laboral.

Químico laboratorista: Se considera un profesional capacitado en las técnicas de análisis y dominio de los equipos a usar. Su dedicación será un 50% de la jornada.

Para los profesionales se considera una jornada laboral de 176 hrs al mes.

Obrero auxiliar agrícola: Se considera como personal de apoyo para las actividades de campo. Su participación es de media jornada, considerando una jornada de 200 horas al mes.

Item: EQUIPAMIENTO

En este ítem se contempla destinar recursos para adquirir equipamiento específico para satisfacer los requerimientos de este proyecto. Ya que la cantidad de análisis y controles que se realizaran se requiere de la obtención rápida de resultados, para ir evaluando el sistema y los parámetros a evaluar. Los equipos existentes que actualmente se utilizan en la UTA, son para docencia así como para investigación, teniendo prioridad la primera sobre la segunda, por lo que el uso de ellos es restringido, no sirviendo apropiadamente a los fines del proyecto, ya que se pone en riesgo el éxito del mismo. Por lo que la adquisición de estos equipos, es absolutamente necesaria para la viabilidad y fluidez de la ejecución del proyecto. Los equipos adquiridos, serán instalados en el laboratorio de la UTA, pero su administración y uso es exclusivo del personal directivo y técnico del proyecto solo para fines del proyecto.

El equipamiento a saber:

Espectrofotómetro UV-VIS

Bomba de vacío mesón

Agitador de matraces

Destilador de agua

GOBIERNO DE CHILE FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

Adicionalmente en las pruebas de campo se requiere un set de tensiómetros con su bomba de vacío (uno de 30 y otro de 60 cm.) con un costo aproximado de $111.000.

Item: INFRAESTRUCTURA
No se esta solicitando financiamiento para este ítem de difusión

Item : MOVILIZACIÓN, VIÁTICOS Y COMBUSTIBLE

El proyecto considera, cuatro venidas desde Santiago-Arica-Santiago de un experto en hidráulica, con una estadía de dos días con un viático de $45.000 por día, para cubrir gastos de alojamiento y comida, haciendo un total de $ 378.000 debido al reajuste, durante todo el proyecto. Además de pasajes en avión en tarifa negocios.

Este profesional diseñará el sistema prototipo a escala precomercial, que permita depurar las aguas superficiales contaminadas con Boro. El diseño y fabricación del sistema, debe considerar que el uso del equipo será en terreno, por usuarios agrícolas por lo que su operación y limpieza debe ser lo más simple y practica posible.

También esta considerado viático para 5 viajes a Stgo.-Arica-Santiago, durante toda la ejecución del proyecto, con una estadía de dos días con un viático de $35.000 por día, para cubrir gastos de alojamiento y comida, haciendo un total de $367.024 dados los reajustes. Además de los pasajes en clase negocio.

Se solicita aporte para el financiamiento de combustible para trasladarse desde Arica a predio agrícola en Lluta donde se realizará los ensayos de campo. El calculo de la bencina es el siguiente:
Viajes al mes.....15
Km..... 100 km (ida y vuelta)
Rendimiento vehículo...12 km/lit
Se obtiene: 15x100/12 = 125 lit bencina/mes

Para esta estimación se consideró un precio promedio de bencina 97 octanos de 450 $/L. Por lo que el aporte en bencina mensual será de 56.250 $/mes, por los 13 meses, siendo en total durante todo el proyecto 776.880 $, dados los reajustes.

Item: MATERIALES E INSUMOS

Se ha considerado la compra de cuatro membranas de osmosis inversa para mejorar la eficiencia en la depuración del complejo boro-phi.

Se valorizo Insumos de laboratorio tales como, material de vidrio, de polipropileno, pipetas, micropipetas, etc., por un total de $3.920.000 según se detalla anexo.

Insumos de campo por un total de $4.190.943.- en los cuales se considera todo los Piping y fittings, filtros, mezcladores, columnas, etc, todo lo necesario para la construcción e instalación del sistema prototipo de depuración de boro.

También se ha considerado un total de $2.472.640 Materiales varios, con los cuales se adquirirán los reactivos para los análisis, compuestos phi y absorbentes del sistema prototipo

Item: SERVICIO DE TERCEROS

No se ha solicitado financiamiento para servicios de terceros .

Item: DIFUSION

Se realizarán tres actividades de difusión:

- Día de campo, se visitará el predio para ver el sistema piloto precomercial y los cultivos, regados con agua depurada.
  En esta actividad esta considerado el transporte hasta el predio, servicio de café y galletas, además de material informativo.

- Seminarios, se realizaran tres seminarios de divulgación, en los cuales se considera, traslado del equipo de trabajo, arriendo de local y material de difusión, servicio de café.

  Seminario en Arica 05/09/2003

  Seminario en Camarones 06/10/2003

  Seminario en Antofagasta.....04/11/2003

- Publicaciones de difusión

  Se realizaran dos publicaciones sobre el desarrollo de un sistema de depuración de boro en aguas de alto contenido de este elemento.

Item: GASTOS GENERALES

Se consideró un 5% para gastos generales; tales como consumos básicos, material de oficina, fotocopia, etc.

Item: IMPREVISTO

Se consideró un 2.5% del total del proyecto para imprevistos, tales como:
Repetición de análisis, desperfecto de algún equipo, compra de reactivos para análisis no contemplados y que fueran fundamentales para el éxito del proyecto, viajes imprevistos con reuniones con el FIA, etc. En forma adicional, dentro de imprevistos se consideró un total de $1.040.000 para costear el relleno total de la capa superficial de suelo con tierra o materia orgánica libre de boro, sólo en caso que el lavado del suelo no logre bajar las concentraciones iniciales de boro a una concentración que permita el cultivo de vegetales sensibles.

Item: OTROS

No se tiene aporte a este item.

16. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO

16.1. Criterios y supuestos utilizados en el análisis

Indicar criterios y supuestos utilizados en el cálculo de ingresos (entradas) y costos (salidas) del proyecto

La presente propuesta, debido a su impacto multisectorial, reviste cierto grado de complejidad para ser evaluada económicamente. Por tal motivo, para simplificar el análisis, y sin que por ello éste deje de ser representativo del beneficio económico que se espera, se ha decidido evaluar el impacto del uso de la tecnología a desarrollar sólo desde el punto de vista del incremento de la variedad de cultivos que podrán ser realizados por los agricultores del Valle de Lluta que la incorporen una vez que el proyecto finalice y los resultados permitan su escalamiento comercial. Los beneficios económicos adicionales, de mayor complejidad en su análisis, aunque no por ello de menor relevancia, serán enunciados al tratar los beneficios económicos no cuantificados.

El escenario en el cual se plantea la evaluación económica se configura respecto al valle de Lluta, con alrededor de 2.800 hectáreas de riego efectivo, de las cuales alrededor de 80 ya cuentan con sistemas de riego tecnificado (por tanto se espera que sean las hectáreas que adopten más tempranamente la tecnología desarrollada). Del total de la superficie, alrededor de 1.700 hectáreas son actualmente cultivadas con maíz choclero, 680 con praderas de alfalfa y 400 con otras hortalizas (JICA, 1995).

Sin perjuicio de lo anterior, cabe recordar que los valles de Camarones (alrededor de 2.000 há) y Loa (alrededor de 3.500 há), se encuentran en una situación muy similar a la del Valle de Lluta, por lo tanto el análisis presentado puede extrapolarse a dichas cuencas sin mayores ajustes. La presente evaluación se ha realizado para un horizonte de 10 Años. Esto es porque l costo de las inversiones privadas a efectuar para implementar los resultados del proyecto es relativamente bajo; sin embargo, la

GOBIERNO DE CHILE
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

duración mínima de la infraestructura requerida (básicamente de riego tecnificado) se estima en 10 años, por lo cual un horizonte de evaluación más corto encarece innecesariamente el costo de estas instalaciones.
Los impactos económicos que se evaluarán diferencialmente en la comparación entre la situación sin y con proyecto son los siguientes:

DESCRIPCION DEL IMPACTO
Aumento de los ingresos a productor de Valle de Lluta debido a la obtención de melón reticulado. **Aumento de los ingresos a productor de Valle de Lluta debido a la obtención de Tomate.** **Aumento de los ingresos a productor de Valle de Lluta debido a la obtención de Frutilla.** **Aumento de los ingresos a productor de Valle de Lluta debido a la obtención de Flores Adad.** **Aumento de los ingresos a productor del Valle de Lluta por disminución de concentración estacional de la oferta del producto tradicional maíz choclero del Valle de Lluta**

Situación sin proyecto

La situación sin proyecto corresponde a la proyección de la situación actual del Valle de Lluta, en la cual se mantiene la proporción de cultivos actuales del valle, mayoritariamente maíz choclero (1.700 há) y alfalfa (700 há) (se han dejado fuera otros cultivos cuya superficie de cultivo en el Valle es menos relevante), con los costos e ingresos que se obtienen normalmente (ver detalles en anexo memoria de cálculo de la evaluación económica). No se incorpora mayor tecnología de riego que la actual (riego superficial), por lo cual no se efectúan inversiones. Se adjuntan fichas técnicas. Conviene aclarar que existen dos fichas técnicas para la alfalfa dado que esta tiene un costo de establecimiento (ficha técnica año establecimiento) y luego una duración indefinida durante la cual se requiere solamente mantener la pradera ya establecida (ficha técnica pradera en mantención).

Situación Hipotética sin Proyecto

Para hacer más ilustrativo el impacto del análisis económico del proyecto se ha decidido incorporar un tercer escenario hipotético que se basa en la utilización de la tecnología actualmente existente de Osmosis Inversa. Se hizo un análisis considerando el costo efectivo del tratamiento por m^3 con un punto de referencia conocido y registrado para un sistema de Osmosis Inversa, según datos aportados por Agrícola Silmar Ltda. (Arica, Valle de Azapa) que ascendía a \$1.200 / m^3, pero en el cual el agua solamente se circulaba una vez porque la concentración inicial de boro en el agua de pozo empleada era 0,9 mg/lt, reduciéndose el boro en una pasada a 0,45 mg/lt. Cada paso adicional incrementa el costo del m^3 en un valor igual y se considera que para los cultivos, usando agua con un nivel inicial de 10 mg. B / lt, se necesitan 2 circulaciones a través del equipo y para las frutillas 3 (baja a 1 ppm y 0,3 ppm de boro respectivamente); con este costo, los cultivos de melón, frutilla y adad se hacen inviables económicamente (ver fichas técnicas) y por ello no se realizan en este escenario. En todo lo demás se consideraron los mismos supuestos de precios y costos de la situación con proyecto. Con estos datos el análisis económico resulta como se observa en el análisis adjunto.

Situación con proyecto

En la situación con proyecto, la tecnología de tratamiento del boro en el agua de riego es aplicada gradualmente hasta involucrar una superficie equivalente al 25% del total disponible para agricultura, equivalente a 700 hectáreas, lo cual ocurre en un periodo de 4 años. Esta superficie es regada con riego por goteo al cual se le aplica la tecnología desarrollada en forma modular. Los cultivos que se incorporan, que han sido seleccionados por su rentabilidad entre muchas alternativas con distintos grados de requerimiento de capital, y sin incluir frutales leñosos por su largo periodo de evaluación, son el melón reticulado, el tomate, la frutilla, y la flor adad (esta última representa un cultivo altamente sofisticado en su nivel tecnológico, pero de alta rentabilidad). El detalle de la información técnico económica para estos cultivos se

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS
Y PROYECTOS
FUNDACION PARA LA INNOVACION AGRARIA

adjunta en el anexo correspondiente. Se asume que los precios de los productos tradicionales (Choclo) aumentan en algún grado (20%) por el menor grado de competencia al disminuir la superficie dedicada a su cultivo (de 1700 a 1000 hectáreas); se asume que toda la superficie que se cambiará a la nueva tecnología provendrá de cultivos de maíz, debido a que el costo de una pradera es mayor y no es fácil terminarla para iniciar cultivos en ese terreno. La incorporación de los nuevos cultivos se proyecta según su grado de inversión inicial, por lo tanto se calcula que un 50% de la superficie incorporada bajo el uso de la depuración de boro se cultiva con melones reticulados, un 35% con tomate, un 10% con frutilla y el 5% restante con flores adad, proporción que se mantiene desde el primer año de la adopción de la tecnología.

Cuadro resumen de síntesis de supuestos

VARIABLE	VALOR CONSIDERADO EN SITUACIÓN SIN PROYECTO	VALOR CONSIDERADO EN SITUACIÓN CON PROYECTO	VALOR CONSIDERADO EN SITUACIÓN HIPOTÉTICA SIN PROYECTO.
Costo de operación del sistema para remoción de boro ($/m^3).	**0**	**120**	**1.200 (por cada 70% de boro extraído)**
Precio del choclo ($/Unidad)	**30**	**36**	**36**
Precio alfalfa ($/kg.)	**90**	**90**	**90**
Costo Infraestructura y equipamiento Riego por Goteo ($/hectárea)	**4.560.000**	**5.130.000**	**5.130.000**
Rendto. Choclo (unidades/há)	**25.000**	**25.000**	**25.000**
Rendto. Melón (unidades/há)	**0**	**40.000**	**40.000**
Rendto. Tomate (toneladas/há)	**0**	**120**	**120**

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS
Y PROYECTOS

Rendto. Frutilla (toneladas/há)	**0**	**55**	**55**
Rendto. Adad (Flores/há).	**0**	**1.050.000**	**1.050.000**
Superficie Choclo (Há)	**1.700**	**1.000 (al año 4)**	**1.420 (al año 4)**
Sup. Melón (Há)	**0**	**350 (al año 4)**	**0**
Sup. Tomate (Há)	**0**	**245 (al año 4)**	**245 (al año 4)**
Sup. Frutilla (Há)	**0**	**70 (al año 4)**	**0**
Sup. Adad(Há)	**0**	**35 (al año 4)**	**35 (al año 4)**

Cabe señalar que el cuadro III (Flujo de Fondos) se ha efectuado tanto para la comparación de la situación sin proyecto actual contra la situación con proyecto, como para la situación sin proyecto hipotética versus la situación con proyecto.

Variaciones de los posibles supuestos

- Costo de operación del sistema para remoción de boro ($/m3): Este costo es muy relevante en el análisis económico debido a que refleja en gran medida el costo adicional que implica el uso de la tecnología en la producción de cultivos. Este costo incluye el gasto en el compuesto phi que se adiciona al agua, y el **recambio** del material adsorbente. Por esta razón, el escenario que se plantea en el análisis es pesimista, en el sentido que parte del resultado de la investigación a efectuar debería ser un método para reciclar el material adsorbente sin tener que recambiarlo. Estimaciones preliminares del costo que debería tener la utilización del sistema, derivados de distintos niveles de reciclado del material adsorbente, lo sitúan en el rango de $30 a $120 por m^3, por lo cual el análisis ha considerado el peor caso.

- Costo Infraestructura y equipamiento Riego por Goteo ($/hectárea): El valor de referencia actual sitúa esta variable en alrededor de US$ 8.000 por hectárea. Se

GOBIERNO DE CHILE
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

ha considerado un costo adicional del equipamiento, que surge del costo del módulo de remoción de boro que se adosa al sistema de riego existente, de US$1.000 por hectárea. Este costo es también originado exclusivamente por la incorporación de la tecnología, y se ha estimado que en el peor de los casos no superaría esta cifra, pudiendo ser mucho más económico, pero aun no se cuenta con una cifra clara al respecto.

- Rendto. Choclo (unidades/há): Esta variable corresponde al rendimiento promedio de choclos que se obtiene actualmente con el nivel tecnológico empleado, y el proyecto no tiene impacto sobre este valor.

- Precio del choclo ($/Unidad): Se estima que una disminución de la oferta de choclos (la cual es estacional y con dos peaks en el año, lo cual origina caídas del precio al ser un producto con baja elasticidad precio en la demanda), debida a la disminución de la superficie cultivada en 700 hectáreas, debería incrementar el precio de este producto en al menos un 20%, pudiendo llegar este aumento hasta el 50%. Este impacto del proyecto se ha incorporado para reflejar que la mejora de los ingresos no es exclusivamente para quienes incorporen la tecnología, sino que también mejora la situación de aquellos que no la incorporen tempranamente.

- Rendimientos de cultivos sensibles al boro (Melón, Tomate, Frutilla, Adad): Estos cultivos actualmente no sobreviven hasta la producción de rendimiento comercial en las condiciones del Valle de Lluta. Para el caso del tomate, aunque si existen variedades tolerantes a boro, el rendimiento de estas variedades es un 60% inferior al de los híbridos de alto valor comercial (en particular el FA 144, que no sobrevive en Lluta), y la duración en post cosecha no permite la comercialización fuera de la provincia de Arica. Los rendimientos planteados son promedios considerando limitaciones prácticas y falta de experiencia, pudiendo ser algo mayores de realizarse un manejo en buenas condiciones.

BENEFICIOS ECONÓMICOS - SOCIALES NO CUANTIFICADOS EN EL ANÁLIS ECONÓMICO

Por presentar dificultades en su cuantificación con un rango de precisión adecuado, no se han cuantificado algunos beneficios económico – sociales que no por ello son menos relevantes para sustentar la necesidad y conveniencia de realizar el proyecto. Estos beneficios se enuncian a continuación:

- Incremento del valor de las tierras agrícolas: Como ya se ha mencionado, actualmente la única diferencia que separa al los Valles de Lluta y Azapa es la calidad del agua con la cual se riega. El clima, principal razón por la cual el Valle de Azapa es considerado un vergel, es el mismo en ambos Valles, y sin embargo, la diferencia de precio entre una hectárea del Valle de Azapa y la misma superficie en el Valle de Lluta es del orden de 3 a 5 veces; por lo anterior, una tecnología económica que permita eliminar la diferencia entre ambos Valles debería hacer subir los precios de la tierra en el Valle de Lluta hasta lograr un equilibrio con los de Azapa, con la ventaja adicional que ostenta el Valle de Lluta de poseer suficiente agua superficial como para revestir menores costos de bombeo y asegurar el riego de su superficie. El aumento del valor de la tierra permite a la vez un incremento de la capacidad de obtención de financiamiento para los agricultores del Valle de Lluta, que pueden hacer inversiones mayores e incrementar la intensidad de sus negocios agropecuarios, lo cual genera más ingresos, puestos de trabajo, incremento de la calidad de vida, etc. Esta situación es además extrapolable a los Valles de Camarones, Loa y algunos otros del norte grande de Chile que presentan una problemática similar.

- Viabilización del proyecto de riego con aguas recicladas de una superficie de 1.500 hectáreas: Como ya se ha mencionado, el agua que se vierte al mar desde los sistemas de alcantarillado de Arica, por provenir parcialmente de fuentes con alto contenido de boro como son las aguas subterráneas del valle de Lluta (pese a ser desalinizadas por osmosis inversa), contiene una concentración de boro de

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA

alrededor de 6 mg /L. Ante la publicitada iniciativa de reciclar esta agua servidas de Arica para su uso en riego, no se puede dejar de decir que esta concentración de boro ya es suficiente como para impedir que una gran gama de cultivos de alta rentabilidad sea factible. Sin embargo, si se emplease la tecnología a que será desarrollada en el proyecto para tratar el agua antes de ingresar a la red de agua potable, el efluente resultante estaría libre del problema del boro, y por lo tanto el uso del agua reciclada se hace viable inmediatamente.

GOBIERNO DE CHILE
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

17. RIESGOS POTENCIALES Y FACTORES DE RIESGO DEL PROYECTO

17.1. Técnicos

El traspaso de la experiencia de laboratorio hacia el nivel piloto en el ámbito agrícola, etapa 3, considera un mayor número de factores fuera de control que eventualmente pueden transformarse en críticos. Para el caso de la utilización del sistema a desarrollar en combinación con osmosis inversa, no se prevén factores de riesgos que puedan generar problemas, máxime cuando gran parte de la investigación de laboratorio se hará en base al equipo de OI en el cual se instalará el sistema piloto. Para el caso de la utilización del sistema directamente en combinación con riego tecnificado en predios del Valle de Lluta, en especial debido a la calidad de las aguas superficiales respecto del material en suspensión, es posible pensar en una eficiencia menor del sistema debido a esto. Por lo mismo, la metodología en el diseño de los sistemas piloto considera una adecuado sistema de filtros y/o decantadores que reducen el problema de las partículas en suspensión.

El problema de que el lavado de la matriz adsorbente que se requiera sea muy frecuente se ha abordado por medio de la facilitación del proceso a través de un diseño hidráulico eficiente para el empleo sin esfuerzo de un sistema de retrolavado, por lo que se considera un riesgo bajo.

Otro factor que puede resultar crítico es que existe en los suelos de Lluta una alta concentración de boro, que puede anular el beneficio de emplear agua libre de boro. Sin embargo a este respecto se debe la necesidad expresada en la metodología de realizar un lavado de la tierra por al menos un mes que permita que la concentración de boro en el suelo baje a niveles sin riesgo. En cualquier caso, este factor se monitoreará permanentemente para determinar su riesgo y la medida de control a tomar, que en el peor de los casos significará un retraso en el inicio de las experiencias piloto debido a la necesidad de hacer un lavado más prolongado antes de establecer el cultivo.

UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA

17.2. Económicos

Dado que en la etapa 1, el objetivo es generar en laboratorio la información básica tendiente a determinar los parámetros bajo los cuales deberían funcionar los sistemas piloto, y teniendo en cuenta que los profesionales que han desarrollado la propuesta han efectuado pruebas bajo condiciones controladas y ensayos de campo preliminares, que permiten aseverar que el método a desarrollar es eficaz en la remoción del boro, la única problemática que es posible plantearse en esta etapa es que tanto los compuestos phi como el material adsorbente disponibles en el mercado no permitan, por su precio, obtener una baja relación costo beneficio en la remoción del boro, factor que resulta crítico en el momento de traspasar la tecnología hacia el sector agrícola. Para solucionar este problema no es posible tomar medidas especiales, ya que el costo de los materiales está dado por el mercado, aunque siempre es posible buscar proveedores de menor costo, o efectuar
economías de escala en la adquisición. Sin embargo, dado el trabajo realizado hasta el momento, es posible prever que el costo de utilización del sistema permitirá, al menos y en el peor de los casos, su uso en cultivos rentables, ya que existe el

precedente de que varios cultivos resultan económicamente viables aún con costos de tratamientos de hasta US$ 0,5 por m^3, costo que es muy superior al proyectado en el peor de los casos para el método a desarrollar mediante la presente propuesta, pudiendo considerarse que este factor crítico presenta un riesgo menor, no exigiendo la toma de precauciones especiales.

17.3. Gestión

En términos generales, la coordinación entre los agentes participantes (Universidad y agricultor) para que las actividades se realicen a tiempo y con la metodología apropiada, es una función que resulta crítica para la obtención de los resultados esperados, y que no siempre es suficientemente resguardada por la organización de los proyectos. En el presente caso, la participación de un profesional externo que

dentro de sus funciones se dedicará expresamente a cumplir el rol de ejecución y comunicación entre los entes participantes, organización semanal de reuniones y reportes de estado, etc. Por otro lado, también tendrá la función de recopilar y presentar la información de los informes de avance y finales tanto técnicos como financieros en las fechas previstas, dejando la administración de los fondos en manos de los coordinadores del proyecto, los cuales tendrán la función de administrar los fondos del proyecto y dar los lineamientos generales y análisis de los resultados.

17.4. Otros

No hay otros aspectos estratégicos riesgosos.

UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

17.5. Nivel de Riesgo y Acciones Correctivas

Riesgo Identificado	Nivel Esperado	Acciones Propuestas
Alto nivel de boro en la tierra del valle de Lluta	Alto	1º lavado de la tierra para bajar los niveles de boro desde 3 meses antes de inicio de los cultivos. 2º De ser necesario, cambio parte del suelo en los sistemas piloto agrícolas por un sustrato limpio de materia orgánica permeable
Necesidad de un lavado frecuente de la matriz adsorbente del Boro	Bajo	Será ha abordado por medio de la facilitación del proceso a través de un diseño hidráulico eficiente para el empleo sin esfuerzo de un sistema de retrolavado.

UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

18. ESTRATEGIA DE TRANSFERENCIA DE RESULTADOS

Debido a que el impacto que se espera del proyecto sólo es posible si se da una adopción adecuada de la tecnología a desarrollar, es que se ha considerado una estructura de participación de los agentes involucrados que facilita y asegura la transferencia de los resultados hacia el sector productivo; en este sentido, la participación de un agricultor que actualmente está afectado y limitado en su potencial productivo por la presencia de boro en el agua, se ha considerado como la punta de lanza para efectuar la transferencia hacia el sector agropecuario objetivo; junto con lo anterior, toda vez que existirá un paquete tecnológico en el cual la Universidad de Tarapacá y los profesionales participantes (como control de calidad y prestadores de asistencia técnico económica para el empleo de la tecnología) son claves para el éxito de la transferencia. Adicionalmente uno de los objetivos específicos del proyecto, y por lo tanto una de las líneas de trabajo de la metodología se han orientado exclusivamente hacia la generación de una adecuada transferencia tecnológica.

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS
Y PROGRAMAS
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA

19. CAPACIDAD DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO

19.1. Antecedentes y experiencia del agente postulante y agentes asociados

(Adjuntar en Anexo B el Perfil Institucional y documentación que indique la naturaleza jurídica del agente postulante)

Antecedentes y experiencia agente postulante: Universidad de Tarapacá

La Universidad de Tarapacá es una corporación de derecho público, autónoma y con patrimonio propio, dedicada a la enseñanza y al cultivo superior de las artes, las letras y las ciencias, para el beneficio de la sociedad que la sustenta. No obstante su reciente creación, 11 de diciembre de 1981, la Universidad encierra una labor de más de 30 años al encarnar la fusión del Instituto Profesional de Arica, sucesor de la ex-sede de la Universidad de Chile, con la ex-sede Arica de la Universidad del Norte.

Es aspiración prioritaria de la Universidad asumir y mantener una actitud de liderazgo en la común tarea de acelerar el proceso de desarrollo integral de la Primera Región, tanto en el orden económico como social y cultural. En esta perspectiva, esta casa de estudios superiores satisface la idea de una Universidad pública y regional, estrechamente vinculada a las necesidades y aspiraciones del país en general y de la región en lo particular.

En el cumplimiento de su misión, la Universidad de Tarapacá aspira a lograr los mayores niveles de excelencia académica, concepto que engloba no sólo una elevada formación profesional de sus docentes y graduados, sino sobre todo, una actitud personal que encuentra su origen en un auténtico espíritu universitario.

En el marco de su autonomía, la Universidad de Tarapacá ha desarrollado una importante actividad relativa a la docencia, la investigación y la extensión, adoptando simultáneamente significativas decisiones para premunirse de una

adecuada estructura académica y administrativa que asegure el cabal cumplimiento de los objetivos que le son propios y de las metas específicas que se ha propuesto.

La Universidad de Tarapacá posee en la actualidad una matrícula aproximada de 5800 alumnos y ejecuta la labor de docencia, investigación y extensión gracias al aporte y dedicación de aproximadamente 250 académicos de jornada completa y media jornada, de alta calidad profesional.

Un elevado porcentaje de sus académicos, ha tenido acceso a variados programas de perfeccionamiento y cerca de un 50% de ellos ha alcanzado los grados académicos de Magister y Doctor, circunstancia que viene a constituirse en la más sólida garantía en orden a una completa y sólida formación profesional para sus educandos.

Constituye una de las mayores preocupaciones de la Universidad el lograr un constante aumento del número de graduados entre sus académicos, razón por la cual Rectoría ha impulsado adicionalmente, un sistema de becas especiales para académicos que postulen a Programas de Doctorado en universidades con reconocido prestigio internacional. Además se mantiene gran cantidad de convenios amplios de intercambio académico con Universidades nacionales y extranjeras de alto nivel.

19.2. Instalaciones físicas, administrativas y contables

1. Facilidades de infraestructura y equipamiento importantes para la ejecución del proyecto.

Esta casa de estudio esta en un proceso de desarrollo y modernización, la tabla adjunta resume sus instalaciones físicas.

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS
FUNDACION PARA LA INNOVACION AGRARIA

Áreas	Hectáreas
Biblioteca	2063.72
Laboratorios	4460.33
Centro de eventos	1107.57
Superficie de salas	3140.39
Centro de computación	614.79
Otras edificaciones	40726.04

11. Capacidad de gestión administrativo-contable.

La Universidad de Tarapacá, como agente postulante posee la capacidad administrativa y contable necesaria como para gestionar y ejecutar el presente proyecto.

La institución, en su sistema administrativo, cuenta con departamentos de Administración y Finanzas, que en forma centralizada manejan la información, disminuyendo costos fijos y aumentando la eficiencia de proceso de la gestión administrativo-contable.

Mayor antecedentes en el Anexo B.

GOBIERNO DE CHILE
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA
UNIDAD DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

20. OBJECIÓN SOBRE POSIBLES EVALUADORES

(Identificar a el o los especialistas que estime inconveniente que evalúen la propuesta. Justificar)

Nombre	Institución	Cargo	Observaciones
EMPRESAS DE SERVICIOS SANITARIOS DE TARAPACÁ S.A.	ESSAT		Intereses económicos involucrados

ANEXO A

ANTECEDENTES DEL EQUIPO DE COORDINACIÓN Y EQUIPO TÉCNICO DEL PROYECTO

GOBIERNO DE CHILE
UNIDAD DE ESTUDIOS
Y PROYECTOS
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA

Curriculum Vitae

I.- Antecedentes Personales:

Nombre : Percy Alejandro Dauelsberg Maragaño

R.u.t. :

Fecha de nacimiento: 19 de junio 1966

Nacionalidad : Chilena

Estado Civil : Casado

Dirección : Alonso de Ercilla # 866, Arica

II.- Antecedentes Académicos:

Enseñanza Básica : Completa. Escuela D-29, Arica.

Enseñanza Media : Completa. Colegio San Marcos de Arica.

Enseñanza Superior : Incompleta. Instituto Nacional de Capacitación Profesional, INACAP. Técnico en Administración de Empresas.

III.- Antecedentes Laborales:

1987 - 1988 : Representante Legal y Administrador Transportes Lamas S.R.L. Zona Franca, Iquique.

1988 - 1991 : Exportador de Frutos del País hacia Perú, Bolivia y Ecuador.

1991 - 1997 : Representante Legal y Administrador Sociedad Transportes Dauelsberg Ltda..

1997 - 2002 : Representante Legal y Administrador Transportes Paola Gaete Parra.

2002 - : Representante Legal y Administrador Sociedad de Transportes Maragaño Ltda.

IV.- Antecedentes Agrícolas :

1999 : Participación en el proyecto reforestación Servicio Agrícola Ganadero. Riego por Aspersión. Proyecto Ortuño y Nieto.

2000 : Proyecto Cultivo Comercial de Híbrido Precoz de Maíz Choclero en el Valle de Lluta, Riego por Goteo. Asesor Técnico. Ingeniero Agrónomo Sr. Enrique Calderón Diaz.

2001 : Proyecto Cultivo de Maíz Lluteño Tradicional Riego por Goteo.

2002 : Proyecto Cultivo Ajo. Riego por Goteo.

1999 – 2002 : Administrador Predio Agrícola Paola Gaete Parra, km 41 del Valle de Lluta.