

FIA-PI-C-2002-1-A-75_17

Arica, 18 de Abril del 2005

Sr. Tomás García-Huidobro.
Supervisor de Proyectos
Fundación para la Innovación Agraria
Presente.

Ref: Presentación Informe Avance Técnico Final

Estimado Sr. García-Huidobro:

Por medio de la presente tengo el agrado de hacer llegar a Ud. el original y las 2 copias del informe de avance técnico y de gestión Final correspondiente al proyecto denominado "DESARROLLO DE UN SISTEMA ECONÓMICO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE BORO EN AGUAS DE VARIAS CUENCAS PROBLEMÁTICAS DE LA ZONA NORTE HASTA NIVELES QUE VIABILICEN SU USO EN EL RIEGO PARA PERMITIR UNA AGRICULTURA DIVERSIFICADA" e identificado con el código FIA-PI-C-2002-1-A-75.

Agradeciendo desde ya su valioso aporte al éxito del proyecto por su gestión como Supervisor, y atento a cualquier consulta o inquietud por su parte, saluda atentamente a Ud.


Leonardo Figueroa Tagle
Departamento de Química
Universidad de Tarapacá
Coordinador del Proyecto

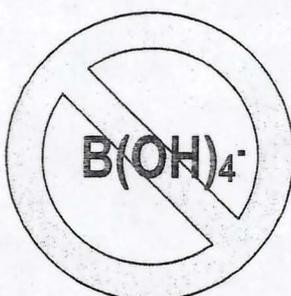


GOBIERNO DE CHILE
FUNDACIÓN PARA LA
INNOVACIÓN AGRARIA

INFORME DE AVANCE TÉCNICO Y DE GESTIÓN FINAL 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 VIABILICEN SU USO EN EL RIEGO PARA PERMITIR UNA AGRICULTURA DIVERSIFICADA.

CÓDIGO FIA-PI-C-2002-1-A-75



10 de Noviembre 2002 a 31 Marzo 2006

Tabla de Contenidos

I	ANTECEDENTES GENERALES	3
II	RESUMEN EJECUTIVO	4
III	TEXTO PRINCIPAL	7
III.1	Resumen de la Propuesta Original y Modificaciones	7
III.2	Cumplimiento de los objetivos del proyecto	13
III.2.1	Resultados obtenidos:	13
III.2.2	Impactos obtenidos:	17
III.3	Aspectos metodológicos del proyecto	19
III.3.1	Metodología efectivamente utilizada:	19
III.3.2	Principales problemas metodológicos enfrentados:	55
III.3.3	Adaptaciones o modificaciones introducidas durante el proyecto y razones:	56
III.4	Descripción de actividades y tareas ejecutadas para la consecución de los objetivos, comparación con las programadas y razones de la discrepancia	56
III.5	Resultados del Proyecto	75
III.6	Ficha técnica y análisis económico del cultivo de espárrago en el Valle de Lluta, perspectivas post proyecto.	131
III.7	Problemas enfrentados durante la ejecución del proyecto	133
III.8	Calendario de Ejecución (programado vs real) y Cuadro de Costos (Programados vs efectivos)	133
III.9	Actividades de Difusión de Resultados efectuadas	134
III.10	Impactos del Proyecto (logrados, a futuro)	134
III.11	Conclusiones y Recomendaciones	134
III.12	Otros Aspectos de Interés	134
III.13	Anexos	135



I ANTECEDENTES GENERALES

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 VIABILICEN SU USO EN EL RIEGO PARA PERMITIR UNA AGRICULTURA DIVERSIFICADA."

Código: **PI-C-2002-1-A-75**

I Región de Tarapacá.

Proyecto Adjudicado en Noviembre de 2002.

Presentado a Concurso Nacional de Proyectos de Innovación 2002.

Agente Ejecutante: Universidad de Tarapacá

Agentes Asociados: Paola Gaete Parra, Hernán Urbina Pérez.

Nombre y Firma Coordinador General: Leonardo Figueroa Tagle.

Costo Total del Proyecto:

Aporte FIA:

Periodo de Ejecución 10 de Noviembre 2002 al 31 Marzo del 2006.

II RESUMEN EJECUTIVO

El proyecto, que finaliza en su etapa de financiamiento compartido con la presentación del presente informe, se gestó inicialmente por la necesidad de encontrar una forma de incrementar las alternativas productivas, en busca de mejores perspectivas económicas que permitan romper el ciclo de pobreza actualmente predominante, para los Valles y Oasis de la Zona Norte Grande de nuestro país, muchos de los cuales se ven afectados por la excepcionalmente mala calidad del agua de riego disponible, condición determinada principalmente por la notable presencia de boratos ($B(OH)_4^-$) disueltos en cantidades entre 2 y 10 o más veces superiores a las mayores tolerancias de la gran mayoría de las especies cultivadas de importancia económica, siendo el caso emblemático y paradigmático el del Valle de Lluta, en la Provincia de Arica. En este marco, el equipo de profesionales y científicos que gestó la realización del proyecto, se planteó el desafío de encontrar una manera práctica y económicamente viable para eliminar o reducir la presencia de Boro en el agua utilizada para el riego, partiendo de la base que el exceso de este elemento por si mismo es el responsable de la escasa variedad de cultivos presentes en los lugares afectados por la presencia de esta sal.

De este modo se planteó el proyecto con el principal objetivo de encontrar un método para remover el boro presente en el agua, y posteriormente evaluar dicho método respecto de su viabilidad técnica y económica para cultivar especies sensibles a la toxicidad por este elemento, a escala piloto, en un predio agrícola del Valle de Lluta. Para proceder a ello se estableció una metodología orientada a profundizar a escala de laboratorio las experiencias acumuladas por el grupo que presentó la propuesta, hasta obtener un sistema escalable para el tratamiento del agua. Una vez que se consiguiese este objetivo, se procedería construir un sistema de tratamiento piloto para evaluarlo en el predio experimental que se estableció para ello considerando una superficie para cultivos demostrativos con riego por goteo en el predio de la empresaria agrícola Paola Gaete Parra en el Valle de Lluta.

Los objetivos de laboratorio fueron conseguidos en un periodo algo superior a lo planificado, permitiendo proyectar y diseñar un dispositivo de tratamiento a escala piloto, el cual fue construido y probado. Durante el periodo de puesta en marcha de la unidad surgieron problemas

asociados a la construcción del prototipo en si misma, que significaron un esfuerzo en tiempo y recursos para ser superado. Finalmente el equipo pudo ser operado con un éxito notable en validar los principios sustentados a nivel de laboratorio, con lo cual se procedió a comenzar el lavado del suelo para el predio experimental. Este proceso, cuyos antecedentes de laboratorio indicaban su factibilidad técnica, en la práctica se vio complicado por factores asociados a la operación del equipo (presión máxima de operación inferior a la proyectada, traduciéndose en un caudal menor al proyectado por unidad de tiempo, no obstante poder tratarse un mayor volumen de agua al proyectado por ciclo de operación) y también asociados al entorno (disponibilidad discontinua de agua para riego asociada a los turnos en época de escasez), lo que en definitiva se tradujo en un gran periodo de utilización del equipo con el único fin de lavar el terreno, atrasando el inicio de las actividades demostrativas en terreno. Una vez alcanzado el objetivo de lavado de terreno propuesto, se procedió a establecer el primer cultivo demostrativo y se tuvo un éxito relativo al poder establecer y cultivar especies altamente sensibles a Boro, pero con señales de toxicidad evidentes, las cuales posteriormente fue posible comprobar que se debieron al aumento espontáneo de la concentración de Boro en la capa superficial del suelo, arrastrado por capilaridad desde la napa freática, relativamente cercana a la superficie, del terreno experimental. Se decidió entonces probar, para fines demostrativos, con un reemplazo parcial del suelo de las hileras de cultivo con suelo con concentración de Boro conocida y baja, aislado de la capilaridad por una capa de granulometría gruesa (ripió) y un plástico perforado para facilitar el drenaje. Además se procedió a establecer directamente en suelo de Lluta otras especies sensibles al boro pero con menor sensibilidad a la salinidad total. Esta experiencia logró superar con creces las expectativas y ha producido un gran impacto al permitir apreciar el desarrollo abundante y productivo de especies y variedades hortícolas nunca antes posibles en el Valle de Lluta.

Paralelamente, en función de tener un parámetro directo de comparación que permitiese aislar el efecto de la presencia de boro en el suelo y observar solo el efecto del agua, se incorporó un agente asociado adicional al proyecto, el empresario agrícola Hernán Urbina Pérez, en cuyo predio se instaló una unidad bajo cubierta de malla que permitiese el cultivo de especies en sustratos inertes libres de boro, con una unidad de tratamiento para eliminación de boro de microescala. Esta unidad resultó también de un alto impacto demostrativo ya que permitió evidenciar

el potencial de variabilidad y excelente desarrollo vegetativo y reproductivo de las especies obtenido por medio del riego con agua reducida en boro.

Finalmente ha sido posible demostrar la viabilidad técnica y económica del sistema de tratamiento y se ha logrado la difusión de los resultados capturando un amplio interés por parte de los agricultores, autoridades del ámbito agrícola, empresarios y profesionales del agro, lo cual permite asegurar que el impacto del proyecto está siendo logrado y resultará en una adopción creciente de la tecnología desarrollada en el área de impacto del proyecto.

III TEXTO PRINCIPAL

III.1 Resumen de la Propuesta Original y Modificaciones

Los antecedentes existentes previos a la presentación del proyecto indicaban que:

- El Valle de Lluta y otros similares del Norte Grande de Chile están fuertemente afectados por la presencia de Boro en el agua de riego, lo que limita el espectro de cultivos posibles y el rendimiento de los mismos, situación que, al no estar presente en una cuenca de características edafológicas y climáticas muy similares, como la del Valle de Azapa, permite un gran desarrollo hortofrutícola y una agricultura diversificada y rentable.
- No existía una solución técnica para la eliminación del boro que fuese al menos esperable que llegase a ser compatible en términos económicos con la utilización del agua para riego.
- Existía un trabajo previo de investigación por parte del equipo científico profesional que ideó el proyecto, que demostraba las bases de una técnica que presentaba los elementos necesarios para proyectar una compatibilidad económica y técnica con el tratamiento aplicado a caudales para agua de riego.

En base a estas afirmaciones, respaldadas ampliamente en la propuesta original, se planteó el proyecto con los siguientes objetivos:

General: Desarrollar un sistema de bajo costo que permita reducir las concentraciones de boro presente en aguas 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

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.
2. Desarrollar y Evaluar la aplicación de un sistema piloto para remover el boro presente en las aguas superficiales con fines agropecuarios.
3. Preparar y Transferir el o los Paquetes tecnológicos desarrollados a los agentes afectados por la presencia de boro en las aguas.

Cada objetivo originó de esta forma una línea de trabajo, que en términos generales de metodología original, modificaciones y resultados esperados son descritas a continuación:

Línea de trabajo 1: Optimización a nivel laboratorio de un sistema de depuración de boro.

Esta línea de trabajo se planificó para profundizar el conocimiento previo y la aplicación a nivel de laboratorio del principio teórico referido a la afinidad de ciertos compuestos denominados polihidroxilados (Phi, ricos en grupos hidroxilo expuestos) para complejar de forma estable moléculas de Borato en solución de modo de permitir la remoción de este de la solución. Se evaluaron una serie de compuestos polihidroxilados y su capacidad para formar complejos Boro-Phi en solución para luego ser removidos por adsorción. Se seleccionó el compuesto con la mayor capacidad acomplejante y luego se estudiaron mecanismos para la reutilización del adsorbente. Dado que el adsorbente no resultó fácil de reutilizar, se probó el mecanismo alternativo de colocar la molécula Phi sobre un soporte inerte y se vio que este era un camino mucho más accesible para la reutilización del sistema. Finalmente se llegó a identificar un fabricante capaz de entregar a pedido una matriz macroporosa inerte recubierta en forma estable con la molécula Phi seleccionada a un costo razonable y con posibilidades de reutilización indefinida. Se probó la matriz macroporosa obtenida a escala de laboratorio y se optimizó la velocidad de flujo del agua con respecto al boro absorbido y luego se estudió y optimizó el método para llevar a cabo la remoción del boro adsorbido

antes de la reutilización, llegándose a un esquema de operación en un sistema basado en una columna con la matriz macroporosa que resultó proyectable hacia una escala mayor con relativa sencillez.

Línea de trabajo 2: Desarrollo y aplicación de un sistema piloto para disminuir el boro en aguas superficiales del valle del río Lluta, por adsorción.

Se proyectó y construyó un sistema de tratamiento de agua básico para eliminar el Boro, basado en un modelo de columna de matriz adsorbente, que serviría para tratar un caudal de agua nominal de 70 m³ por ciclo de operación referido a una jornada de trabajo (obteniendo una concentración de Boro promedio inferior a 2 mg/l). El modelo se instaló en el predio del agente asociado al proyecto Paola Gaete, ejecutándose las obras para adecuarlo al sistema de riego previamente existente. La construcción del modelo resultó inadecuada para soportar la presión asociada al caudal de operación deseado de 10 m³/hora, siendo posible, solo después de 2 reparaciones de la estructura del sistema, llegar a un caudal de operación máximo de 4,9 m³/hora, con una capacidad efectiva de tratamiento por jornada de trabajo de 35 m³.

Con este sistema se comenzó el lavado del suelo del terreno destinado a la plantación, monitoreándose periódicamente el nivel de Boro en el suelo en base a puntos fijos de toma de muestra. Durante este periodo se observó que el sistema de tratamiento mantuvo una capacidad eficaz de tratar hasta 90 m³ de agua por ciclo entre reactivaciones para obtener la concentración de Boro deseada. Sin embargo, durante este periodo se experimentaron problemas de interrupción del suministro de agua durante la época de turnos de riego (agosto-octubre 2004), que dificultaron el avance del lavado; estos problemas se solucionaron parcialmente con el inicio de la crecidas (Noviembre 2004), pero entonces la calidad del agua en términos de su riqueza de sedimentos causó una obturación de la matriz macroporosa, lo cual llevó a la necesidad frecuente de desarme del equipo para su limpieza, labor compleja y lenta dada la construcción del equipo. Paralelamente, y buscando aumentar el caudal de agua disponible en una jornada y de este modo lograr un lavado más acelerado del suelo, se construyó una unidad adicional de tratamiento de agua en un material más resistente que permitió la operación a máximo caudal, aumentando la disponibilidad total de agua a un volumen de 70 m³ diarios como estaba originalmente planeado. Sin embargo, esto solo se

tuvo disponible casi al final del periodo originalmente planificado del proyecto, con lo cual no se podría continuar con los cultivos demostrativos más allá de los mantenidos en maceteros o sustratos, que a la sazón habían demostrado fehacientemente la viabilidad técnica del equipo de tratamiento por un periodo bastante prolongado de tiempo en riego con aguas tratadas y que aún al momento de escribir el presente informe, están en perfectas condiciones.

Dada esta situación, y en virtud al interés demostrado por los asistentes a la actividad de difusión realizada para mostrar los resultados, con un marcado énfasis en la necesidad de poder ver los resultados en terreno, se procedió a solicitar a FIA un incremento de la duración del proyecto y un suplemento al financiamiento.

En la ejecución de este periodo adicional se plantearon los siguientes objetivos específicos adicionales:

- 1- Evaluar el desempeño agronómico, económico y productivo, durante una temporada productiva, de cultivos sensibles al boro de interés económico para los agricultores del valle de Lluta en el marco de un sistema de riego con agua tratada y su interacción con el sistema suelo – agua - planta.

- 2- Difundir por medio de visitas a terreno y charlas técnicas programadas, la existencia, potencialidades y resultados a escala agrícola del sistema de tratamiento desarrollado entre los agricultores de los valles afectados por esta sal, principalmente los Valles de Lluta y Camarones, así como otras zonas que enfrentan problemas menores por la presencia de boro en sistemas de riego de alta eficiencia hidráulica (Azapa, Pica, Matilla, La Huayca, Copiapó) .

- 3- Establecer las bases y mecanismos de asociación en torno al sistema de tratamiento obtenido, para obtener una entidad capaz de efectuar el desarrollo de la fabricación y comercialización de las unidades de tratamiento hacia el sector objetivo.

Estos objetivos estaban claramente orientados hacia otorgar una respuesta a la demanda de conocimiento e información detectada en el público objetivo de la propuesta.

En el marco del objetivo adicional 1, se continuó con el lavado del terreno, el cual se pudo concretar al nivel deseado solo hacia mediados de Mayo de 2005 al comprobarse en los muestreos un nivel menor a 3 ug Boro / gr de suelo. Paralelamente, y dado que el efecto del suelo sobre las especies sensibles había demostrado inicialmente ser detrimental, se incorporó al proyecto un nuevo agente asociado, el empresario agricultor Hernán Urbina Pérez, cuyo interés estaba orientado hacia el uso del agua tratada sin Boro para riego en sistemas sin suelo.

Una vez que se logró el nivel de Boro deseado en el suelo, se procedió a establecer el primer ciclo de cultivos demostrativos para lo cual se seleccionaron especies y/o variedades de cultivo altamente sensibles al Boro: Poroto Verde, Soya, Pepino de Ensalada híbrido y Maíz Híbrido Choclero (Semameris), privilegiándose la superficie destinada a Poroto Verde por estimarse un mayor potencial de impacto e interés en los agricultores, al ser un cultivo relativamente rentable e importante en la Provincia de Arica. El desempeño de los cultivos fue inicialmente satisfactorio en términos de germinación, emergencia y crecimiento. Sin embargo, durante el periodo de cultivo se observó un progresivo deterioro del crecimiento de los cultivos de Poroto Verde y Soya, mientras que el de pepino tuvo un desarrollo limitado, siendo el menor efecto detrimental en el cultivo de maíz híbrido. Al efectuar los muestreos de suelo y foliares, se pudo detectar que la concentración de boro se había elevado significativamente hasta alcanzar niveles muy similares o incluso superiores a los iniciales (antes del lavado), lo cual causó una toxicidad parcial en los cultivos, que pese a ello, y en virtud a que el agua de riego no tenía aporte tóxico de Boro, pudieron completar su ciclo productivo hasta obtenerse materia cosechable, aunque en cantidades limitadas, lo cual ya fue un logro notable ya que todas las especies utilizadas han sido descritas como absolutamente inviábiles cuando se da la existencia de Boro en el agua de riego. Ante esta realidad, se procedió a iniciar nuevamente un proceso de lavado de suelos (Octubre de 2005), pero al mismo tiempo se inició la faena de reemplazar parcialmente el suelo del terreno experimental con suelo de Azapa, libre de Boro, y aislado del efecto de la capilaridad por una capa de ripio y plástico perforado para el drenaje, lo cual solo se pudo lograr para 7 hileras de plantación dado el alto costo del traslado del terreno. Durante este periodo se detectaron problemas con los equipos de tratamiento de agua debidos a la saturación del filtro de cuarzo, que significaron la necesidad de desarmar completamente todos los elementos de cada uno de los componentes del equipo para proceder a su lavado con aguas libres

de sedimentos, tarea que hubo de repetirse dos veces con una pérdida de dos siembras experimentales por falta de suministro de agua para riego causado por esta situación. Finalmente, se decidió modificar el sistema incorporando un prefiltro de anillas que permitió evitar definitivamente el ingreso de sedimentos al sistema, sin embargo, aumentó considerablemente los tiempos de mantenimiento ya que en el periodo peak de sedimentos en el agua de riego, este filtro se saturaba cada 15 minutos, con la consecuente dificultad de operación. De este modo se pudo dar inicio al cultivo demostrativo final, incorporando una mayor variedad de especies sensibles a Boro (Melón, Sandía, Pepino de Ensalada, Zapallo Italiano, Maíz Híbrido super dulce semiprecoz, Poroto Verde, Tomate) en Enero de 2006, y que mostró un desarrollo vigoroso y notable al momento de realizar la visita a terreno y difusión finales, cautivando el interés y entusiasmo de los asistentes. Estos cultivos se han mantenido hasta el cierre del presente informe y ya se encuentran en fase de producción, y están siendo mantenidos a costo de los agentes asociados para terminar la evaluación económica y como base de demostración y transferencia.

Paralelamente, en el predio de Hernán Urbina Pérez, se procedió a construir e instalar una microestación de tratamiento con capacidad de 2100 lts de agua por ciclo de tratamiento (máximo 3 ciclos por jornada). Esta unidad se utilizó para regar cultivos en sustrato o hidropónicos en un pequeño invernadero de 25 m², en el cual, pese a que inicialmente se quería producir solamente frutillas, se incorporaron una amplia variedad de hortalizas altamente sensibles al Boro (Poroto Verde, Melón, Sandía, Pepino de Ensalada, Zapallo Italiano, Tomates cherry, Pimentón, Jengibre, Frutilla, Albahaca, Cilantro, Perejil, Romero, Ciboulette, Lechuga) que mantuvieron y mantienen aún hoy un crecimiento y un comportamiento productivo vigoroso y que siguen formando base de la demostración y promoción del proyecto y sus resultados.

Línea de trabajo 3: Preparación y transferencia de paquetes tecnológicos a agricultores afectados por la presencia de boro en el agua de riego.

En esta línea de trabajo se han ejecutado en la práctica las actividades de transferencia que se planificaron originalmente así como las contempladas en la extensión del proyecto. Se han efectuado 3 Seminarios de Difusión en Arica, Antofagasta y Camarones, y una actividad de difusión final con visita a terreno de las unidades experimentales, causando un gran impacto. Paralelamente,

y durante todo el proyecto se han efectuado visitas particulares de agricultores interesados, así como de profesionales y autoridades de entes de apoyo a la agricultura junto con dirigentes sectoriales. En todas ellas se ha generado un gran impacto al comprobar la posibilidad concreta de aumentar las posibilidades de cultivo en el Valle de Lluta. También se ha generado un Brochure (cuya versión final está en revisión) para la difusión de los aspectos más relevantes del proyecto.

En otro frente de las actividades necesarias para la generación de impacto, se han efectuado numerosas reuniones entre los entes involucrados en el desarrollo del proyecto para elaborar un acuerdo y una estrategia que permitan la necesaria agilidad y financiamiento para poder ofrecer al mercado la tecnología desarrollada con el adecuado grado de eficiencia, confiabilidad, costos y soporte técnico. La solicitud de una patente por los resultados obtenidos es uno de los resultados esperados que se encuentra retrasado en su cumplimiento debido a la necesidad de encontrar el mecanismo adecuado para asegurar su éxito dada la complejidad técnica de la materia y la utilización de un principio teórico conocido para un uso no explotado previamente. Se espera al menos obtener una patente de modelo de utilidad si la invención no resulta patentable, sin embargo este proceso es lento y no se puede esperar que esté concluido para iniciar la utilización de los conocimientos generados para usos prácticos. En este sentido, es muy importante indicar que se ha generado un Know How altamente especializado, y fuertemente orientado hacia la reducción de costos de operación variables del sistema de tratamiento, conocimientos que se encuentran en manos del el equipo científico profesional del proyecto, el cual es la base para la disponibilidad comercial de la tecnología, que a su vez es el paso fundamental hacia la generación de impacto.

III.2 Cumplimiento de los objetivos del proyecto

III.2.1 Resultados obtenidos:

Durante el transcurso del proyecto los resultados de las actividades no siempre fueron acorde a lo planificado, en particular en lo referente a los plazos considerados para la ejecución de las actividades programadas, y sin embargo, esto no afectó significativamente al cumplimiento de los objetivos esenciales de la propuesta y a la generación del impacto esperado, pese a que se tuvo que

enfrentar la ocurrencia de hechos fortuitos y otros no enteramente posibles de prever en el funcionamiento del equipo y la disponibilidad de recursos hídricos. A continuación se describen en forma resumida los logros dentro de cada uno de los objetivos planteados asociados a las líneas de trabajo planificadas y ejecutadas, que serán descritos en mayor detalle en la sección correspondiente.

Línea de trabajo 1: Optimización a nivel laboratorio de un sistema de depuración de boro.

Se obtuvieron los siguientes resultados:

- Listado de compuestos polihidroxilados con capacidad de acomplejamiento con Boro en solución y potencial de ser removido del medio acuoso por adsorción.
- Identificación fehaciente del compuesto polihidroxilado de mayor afinidad, eficacia y eficiencia para el acomplejamiento con Boro en solución.
- Comprobación de la eficacia del compuesto seleccionado en modalidad de remoción por adsorción en diversos tipos de compuestos adsorbentes, ó por retención en sistema de Osmosis Reversa.
- Comprobación de la viabilidad de usar el compuesto seleccionado unido a una matriz sólida a través de la cual se puede circular el agua en un espacio poroso limitado para reducir la cantidad total del compuesto PHI utilizado.
- Comprobación de la reutilizabilidad de la matriz solida activada con compuesto polihidroxilado para remover el boro en eventos sucesivos.
- Contacto con fabricante de matrices sólidas inertes recubiertas con moléculas específicas, confirmación de la posibilidad técnica de unir la molécula polihidroxilada seleccionada en un marco de costos acotado, establecimiento de acuerdo comercial de precios y abastecimiento con esta entidad.
- Optimización exhaustiva de la reutilización de la matriz macroporosa obtenida con énfasis en reducción de costos de regeneración.

- Parámetros de operación óptimos (caudal máximo de operación, capacidad máxima de retención, concentración de soluciones regenerantes, condiciones de flujo de consideraciones regenerantes, condiciones de flujo de enjuague).
- Bases para el diseño y escalamiento de unidades de tratamientos mayores.
- Comprobación a nivel de laboratorio de la posibilidad de lixiviar el Boro presente en una columna de suelo por medio del uso de un agua reducida en Boro.

Línea de trabajo 2: Desarrollo y aplicación de un sistema piloto para disminuir el boro en aguas superficiales del valle del río Lluta, por adsorción.

Se obtuvieron los siguientes resultados:

- Diseño básico de unidad de tratamiento a nivel piloto proyectada para una hectárea regada por goteo.
- Construcción de dos unidades de tratamiento de diseño básico.
- Comprobación de la eficacia y eficiencia del sistema piloto desarrollado para el tratamiento de caudales de riego y logro de concentraciones de Boro deseadas.
- Validación y optimización de protocolo de regeneración de matriz macroporosa entre ciclos de operación con énfasis en la reducción de gasto de regenerantes (ácido sulfúrico y soda cáustica) y agua tratada (reemplazo parcial de los enjuagues con agua sin tratar y reducción del volumen total de soluciones regenerantes empleado al utilizar pulsos de tiempo y caudal determinados).
- Verificación de la posibilidad de efectuar una lixiviación masiva del Boro presente en el suelo por medio del lavado con agua tratada.
- Verificación del impacto de la presencia de napas freáticas subsuperficiales sobre la imposibilidad de mantener el bajo nivel de Boro alcanzado tras el lavado, dada la relativamente rápida reposición del borato por medio del mecanismo de capilaridad, asociado a un efecto de toxicidad no letal en especies altamente sensibles, pero si con gran impacto sobre las posibilidades productivas del cultivo efectuado en estas condiciones.

- Verificación de la posibilidad de efectuar exitosamente cultivos altamente sensibles a Boro (que son afectados a nivel de necrosis y/o detención total de crecimiento cuando el agua de riego presenta Boro en concentraciones superiores a 10 mg/l) tanto en suelo lavado (protegido de la capilaridad) como en sustratos inertes o en sistemas hidropónicos por medio del riego con agua tratada para reducir su contenido de Boro.

- Obtención de parámetros reales de costos de Inversión y variables para el sistema de tratamiento desarrollado en las condiciones empleadas.

Línea de trabajo 3: Preparación y transferencia de paquetes tecnológicos a agricultores afectados por la presencia de boro en el agua de riego.

- Obtención de parámetros reales de costos de Inversión y variables para el sistema de tratamiento desarrollado en las condiciones empleadas.

- Bases para la disminución y optimización ulterior de costos variables por medio de mejoras en el abastecimiento de insumos, la automatización de las operaciones y el diseño hidráulico del sistema.

- Establecimiento de 2 unidades demostrativas en el Valle de Lluta completamente funcionales y en actual uso para fines demostrativos y productivos.

- Ejecución de 3 seminarios en Provincias del norte grande con cuencas afectadas por contaminación natural de Boro en aguas destinadas al Riego Agrícola (Arica, Antofagasta, Camarones).

- Ejecución de un Seminario Final y Visita a Terreno Masiva en las Unidades Demostrativas del Valle de Lluta.

- Ejecución de Visitas a terreno por parte de agricultores durante todo el periodo de extensión del proyecto.

- Establecimiento de Acuerdo base entre las entidades gestoras del proyecto para posibilitar el emprendimiento comercial que permita concretar el impacto del proyecto a través del aprovechamiento del Know How y la eventual propiedad intelectual generada por el proyecto.

- Identificación y comprobación de la existencia de mecanismos y fondos de apoyo para facilitar el acceso a la inversión es la tecnología desarrollada a partir del proyecto por medio de

crédito (Banco Estado, INDAP) o subsidio (Comisión Nacional de Riego) para agricultores con dificultades de acceso al capital.

- Posibilidad y conversaciones concretas para ofrecer e incorporar la tecnología desarrollada en el proyecto de compensación de la pérdida de terrenos agrícolas perdidas en la crecida del río Lluta de Diciembre de 2001, involucrando la entrega de 600 hectáreas en la Provincia de Arica que requieren, para su riego sin Boro, tratar un caudal de 250 lts/seg.

- Decisión del grupo gestor del proyecto (ASITEC Ltda.) de iniciar un emprendimiento agrícola, en asociación con los agricultores Paola Gaete Parra y Hernán Urbina Pérez, en Lluta, y Alex Lama Zaror (Agricultora San Martín Ltda.), en Matilla, para la producción intensiva de hortalizas en sistemas sin suelo, aplicando la tecnología de tratamiento de agua desarrollada, en combinación con métodos de fertirrigación y buenas prácticas agrícolas, con el objetivo de obtener productos de alta calidad y costo unitario reducido para abastecer a la agroindustria exportadora local.

III.2.2 Impactos obtenidos:

Gracias a la posibilidad de efectuar el proyecto que toca a su fin en su fase cofinanciada, se ha logrado generar y probar exitosamente una tecnología viable para la eliminación del boro en las aguas de riego.

Es importante destacar que, por esta vía, se otorga un gran potencial de utilización comercial agrícola a recursos hídricos relativamente abundantes en diversas cuencas de la I y II regiones, hasta ahora subvalorados y subutilizados por sus severas limitaciones cualitativas debidas al Boro, pero que, en virtud del clima privilegiado de esta zona, permiten, al subsanarse la limitación, la proyección de un gran potencial productivo, hasta ahora inexplorado.

Esto equivale a la apertura de una puerta hacia un mundo de nuevas oportunidades de cultivos y negocios para los potenciales usuarios de la tecnología. Estas nuevas oportunidades, sin embargo, llevan asociadas nuevos desafíos en cuanto a la realidad actual de los agricultores afectados por la presencia de Boro en la macro zona del norte grande, referida a la falta de acceso a capitales, falta de capacidad de asociatividad, concentración de las ventas en el mercado nacional y falta de capacidad tecnológica e infraestructura para acceder a mercados externos, todos estos aspectos que, si bien es cierto quedan fuera del ámbito tecnológico, deben ser abordados en forma

sistémica por los agentes involucrados en la promoción y desarrollo agrícolas para permitir que se masifiquen y multipliquen las posibilidades y potencialidades ofrecidas por los resultados del proyecto ejecutado.

Es particularmente importante indicar que las experiencias efectuadas evidencian que el manejo del suelo contaminado en las cuencas afectadas por boro puede ser bastante complejo, por lo cual los sistemas que prescindan del suelo como medio de enraizamiento se hacen inmediatamente más atractivos, desde un punto de vista no solo técnico sino que también económico, para ser empleados en combinación con el sistema de tratamiento de agua desarrollado para maximizar la eficiencia y la productividad del recurso hídrico que permitan llegar a producciones de máxima eficacia, tanto en diversidad y calidad como en la cantidad del producto obtenido, particularmente cuando el usuario final de la tecnología domina el "arte de cultivar con la tecnología apropiada".

Dado lo anterior, se puede enunciar que el mayor impacto logrado por el proyecto es haber logrado dar respuesta a un gran anhelo de los agricultores de las zonas afectadas por tener una herramienta que les permitiese subsanar una de las mayores limitaciones productivas que en la práctica ha determinado fuertemente su realidad económica limitándola mayoritariamente a una actividad agrícola de subsistencia. La aplicación del sistema desarrollado, en la medida que se masifique y se combine con buenas decisiones de sistema productivo, especies y variedades a cultivar en función de los requerimientos siempre dinámicos del mercado, permitirá que la Zona Norte Grande de Chile tenga una participación destacada e importante en la consecución del objetivo nacional de transformar a nuestro país en Potencia Agroalimentaria. En este sentido, es fundamental lograr un cambio en la orientación de la producción de la Zona Agrícola en cuestión, desde el mercado nacional hacia el mercado internacional, para permitir el desarrollo y la expresión del potencial productivo que se encuentra largamente subexplotado.

Finalmente, es preciso indicar que, a raíz de los resultados obtenidos y el Know How desarrollados, se espera ofrecer en un corto plazo al mercado sistemas de tratamiento para la venta, en la modalidad de proyectos a la medida de las necesidades y cultivo que cada usuario requiera, con un servicio de Post Venta incluido. Las características superiores que se incorporarán a este equipo serán las siguientes:

- Diseño hidráulico optimizado para maximizar eficiencia.
- Diseño Modular para garantizar flexibilidad y crecimiento.
- Automatización de la operación y regeneración.

III.3 Aspectos metodológicos del proyecto

III.3.1 Metodología efectivamente utilizada:

Línea de trabajo 1: Optimización a nivel laboratorio de un sistema de depuración de boro.

Durante el primer semestre de ejecución, en esta línea de trabajo se realizó una serie de actividades destinada a hacer un screening preliminar de los materiales adsorbentes en relación a su capacidad de retener el complejo boro-phi formado con compuestos polihidroxilados de la melaza versus controles sin estos compuestos polihidroxilados, y observar en términos generales el efecto del pH de la solución tratada sobre la adsorción en una cama adsorbente clásica de carbón activado.

La primera evaluación realizada fue la determinación del contenido nativo de boro de los adsorbentes carbón activado, diatomita, sílica gel y celulosa, con el objetivo de descartar una contaminación por esta fuente del agua a tratar. Esto se efectuó mediante la extracción con un volumen de 10 ml de agua destilada de una muestra de 1 gramo durante una hora de cada uno de los distintos adsorbentes, esto se repitió a pH entre 5 y 8. Este extracto se sometió a análisis con 2 repeticiones para determinar el contenido de boro con la técnica de la azometina cuyo nivel de sensibilidad es de 0,02 mg/lit de boro.

En una segunda evaluación se determinó si el tiempo de contacto entre el adsorbente y el agua tenía un efecto significativo en la adsorción del complejo boro phi. Para ello se empleó un modelo tipo batch en que un volumen determinado de agua recolectada en el valle de Lluta a la cual se le añadió una concentración conocida de compuesto polihidroxilado fue colocado en un matraz junto a un volumen determinado de adsorbente y se agitaron varias repeticiones para determinar el contenido de boro a diversos tiempos de contacto (intervalos de 30 minutos). Se

tomaron muestras en cada intervalo de tiempo y se analizó el contenido de boro remanente en el agua con la técnica de la azometina. El criterio de selección del tiempo mínimo de contacto fue aquel a partir del cual no se observase una mayor disminución del boro remanente en el agua.

Una vez determinado el tiempo mínimo de contacto, se procedió a evaluar preliminarmente el efecto del pH sobre la adsorción lograda, para lo cual se utilizó el mismo modelo tipo batch con agitación por el tiempo mínimo determinado, en el cual los tratamientos fueron el adsorbente (3 tipos de celulosa, diatomita, carbón activado y silica gel), el pH (5, 6, 7 u 8) y la adición o no de phi de melaza. Los resultados se analizaron por medio de un software estadístico (SPSS) para identificar diferencias entre tratamientos.

En una segunda serie de experimentos se evaluó la efectividad de diversos compuestos polihidroxilados (phi) respecto la posibilidad de reducir la concentración de boro en un modelo de tratamiento en que el agua problema en la cual se disuelve el phi pasa por una columna adsorbente, buscando un acercamiento hacia el modelo prototipo de tratamiento. En este sentido se realizaron numerosos experimentos en los cuales la metodología general consistió en preparar un volumen de agua recolectada directamente de un canal de riego del valle de Lluta a la cual se le añadió el phi a evaluar en una concentración conocida y luego se hizo fluir en un sistema hermético cerrado que usa la succión de la bomba de vacío para hacer fluir el agua a través de la columna de material adsorbente que ha sido preferentemente de carbón activado. Los tratamientos empleados fueron: pH ajustado del agua problema (entre 5 y 8), phi, concentración del phi, granulometría del carbón activado. Se recolectaron muestras cada 500 ml circulados a través del sistema y se trataron 10 litros de agua cada vez. Todos los análisis de boro se hicieron con el método de la azometina por su mayor sensibilidad.

Durante el segundo periodo informado, se realizaron una serie de experiencias planificadas en función de los resultados obtenidos en el periodo anterior, que a su vez generaron la necesidad de efectuar nuevas pruebas hasta llegar al resultado esperado.

Utilización de una matriz adsorbente sintética específica para carbohidratos:

Se solicitó una muestra comercial de matriz macroporosa específica para retener hidratos de carbono, que de acuerdo a la hipótesis de trabajo que describe la formación del complejo complejo boro-PHI, es posible inferir que esta matriz es capaz de retener el complejo a través de su molécula polihidroxilada (que es por sí misma una molécula de carbohidrato) lográndose abatir el boro del agua.

El compuesto adsorbente que se utilizó es una matriz polifenólica no polar específica para absorber compuestos orgánicos cuya denominación comercial es DA201-C, de origen asiático, cuyo costo aproximado es de US\$ 4 por Kg. y puede ser reutilizada indefinidamente.

La experiencia fue realizada en el sistema columnar que se construyó para la etapa de laboratorio, descrito en el informe previo, y se utilizó agua a la cual se le añadieron los compuestos PHI que hasta el momento habían dado mejor resultado en pruebas tipo batch (Melazán y Manitol 500 mg/l).

La prueba consistió en hacer pasar por la columna de alrededor de 500 ml de la matriz macroporosa contenida en una columna cerrada, un volumen de agua del río Lluta con concentración de boro conocida y una concentración de compuesto PHI determinada, a un flujo constante de alrededor de 18 veces el volumen de la matriz macroporosa por hora, tomándose muestras del efluente desde la columna cada 2 volúmenes de agua (con respecto al volumen de matriz macroporosa) tratados. Es importante especificar que el flujo de agua se fuerza por medio de succión o bombeo en contra de la gravedad a través de la columna, lo cual mejora la distribución del agua en la matriz macroporosa y aumenta la probabilidad de adsorción del complejo boro phi en la matriz polifenólica. Las muestras tomadas son analizadas respecto a su contenido de boro, encontrándose los resultados y su análisis en la sección correspondiente del presente informe.

Screening de compuestos PHI alternativos.

Se evaluó el funcionamiento del compuesto n-metil-glucamina por sus características de ser un compuesto polihidroxilado de alto peso molecular y que la literatura describe como uno de los que mayor afinidad tiene para la formación del complejo boro-phi, junto con el manitol. Se adquirió este compuesto en forma pura de carácter analítico a partir de Merck, y

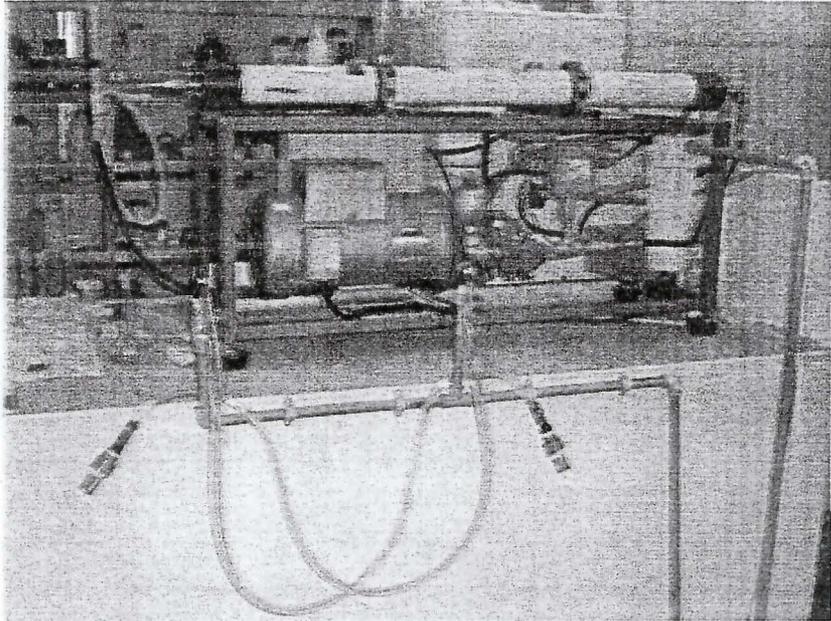
además se obtuvo una muestra de producto calidad granel de un proveedor asiático. El producto a granel tiene un costo al por mayor de US\$ 5 por Kg.

La evaluación fue realizada en el sistema columnar ya descrito, esta vez preparada con un volumen de 800 ml de adsorbente carbón activado (para hacerla comparable a los resultados obtenidos para los otros compuestos PHI evaluados previamente), y se utilizó agua a la cual se le añadió n-metil-glucamina en un rango de concentraciones (500 y 1000 ppm).

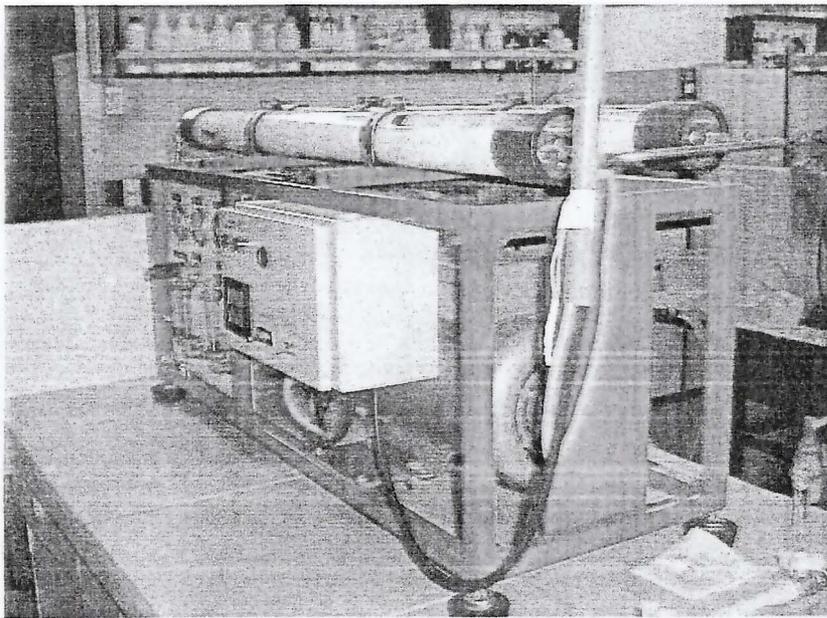
La prueba consistió en hacer pasar por la columna adsorbente, un volumen de agua del río Lluta con concentración de boro conocida y la concentración de n-metil-glucamina a ensayar (500 o 1000 mg/l), a un flujo constante de alrededor de 18 veces el volumen de la matriz macroporosa por hora, tomándose muestras del efluente desde la columna cada 2 volúmenes de agua (con respecto al volumen de lecho adsorbente) tratados. También se utilizó un flujo de agua contra la gravedad. Las muestras tomadas fueron analizadas respecto a su contenido de boro, encontrándose los resultados y su análisis en la sección correspondiente del presente informe.

Utilización de complejo boro phi como alternativa para mejorar eficiencia de sistemas OI con respecto al abatimiento del borato.

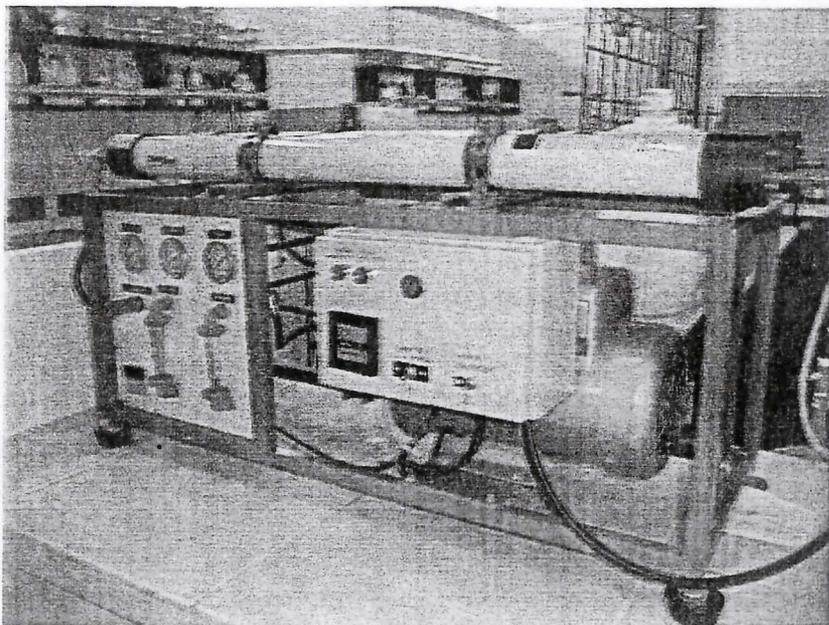
La planta de Osmosis Inversa utilizada pertenece a la Facultad de Mecánica en el Campus Saucache, para facilitar el uso de esta en el proyecto, fue necesario trasladarla e instalarla en el laboratorio N°2 del departamento de Química en el Campus Velásquez donde se ejecuta el presente proyecto. Para ello fue necesario contratar a los profesionales indicados para la revisión, adaptación, tanto de los aspectos mecánicos así como eléctricos de la planta, para su instalación y puesta en marcha. Debido a los alto requerimientos energéticos de la planta y por la seguridad del personal que la opera, se debió hacer en el laboratorio una instalación aparte de energía trifásica con tierra independiente.



Vista lateral del equipo de OI: Tuberías de alimentación, bomba de alta presión, prefiltro



Vista lateral del equipo de OI: Panel de interruptores y conexión eléctrica.



Vista lateral del equipo de OI: Panel de controles de presión y flujo. En la parte superior se observan los vasos de alta presión que contienen los cartuchos de membranas de OI.

Características de la planta de OI

El equipo de Osmosis Inversa de la UTA es un modelo SEA PRO SP600, recomendado para la desalinización de agua de mar. Posee membranas de configuración en espiral construidas en poliamida tipo TFC (Thin Film Composite), para retener partículas mayores o igual a 5 micras.

Todas las experiencias se efectuaron bajo las condiciones de trabajo recomendadas para la operación del equipo para el tratamiento de agua de mar, a saber:

Presión de trabajo [psi]	Flujo permeado [lit/min]	Flujo rechazo [lit/min]
720	5	7

La capacidad de remoción de boro informada para este equipo a partir de agua de mar es inusualmente alta para los niveles de rechazo de boro reportados en literatura, ya que este

aparato logra reducir esta concentración desde 4,3 a 0,79 mg/l (81%), cifra que sin embargo, resulta insuficiente para aguas con concentraciones de Boro superiores a 20 mg/l.

Evaluación del efecto de diversos phi sobre la eficiencia de abatimiento del boro en OI.

El trabajo experimental efectuado en el equipo descrito se basó en la hipótesis de trabajo que establece que el tamaño del complejo Boro-PHI es potencialmente rechazado en mayor proporción por un membrana de OI respecto al ión borato sin acomplejamiento. Para probar esta hipótesis se diseñó una serie de experimentos en las cuales se probó el efecto de los compuestos PHI disueltos en agua del río Lluta sobre el desempeño de del proceso de Osmosis Inversa. Como tratamientos control se trató en la planta de OI a las mismas condiciones de operación, agua potable sin PHI y agua del río Lluta sin PHI.

Los compuestos PHI utilizados fueron los siguientes:

PHI	Mg/l aplicados en solución acuosa	US\$/Kg
Manitol	500	10
N-metilglucamina	500	5
Melaza	1000	0,14
Glicerol	500	1
Pentaeritritol	500	2

La serie de experimentos se llevó a cabo tratando un volumen de 50 litros de agua del río Lluta por cada compuesto PHI en estudio, que fueron bombeados a través del sistema de OI a la presión y caudales indicados, recogándose muestras tanto del agua tratada como del agua rechazada cada 10 litros de flujo para comprobar el nivel de boro con respecto a la muestra sin tratar. Los resultados y su discusión se muestran en la sección correspondiente.

Efecto de la concentración de N-metilglucamina en el abatimiento de Boro en agua tratada con OI

Dado que el compuesto n-metilglucamina resultó notablemente eficaz en aumentar la eficiencia de abatimiento del boro del sistema de OI, se profundizó en el estudio de este efecto al variar la concentración del compuesto aplicada al agua como modo de optimizar el costo del tratamiento.

Se trató por OI volúmenes de 50 lts. de agua del río Lluta con nivel alto de concentración de Boro (32,16 mg/l), a los cuales se les añadió diferentes concentraciones de N-metilglucamina y se evaluó el contenido de boro resultante en el agua tratada y rechazada, cada 10 litros de flujo obtenido. Se demostró una relación directa y proporcional entre el abatimiento logrado y el nivel de n-metilglucamina añadido. Los resultados y el análisis de los mismos se muestran en la sección correspondiente.

Efecto del pH en el abatimiento de boro en el agua tratada con OI con N-metilglucamina como PHI

El efecto del pH del agua a tratar por osmosis inversa sobre la eficiencia de remoción del boro disuelto es conocido dado que a pH bajos tiende a predominar la forma disociada (ión borato) que es de menor tamaño y por lo mismo es poco rechazado por las membranas de OI, mientras que a pH sobre 7, la forma predominante es de mayor tamaño y por ende puede ser rechazado con mayor eficacia por la membrana. Un fenómeno análogo ocurre con la formación del complejo boro phi, que es pobre a pH bajos y aumenta con pH superiores a 7. Dado que el compuesto PHI de mejor efecto sobre la eficacia del equipo OI fue la n-metilglucamina, se realizó una serie de experiencias para evaluar la eficacia del abatimiento del complejo boro n-metilglucamina en un rango de pH ajustados previamente al tratamiento. A una misma concentración de N-metilglucamina de 0 ó 200 [ppm], se ajustó el pH del agua del río Lluta con ácido y base, según fuese necesario, en volúmenes de 50 lts. Los resultados, que se exponen y analizan en la sección correspondiente, confirmaron la información existente la hipótesis de trabajo.

Validación del PHI N-metilglucamina en una planta de OI productiva

Como ya se mencionó, la relativamente alta eficiencia de remoción de boro observada para el equipo de OI de la Universidad de Tarapacá motivó la inquietud de validar el los resultados obtenidos en un equipo de OI de características convencionales. Para ello, se repitió la experiencia de tratar agua del valle de Lluta con tres concentraciones de N-metilglucamina en la planta de OI del Centro de producción de insectos estériles del Servicio Agrícola Ganadero, que se utiliza diariamente para la producción de agua desalinizada para los laboratorios de crianza de mosca de la fruta.

La planta del Centro de operaciones del SAG es en una planta que opera a presiones significativamente menores que la planta de la Universidad de Tarapacá, y emplea una membrana FT 30 compuesta de tres capas, de poliéster y polisulfonato. Retiene partículas mayores o igual a 2000 Angstroms.

En esta experiencia se utilizó agua de pozo del centro de operaciones, con un contenido de Boro de 23.97 [ppm], cuyo pH era de 7,65 con una conductividad de 3,76 mS. Se emplearon concentraciones de n-metilglucamina de 0, 100, 200 y 350 mg/l disueltas en el agua a tratar.

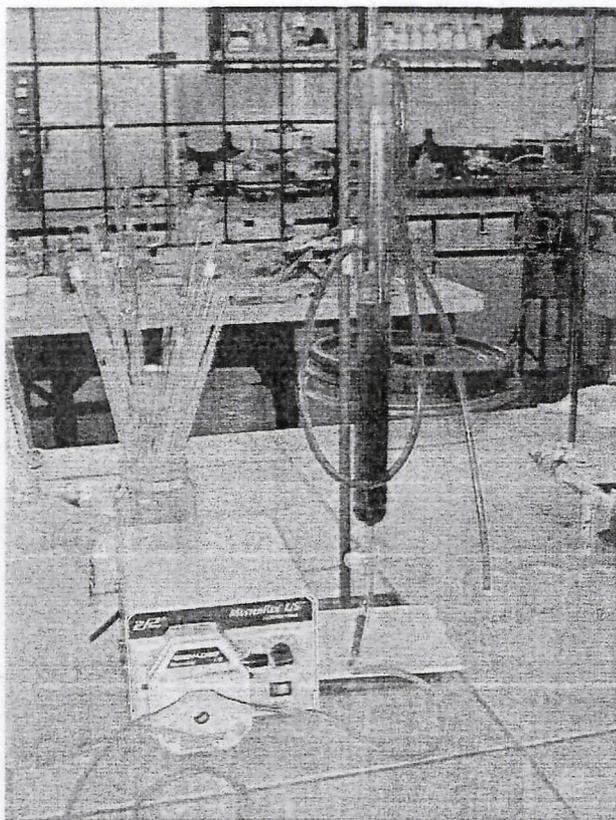
Los resultados obtenidos en la planta de OI del SAG, que se entregan en detalle más adelante, permitieron validar el efecto significativo de la n-metilglucamina sobre la eficiencia de abatimiento del boro, aunque también confirmaron que una planta de OI convencional tiene una eficiencia muy pobre en la remoción de boro.

Utilización de la propiedad adsorbente del carbón activado para retener el PHI como forma de aumentar eficiencia de la reacción boro PHI

Se evaluó el abatimiento del boro en agua del río Lluta filtrada sin sólidos, en una columna con 100 ml de carbón activo empacado, a flujo constante de 26 ml/min (equivalente a 15,6 volúmenes de la cama absorbente por hora). Los tratamientos evaluados fueron:

Tratamiento 1 (T1):	Se evaluó el abatimiento del Boro pasando agua sin PHI, por una columna con carbón activado (Tratamiento Control).
Tratamiento 2 (T2):	Se evaluó el abatimiento del Boro pasando agua con 500 ppm de N-metilglucamina en solución, como PHI, por una columna con carbón activado.
Tratamiento 3 (T3):	Se evaluó el abatimiento del Boro pasando agua sin PHI en una columna con carbón activo, al cual previamente se le había saturado con N-metilglucamina como PHI, a una razón de 0,135 gr de N-metilglucamina/Volumen total de Carbón activado
Tratamiento 4 (T4):	Se evaluó el abatimiento del Boro pasando agua sin PHI en una columna con carbón activo, previamente saturado con N-metilglucamina como PHI a una razón de 0,135 gr de N-metilglucamina/Volumen total de Carbón activado y tratado con las soluciones ácidas y básicas antes de tratar el agua.

El modelo columnar empleado se observa en la figura siguiente:



De acuerdo a los resultados obtenidos, expuestos en detalle más adelante, el tratamiento más exitoso es el obtenido en la columna con carbón activado saturado con N-metilglucamina, previamente lavado con la solución ácida de lavado. A igual número de volúmenes se obtiene agua producto con menor concentración de Boro.

Reuso del carbón activado saturado con N-metilglucamina

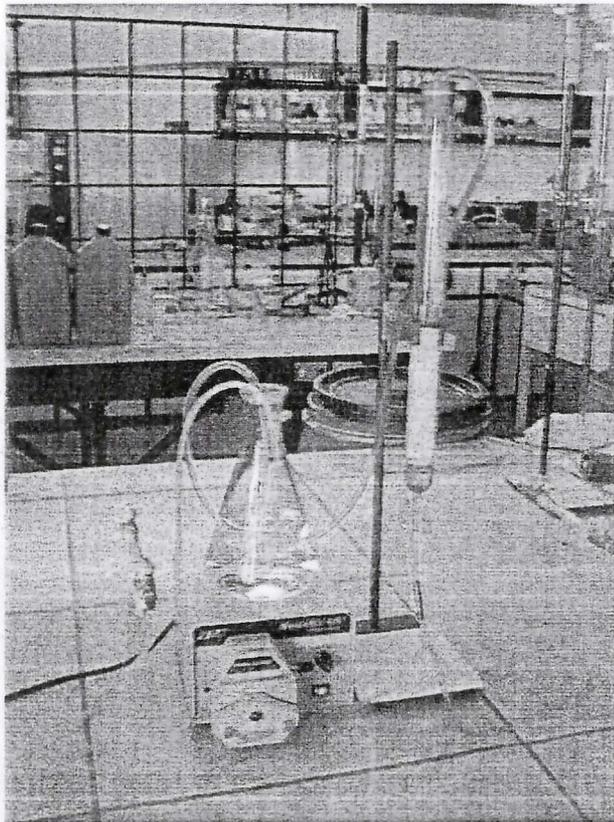
Se realizó un lavado ácido a la columna con carbón activo activado con N-metilglucamina y se usó dos veces más. De los resultados es posible apreciar que la columna va perdiendo con cada lavado su capacidad de abatimiento de boro respecto a la capacidad de abatimiento lograda en el primer ensayo.

Utilización de Matriz macroporosa inerte ligada a PHI como forma de incrementar la eficiencia de la reacción boro PHI

Dado que se observó que el carbón activado tendía a perder su eficacia entre lavados, fue necesario reevaluar toda la situación para encontrar una posible solución escalable a nivel piloto. El concepto básico asociado a la reutilización de una matriz adsorbente es muy similar al concepto de una resina de intercambio iónico, en el sentido de que una partícula insoluble está recubierta por una red de grupos activos que intercambian iones con la solución acuosa que se pone en contacto con una solución acuosa, pero que no se pierden ni saturan irreversiblemente en el proceso. Se analizó en ese momento la posibilidad de encontrar una forma de unir la molécula de N-metilglucamina en un soporte inerte, y se observó que este tipo de producto existía comercialmente, aunque su costo resultaba claramente incompatible con la utilización agrícola, ascendiendo a 40 euros por kilogramo. Sin embargo, fue posible identificar un fabricante genérico de este tipo de materiales, que tras conversaciones y negociaciones, permitió obtener un material de características análogas, e incluso superiores en cuanto a su contenido efectivo de n-metilglucamoina, a los disponibles en el mercado, pero por un módico costo de 5 euros por kilogramo, quedando establecido un acuerdo para mantener la confidencialidad de la relación comercial. El material así obtenido, fue recibido en calidad de muestra para probar la efectividad del abatimiento del boro en

forma de una matriz macroporosa de poliestireno-divinilbenceno recubierta con n-metilglucamina. Para estos ensayos se empleo agua de la cuenca del valle de Lluta con un alto contenido de boro. Esta experiencia se realizó en un sistema columnar de vidrio de 3.5 cm de diámetro con un volumen empacado de 100 ml de matriz retenida en una malla de nylon para evitar su dispersión por el flujo de agua. Es importante entender que la reacción que ocurre a nivel de la molécula de n-metilglucamina adherida a la matriz inerte no es un intercambio iónico, sino que una adsorción simple por afinidad, muy estable en el rango de pH sobre 4, y que se rompe eficazmente a pH inferior a 2, por lo cual es muy sencillo remover el Boro una vez que se satura la capacidad adsorbente, que puede determinarse estequiométricamente por la cantidad de n-metilglucamina disponible en la superficie de la partícula inerte.

La siguiente figura muestra el sistema utilizado



Se trabajo a un flujo constante de alimentación de agua, con una bomba peristáltica, a 1,8 lt/hr (18 volúmenes de la cama adsorbente por hora) y flujo contra la gravedad. De esta forma se evitó la compactación de la columna y se aseguro que toda la matriz macroporosa estuviera en constante contacto con el agua.

Se muestreó y analizó el agua tratada cada cierto número de volúmenes de cama empacada (N°VE), es decir, la razón entre el volumen de agua tratada con respecto al volumen de matriz macroporosa.

$$\text{N}^{\circ}\text{VE} = \frac{[\text{Volumen de agua tratada a través de la columna}]}{[\text{Volumen de matriz macroporosa de la columna}]}$$

El agua saliente del sistema se muestreo a intervalos determinados por volúmenes de agua tratada, a cada muestra se analizó por concentración de boro en mg/L, pH y conductividad eléctrica (CE).

Fue posible concluir que la matriz macroporosa obtenida resultó muy eficaz y específica para el abatimiento del boro en solución, al llevar el principio teórico en que se han basado todas las experiencias hasta aquí efectuadas a un nivel superior de eficiencia por la porosidad y arreglo espacial de los grupos polihidroxilados sobre las partículas de poliestireno. Se observó además que la remoción del boro altamente eficiente de esta manera, además resultó altamente selectiva ya que la conductividad eléctrica no varía respecto a los valores del agua sin tratar. El agua tratada o el agua desboratada presento valores de pH entre 7 y 8.

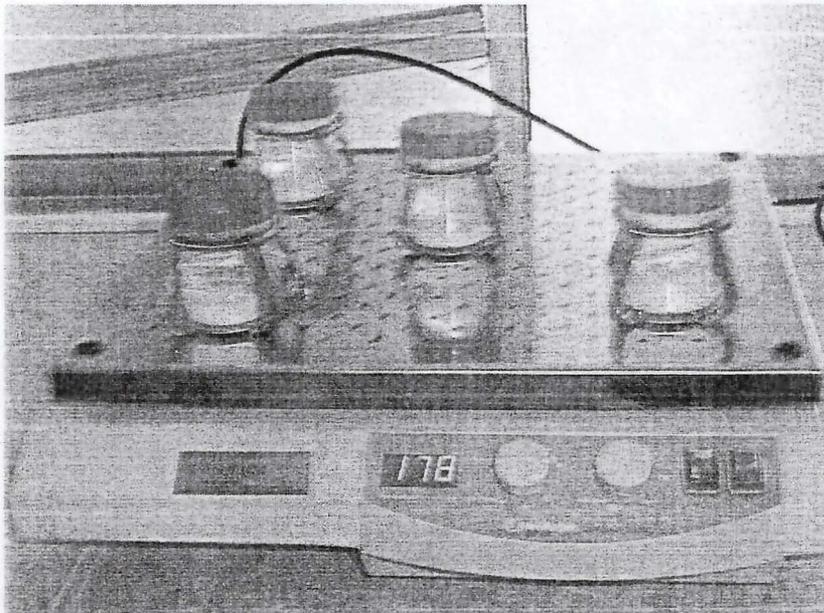
Evaluación de la Capacidad de la matriz macroporosa

Se efectuó una experiencia diseñada para evaluar el volumen máximo de agua posible de tratar (referido al volumen total de matriz macroporosa presente en la columna), antes de saturar los grupos polihidroxilados de la n-metilglucamina con boro. El experimento se llevó a cabo con agua proveniente del río Lluta con niveles distintos de boro en solución. La saturación de la columna se determinó muestreando a intervalos regulares el agua tratada hasta que se observase

un incremento notorio del boro disuelto, estableciéndose como máximo permitido un umbral de 3 mg/l.

Protocolo de lavado y re-uso de la matriz macroporosa

Con objeto de evaluar la reutilización de la matriz macroporosa de n-metilglucamina, se diseñó una serie de pruebas para observar el efecto del tiempo de contacto y concentración de la solución ácida de lavado, que se efectuaron en sistema batch con agitación orbital. Para ello se saturó un volumen conocido de la matriz macroporosa con boro, que se dejó por 24 hrs en agitación con agua boratada a una concentración de boro de 23,9 mg/l. Saturada la matriz macroporosa, se tomaron volúmenes iguales para ser tratados con soluciones acuosas de H_2SO_4 a diferentes concentraciones, y a cuatro tiempos de agitación entre 30 y 129 min. como se observa en la siguiente imagen.



Para optimizar y validar los resultados obtenidos en el primer ensayo de lavado ácido, se realizó un nuevo ensayo tendiente a acotar con mayor precisión la concentración de ácido para optimizar la desorción del boro retenido. Se logró determinar una concentración mínima óptima

de H_2SO_4 para lograr remover el 100% del boro retenido en la matriz, y un tiempo mínimo de contacto entre la solución de lavado ácida y la matriz, que permite que esta remoción se manifieste.

Desarrollo de Modelo de laboratorio basado en Matriz macroporosa inerte ligada a PHI para obtener parámetros de diseño de sistema piloto.

Flujo de operación del sistema continuo de abatimiento de boro en columna con una matriz macroporosa de N-metilglucamina

Para determinar el flujo máximo al cual se puede hacer circular el agua a tratar por la columna de matriz macroporosa, parámetro que determina la mayor restricción para el diseño de un sistema de mayor escala, se diseñó un experimento basado en la columna de vidrio con la matriz macroporosa a diferentes flujos de alimentación del agua del río Lluta con una alta concentración de boro. El agua fue alimentada en forma ascendente a través de la columna para evitar la canalización y la compactación de esta. En cada una de las experiencias se ocupó el mismo volumen de matriz macroporosa, y la misma fuente de agua boratada, de manera que el único factor a evaluar sea el flujo. Para determinar el flujo de operación adecuado, se midió el nivel de boro del agua tratada de acuerdo al número de volúmenes de cama empacada (N^oVE). Se logró así determinar un flujo de operación que permitiese una remoción eficiente del boro en el agua.

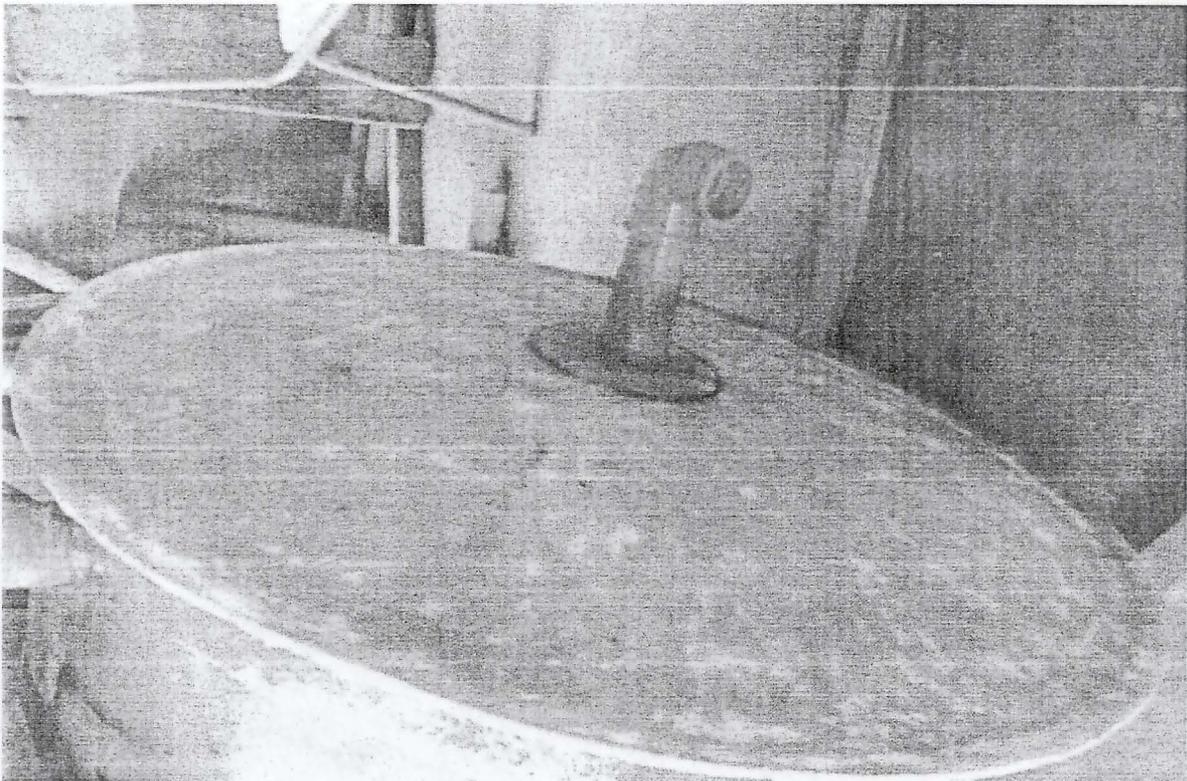
Lavado y reuso de la matriz macroporosa en columna

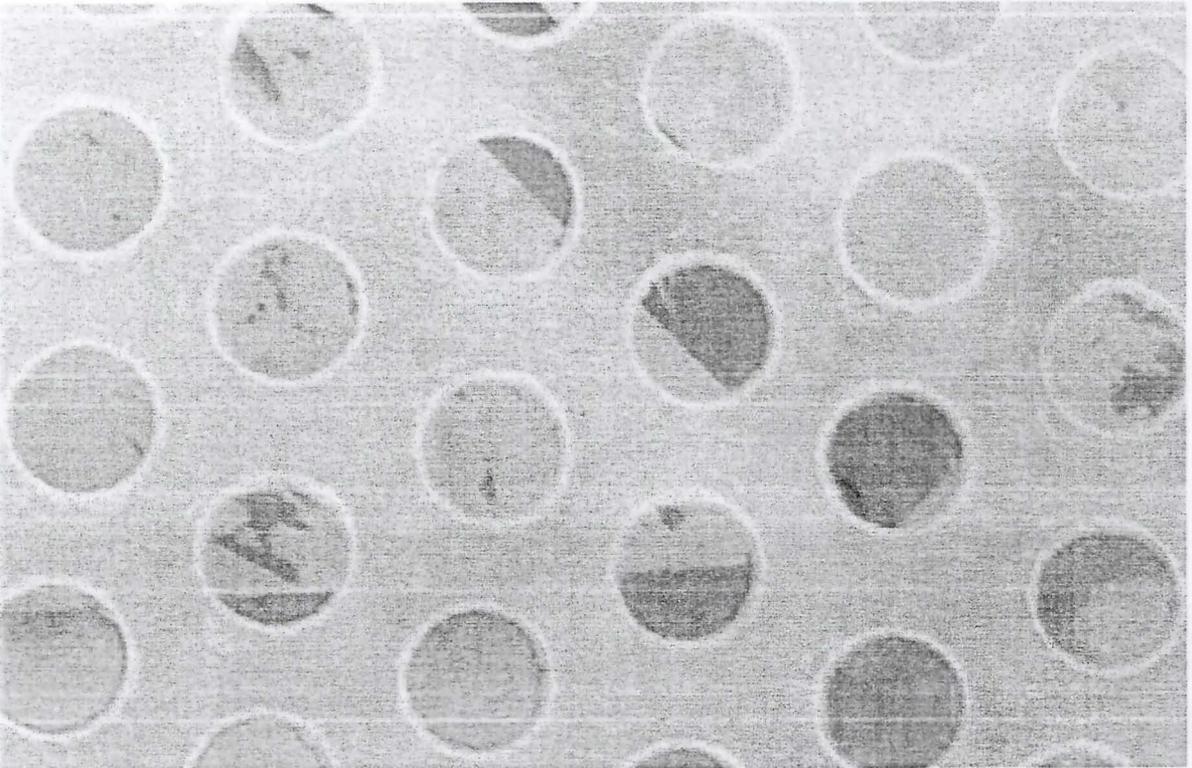
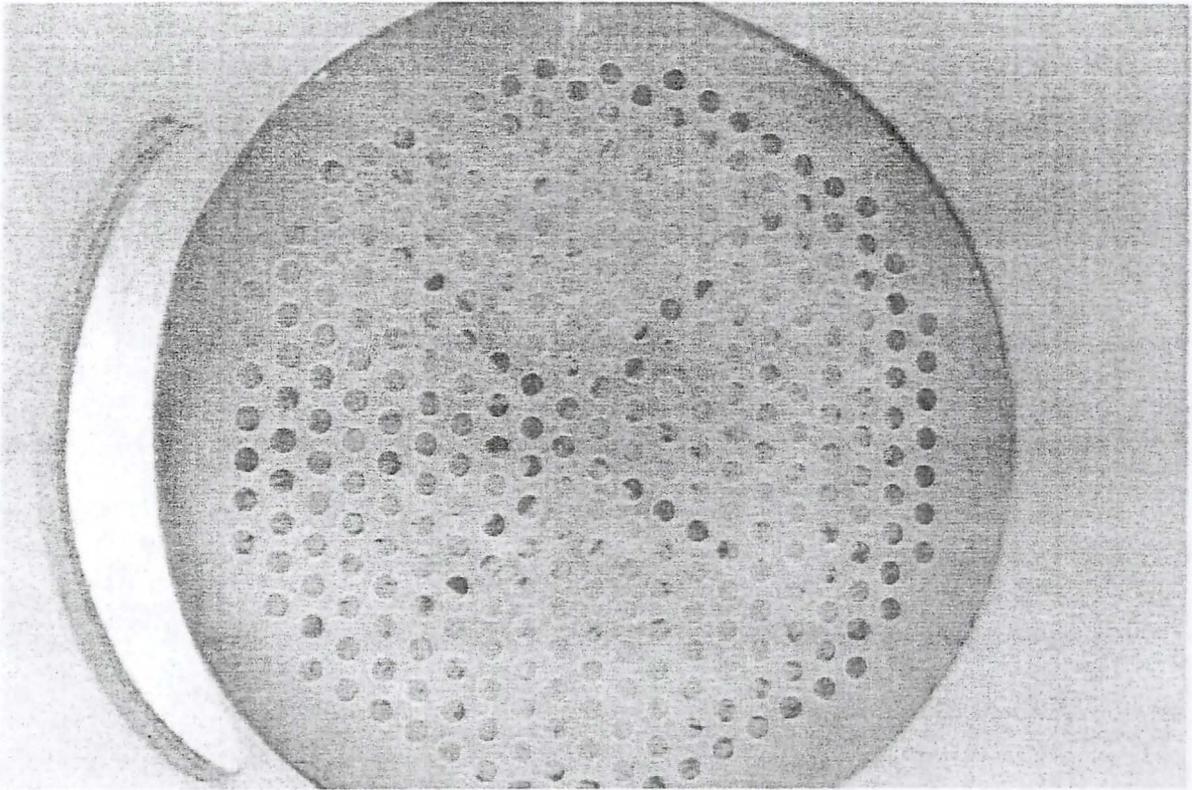
En base a los resultados del protocolo de lavado en batch, se estableció un protocolo de lavado para la remoción del boro adsorbido en columna de la matriz macroporosa. Establecido el protocolo de lavado, se trató agua con alto contenido de boro empleando en forma reiterada la misma matriz macroporosa hasta su saturación. Se emplearon 12 litros de agua con una concentración de boro que osciló entre 25-28 mg/l para un volumen de la matriz macroporosa en columna de 100 ml., es decir para un número de volumen de cama empacada de 120 N^oVE.

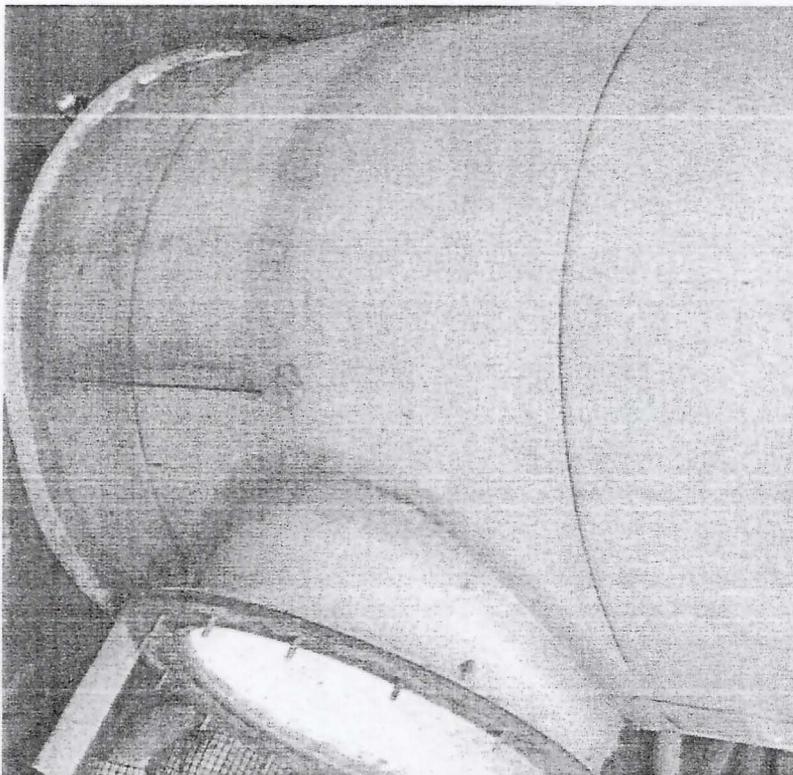
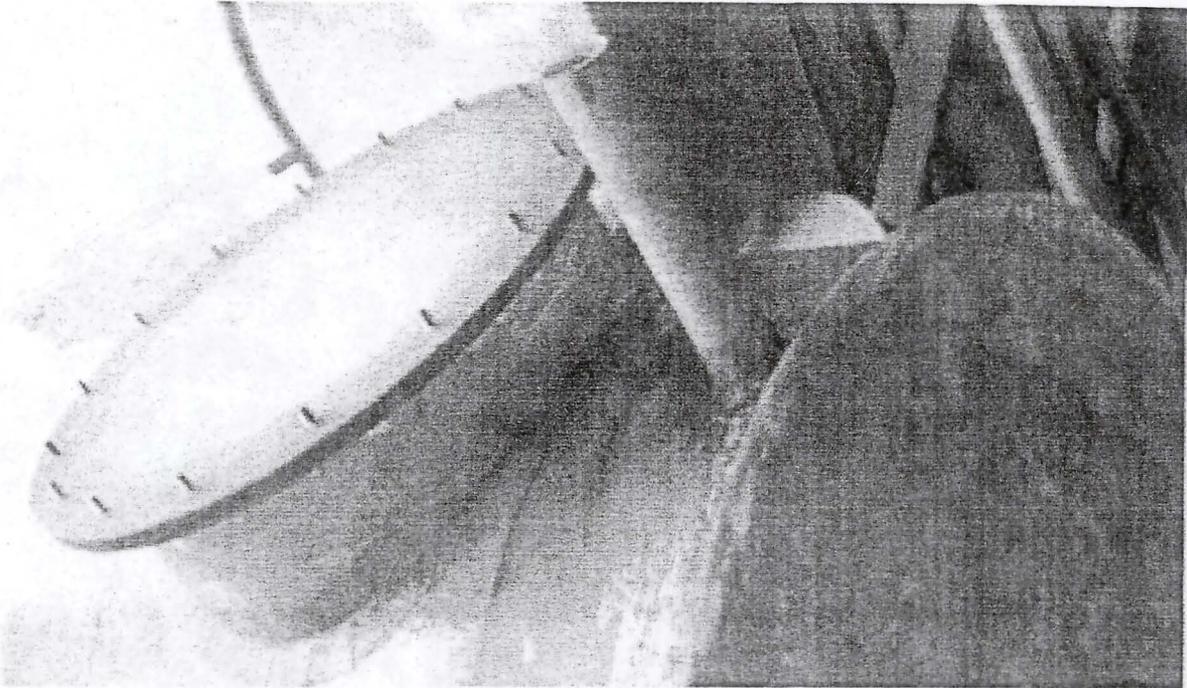
Con esta actividad se daba prácticamente por terminada la etapa de investigación, puesto que se sentaron todas las bases necesarias para el diseño de la etapa piloto.

Línea de trabajo 2: Desarrollo y aplicación de un sistema piloto para disminuir el boro en aguas superficiales del valle del río Lluta, por adsorción.

En base a los rangos de operación óptimos determinados para la operación de una columna de matriz macroporosa con n-metil-glucamina a nivel de laboratorio, se diseñó y proyectó una unidad de tratamiento para sustentar el riego por goteo de 1 hectárea de cultivos experimentales sensibles al boro. El sistema se diseñó para tratar una cantidad nominal de 70 m³ de agua por jornada de riego, correspondiente al nivel máximo observado de evaporación en bandeja evaporimétrica para el valle de Lluta (7 mm/día). En base a este diseño, se solicitó a un fabricante de piezas de fibra de vidrio que construyera el equipo. Las siguientes fotos se tomaron durante la fabricación del cuerpo principal.





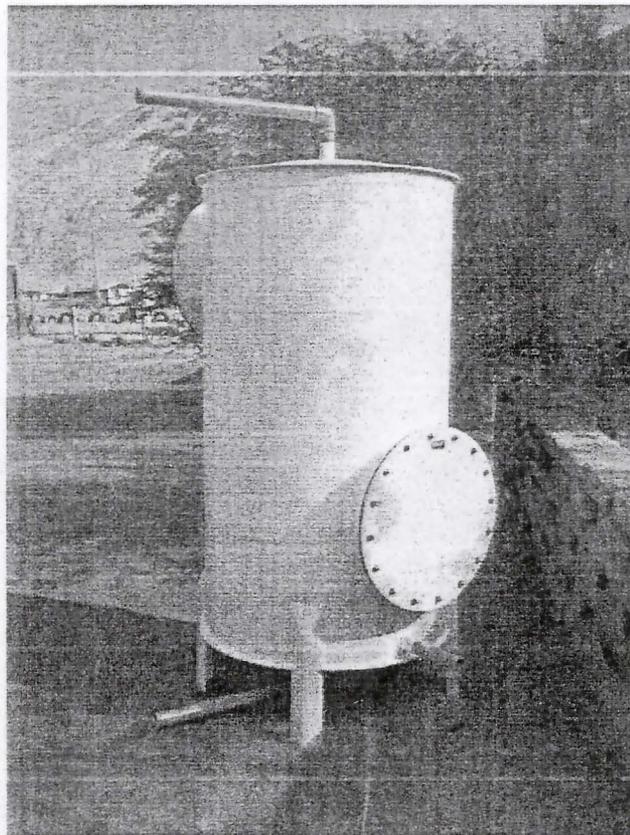


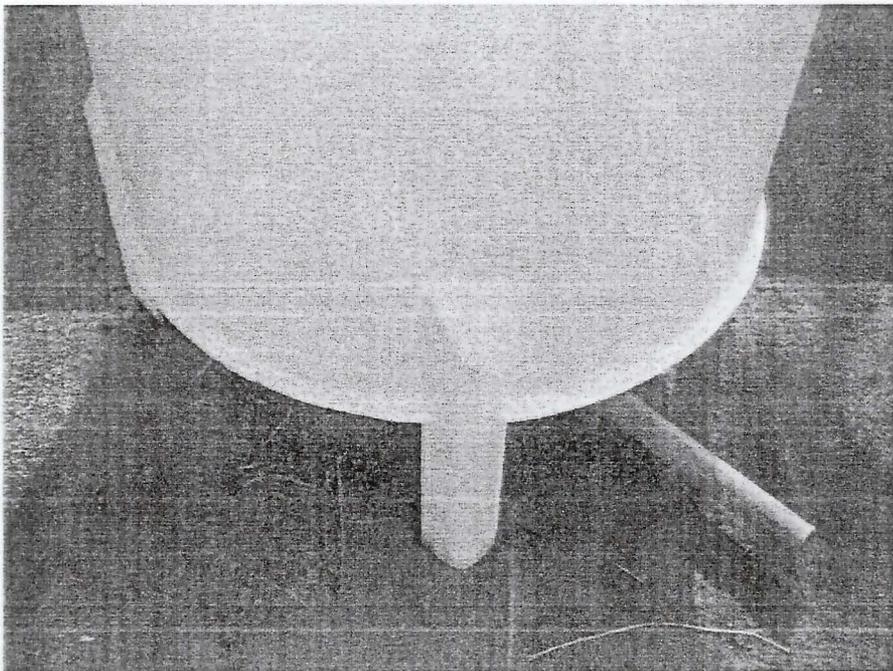
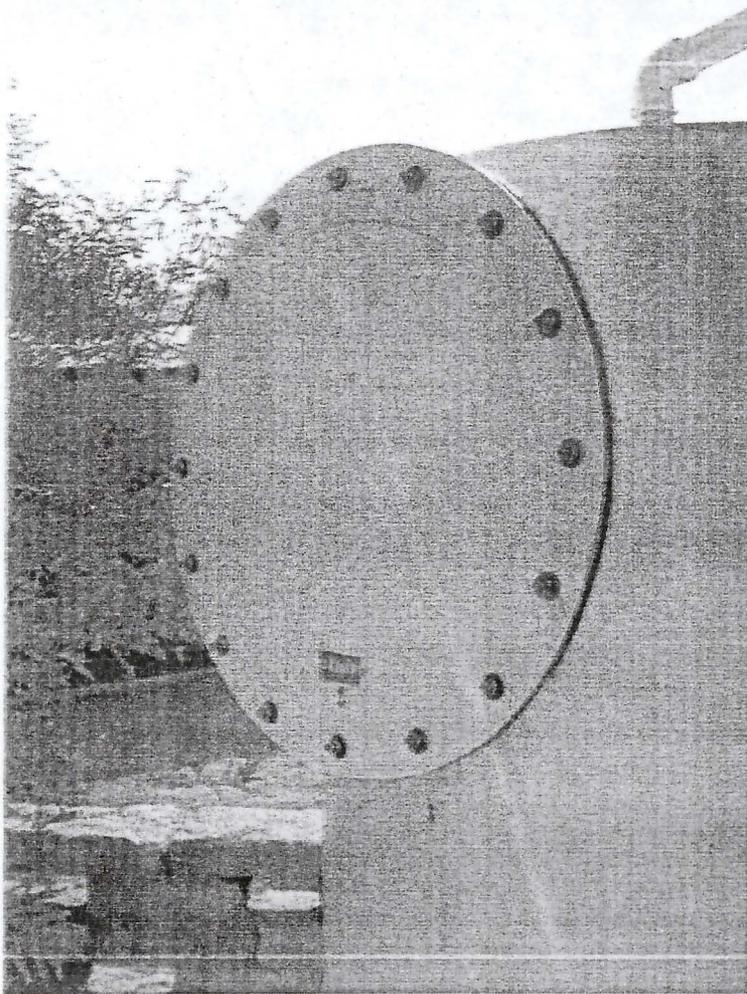
El cuerpo principal fue elaborado en 4 capas de fibra de vidrio que resulta en e un espesor de 6 mm. Este material se escogió en un comienzo porque tiene teóricamente una alta resistencia a la fuerza mecánica y sin embargo mantiene un grado de flexibilidad que lo hace

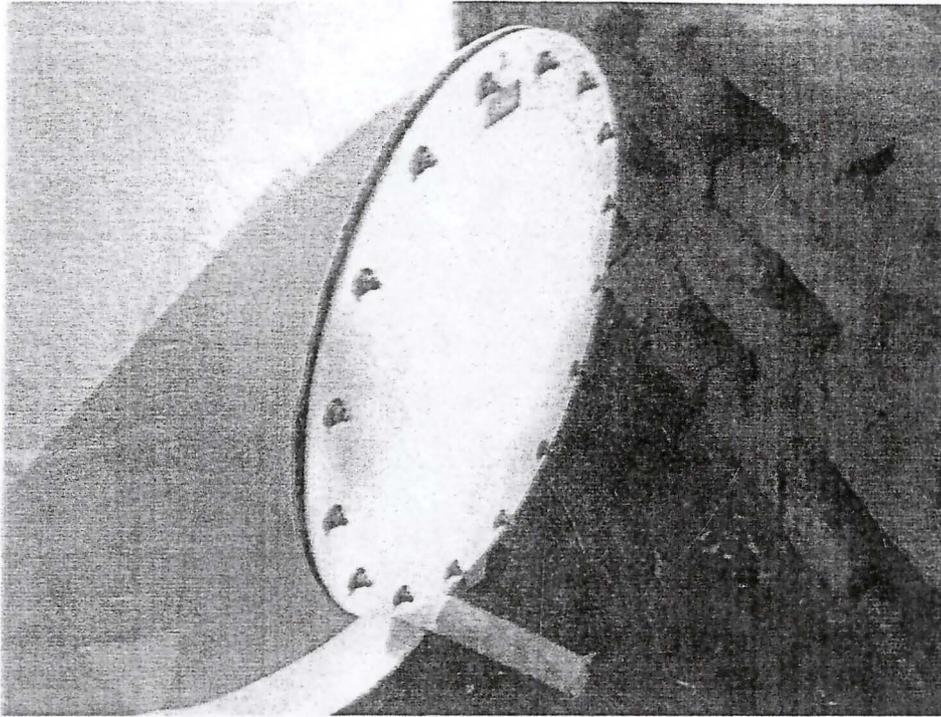
altamente tolerante a los cambios de presión hidráulica. El cuerpo principal tiene dos escotillas de inspección que permiten a su vez introducir la matriz macroporosa. Estas escotillas, que se cierran mediante pernos, cuentan con un sistema de empaquetaduras de goma que permiten la estanqueidad del sistema. El cuerpo principal cuenta con una placa perforada sobre la cual se coloca la matriz macroporosa y que permite el flujo de agua a tratar y el flujo de agua para el retrolavado del sistema durante la reactivación de la matriz. Durante la fabricación del sistema se introdujeron algunas modificaciones dada la naturaleza del material, las cuales fueron personalmente supervisadas por el ingeniero a cargo del diseño.

Implementación y puesta en marcha del sistema piloto.

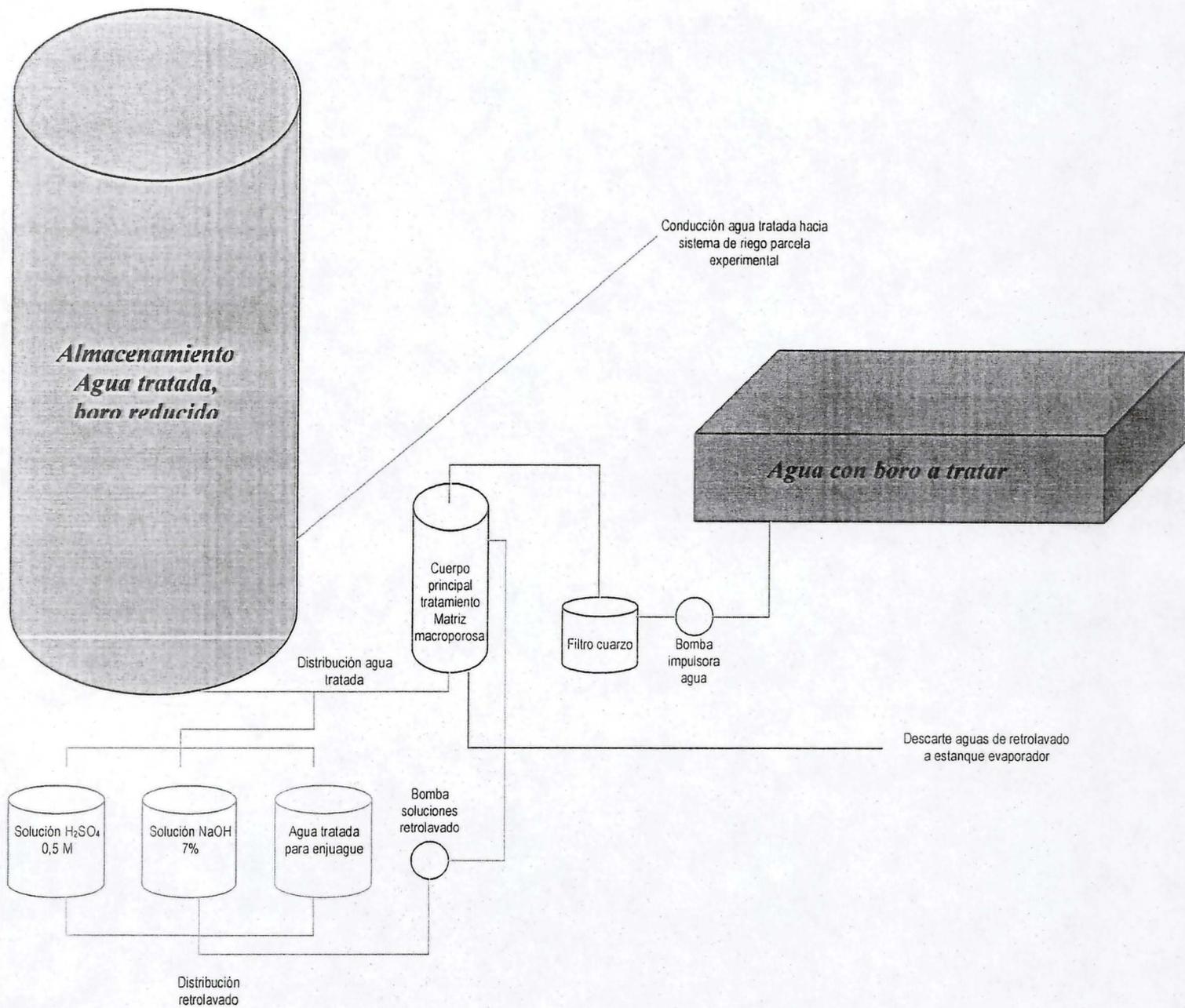
Una vez concluida la fabricación del cuerpo principal (ver fotos siguientes), este se trasladó hacia el predio del agente asociado para su instalación.



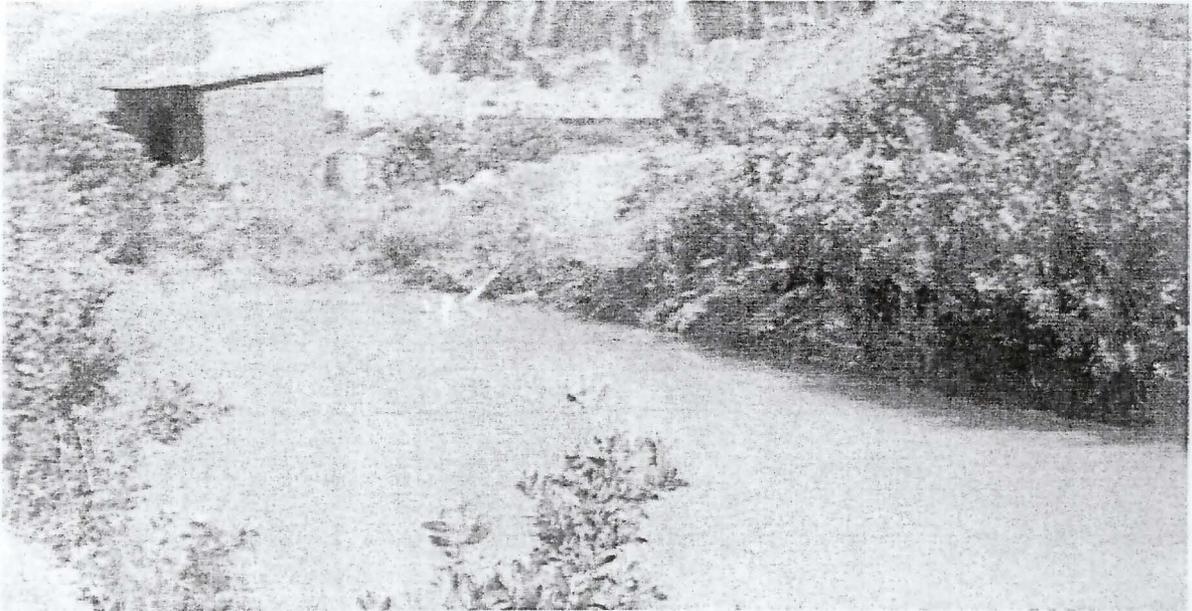




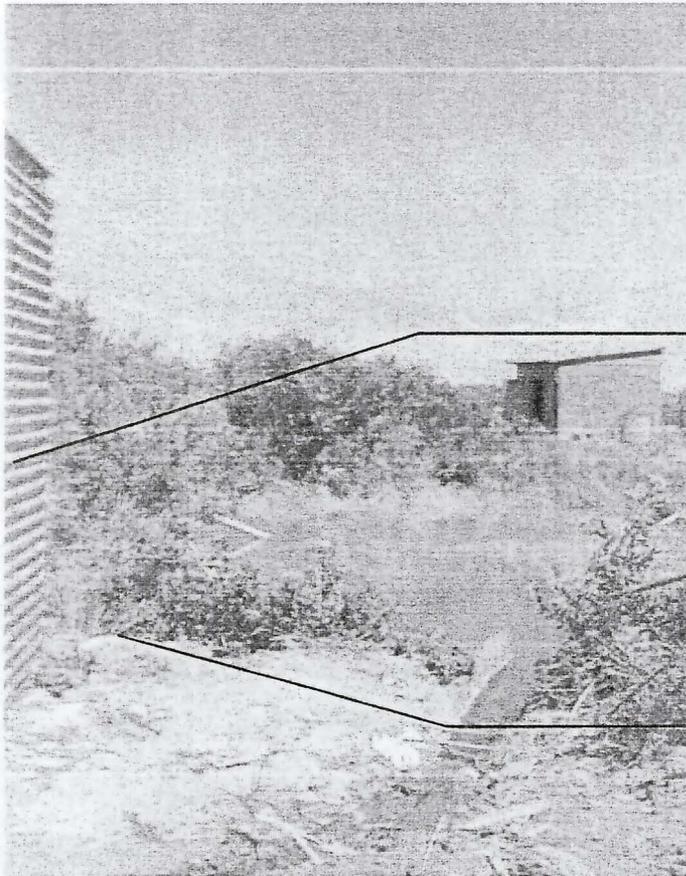
El siguiente esquema muestra la estructura general que se consideró originalmente para el sistema piloto, basada en el diseño del sistema de tratamiento, modificado para adaptarlo a las particularidades del entorno del predio donde se instaló el sistema de tratamiento.



Siguiendo esta estructura general, se procedió a instalar el cuerpo principal con todos sus accesorios en el predio del agente asociado. El sistema cuenta con un estanque previo de acumulación / decantación de aproximadamente 50 m³ de capacidad, desde donde el agua se bombea a través del filtro de cuarzo y posteriormente el sistema de tratamiento de boro, desde el cual el agua pasa hacia el estanque de acumulación de acero con 45 m³ de capacidad.

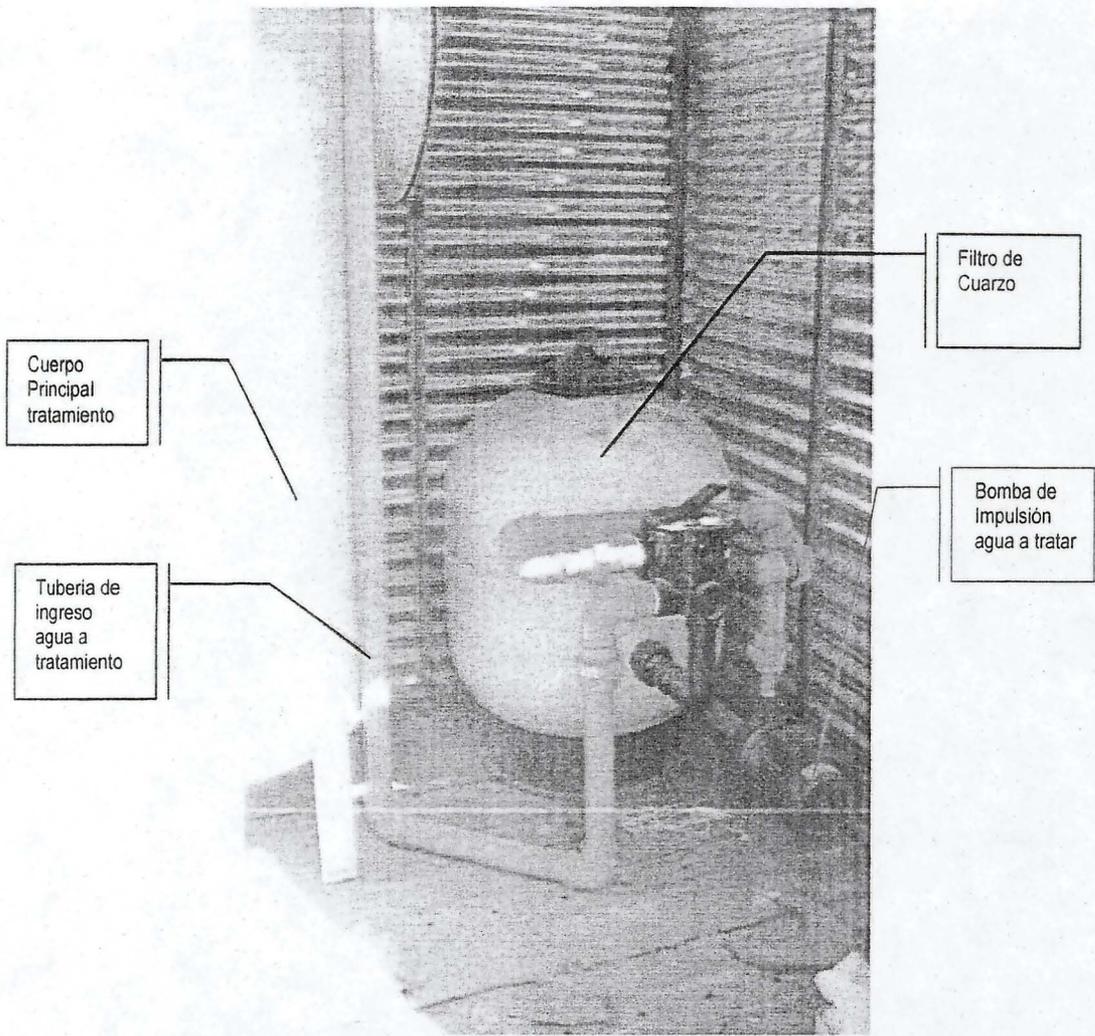


Estanque de acumulación, decantación previa al tratamiento.



Caseta que alberga el sistema de tratamiento.

Tubería de aspiración de agua a tratar.

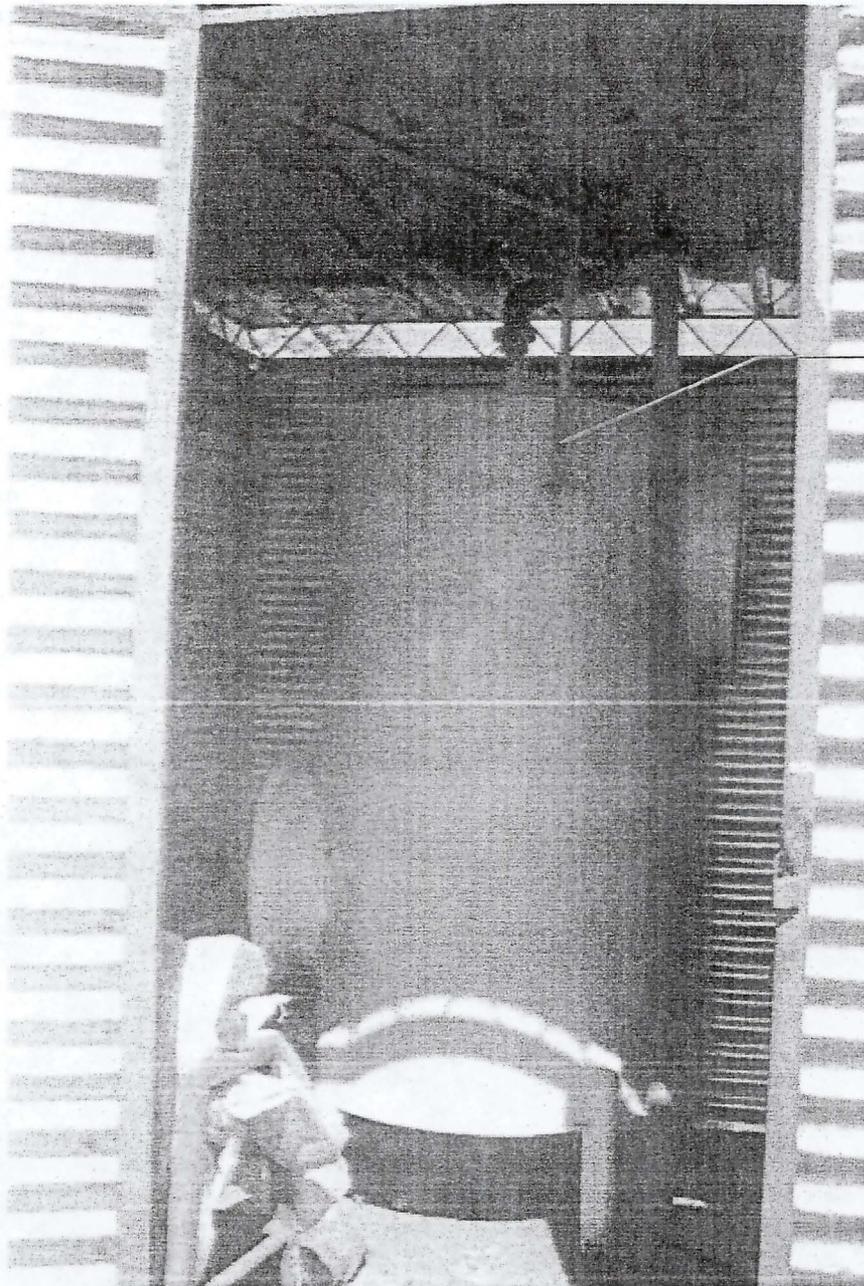


Cuerpo Principal tratamiento

Tubería de ingreso agua a tratamiento

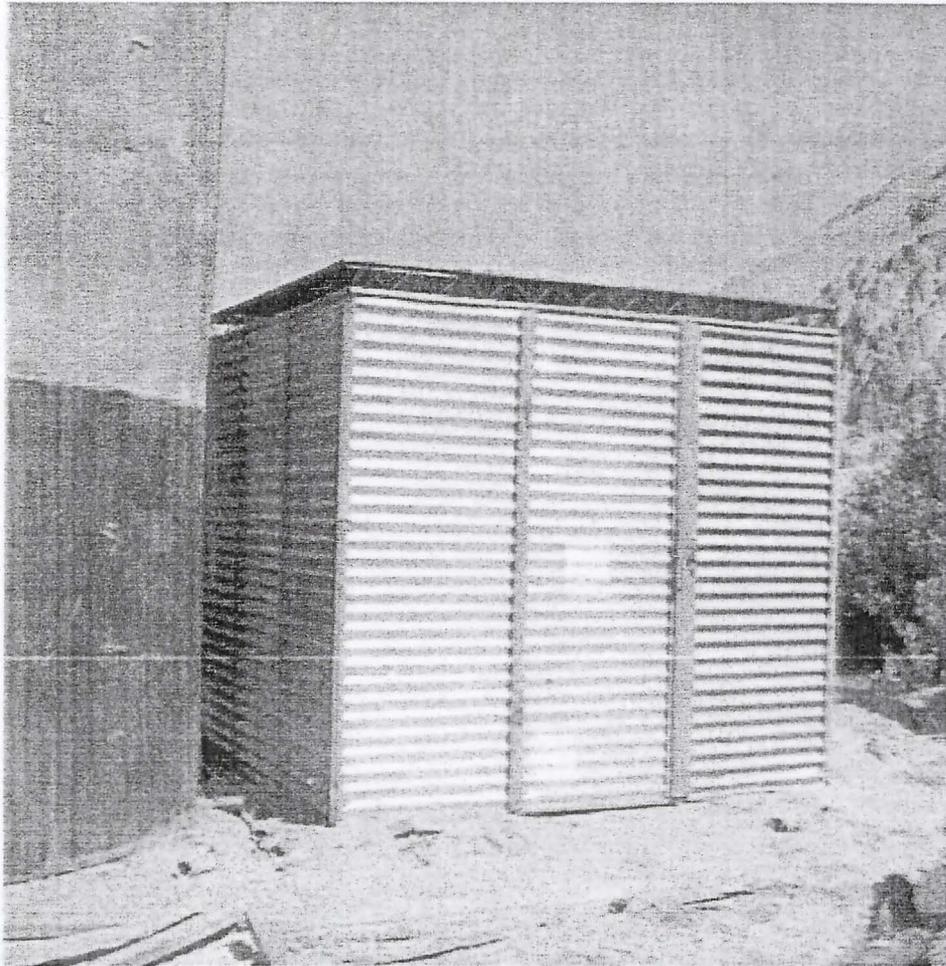
Filtro de Cuarzo

Bomba de Impulsión agua a tratar



Tubería
circuito
retrolavado

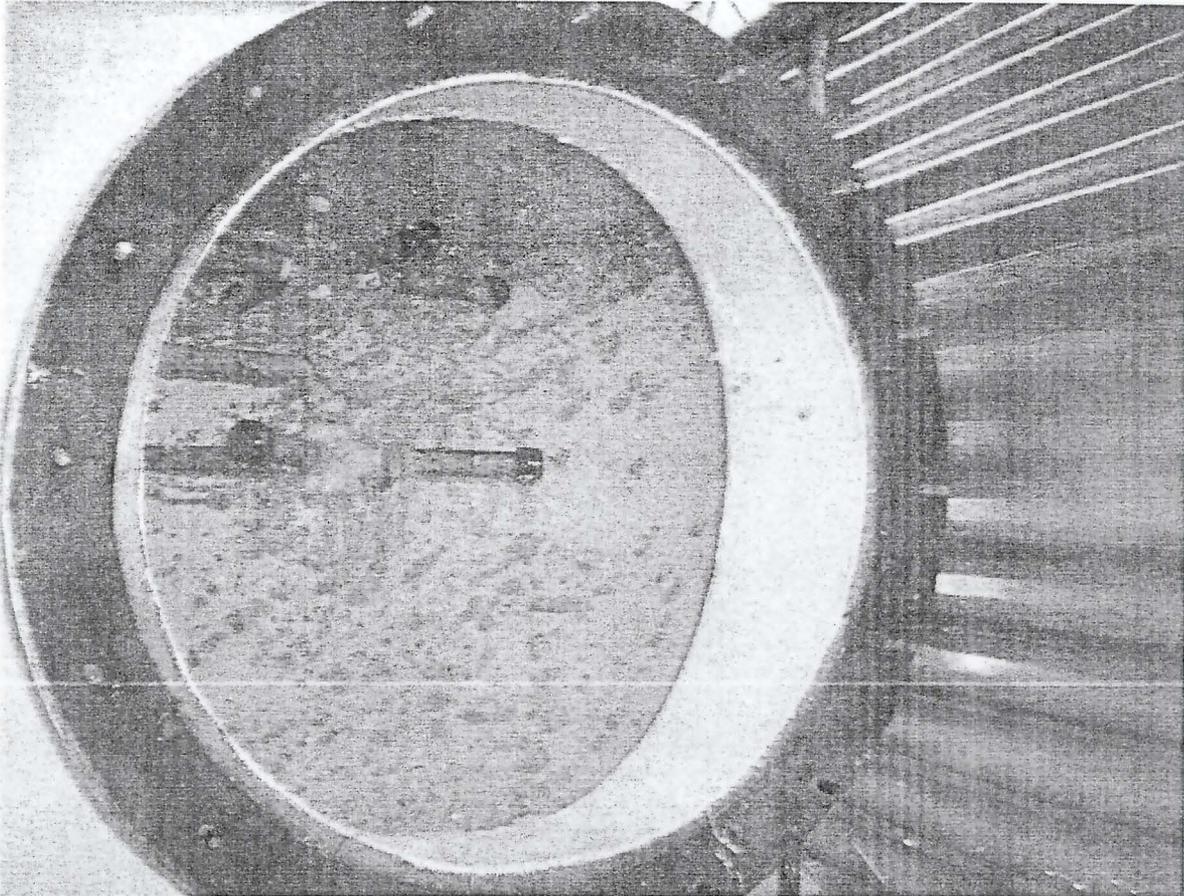
Cuerpo Principal de tratamiento.



Caseta de unidad de tratamiento y estanque de acumulación para agua tratada.

Posteriormente a la instalación del sistema piloto se procedió a la puesta en marcha del sistema, probando solamente con agua para revisar las posibles fugas. Durante estas pruebas ocurrió un desperfecto en el cuerpo principal debido al exceso de presión que genera la bomba durante el llenado del sistema, lo cual obligó a reparar el cuerpo principal y a colocar una válvula de salida para aire. Esta situación se repitió en una ocasión más y se decidió añadir una doble capa de protección a todas las juntas del equipo, que fueron los lugares donde se verificaron las rupturas, y

posteriormente se tuvo que tomar la drástica decisión de operar el equipo a la mitad de su caudal proyectado para evitar el colapso de la estructura.

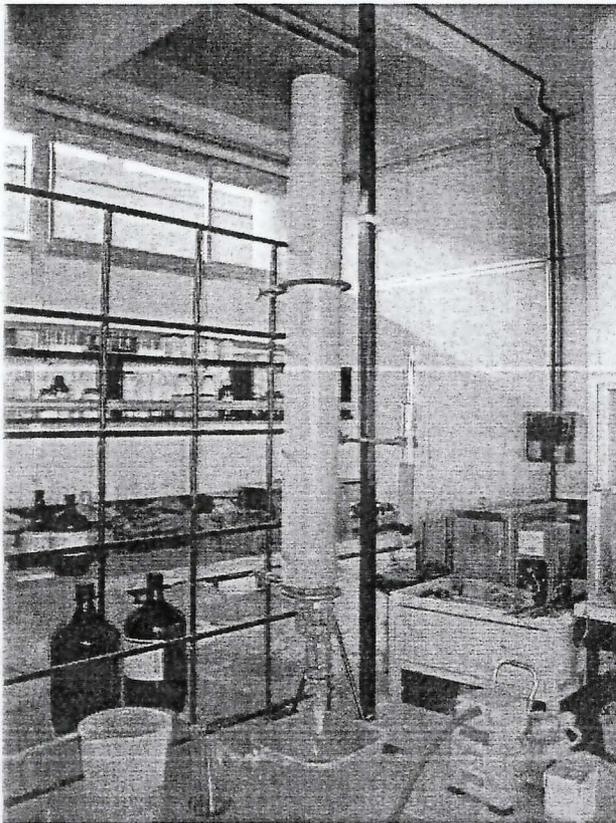


Vista del sistema de tratamiento con la tapa superior abierta para mostrar el ingreso de agua hacia el compartimiento interno.

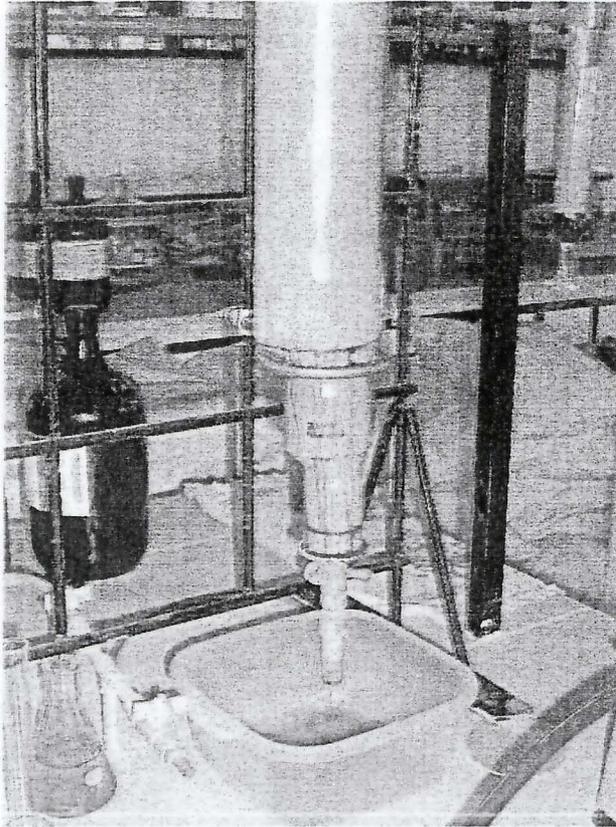
Respecto a las experiencias efectuadas para determinar la elusión de boro a partir del suelo empleando agua con un nivel de boro reducido, estas fueron 2. En la primera experiencia se tomaron muestras de suelo a distintas profundidades representativas del perfil de la parcela experimental que será regada con el agua tratada, y se utilizaron para formar una columna experimental de aproximadamente un metro de altura, la cual se procedió a saturar con agua diariamente (agua con boro reducido) y se colectó el lixiviado en la parte inferior durante alrededor de 35 días. El agua utilizada para la saturación poseía las siguientes características:

Agua para lixiviado:
pH = 6.71
CE = 2.40 mS/cm
B = 1.54 ug/mL

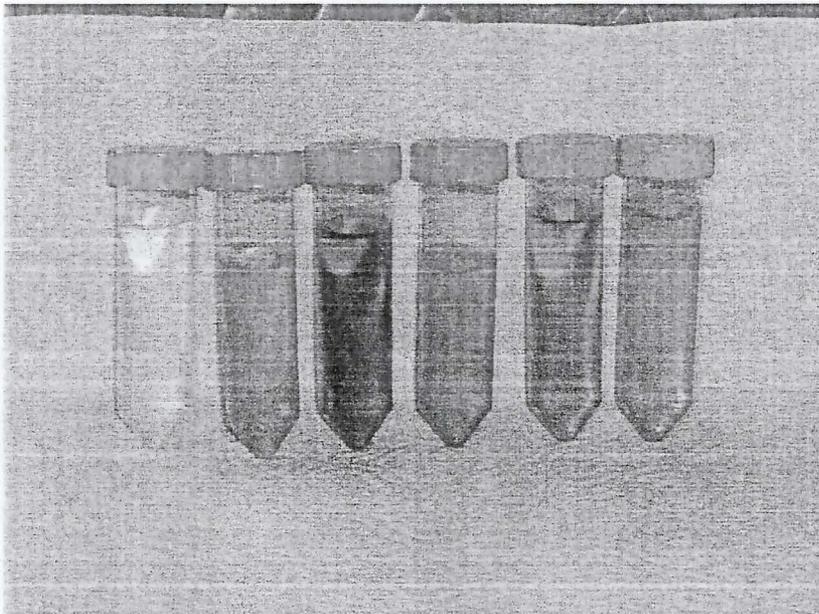
Las muestras de lixiviado recolectadas fueron analizadas en su contenido de boro, conductividad eléctrica y pH.



Columna para evaluación de lavado de perfil de suelo.

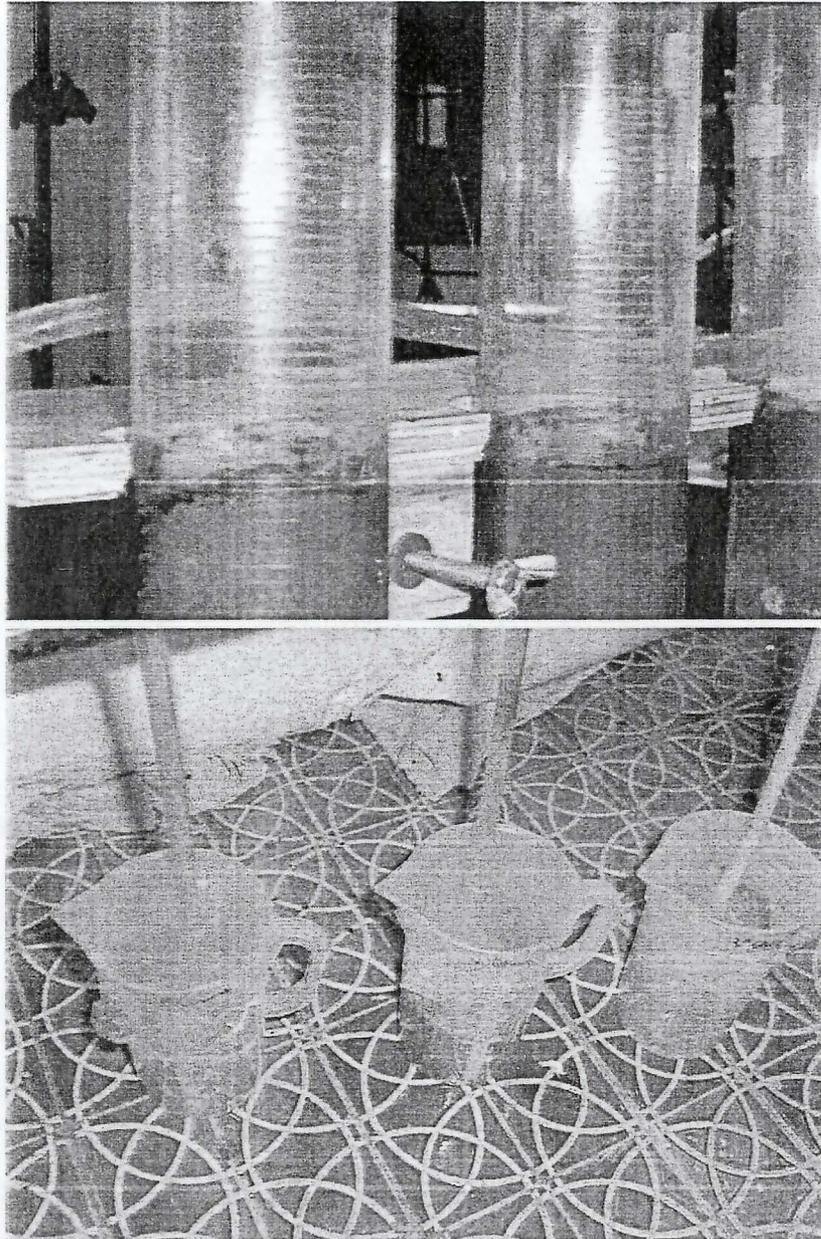


Detalle de recolección de lixiviado.



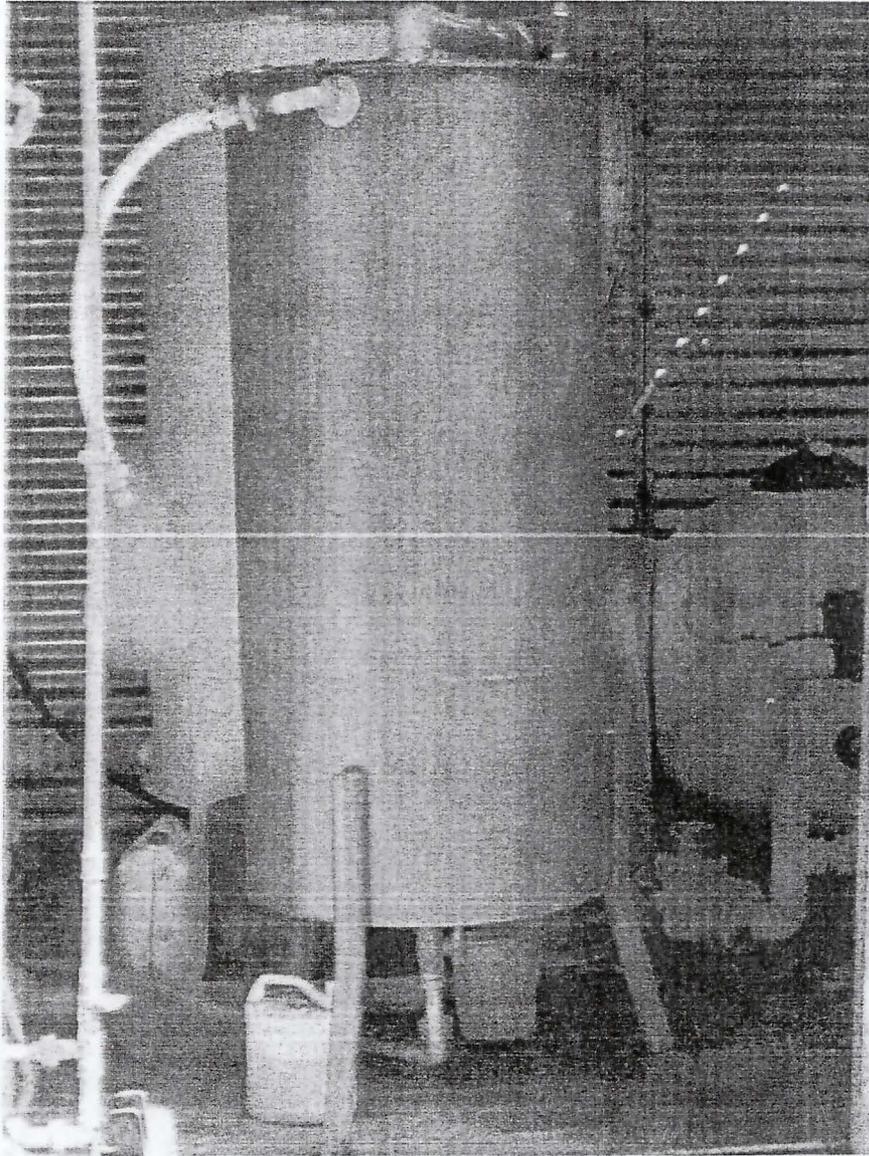
Muestras de agua lixiviada tomadas para análisis diario de contenido de B, pH y Conductividad eléctrica.

Posteriormente, para corroborar y validar la experiencia anterior, se realizó una experiencia similar, aunque esta vez se empleó suelo de los 45 cm. superficiales del lugar destinado a parcela experimental en el predio del agente asociado. Con estas muestras se prepararon 3 columnas de suelo de 1 litro de volumen y se sometieron al mismo proceso diario de saturación con agua de boro reducido y colección del lixiviado para posterior medición de contenido de B, pH y conductividad eléctrica.

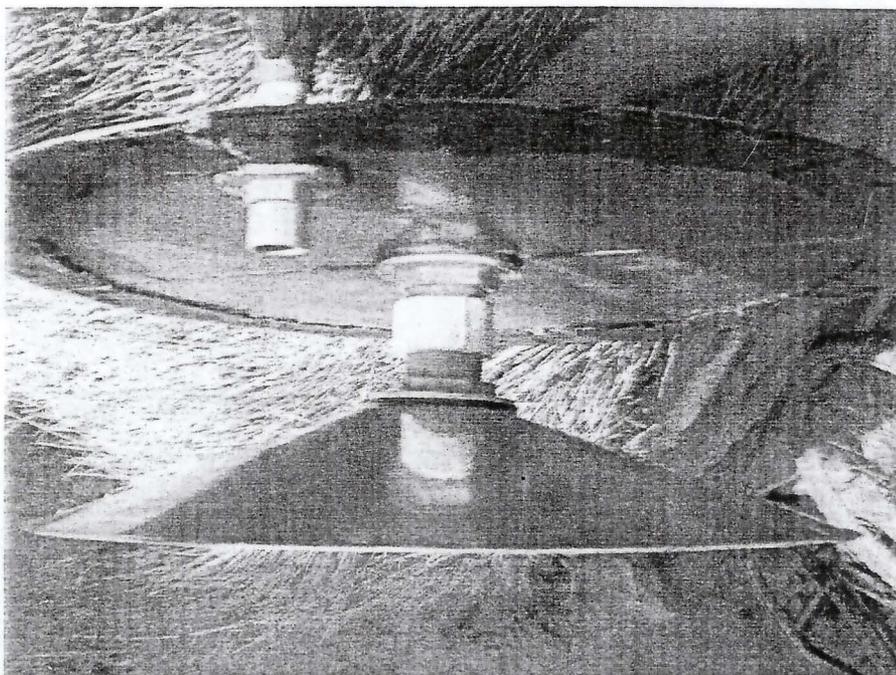


Columnas y recolectores de lixiviado para experiencia por triplicado.

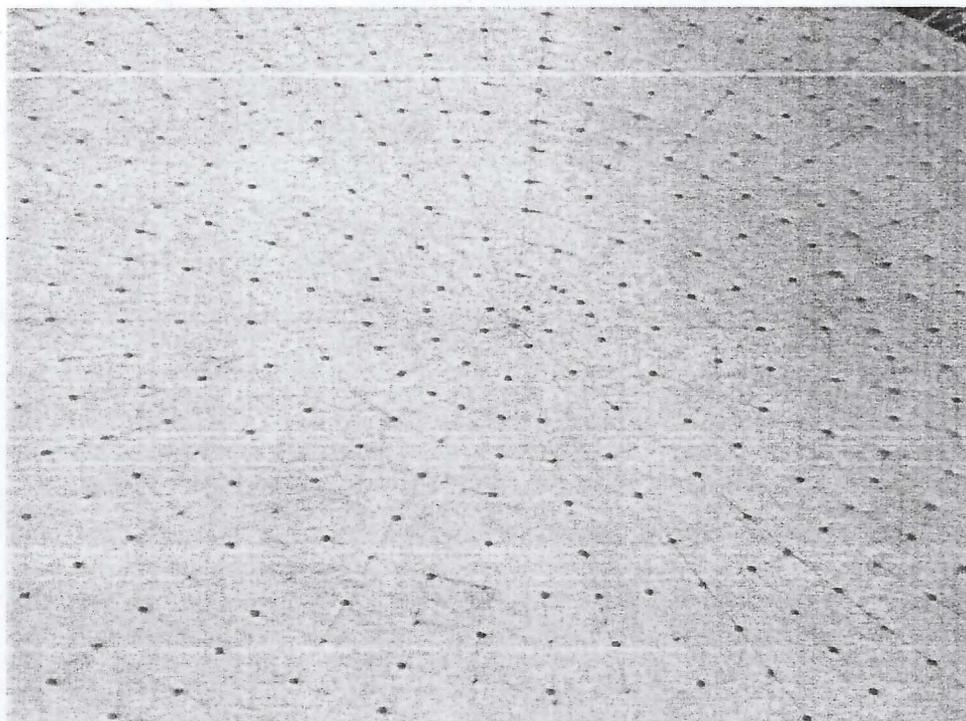
Dada la operación del equipo a media capacidad para evitar su colapso, se procedió a construir una unidad de acero con un diseño mejorado, la cual se puso en servicio durante el mes de Mayo de 2004.



Equipo Piloto de apoyo instalado en la caseta del predio experimental.



Vista del distribuidor superior modificado del equipo piloto de apoyo.



Detalle de la distribución de aperturas del distribuidor superior para multiplicar los puntos de salida y mejorar la eficiencia de mojado de la matriz macroporosa.

La unidad piloto inicial se operó normalmente por un periodo de 10 horas diarias en las cuales se trataban aproximadamente 35 metros cúbicos. Con este nivel de uso, el equipo pudo tratar hasta 100 metros cúbicos para obtener un promedio de 2 mg/l de boro en el agua tratada por ciclo de operación. Así, fue necesario un retrolavado con las soluciones ácidas y básicas cada 3 días, proceso que normalmente tardó entre 2 y 4 horas, mucho más de lo proyectado, debido a inconvenientes con las capacidades de flujo de la bomba de retrolavado empleada. El agua tratada se almacenaba en el estanque metálico y se utilizaba para lavar los terrenos durante el periodo nocturno, lo que se hace a través de la red de riego por goteo instalada. Respecto a la Unidad piloto construida con posterioridad, esta resultó ser de menor tamaño que la unidad de fibra de vidrio, y por lo mismo, tuvo una menor capacidad de tratamiento de agua por ciclo, siendo capaz de remover el Boro adecuadamente en un volumen de 40 a 45 m³ por ciclo de funcionamiento, sin embargo, y en virtud de no estar limitado la presión de operación, este equipo puede trabajar a un caudal de 10 m³/hora, con lo cual la operación requería solo 4 horas para agotar la capacidad, y 2 horas para regenerarlo, quedando listo para usarse al día siguiente. A través del proceso de puesta en marcha y operación de los equipos construidos y operados en forma diaria, fue posible verificar los datos de costos variables asociados a la operación del equipo, considerando las soluciones de regeneración, los insumos, la energía eléctrica y la mano de obra empleada, con lo cual se elaboró una matriz de costos variables que permite apreciar el gasto requerido para niveles distintos de boro ingresado al sistema de tratamiento versus el boro deseado a la salida.

El monitoreo del efecto del lavado del suelo se efectuó muestreando periódicamente el suelo (una vez cada dos semanas) sobre una matriz de puntos fijos determinados a priori, efectuando un análisis de suelo para determinación del boro disponible. Sin embargo, dado que este muestreo evidenció una variabilidad excesiva entre muestreos del mismo punto, se optó por instalar tubos de tomas de muestra de la solución de suelo en puntos fijos, que permitieron analizar dinámicamente la solución de suelo a distintas profundidades.

Es interesante destacar que se ha desarrollado una metodología de campo para la medición de boro en solución. Esta se basa en la colorimetría comparativa entre la tinción de azometina de muestras patrones con concentraciones de boro conocidas y la tinción de las muestras problema. El método no es del todo sencillo pero se ha podido preparar los reactivos en cantidades y sistemas estándar lo cual permite una rápida comprobación en terreno de la eficacia del sistema.

Eventualmente es posible plantear el desarrollo de un kit de diagnóstico de campo a partir del desarrollo efectuado, por el cual es posible plantear, al menos, una patente de modelo de utilidad.

Como se mencionó anteriormente, una vez que se logró el nivel de Boro deseado en el suelo, determinado a través del monitoreo por muestreo de suelos en conjunto con los tubos de muestreo de la solución de suelo en puntos fijos, habiéndose fijado un umbral de decisión de 3 Boro ug / g desuelo, se procedió a establecer el primer ciclo de cultivos demostrativos, para lo cual se seleccionaron las siguientes especies y/o variedades de cultivo altamente sensibles al Boro: Poroto Verde, Soya, Pepino de Ensalada híbrido y Maíz Híbrido Choclero (Semameris), dándose preferencia a la superficie destinada a Poroto Verde, por estimarse que este cultivo tenía un mayor potencial de impacto e interés en los agricultores, al ser un cultivo relativamente rentable e importante en la Provincia de Arica. El desempeño de los cultivos fue inicialmente satisfactorio en términos de germinación, emergencia y crecimiento. Sin embargo, durante el periodo de cultivo se observó un progresivo deterioro del crecimiento de los cultivos de Poroto Verde y Soya, mientras que el de pepino tuvo un desarrollo limitado, siendo el menor efecto detrimental en el cultivo de maíz híbrido. Al efectuar los muestreos de suelo y foliares, se pudo detectar que la concentración de boro se había elevado significativamente hasta alcanzar niveles muy similares o incluso superiores a los iniciales (antes del lavado), lo cual causó una toxicidad parcial en los cultivos, que pese a ello, y en virtud a que el agua de riego no tenía aporte tóxico de Boro, pudieron completar su ciclo productivo hasta obtenerse materia cosechable, aunque en cantidades limitadas, lo cual ya fue un logro notable ya que todas las especies utilizadas han sido descritas como absolutamente inviábiles cuando se da la existencia de Boro en el agua de riego. Ante esta realidad, se procedió a iniciar nuevamente un proceso de lavado de suelos (Octubre de 2005), pero al mismo tiempo se inició la faena de reemplazar parcialmente el suelo del terreno experimental con suelo de Azapa, libre de Boro, y aislado del efecto de la capilaridad por una capa de ripio y plástico perforado para el drenaje, lo cual solo se pudo lograr para 7 hileras de plantación dado el alto costo del traslado del terreno. Durante este periodo se detectaron problemas con los equipos de tratamiento de agua debidos a la saturación del filtro de cuarzo, que significaron la necesidad de desarmar completamente todos los elementos de cada uno de los componentes del equipo para proceder a su lavado con aguas libres de sedimentos, tarea que hubo de repetirse dos veces con una pérdida de dos siembras

experimentales por falta de suministro de agua para riego causado por esta situación. Finalmente, se decidió modificar el sistema incorporando un prefiltro de anillas que permitió evitar definitivamente el ingreso de sedimentos al sistema, sin embargo, aumentó considerablemente los tiempos de mantenimiento ya que en el periodo peak de sedimentos en el agua de riego, este filtro se saturaba cada 15 minutos, con la consecuente dificultad de operación. De este modo se pudo dar inicio al cultivo demostrativo final, incorporando una mayor variedad de especies sensibles a Boro (Melón, Sandía, Pepino de Ensalada, Zapallo Italiano, Maíz Híbrido super dulce semiprecoz, Poroto Verde, Tomate) en Enero de 2006, y que mostró un desarrollo vigoroso y notable al momento de realizar la visita a terreno y difusión finales, cautivando el interés y entusiasmo de los asistentes. Estos cultivos se han mantenido hasta el cierre del presente informe y ya se encuentran en fase de producción, y están siendo mantenidos a costo de los agentes asociados para terminar la evaluación económica y como base de demostración y transferencia.

Paralelamente, en el predio de Hernán Urbina Pérez, se procedió a construir e instalar una microestación de tratamiento con capacidad de 2100 lts de agua por ciclo de tratamiento (máximo 3 ciclos por jornada). Esta unidad se utilizó para regar cultivos en sustrato o hidropónicos en un pequeño invernadero de 25 m², en el cual, pese a que inicialmente se quería producir solamente frutillas, se incorporaron una amplia variedad de hortalizas altamente sensibles al Boro (Poroto Verde, Melón, Sandía, Pepino de Ensalada, Zapallo Italiano, Tomates cherry, Pimentón, Jengibre, Frutilla, Albahaca, Cilantro, Perejil, Romero, Ciboulette, Lechuga) que mantuvieron y mantienen aún hoy un crecimiento y un comportamiento productivo vigoroso y que siguen formando base de la demostración y promoción del proyecto y sus resultados.

Línea de trabajo 3: Preparación y transferencia de paquetes tecnológicos a agricultores afectados por la presencia de boro en el agua de riego.

En esta línea de trabajo se han ejecutado en la práctica las actividades de transferencia que se planificaron originalmente así como las contempladas en la extensión del proyecto, aunque no en las fechas originalmente planificadas. Se han efectuado 3 Seminarios de Difusión en Arica, Antofagasta y Camarones, y una actividad de difusión final con visita a terreno de las unidades experimentales, causando un gran impacto. Paralelamente, y durante todo el proyecto se han

efectuado visitas particulares de agricultores interesados, así como de profesionales y autoridades de entes de apoyo a la agricultura junto con dirigentes sectoriales. En todas ellas se ha generado un gran impacto al comprobar la posibilidad concreta de aumentar las posibilidades de cultivo en el Valle de Lluta. También se ha generado un Brochure (cuya versión final está en revisión) para la difusión de los aspectos más relevantes del proyecto.

El proyecto tuvo además una ocasión de difusión adicional en el marco de una actividad de extensión propia de la entidad Ejecutora de la propuesta, denominada "La propiedad industrial e intelectual en el sistema de educación superior chileno" organizada en conjunto con la Universidad de Chile, donde la presentación efectuada por el Ingeniero Agrónomo del Proyecto tuvo una destacada acogida e impacto entre los asistentes.

En otro frente de las actividades necesarias para la generación de impacto, se han efectuado numerosas reuniones entre los entes involucrados en el desarrollo del proyecto para elaborar un acuerdo y una estrategia que permitan la necesaria agilidad y financiamiento para poder ofrecer al mercado la tecnología desarrollada con el adecuado grado de eficiencia, confiabilidad, costos y soporte técnico. La solicitud de una patente por los resultados obtenidos es uno de los resultados esperados que se encuentra retrasado en su cumplimiento debido a la necesidad de encontrar el mecanismo adecuado para asegurar su éxito dada la complejidad técnica de la materia y la utilización de un principio teórico conocido para un uso no explotado previamente. Se espera al menos obtener una patente de modelo de utilidad si la invención no resulta patentable, sin embargo este proceso es lento y no se puede esperar que esté concluido para iniciar la utilización de los conocimientos generados para usos prácticos. En este sentido, es muy importante indicar que se ha generado un Know How altamente especializado, y fuertemente orientado hacia la reducción de costos de operación variables del sistema de tratamiento, conocimientos que se encuentran en manos del el equipo científico profesional del proyecto, el cual es la base para la disponibilidad comercial de la tecnología, que a su vez es el paso fundamental hacia la generación de impacto.

III.3.2 Principales problemas metodológicos enfrentados:

Durante las etapas de laboratorio prácticamente no se enfrentaron problemas metodológicos, mencionándose oportunamente que el principal problema práctico que se tenía en las primeras etapas era la necesidad de mantener un flujo continuo de agua en el material adsorbente para que no se formasen burbujas de aire que permitiesen la canalización del líquido a través de la columna e hicieran que el volumen de columna efectivamente en contacto con el agua no fuese eficiente. Este problema se resolvió por medio de una preparación cuidadosa de la columna y el mantenimiento del hermetismo del sistema de circulación por vacío. Posteriormente, al tenerse mayores necesidades de emplear agua del río Lluta para las pruebas de laboratorio, se creó la necesidad de mantener un stock de agua procedente del río dado que en esta etapa se fueron utilizando volúmenes cada vez mayores de agua en las experiencias, obligando a implementar estanques de almacenamiento para suplir las necesidades.

Los principales problemas metodológicos surgieron, en forma totalmente comprensible, al momento de trasladar los resultados de laboratorio y concretarlos en un equipo de escala piloto, siendo la principal complicación, luego de una serie de accidentes y un largo periodo de marcha blanca, la imposibilidad de operar el equipo inicial a su capacidad total, lo cual a su vez implicó que el lavado de suelo no pudiese avanzar con la rapidez planificada, resultando en un retraso neto de las actividades de cultivo demostrativo, agravado por limitaciones propias del entorno como la dificultad de acceder al recurso de agua para riego durante el periodo de turnos de riego, y posteriormente la disponibilidad de agua rica en sedimentos y las consecuencias negativas de esta situación para el mantenimiento de la porosidad de la matriz macroporosa y la subsecuente necesidad de efectuar numerosas limpiezas completas del sistema, engorrosas y consumidoras de tiempo, lo que, sin embargo, se constituyó finalmente en una valiosa experiencia práctica para mejorar a futuro el diseño del equipo en cuanto a su construcción, diseño y operación.

La otra serie de problemas enfrentados se asoció a la escasa eficacia del lavado de suelo del terreno experimental, que se debió a la presencia de una napa freática subsuperficial con agua rica en Boro, que fue capaz de retornar, por medio del fenómeno de capilaridad, el nivel de Boro en la capa superficial a un nivel similar al previo al inicio del lavado, durante el periodo de cultivos demostrativos inicial.

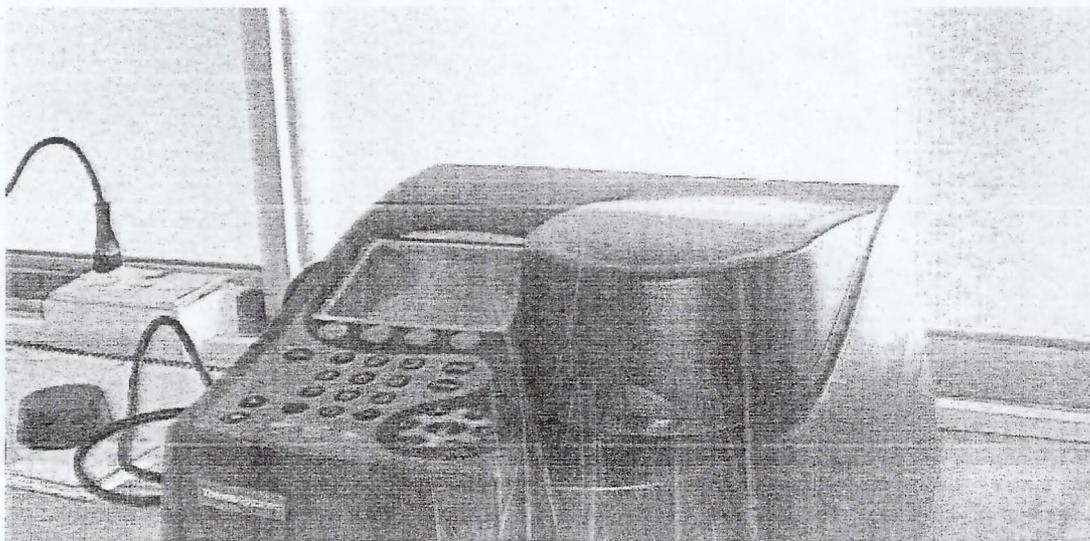
III.3.3 Adaptaciones o modificaciones introducidas durante el proyecto y razones:

En virtud de los problemas enfrentados descritos en la sección anterior, las principales modificaciones que se debieron introducir a la metodología, por sobre la obligación de modificar el calendario de actividades y la duración que fueron tomando las mismas, que posteriormente se vieron interpretadas en la extensión del plazo de ejecución del proyecto, fueron debidas a la necesidad de adaptarse a las condiciones de operación del equipo, y la necesidad originada por esta situación de construir un equipo adicional de apoyo, no contemplado originalmente.

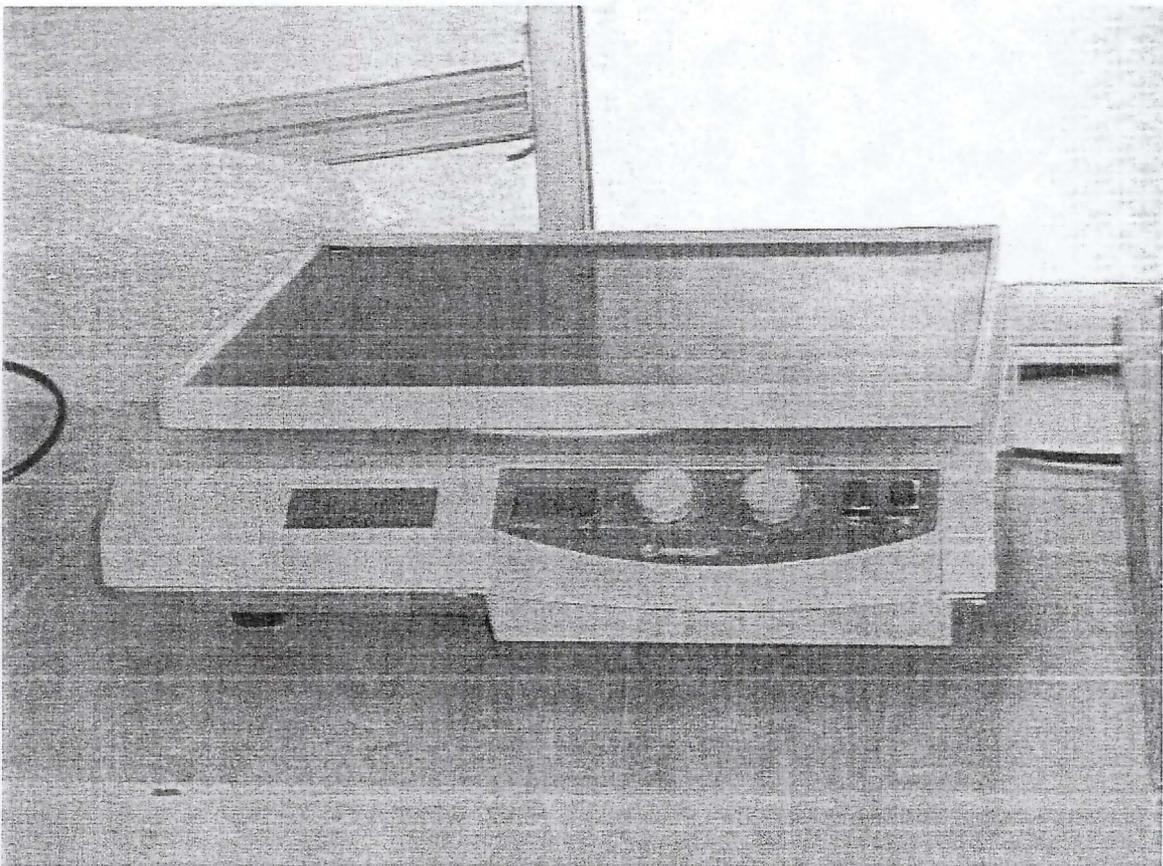
En el caso de la presencia de Boro en exceso en el suelo por capilaridad, se requirió efectuar un gran esfuerzo logístico para reemplazar parte del suelo afectado y asegurarse de que quedara sin riesgo de contaminarse nuevamente por el fenómeno de capilaridad.

III.4 Descripción de actividades y tareas ejecutadas para la consecución de los objetivos, comparación con las programadas y razones de la discrepancia

En la primera etapa del proyecto se procedió a conformar el equipo de trabajo contemplado originalmente, lo que implicó el establecimiento de convenio entre la Universidad con Marlene Vásquez Siau y Juan Lima (Laboratorista químico), quedando pendiente el convenio con Camilo Urbina Alonso cuya participación está programada desde el mes de Agosto del 2003. Se procedió a confirmar las cotizaciones de los equipos que serían directamente adquiridos por FIA, los cuales llegaron en los primeros 3 meses del proyecto.



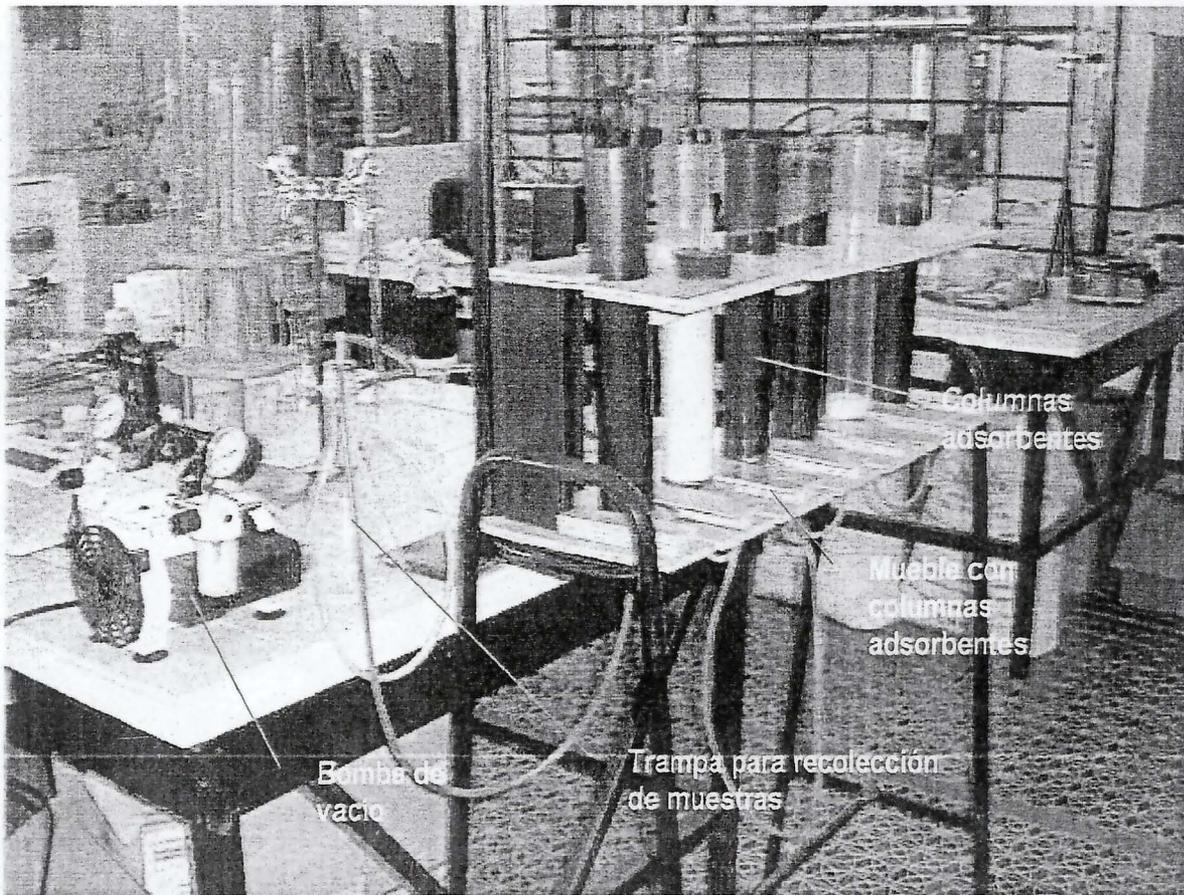
Espectrofotómetro UV VIS Genesis 6 para el análisis de boro.



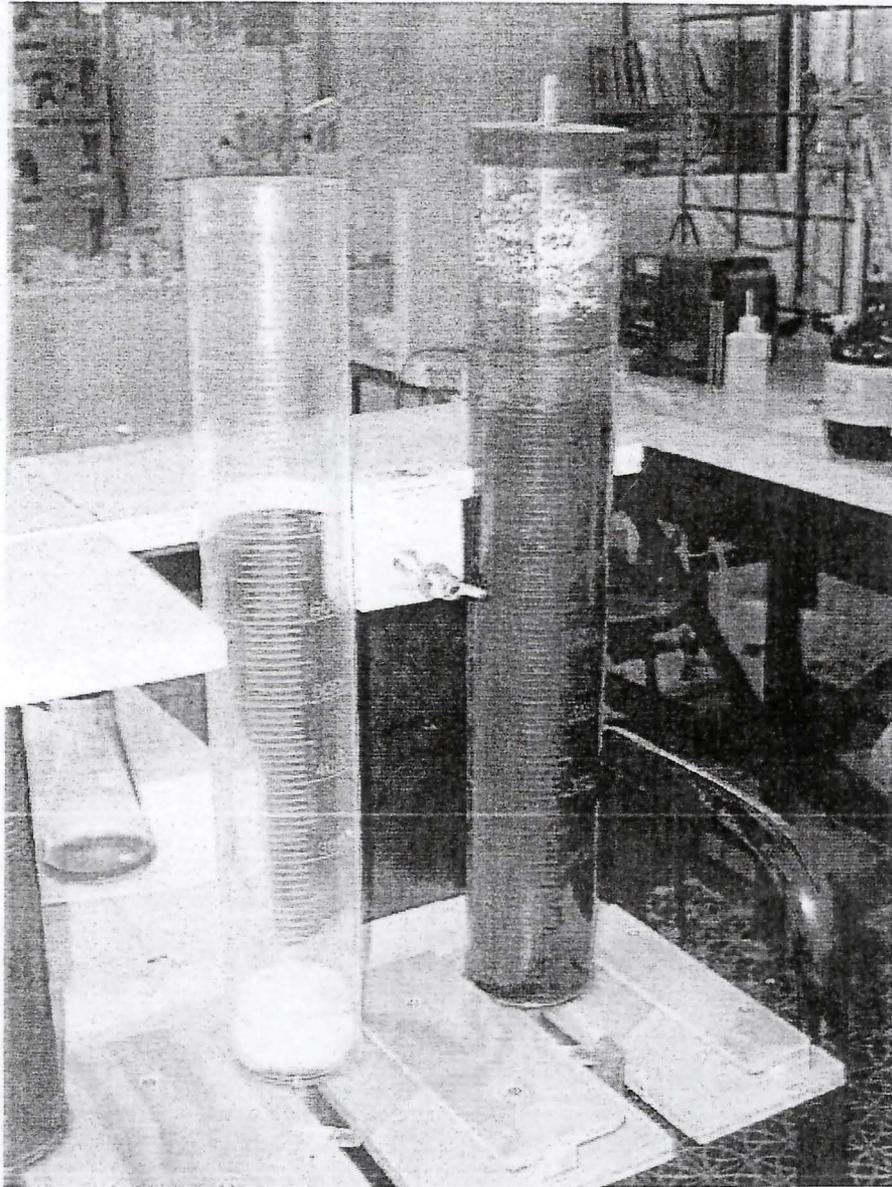
Agitador para la preparación de las muestras previas al análisis de boro.

Se adquirieron también reactivos para la determinación analítica de boro y algunas herramientas (micropipeta de 5 ml para la preparación de las muestras) y otros materiales como papel filtro, envases plásticos para la toma de muestras, probetas de polimetilpentano (debido a que el vidrio contiene boro y afecta las mediciones) para los ensayos en modelo de columna, mangueras para conducir el líquido, fittings para el modelo, etc. Se diseñó y ordenó construir un mueble para acomodar las columnas que permitiese el trabajo simultáneo con varios tratamientos y repeticiones. Las probetas adquiridas debieron ser adecuadas para su uso como columnas para la contención de material adsorbente, por lo que se ordenó la colocación de un fitting de salida en la parte inferior donde ajustar las mangueras y la perforación de las tapas de goma.

Se adquirieron varios compuestos probables como acomplejantes del boro (polihidroxilados) para evaluarlos en una primera etapa (Celulosa, melaza, manitol, glicerol, pentaeritritol) y algunos adsorbentes comunes para las primeras pruebas de retención del complejo boro phi (carbón activado y diatomita).

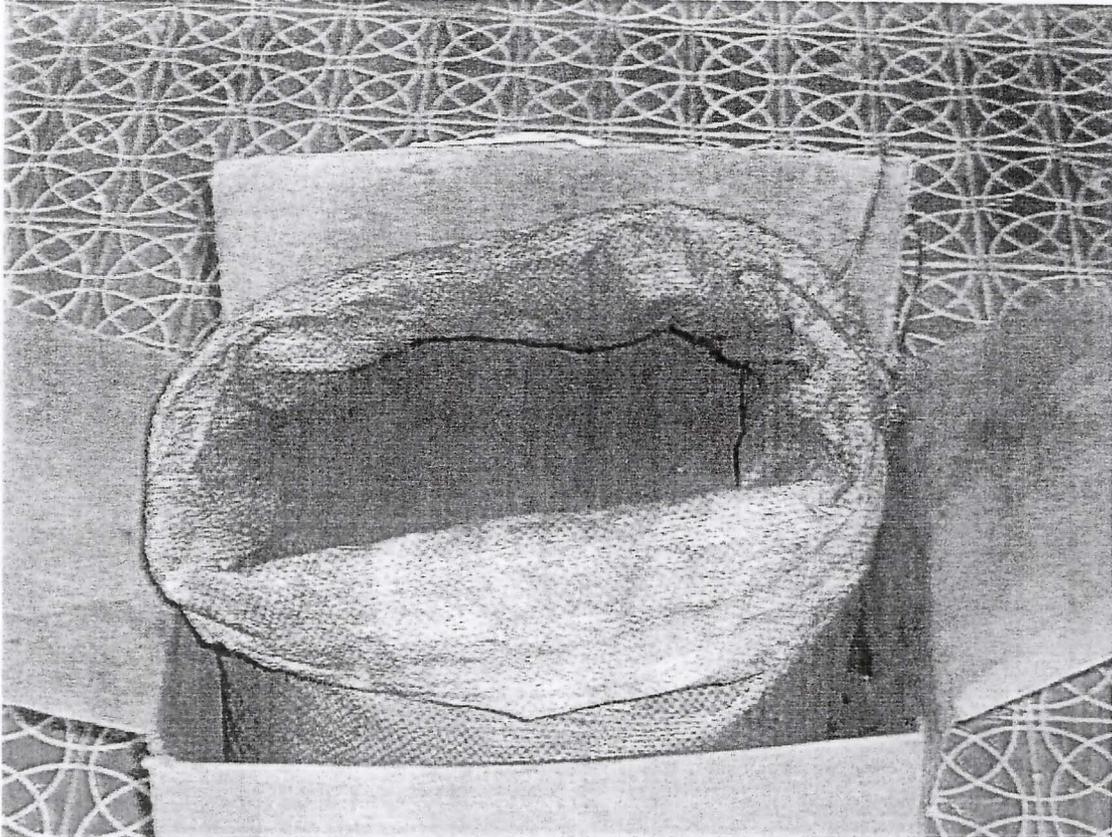


Modelo de trabajo en laboratorio para las pruebas de extracción del complejo boro phi. El agua problema a la que se añade el compuesto polihidroxilado secuestrante de boro es succionada desde un bidón de 10 litros hasta cada una de las columnas por efecto de la bomba de vacío. En la foto el sistema estaba armado con una sola columna, pero se puede trabajar hasta con 6 simultáneamente. Las columnas tienen 1000 ml de capacidad de contención de adsorbente.

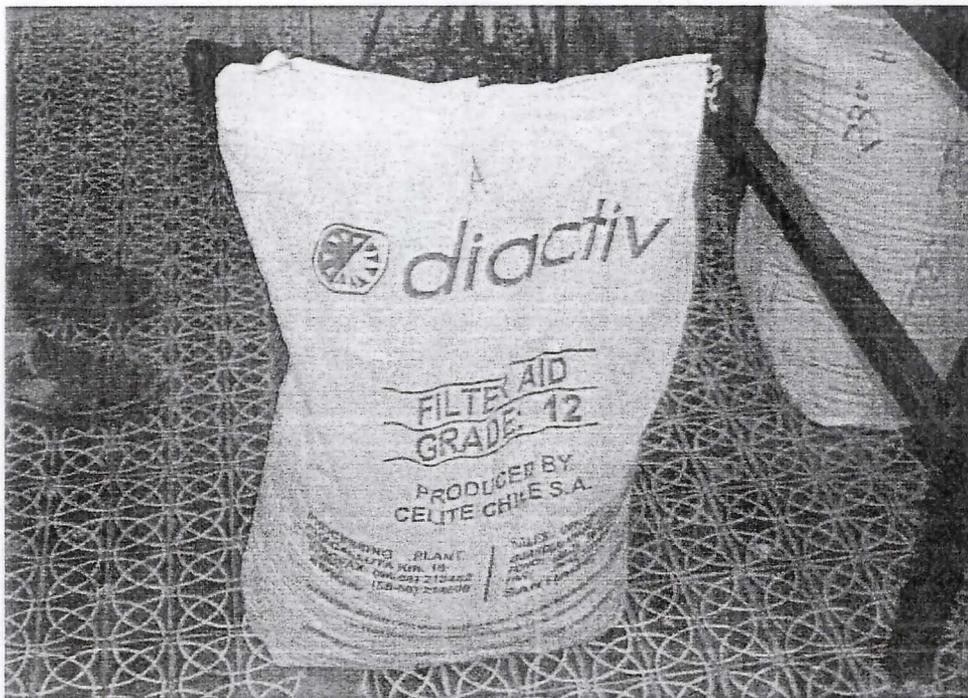


Detalle de ensamblaje del mueble portacolumnas. Se observa que las probetas quedan perfectamente aseguradas y se logra una perfecta hermeticidad para que la succión del agua a tratar sea continua y no se produzca canalización en el medio adsorbente.

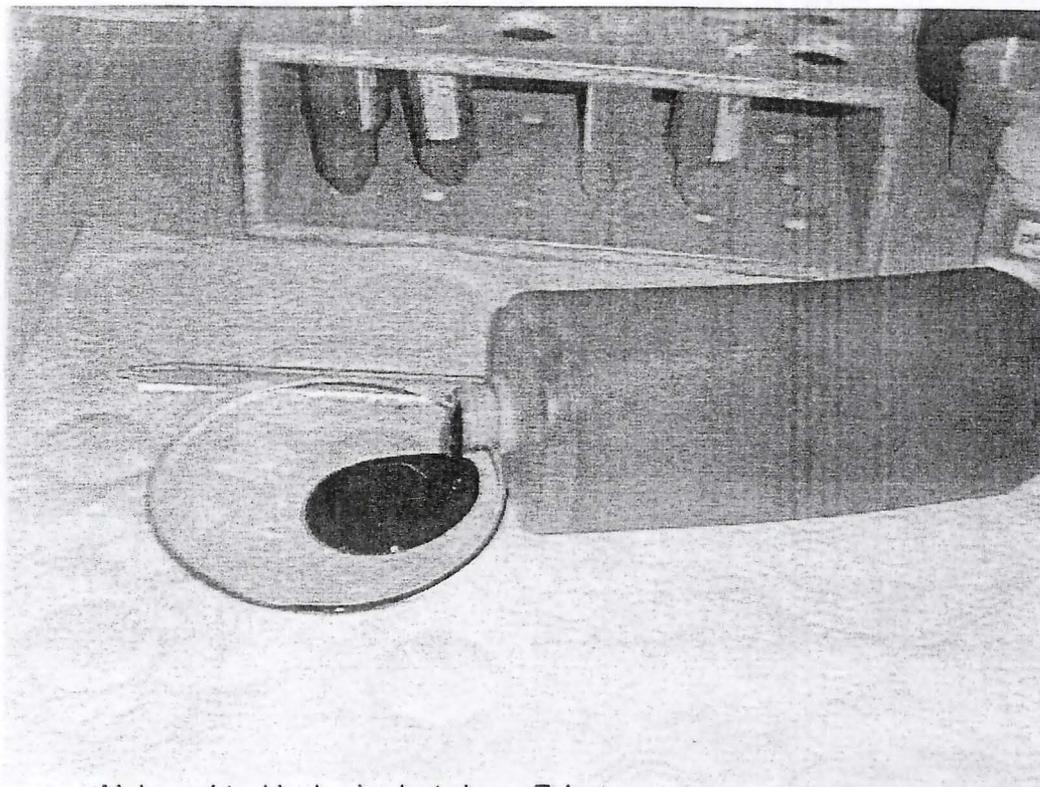
Se procedió al ordenamiento de los equipos y la adecuación del laboratorio con el aumento de las tomas de corriente del circuito del laboratorio para acomodar los nuevos equipos, así como la reparación y adecuación de las superficies de trabajo cuya superficie se recubrió para facilitar la limpieza y nivelar las imperfecciones causadas por el uso intensivo.



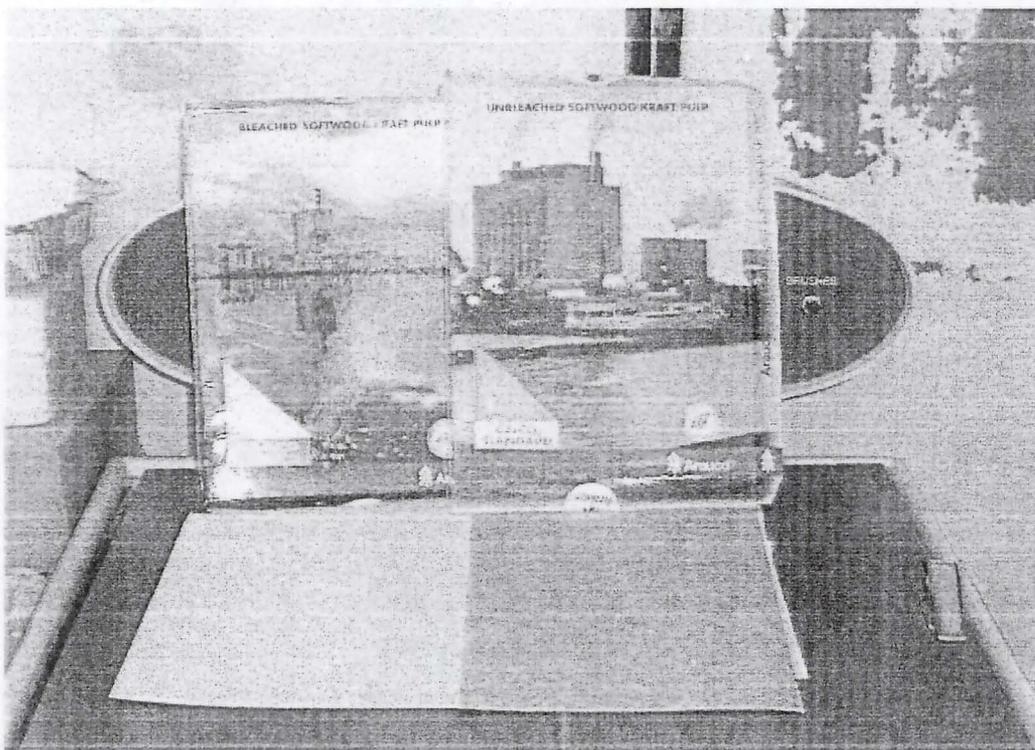
Carbón activado adquirido después de reducir la granulometría por molienda mecánica.



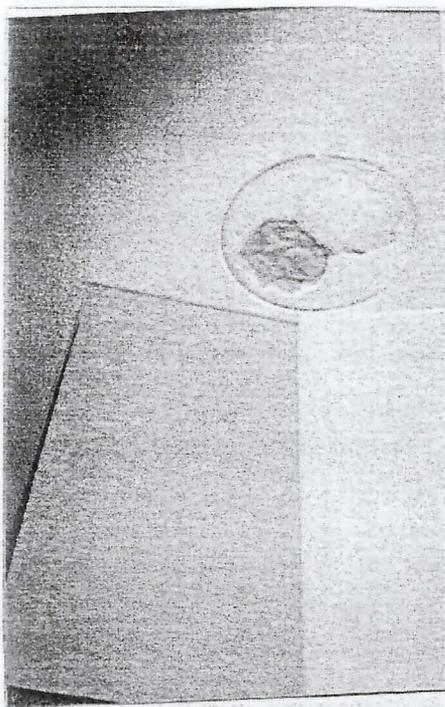
Uno de los tipos de Diatomita obtenida en la planta Celite Arica.



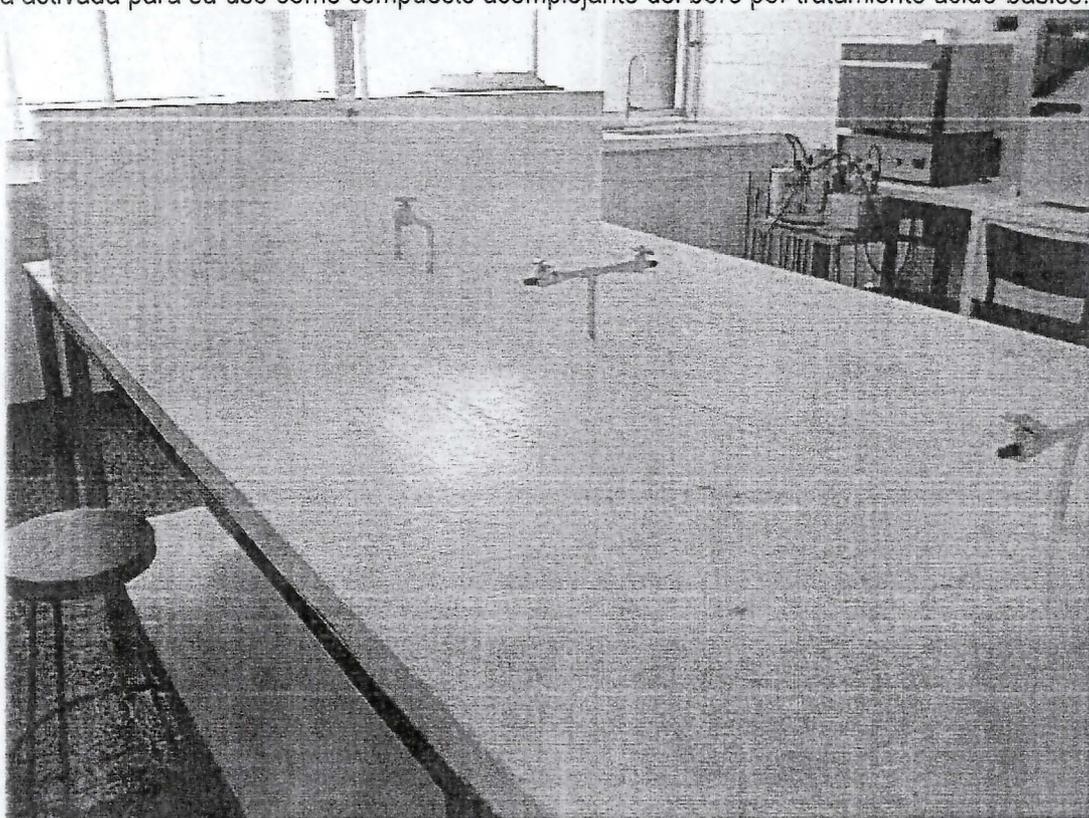
Melaza obtenida desde planta lansa Talca.



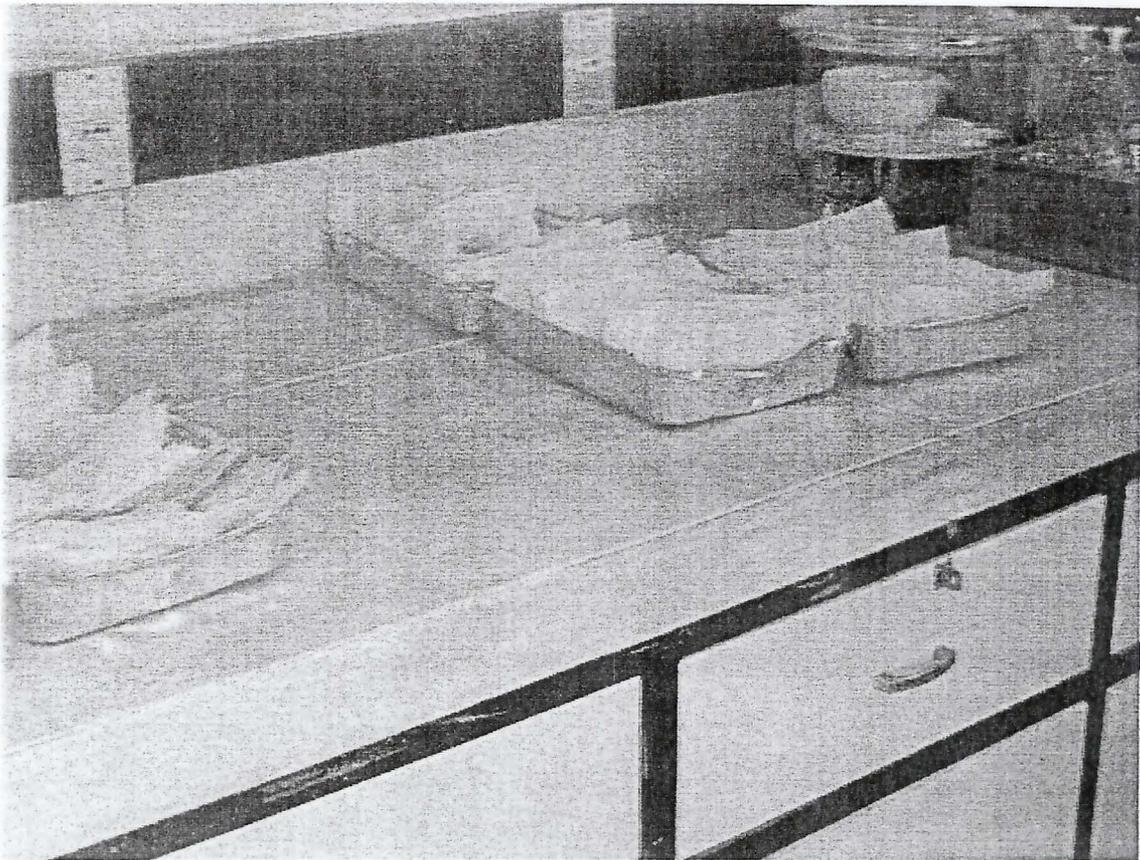
Celulosa con mayor o menor grado de refinación obtenida de forestal Arauco.



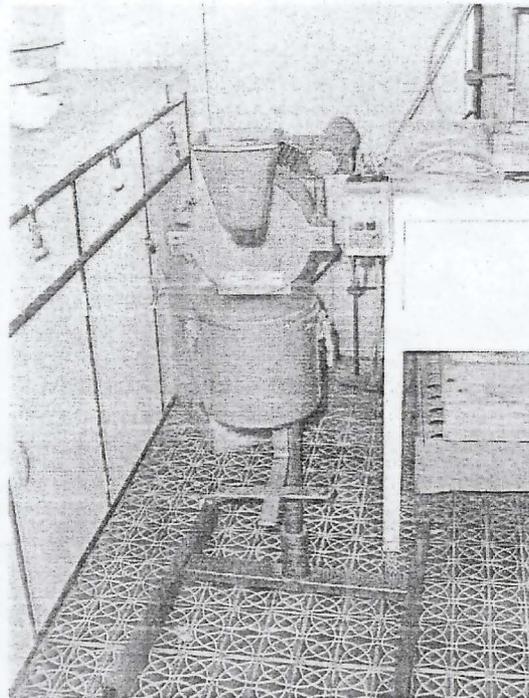
Celulosa activada para su uso como compuesto acomplejante del boro por tratamiento ácido-básico.



Mesones de trabajo en su estado inicial antes de que se adecuaran para el proyecto.



Mesones con recubrimiento remozado.



Equipo de molienda utilizado para reducir la granulometría del carbón activado adquirido.



Envases de plástico adquiridos con muestras de agua tratada por sistema de complejo boro phi y adsorción sobre carbón activado listas para análisis.

El equipo destilador de agua se instaló en un recinto especialmente habilitado desde donde se abastece continuamente al proyecto. Con las actividades descritas se logró dejar instalado y habilitado el laboratorio para el trabajo durante esta etapa del proyecto.

En lo que respecta a la selección y adquisición de los secuestrantes y adsorbentes de mayor eficiencia y de más bajo costo, esta actividad se encuentra bastante avanzada. En lo que se refiere a los compuestos polihidroxilados con capacidad de unirse al boro en solución, hasta el momento se ha efectuado una búsqueda de fuentes o proveedores de los principales compuestos con actividad significativa y se han obtenido muestras de compuestos que por su relación precio calidad puedan tener una potencial utilización como acomplejantes del boro. Finalmente los compuestos acomplejantes se han seleccionado por su relación entre el costo, disponibilidad y adecuación de su estructura molecular a los fines perseguidos algunos compuestos y se han pedido o adquirido muestras de melazán, manitol, glicerol, celulosa y pentaeritritol. Todos estos compuestos

fueron evaluados en función de su capacidad para acomplejarse con el boro y posteriormente ser adsorbidos en una columna de carbón activado en el modelo de columnas.

En una primera experiencia de laboratorio se hizo un screening rápido de varios adsorbentes disponibles en laboratorio respecto de su capacidad para remover el complejo boro phi, pruebas que se hicieron en modelo tipo batch para evaluar el carbón activado junto a la diatomita, sílica gel y una cama de celulosa activada.

Como se mencionó en la discusión de los aspectos metodológicos, ya durante el segundo periodo informado, la necesidad de mejorar la capacidad de retención del complejo boro phi que se forma al añadir los compuestos polihidroxilados que había hasta aquel momento utilizados en la experiencias, los cuales eran retenidos en carbón activado pero causaban una saturación relativamente rápida de este. Para resolver este problema, posteriormente se llegó a obtener una matriz adsorbente comercial recomendada para la adsorción de compuestos orgánicos, en especial carbohidratos, a partir de soluciones acuosas, que se comercializa normalmente como una alternativa al carbón activado y cuya principal ventaja comparada a este último es que tiene un potencial de reutilización indefinido mediante tratamiento ácido básico. El producto comercial utilizado fue la matriz adsorbente DA 201-C, compuesto macroporoso polifenólico de origen asiático. Se evaluó la eficiencia de remoción del complejo boro PHI por esta matriz adsorbente en un modelo columnar, cuyos resultados, relativamente similares al carbón activado, se discutirán en la sección de resultados.

A pesar de que el resultado no fue el esperado, la búsqueda de matrices adsorbentes específicas para carbohidratos derivó en la observación de que era factible fijar un compuesto PHI en una matriz adsorbente, lo que dio pie a que el equipo de trabajo ideara el desarrollo de una columna adsorbente en la cual el compuesto PHI estuviese adosado en forma estable y el agua se hiciese pasar a través de ella, lo que poseía una ventaja clara con respecto a la oportunidad de que se forme el complejo boro phi en un espacio poroso restringido, aumentando así en varios ordenes de magnitud la posibilidad de remover el borato y que este quede inmovilizado. A esas alturas de la ejecución de las actividades, se incorporó un compuesto polihidroxilado más al análisis de alternativas, denominado N-metil-glucamina, lo cual fue motivado por que en la literatura se describe como un compuesto de fácil adsorción dado que posee un grupo metilo que le otorga un

peso molecular relativamente mucho mayor a los demás compuestos phi ensayados. Este compuesto, que fue adquirido tanto en forma de compuesto analítico como en forma de producto a granel, demostró una eficacia comparable a la del compuesto manitol para la formación del complejo boro phi y su remoción por adsorción en carbón activado, aunque claramente el mayor peso molecular influye en que requiere su uso en mayor proporción. Sin embargo, la misma característica de un alto peso molecular que este compuesto posee lo hizo altamente atractivo para la experiencia que se desarrolló con respecto a inmovilizar e PHI en una matriz adsorbente en vez de disolverlo directamente en el agua.

Los antecedentes disponibles antes del inicio del proyecto indicaban que la remoción del ión borato por sistemas de osmosis inversa nunca es eficiente, alcanzando en el mejor de los casos a un 70% del borato en solución, siendo frecuentes abatimientos menores al 50% de este compuesto, lo cual implica que la Osmosis inversa no es un sistema utilizable para una adecuada remoción del boro para uso agrícola. Sin embargo, la existencia de numerosos equipos comerciales de Osmosis inversa instalados en la provincia de Arica hizo interesante evaluar la posibilidad de mejorar la eficiencia de la osmosis inversa con respecto al borato por medio de su acomplejamiento con un compuesto PHI que aumentara el tamaño del compuesto a remover en las membranas y por ende hiciese más eficiente la remoción. En este marco se instaló y adecuó el equipo de Osmosis inversa propiedad de la Universidad de Tarapacá para efectuar pruebas en que se agregaron varios compuestos phi a volúmenes de agua del río Lluta y se midió la concentración de boro obtenida en el agua producto y el agua de rechazo desde el equipo. Los resultados indicaron que existía una relación directa entre el peso molecular (asociado al tamaño) del complejo boro phi y su remoción por parte del equipo, identificándose al phi n-metil-glucamina como el que logró el efecto más significativo en el aumento de la eficiencia del sistema de Osmosis Inversa. Sin embargo, el equipo utilizado, que originalmente se adquirió para producir agua potable a partir de agua marina, resultó ser por si mismo mucho más eficiente en la remoción del borato que lo esperable por los antecedentes disponibles, lo que motivó la inquietud de que ese factor estuviese incorporando un factor no replicable en los resultados. Por ello se decidió efectuar una prueba en un equipo de Ol convencional, y de preferencia que se estuviese utilizando actualmente en forma rutinaria, de modo de poder observar directamente un efecto del compuesto phi en condiciones

menos ventajosas de operación. Esta prueba se hizo en la planta de OI existente en el centro de producción de insectos estériles del Servicio Agrícola y Ganadero en el valle de Lluta, obteniéndose resultados significativos para el uso del compuesto phi, pero que en la práctica indican que los sistemas de OI no pueden ser utilizados eficientemente para la remoción del boro aunque este se acompleje con un compuesto PHI.

Como ya se mencionó, la búsqueda de alternativas de matrices adsorbentes para retener el complejo boro phi llevó al equipo de trabajo del proyecto a modificar conceptualmente el modelo de acción de la formación del complejo boro phi para aprovecharlo en función del abatimiento del boro. Esta modificación surgió del hecho que se observó a partir de los resultados obtenidos que una proporción del boro nunca llegó a acomplejarse con el compuesto phi al agregarse este a la solución, dado que la posibilidad de reacción no se optimiza fácilmente al depender de una probabilidad de encuentro de las moléculas en solución, que está en función directamente de las proporciones de cada uno de los participantes, lo que en la práctica implica que siempre se debe añadir compuesto PHI en exceso a la solución para asegurar que la mayor parte del borato llegue a acomplejarse, lo cual a su vez implica que la matriz adsorbente siempre puede saturarse rápidamente con el compuesto phi que no está acomplejado con borato, reduciendo así drásticamente la eficiencia de adsorción del complejo boro phi. En este sentido, resultó inmediatamente evidente que un enfoque en el cual el compuesto PHI se encontrara fijo en una matriz porosa, y expuesto al contacto con el agua en el espacio poroso de dicha matriz, sería una forma de elevar en varios órdenes de magnitud la eficiencia de la reacción de acomplejamiento, con la ventaja adicional que el compuesto phi fijado en una matriz sería reutilizable al no quedar en solución, y que la elusión del boro acomplejado siempre es posible al pasar una solución ácida por la matriz, que ya sabemos que es capaz de desacomplejar el borato y volverlo a su forma soluble.

Sin embargo, este modelo teórico requiere que el compuesto PHI esté fijo en una matriz porosa. En nuestro caso particular, la disponibilidad de n-metil-glucamina, que tiene un grupo metilo que se adsorbe establemente en carbón activado, hizo posible plantear que una matriz de este adsorbente se saturara con una solución concentrada de dicho PHI. De este modo se obtiene una matriz porosa, que es provista por las características de carbón activado, recubierta con el compuesto PHI. Se hizo una serie de experimentos con una columna de la matriz así obtenida y se

observó un comportamiento que confirmó que este enfoque teórico era acertado al tener una eficiencia bastante mayor en la remoción del boro con respecto a la aplicación directa del PHI en el agua a tratar. Además, la columna de carbón demostró ser reutilizable mediante lavado ácido y ajuste posterior de pH con solución de NaOH. Los resultados se encuentran en la sección correspondiente. El relativo éxito del nuevo enfoque conceptual que se dio a la formación del complejo boro phi al circunscribirlo al espacio poroso de una matriz recubierta con el grupo activo PHI, permitió concentrar el esfuerzo en buscar otras matrices porosas en las cuales se pudiese fijar el compuesto phi y que permitiesen un reuso indefinido. En este proceso de búsqueda se identificaron productos comerciales con las características deseadas desde el punto de vista teórico, y que consistían en una matriz macroporosa de poliestireno-divinilbenceno recubierta con grupos funcionales para intercambiar iones, dentro de las cuales existían también la opción de recubrimiento con n-metil-glucamina, producto que se utiliza en procesos de obtención de magnesio, en el cual se requiere que las salmueras de magnesio estén libres de borato, luego de cotizar el producto, se observó que era demasiado caro, y posteriormente se encontró un fabricante genérico de este tipo de productos con el cual se llegó a un acuerdo de precios del orden de 9 veces menos que los productos comerciales existentes. Se obtuvo una muestra de este producto y se sometió a pruebas para evaluar su capacidad para retener borato en solución, la cual resultó ser muy alta y con una eficiencia de remoción que claramente superaba con creces lo hasta ahora logrado en laboratorio. Estas características se deben a que esta matriz macroporosa tiene ligada la n-metil-glucamina por un enlace a través del grupo metilo, dejando completamente expuesto el grupo polihidroxilado, y además, tiene una alta proporción de n-metil-glucamina por unidad de superficie, lo cual la hace altamente eficiente para remover el borato en solución. Asimismo, el hecho de que la matriz sea inerte, le confiere a este compuesto una posibilidad de reutilización indefinida, que solo debe eluirse con el sistema de lavado secuencial ácido / básico, lo que resulta a su vez en que el costo de adquisición del producto (5 Eros por kg.) sea amortizable en un periodo largo, contribuyendo así a la economía del sistema de tratamiento de agua para riego.

La matriz macroporosa descrita se utilizó como base para el diseño de un sistema de laboratorio que permitiese evaluar los distintos parámetros de uso de este material, tales como el flujo de agua a tratar a través de la columna, la proporción máxima de agua tratada antes de saturar

la capacidad de retención de borato por parte de los grupos PHI, la optimización económica de las soluciones de lavado ácido y básico, etc. Se han obtenido resultados para estos parámetros que han sido la base para efectuar el diseño de la unidad piloto que se instalará en terreno para la ejecución de la parcela experimental.

En base a los rangos de operación óptimos determinados para la operación de una columna de matriz macroporosa con n-metil-glucamina a nivel de laboratorio se diseñó y proyectó una unidad de tratamiento para sustentar el riego por goteo de 1 hectárea de cultivos experimentales sensibles al boro. Se diseñó el sistema para tratar una cantidad nominal de 70 m³ de agua por jornada de riego, correspondiente al nivel máximo observado de evaporación en bandeja evaporimétrica para el valle de Lluta (7 mm/día). El diseño, efectuado por el Ingeniero Civil Mauricio Riveros Tiemann.

En el marco de las actividades tendientes a identificar la magnitud de la problemática de la contaminación natural con boro en la cuenca del valle de Lluta, se procedió a llevar un registro de los contenidos de boro registrados en las muestras que se han obtenido desde el río Lluta durante la ejecución de las etapas de laboratorio de la línea de trabajo desarrollada en laboratorio. Estas, en comparación con otra serie de muestras tomadas con anterioridad en el marco de una caracterización anual de la calidad del agua del río Lluta, evidencian que la contaminación natural durante el periodo de ejecución del proyecto fue significativamente mayor que la registrada en monitoreos de años previos.

Ya durante el periodo cubierto en el tercer informe de avance, se procedió a la construcción del cuerpo principal del equipamiento diseñado para alojar la matriz macroporosa adsorbente de boro en función del diseño ajustado que se obtuvo en la etapa anterior. La construcción fue efectuada en fibra de vidrio de 4 capas dado que se consideró como la mejor opción en cuanto a resistencia de materiales, costo de construcción y facilidad de manejo del equipo. La construcción de aparato transcurrió en alrededor de 30 días dada la relativa complejidad y formas particulares del equipo que plantearon un desafío al fabricante.

Paralelamente a la construcción del equipo se procedió a solicitar a la empresa con la cual anteriormente se había llegado a un acuerdo de precios por la fabricación de la matriz macroporosa, que iniciara la fabricación del material que constituye la matriz macroporosa adsorbente de boro, la cual estuvo disponible el 15 de Enero de 2004 en las bodegas de la Universidad. Simultáneamente se comenzó el trabajo de preparación de los terrenos del predio del Agente Asociado Paola Gaete Parra, donde se ejecutó un roce del terreno, para posteriormente arar y rastrear quedando el suelo preparado para su cultivo. Conjuntamente se procedió a preparar los elementos adicionales requeridos para la instalación del cuerpo principal del sistema piloto. Se instaló un estanque de acero de 45 m³ de capacidad que está destinado a recibir el agua tratada por el equipo. Se instaló una caseta de 10 m² para alojar el cuerpo principal y aditamentos adicionales (filtro de cuarzo, bombas y tablero de mandos) que fue dotada de la instalación eléctrica requerida para el funcionamiento del equipo. Una vez que el cuerpo principal del equipo estuvo construido, se procedió a instalar el sistema en la caseta destinada, sistema que cuenta con 2 circuitos de bombeo (para el agua a tratar y para el sistema de reactivación de la matriz macroporosa, sistema de filtración por cuarzo, y almacenamiento del agua tratada y del agua para las soluciones de lavado. Paralelamente se procedió a adquirir los materiales (ácido sulfúrico y soda cáustica) que se requieren para la reactivación de la matriz macroporosa que permitan el funcionamiento del equipo por un estimado de 3 meses con ciclos de 8 horas diarias de operación. Se continuó con la preparación de terreno dejando lista la excavación para la tubería matriz que permitiría el riego con cintas de goteo de la parcela experimental, que se dividió en dos subsectores de aproximadamente 0,5 hectáreas cada uno. Durante este periodo además se efectuó un trabajo a nivel de laboratorio destinado a determinar experimentalmente la elusión del boro a partir de muestras de suelo de la parcela experimental al lavar las columnas con agua sin boro, para simular las condiciones a las que se sometería el suelo una vez que se comenzara a regar con agua tratada y determinar si este tratamiento era suficiente para remover el boro presente en el suelo con el objeto de posibilitar el crecimiento de especies sensibles al boro presente en la solución del suelo. Este experimento se hizo primero para una columna de suelo elaborada con muestras de suelo de distintas profundidades, imitando el perfil de suelo real existente en el predio experimental. Posteriormente, el experimento se repitió con muestras de suelo de la capa superficial, donde es mayor la concentración de raíces para corroborar y validar los resultados obtenidos.

Una vez que se instaló el sistema piloto se ha procedido a la puesta en marcha del mismo, durante la cual surgieron una serie de imprevistos que prolongaron ampliamente la duración de la puesta en marcha. Los problemas se asociaron siempre a la resistencia de las uniones de la estructura del sistema piloto, las cuales no soportaron la presión de trabajo de diseño. Una vez que se solucionaron estos inconvenientes por medio del refuerzo de las uniones, se experimentaron otros problemas debido a la inherente complejidad de compartimentalizar la matriz macroporosa y evitar que esta escape junto con el agua tratada. Este problema se prolongó en el tiempo pero luego se han encontrado vías de aminorarlo y neutralizar su efecto negativo en las condiciones de la Unidad piloto. Posteriormente al periodo de puesta en marcha, se logró operar la unidad piloto en forma diaria sin mayores problemas, (salvo eventuales necesidades de abrir el equipo para chequeos y eliminación de residuos de arcilla en el periodo de crecidas del río), efectuándose mediciones rutinarias de boro y con toma de muestras periódicas para el chequeo en laboratorio. Se logró así mantener por un periodo prolongado un constante lavado del suelo destinado a la parcela demostrativa y a la unidad agrícola de evaluación técnica y económica, efectuándose un monitoreo del nivel de boro presente en el suelo a distintas profundidades para evaluar la eficacia del lavado, mediciones las cuales se vieron mejorada cuando se instalaron tomadores de muestra fijos de la solución del suelo para poder evaluar el fenómeno de lavado con mayor precisión. Durante este periodo se logró establecer y mantener un set de plantas sensibles al boro en maceteros que permitieron validar la eficacia del sistema de tratamiento del agua de riego en comparación con el agua no tratada. En este periodo también se desarrolló y pudo ser validada una metodología de medición comparativa de boro por medios visuales que permitió evaluar el funcionamiento del equipo en terreno y que muestra un grado de sensibilidad altamente adecuado para los fines perseguidos. En ese momento, y dada la limitación de caudal de operación de la Unidad piloto ya mencionada, se procedió a la construcción de una unidad de tratamiento que complementaría a la unidad ya en funciones, para aumentar la capacidad de tratamiento diaria y permitir el riego de una superficie mayor conforme a los nuevos objetivos del proyecto en su periodo de extensión.

A partir de Febrero del 2005 se incorporó el nuevo agente asociado y se comenzó la construcción de la unidad de tratamiento hidropónico y una infraestructura para el alojamiento de los

sistemas productivos de plantas sensibles al boro, habiendo decidido ampliar la evaluación a la producción de hierbas aromáticas y condimentos.

En el periodo correspondiente al informe de avance 4, se efectuaron los seminarios en Arica y Antofagasta, contando con animada concurrencia y amplio debate e interés por parte de los participantes. En el predio experimental se efectuaron visitas de personal de INDAP y de productores y dirigentes gremiales del valle de Lluta.

Una vez que se logró instalar la unidad de tratamiento auxiliar, lo cual permitió finalmente llegar al umbral de concentración de boro deseado en el suelo al aumentar el caudal de lavado, se procedió a la siembra del primer cultivo demostrativo de Porotos Verdes, poroto soya, pepino de ensalada y maíz híbrido choclero dulce, junto con la plantación de algunos frutales. Las especies crecieron y completaron su ciclo de cultivo, pero se obtuvieron malos rendimientos debido a la toxicidad de Boro experimentada por el ascenso capilar del Boro presente en la napa freática subsuperficial.

En Octubre del 2005 se procedió a efectuar el seminario de difusión en Camarones, contando con significativa concurrencia, amplio debate e interés por parte de los agricultores de la cuenca.

Dado el problema experimentado por el cultivo experimental, se decidió, para fines demostrativos, con un reemplazo parcial del suelo de las hileras de cultivo con suelo con concentración de Boro conocida y baja, aislado de la capilaridad por una capa de granulometría gruesa (ripió) y un plástico perforado para facilitar el drenaje. Además se procedió a establecer directamente en suelo de Lluta otras especies sensibles al boro pero con menor sensibilidad a la salinidad total. Esta experiencia logró superar con creces las expectativas y ha producido un gran impacto al permitir apreciar el desarrollo abundante y productivo de especies y variedades hortícolas nunca antes posibles en el Valle de Lluta.

Paralelamente, en función de tener un parámetro directo de comparación que permitiese aislar el efecto de la presencia de boro en el suelo y observar solo el efecto del agua, se incorporó un agente asociado adicional al proyecto, el empresario agrícola Hernán Urbina Pérez, en cuyo predio se instaló una unidad bajo cubierta de malla que permitiese el cultivo de especies en sustratos inertes libres de boro, con una unidad de tratamiento para eliminación de boro de microescala. Esta unidad resultó también de un alto impacto demostrativo ya que permitió evidenciar

el potencial de variabilidad y excelente desarrollo vegetativo y reproductivo de las especies obtenido por medio del riego con agua reducida en boro.

Finalmente fue posible demostrar a una amplia audiencia la viabilidad técnica y económica del sistema de tratamiento con la difusión de los resultados en la actividad final realizada en el Valle de Lluta, capturando un amplio interés por parte de los agricultores, autoridades del ámbito agrícola, empresarios y profesionales del agro.

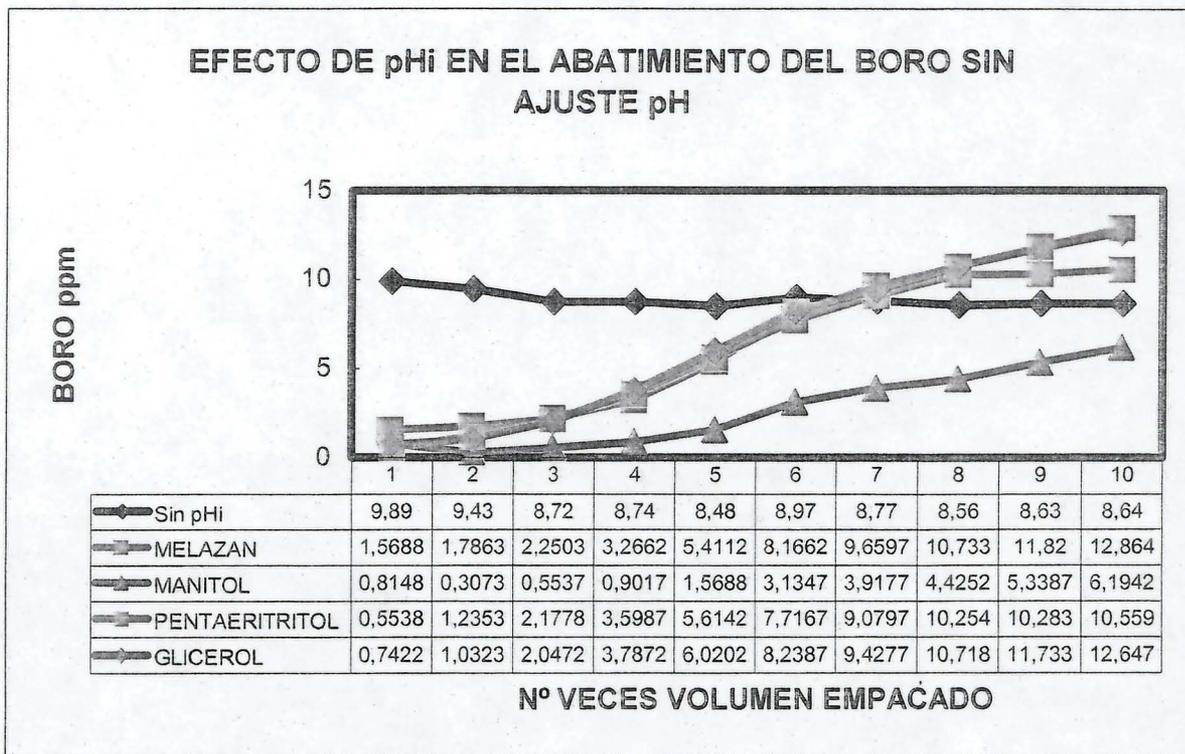
III.5 Resultados del Proyecto

En términos de los resultados esperados, se pueden establecer los siguientes resultados del proyecto en función de las líneas de trabajo abordadas:

Línea de trabajo 1: Optimización a nivel laboratorio de un sistema de depuración de boro.

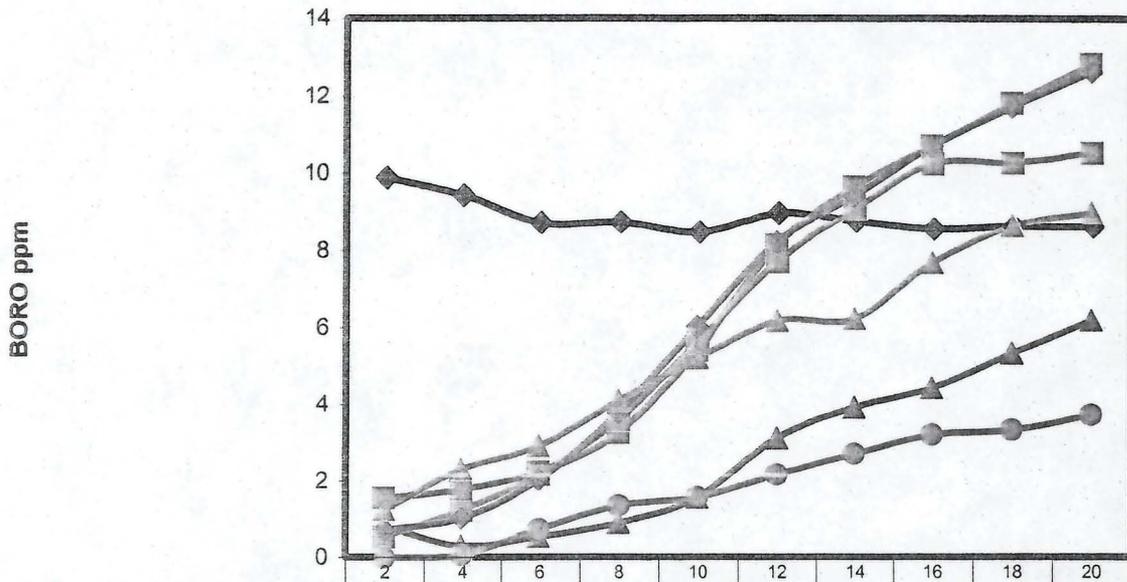
Se obtuvieron los siguientes resultados:

- Listado de compuestos polihidroxilados con capacidad de acomplejamiento con Boro en solución y potencial de ser removido del medio acuoso por adsorción.



□ Identificación fehaciente del compuesto polihidroxiado de mayor afinidad, eficacia y eficiencia para el acomplejamiento con Boro en solución (n-metilglucamina).

EFFECTO DE pH EN EL ABATIMIENTO DEL BORO SIN AJUSTE pH

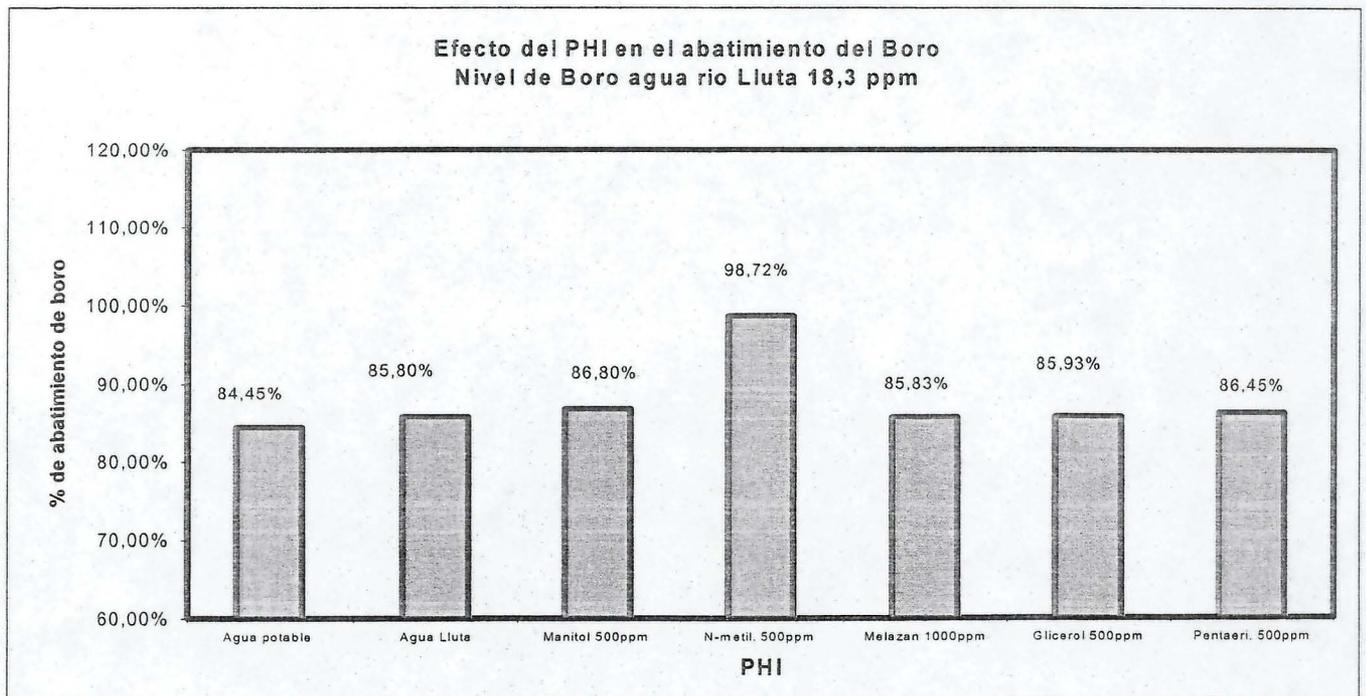


	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
◆ Sin pH	9,89	9,43	8,72	8,74	8,48	8,97	8,77	8,56	8,63	8,64
■ MELAZAN 584 ppm	1,5688	1,7863	2,2503	3,2662	5,4112	8,1662	9,6597	10,7327	11,8201	12,8641
▲ MANITOL 500 ppm	0,8148	0,3073	0,5537	0,9017	1,5688	3,1347	3,9177	4,4252	5,3387	6,1942
✖ PENTAERITRITOL 500 ppm	0,5538	1,2353	2,1778	3,5987	5,6142	7,7167	9,0797	10,2542	10,2832	10,5587
◆ GLICEROL 1130 ppm	0,7422	1,0323	2,0472	3,7872	6,0202	8,2387	9,4277	10,7181	11,7332	12,6466
● N-METILG. 1000 ppm	0	0,073	0,7568	1,3658	1,5833	2,1778	2,7288	3,2218	3,3378	3,7292
▲ N-METILG. 500 ppm	1,2498	2,3083	2,9318	4,0917	5,2082	6,1652	6,2232	7,6877	8,6447	8,9927

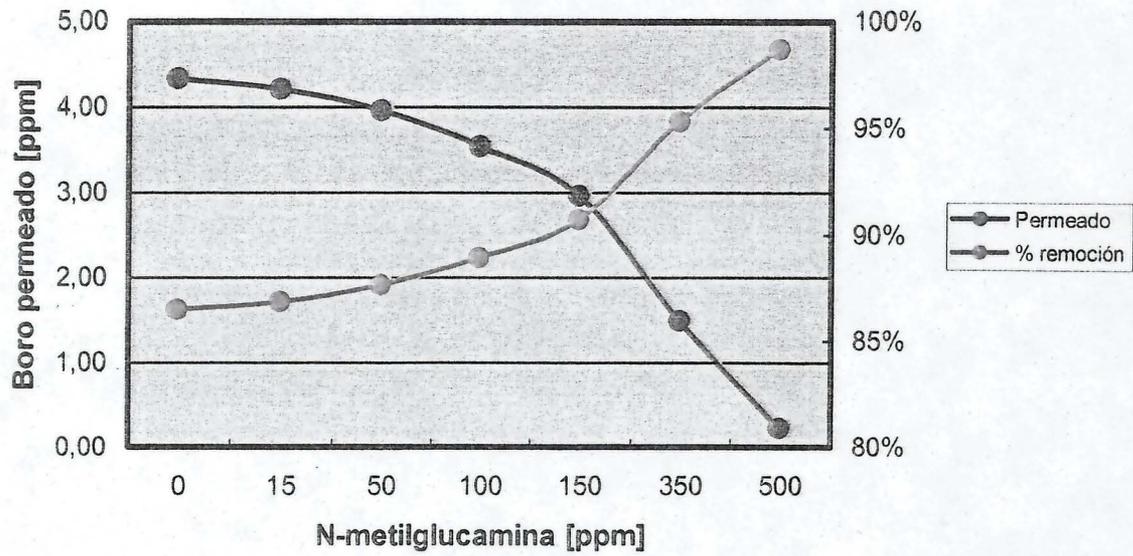
Nº VECES VOLUMEN EMPACADO

□ Comprobación de la eficacia del compuesto seleccionado en modalidad de remoción por adsorción en diversos tipos de compuestos adsorbentes, ó por retención en sistema de Osmosis Reversa.

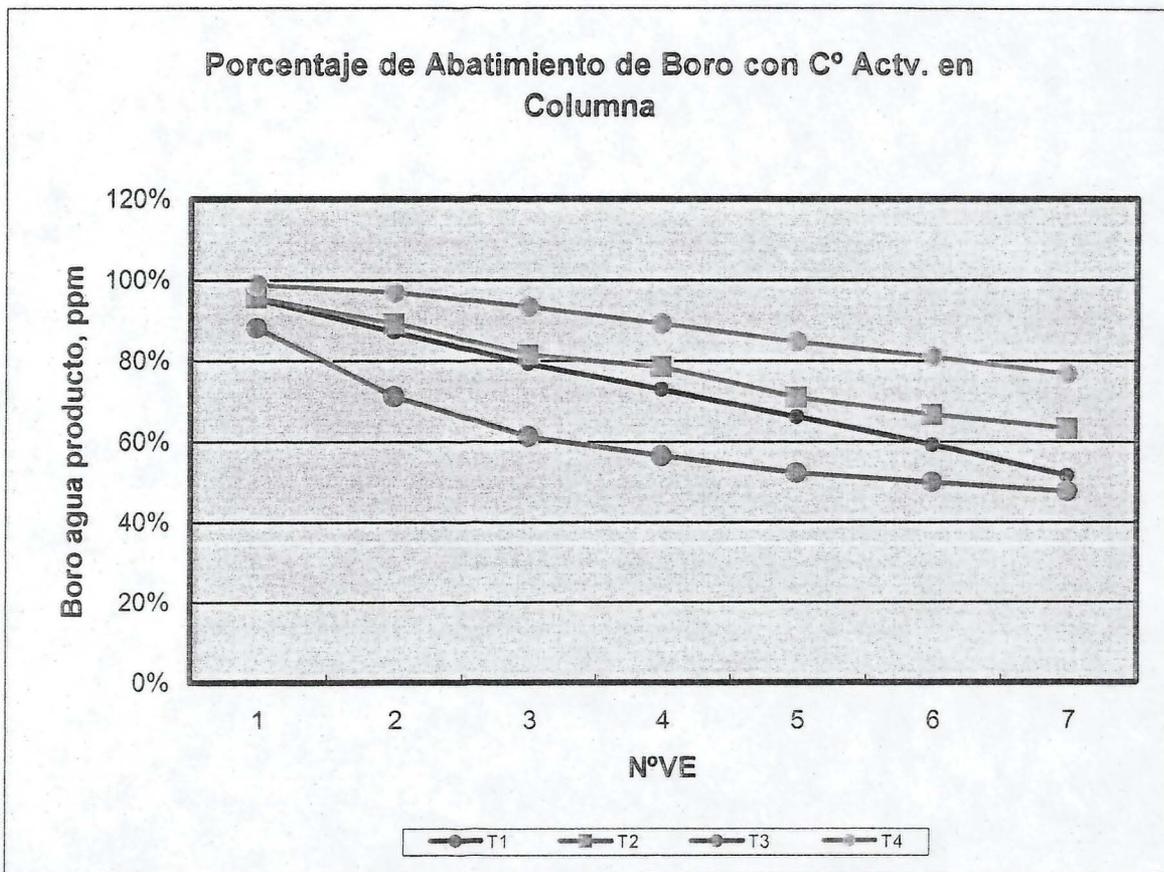
PHI	Concentración de Boro PHI más OI [ppm]		
	Alimentación	Permeado	Rechazo
Agua potable sin PHI	1,5196	0,2363	2,4584
Agua Lluta sin PHI	22,579	3,2073	36,6294
Manitol 500 ppm	18,3016	2,41565	30,48425
N-metilglucamina 500 ppm	18,3016	0,23335	32,5432
Melazán 1000 ppm	17,6374	2,499	28,8603
Glicerol 500 ppm	18,0986	2,5472	30,00575
Pentaeritritol 500 ppm	18,0986	2,453	29,8898



Abatimiento del Boro a diferentes concentraciones de N-metilglucamina. Agua alimentación 32.16 ppm

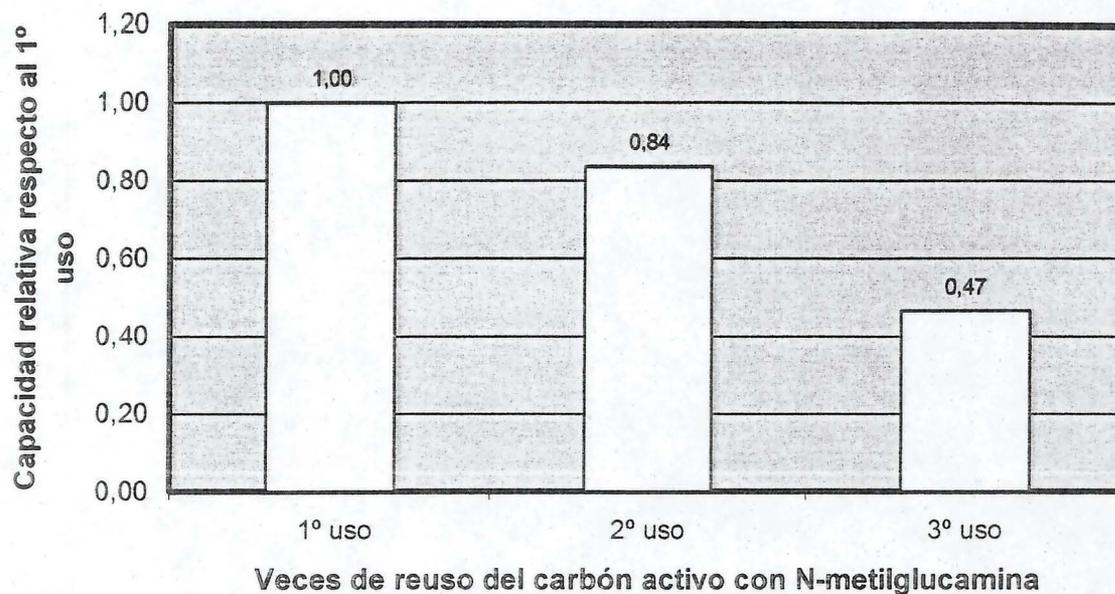


□ Comprobación de la viabilidad de usar el compuesto seleccionado unido a una matriz sólida a través de la cual se puede circular el agua en un espacio poroso limitado para reducir la cantidad total del compuesto PHI utilizado.

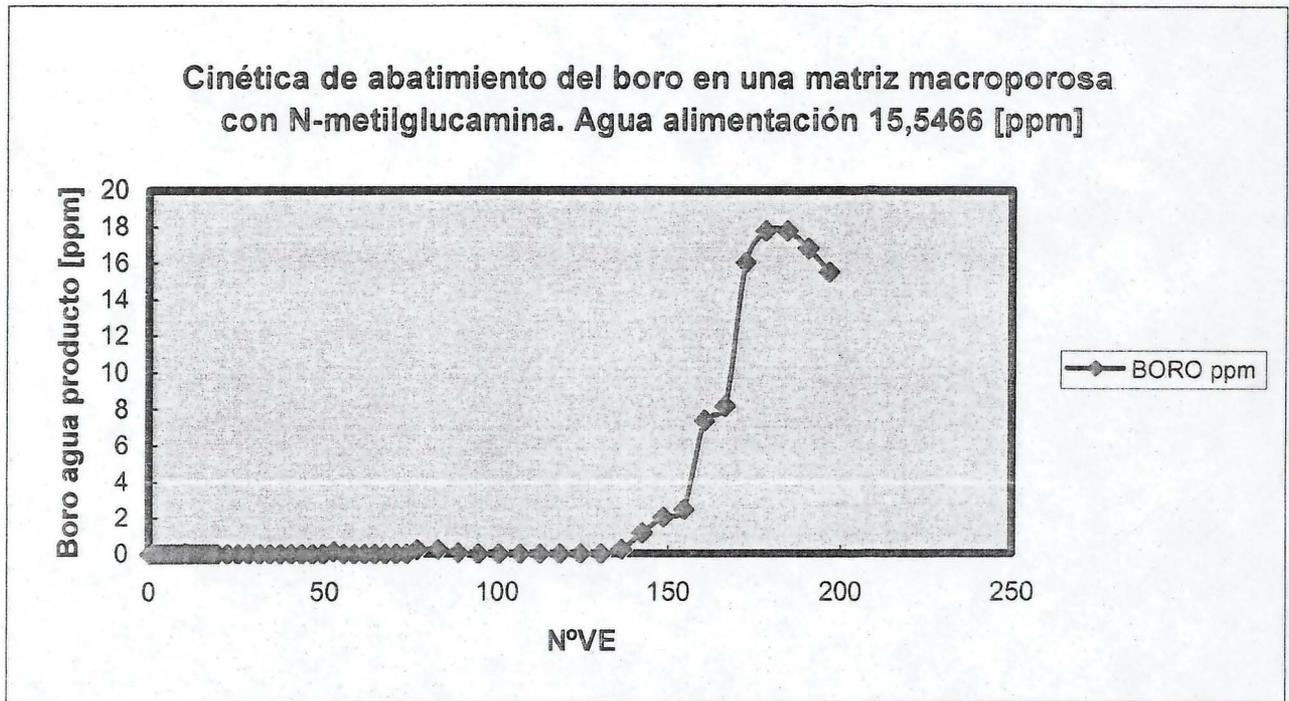


□ Comprobación de la reutilizabilidad de la matriz sólida activada con compuesto polihidroxilado para remover el boro en eventos sucesivos.

Capacidad de abatimiento relativa



□ Contacto con fabricante de matrices sólidas inertes recubiertas con moléculas específicas, confirmación de la posibilidad técnica de unir la molécula polihidroxilada seleccionada en un marco de costos acotado, establecimiento de acuerdo comercial de precios y abastecimiento con esta entidad.



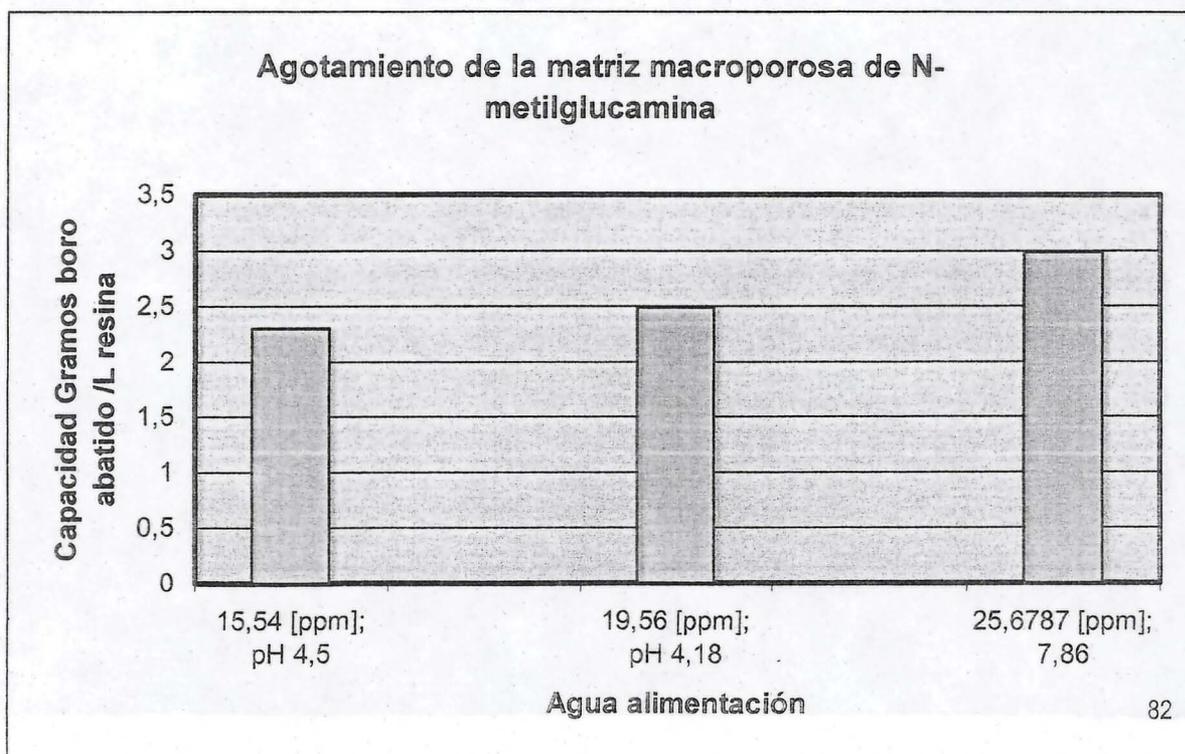
□ Optimización exhaustiva de la reutilización de la matriz macroporosa obtenida con énfasis en reducción de costos de regeneración.

□ Parámetros de operación óptimos (caudal máximo de operación, capacidad máxima de retención, concentración de soluciones regenerantes, condiciones de flujo de consideraciones regenerantes, condiciones de flujo de enjuague).

Es posible indicar que a mayor concentración de boro en el agua a tratar, se obtiene un menor N°VE tratados con concentraciones de boro efluente menores e iguales a 3 ppm, lo cual es absolutamente esperable dada la capacidad finita de la matriz para atrapar el boro disuelto. El detalle de los datos se observa en el cuadro siguiente.

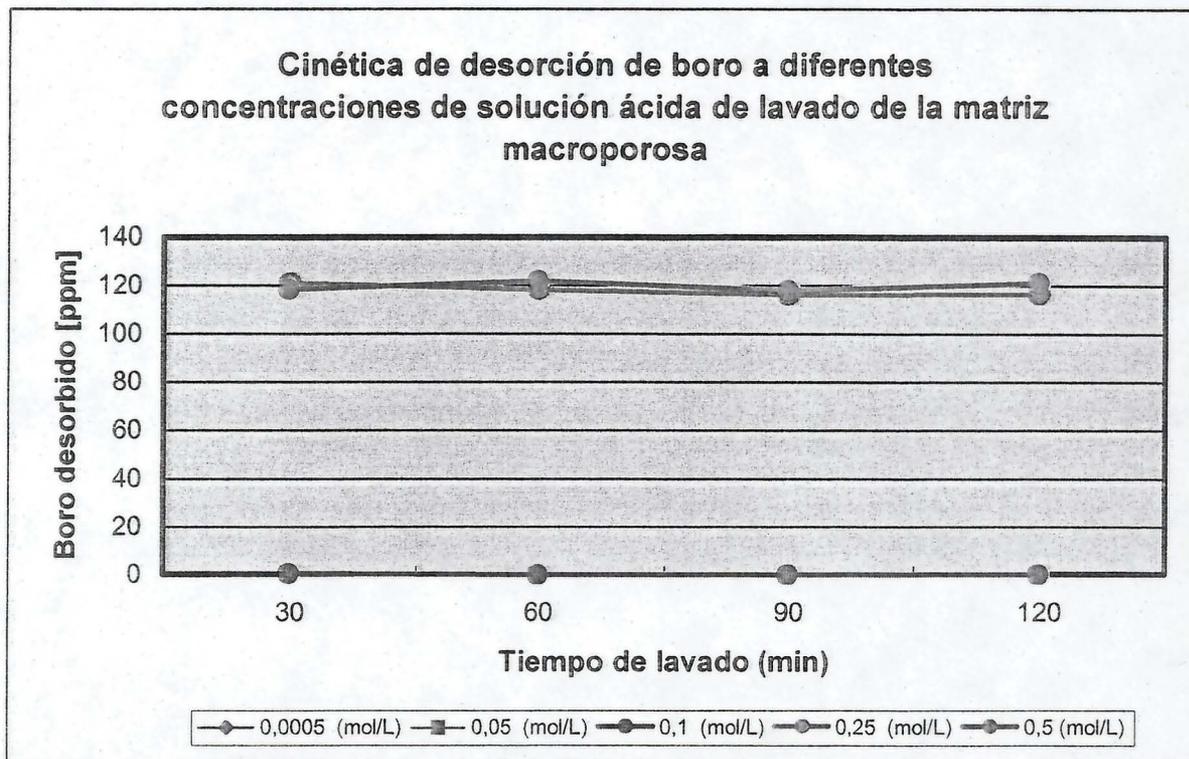
Boro agua alimentación [ppm]	N°VE Boro \leq 3 ppm	Boro abatido [gr/L matriz macroporosa]
15.54	157	2.29
19.56	127	2.49
25.67	73	2.98

Es notable el hecho que la columna es capaz de retener una cantidad mayor de boro mientras mayor sea la cantidad disuelta en el agua a tratar, como se observa en el gráfico siguiente:



Aproximación preliminar al protocolo de lavado y re-uso de la matriz macroporosa

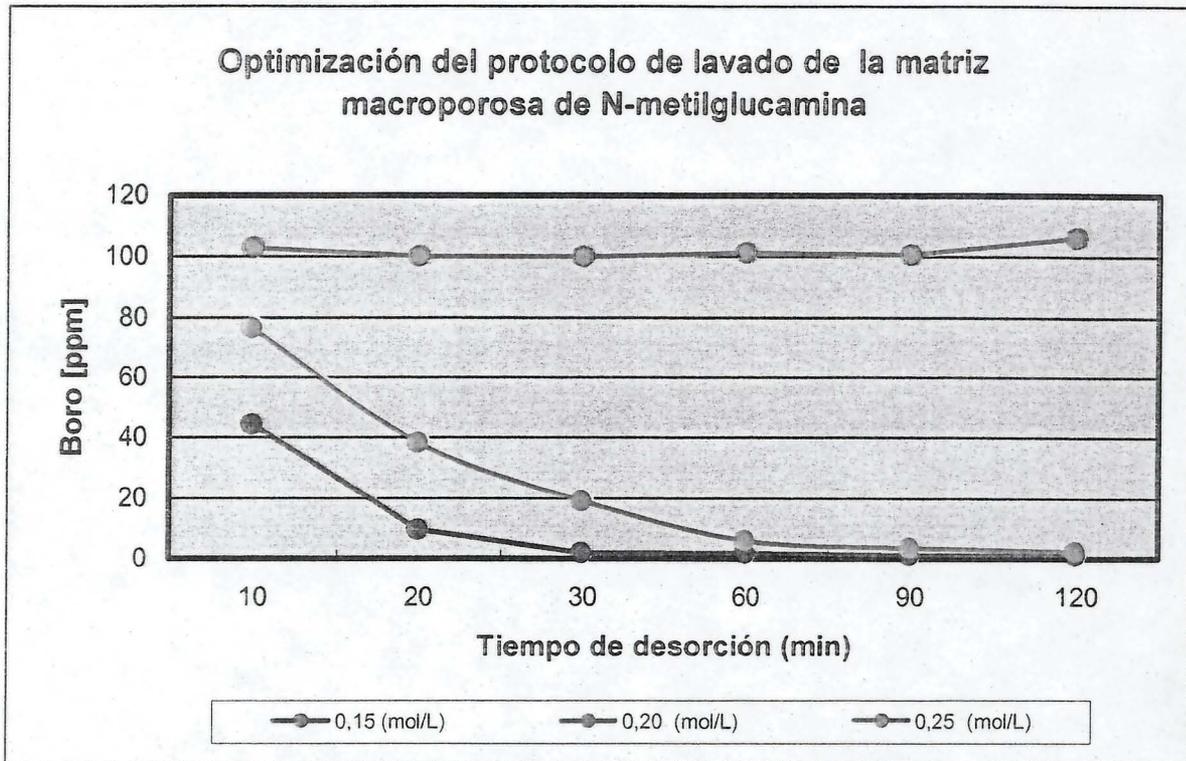
Los resultados de la desorción del boro obtenidos en la primera serie de pruebas en sistema batch están graficados en la siguiente figura. Es posible observar que a concentraciones de solución ácida de lavado menores a 0.25 [mol/L] de H₂SO₄, el boro no se desorciona de la matriz.



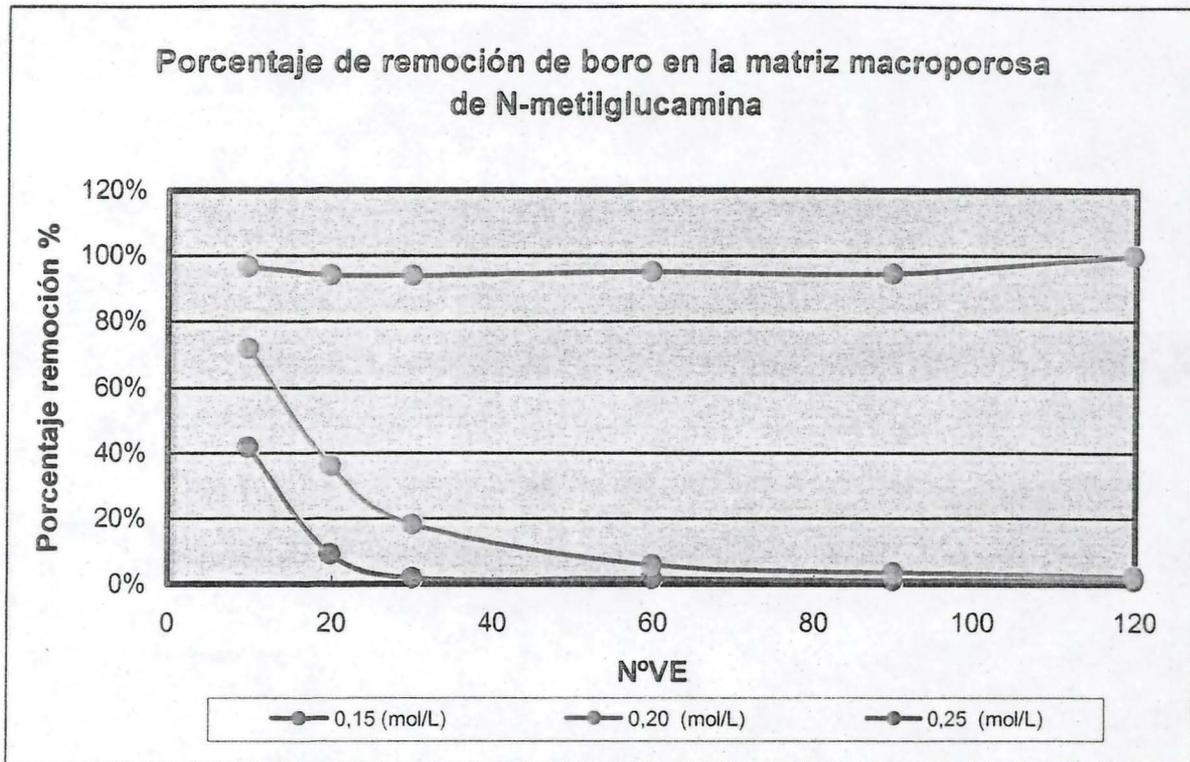
El detalle de los resultados obtenidos se encuentra en el cuadro siguiente:

H ₂ SO ₄ (mol/L)	Boro desorbido (mg/L) a cada tiempo de lavado (min)			
	30	60	90	120
0,5	118,6366	122,2616	118,0566	121,3916
0,25	121,1016	118,4916	116,3166	116,6067
0,1	0,556	0	0	0
0,05	0,4406	0	0	0
0,0005	0	0	0	0

Para optimizar y validar los resultados obtenidos se realizó un nuevo ensayo en sistema batch a las concentraciones de ácido que dieron mejor desorción del boro retenido, obteniéndose los siguientes datos:



Se observa que se confirmó que la concentración mínima de ácido sulfúrico que resulta eficaz para el lavado del boro retenido en la matriz macroporosa es de 0,25 mol/L. El siguiente gráfico presenta la remoción lograda en términos porcentuales respecto al boro que se encontraba presente en el agua tratada.

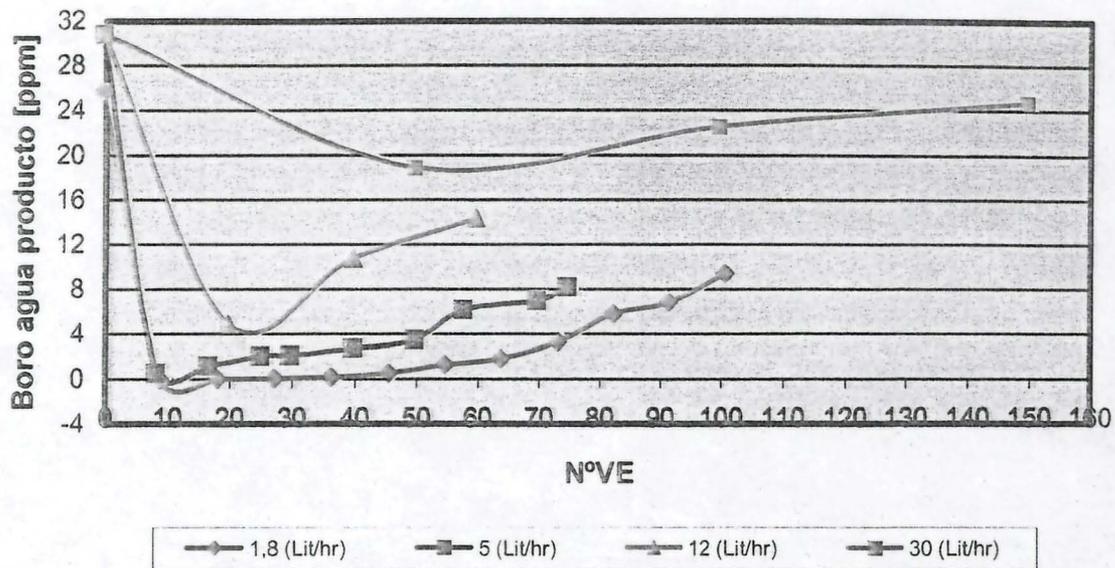


A partir de estos resultados se determinó que a concentraciones menores de 0.25 [mol/L] ácido H₂SO₄ , no se logra la desorción total del boro abatido por la matriz, y que 15 min de lavado con solución ácida es suficiente para desorber el boro de la matriz.

Flujo de operación del sistema continuo de abatimiento de boro en columna con una matriz macroporosa de N-metilglucamina

El resultado de la experiencia del máximo flujo que permite un tratamiento eficiente del agua en la matriz macroporosa se grafican a continuación:

Efecto del flujo de operación en el abatimiento el boro.
Volumen resina 100 ml. Agua alimentación Boro 24,97 [ppm]



De los resultados es posible concluir que el mejor flujo de operación en una matriz macroporosa para tratar aguas con niveles de Boro cercanos a los 25 [ppm], es el de 1,8 [L/hr], equivalente a un caudal relativo al volumen de la cama de matriz de 18 volúmenes por hora, obteniendo el mejor rendimiento de volúmenes de agua tratada a un nivel de concentración de boro en el agua producto \leq a 3 [ppm]. Este dato es uno de los de mayor importancia para el diseño del sistema piloto, ya que permite dimensionar el volumen de la columna que se debe usar para tratar un volumen determinado de agua en el marco de la jornada laboral agrícola.

Lavado y reuso de la matriz macroporosa

En base a los resultados del protocolo de lavado en batch, se estableció el siguiente protocolo de lavado para la remoción del boro adsorbido en columna de la matriz macroporosa.

1- Lavar con solución ácida 0,25 (mol/lit), en dos etapas:

1.1 Recirculación de solución ácida en una relación [Vol matriz macroporosa : Vol soluc ácida] de 1:2 , con un flujo de 1.5 [L/hr]

1.2 Enjuagar con solución ácida nueva [Vol matriz macroporosa : Vol soluc ácida]

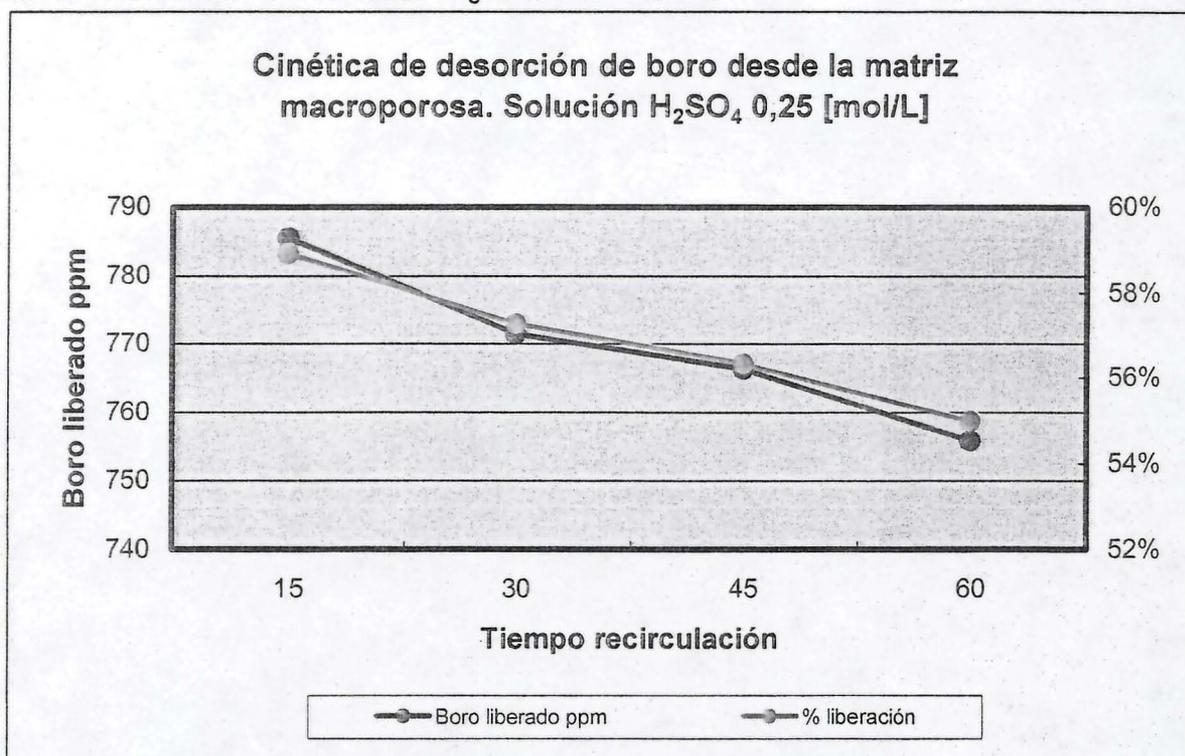
de 1:1

2. Enjuagar con agua deboratada

3. Solución básica 1% [Vol matriz macroporosa : Vol soluc básica] de 1:2

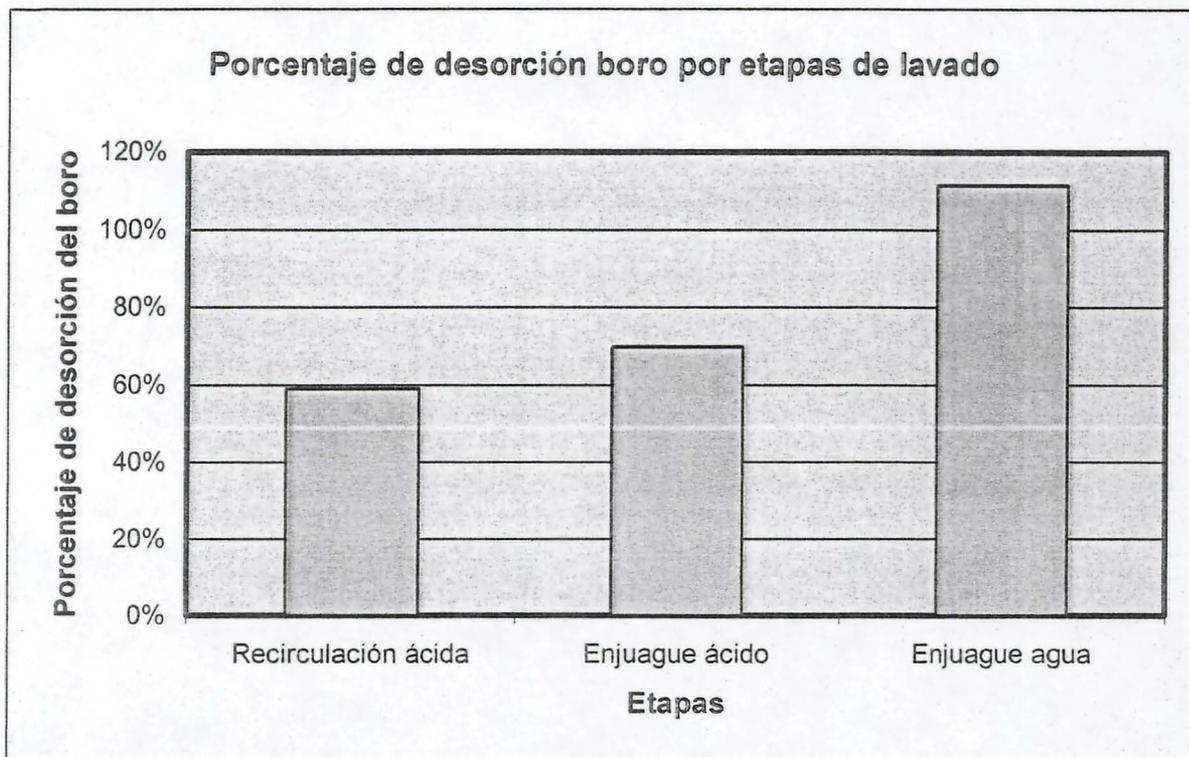
4. Enjuagar con agua deboratada

Para determinar el tiempo de recirculación requerido para asegurar que la solución ácida remueva el boro de la columna, se realizó un circuito de lavado en columna tomando muestras de la solución ácida a intervalos regulares durante el tiempo de recirculación, para cuantificar el boro liberado desde la matriz. El resultado se grafica a continuación:



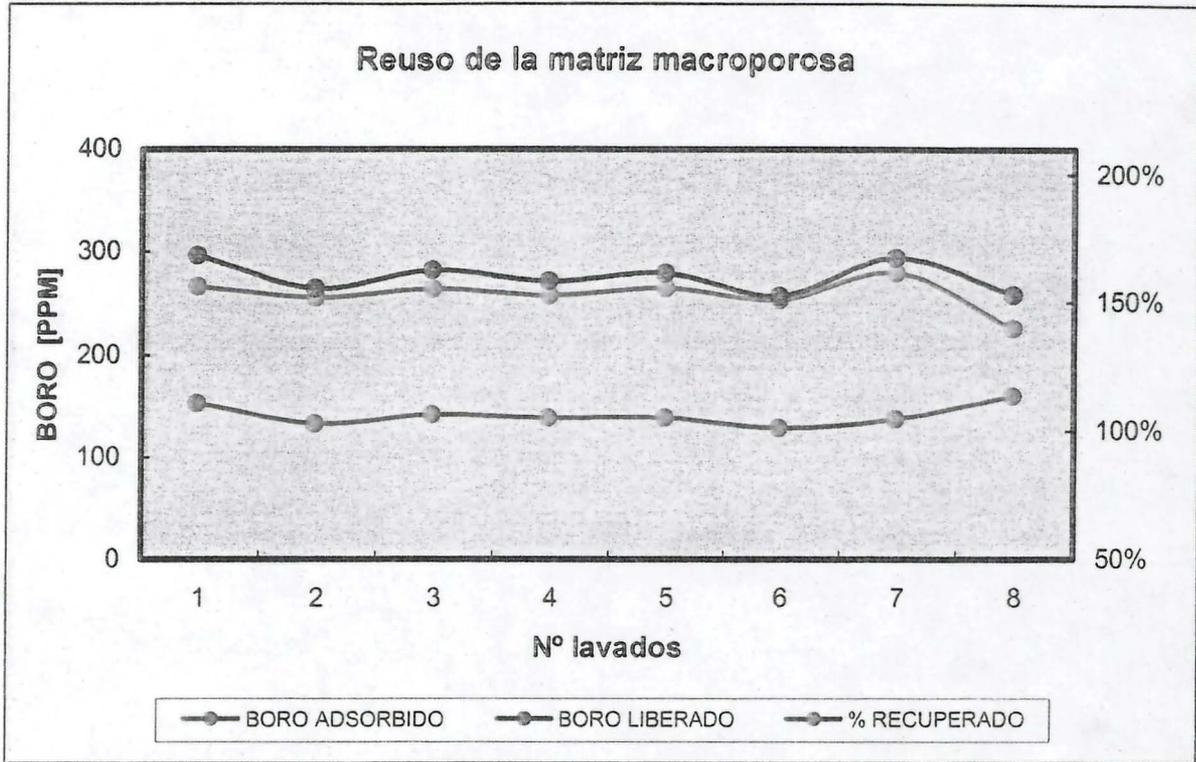
Se confirmó, al igual que el lavado en batch, que sobre los 15 min de contacto con la solución ácida de lavado, el boro comienza nuevamente absorberse en un porcentaje bajo, por lo

que se define recircular como máximo 15 min la solución ácida y luego enjuagar con solución ácida fresca. Al graficar el impacto relativo de cada etapa del lavado ácido sobre la remoción del boro que se encuentra retenido en la matriz macroporosa, se obtiene el siguiente gráfico. El % se expresa en función del boro teóricamente retenido en la matriz (dado por el volumen total de agua tratada antes de saturar la matriz multiplicado por la concentración determinada de boro en el agua antes del tratamiento, el error por sobre el 100% se debe a la suma de errores de cuantificación volumétrica que afectan al cálculo final).



Reuso de la matriz macroporosa

Los resultados de la evaluación de la eficacia de la reutilización de la matriz macroporosa se encuentran en el gráfico adjunto, donde se expresa la liberación de boro con respecto al boro adsorbido antes de saturación, comprobándose que la matriz macroporosa es reutilizable y no pierde capacidad de remoción de boro en los usos sucesivos.



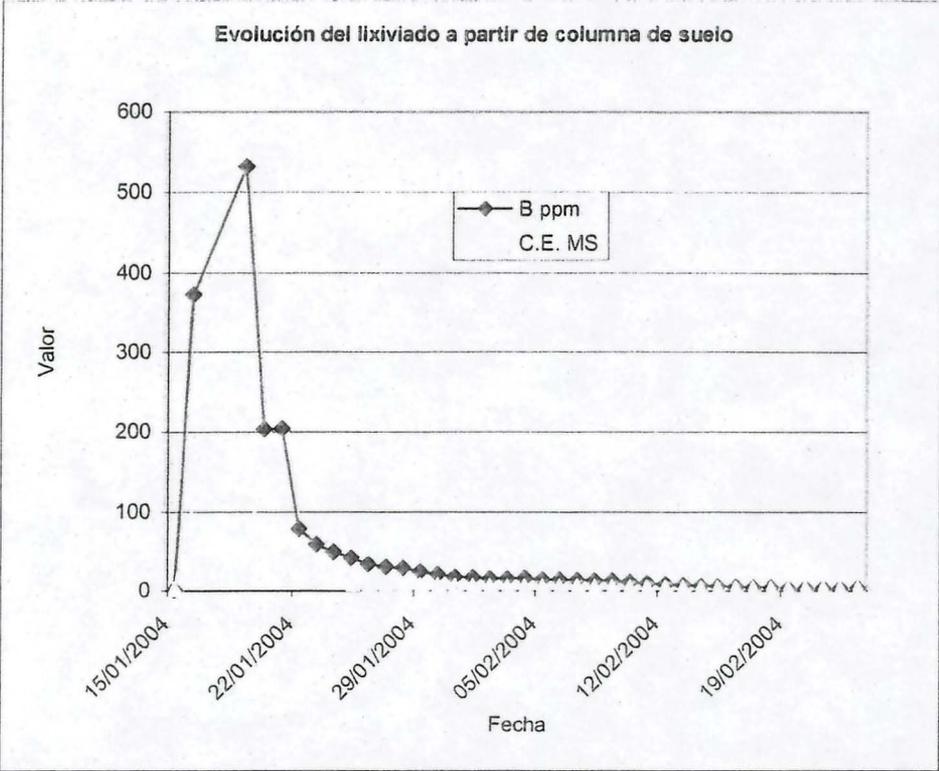
□ Bases para el diseño y escalamiento de unidades de tratamientos mayores.

□ Comprobación a nivel de laboratorio de la posibilidad de lixiviar el Boro presente en una columna de suelo por medio del uso de un agua reducida en Boro.

Experiencia de lixiviado en columna representativa del perfil de suelo de la parcela experimental.

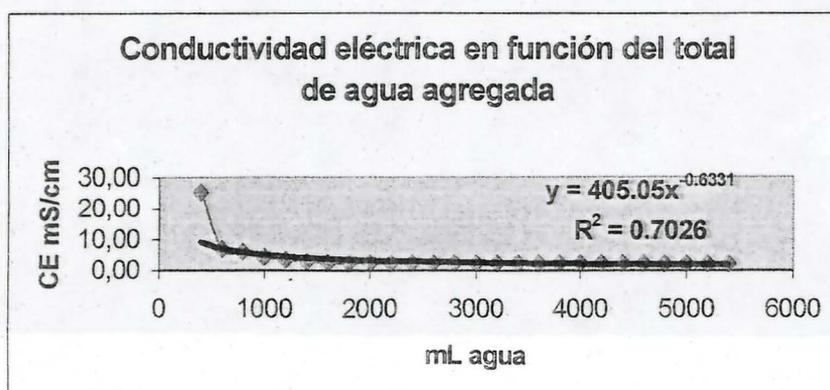
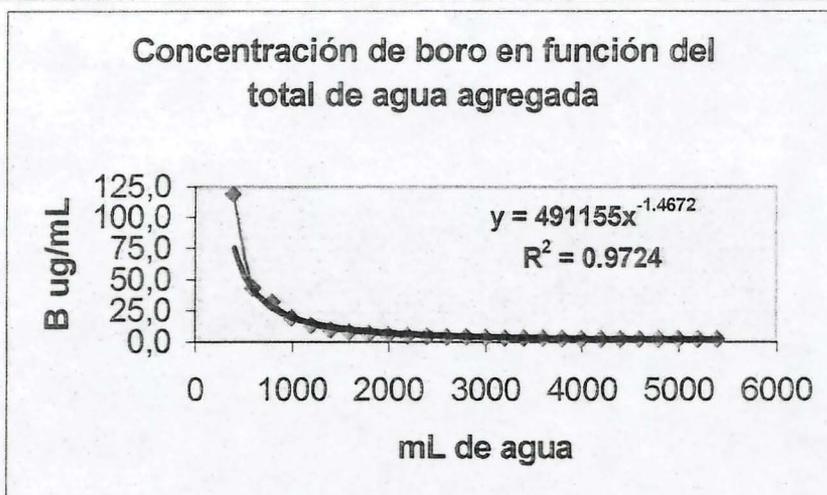
FECHA	MUESTRA	B ppm	pH	C.E. MS
15/01/2004	1 (agua para lixiviado)	1,4272	8,09	2,53
16/01/2004	2	372,9918	5,81	122,1
19/01/2004	3	532,546	5,75	121,7
20/01/2004	4	204,3307	6,25	60,3
21/01/2004	5	204,6207	7,09	42,4
22/01/2004	6	78,7411	7,97	19,5
23/01/2004	7	59,6376	7,74	13,42
24/01/2004	8	49,8139	7,57	11,76
25/01/2004	9	42,6365	7,46	10,27
26/01/2004	10	34,6979	6,99	9,15
27/01/2004	11	30,8554	6,3	8,14
28/01/2004	12	29,4779	6,15	8,06
29/01/2004	13	24,7292	6,04	7,7
30/01/2004	14	21,3217	5,99	7,17
31/01/2004	15	18,458	5,9	6,8
01/02/2004	16	17,5331	6,08	6,62
02/02/2004	17	16,3586	6,22	6,41
03/02/2004	18	15,9526	6,21	6,21
04/02/2004	19	16,6051	6,36	6,36
05/02/2004	20	15,0536	6,36	5,9
06/02/2004	21	14,9666	6,42	5,87
07/02/2004	22	14,4156	6,51	5,79
08/02/2004	23	13,3861	6,17	5,69
09/02/2004	24	13,1686	6,27	5,63
10/02/2004	25	11,5882	6,32	5,14
11/02/2004	26	9,9207	6,3	4,8
12/02/2004	27	8,5432	6,28	4,63
13/02/2004	28	7,7602	6,25	4,46
14/02/2004	29	6,7597	6,29	4,21
15/02/2004	30	6,0608	6,29	3,96
16/02/2004	31	5,2252	6,27	3,70
17/02/2004	32	4,6125	6,27	3,52
18/02/2004	33	4,6631	6,28	3,45
19/02/2004	34	3,5539	7,16	3,20
20/02/2004	35	3,3871	7,53	3,16
21/02/2004	36	3,4234	7,84	3,13
22/02/2004	37	3,4379	8,06	3,14
23/02/2004	38	3,7496	8,17	3,18

El siguiente gráfico muestra los valores de la tabla anterior.



Experiencia en triplicado de lavado en columnas de suelo preparadas con suelo superficial del lugar destinado a la parcela experimental.

Lixiviado N°	Media Voiumen agregadoA	Media B ppm	Media CE Ms	Total VA
1	400	118,8	25,30	400
2	200	43,5	7,13	600
3	200	32,0	6,02	800
4	200	19,4	4,44	1000
5	200	13,5	3,56	1200
6	200	9,5	2,98	1400
7	200	8,0	2,54	1600
8	200	6,6	2,34	1800
9	200	5,7	2,38	2000
10	200	5,0	2,39	2200
11	200	4,4	2,37	2400
12	200	4,2	2,41	2600
13	200	4,0	2,41	2800
14	200	3,7	2,39	3000
15	200	3,4	2,37	3200
16	200	3,2	2,37	3400
17	200	3,1	2,37	3600
18	200	2,7	2,36	3800
19	200	2,5	2,36	4000
20	200	2,4	2,37	4200
21	200	2,3	2,36	4400
22	200	2,3	2,33	4600
23	200	2,3	2,31	4800
24	200	2,2	2,28	5000
25	200	2,2	2,27	5200
26	200	2,2	2,28	5400



Como es posible observar, los resultados de ambas experiencias indican que el tratamiento de lavado del suelo genera una pronunciada caída del valor de boro en la solución de suelo hasta niveles comparables a los de zonas agrícolas sin limitaciones, como el valle de Azapa, lo cual permite sustentar la validez del método de lavar el suelo con agua con boro reducido como forma de remover el boro excesivo en el suelo y permitir así el establecimiento de un cultivo sensible al boro sin necesidad de cambiar el sustrato.

Línea de trabajo 2: Desarrollo y aplicación de un sistema piloto para disminuir el boro en aguas superficiales del valle del río Lluta, por adsorción.

Se obtuvieron los siguientes resultados:

□ Diseño básico de unidad de tratamiento a nivel piloto proyectada para una hectárea regada por goteo.

Definición del Problema

Se requiere purificar 70 m³/ día agua proveniente del valle de Lluta, reduciendo su contenido de Boro desde 25 ppm a 2 ppm.

Para ello se utilizara una matriz macroporosa en lecho fijo, como medio retentor de Boro.

Diseño

Ingeniería Básica.

Aspectos básicos de la matriz macroporosa:

$$\begin{aligned} \text{Flujo a través de la Matriz} &= 18 \times \text{Volumen de Matriz (l)/h.} \\ \text{Volumen de Saturación} &= 75 \times \text{Volumen de Matriz (l).} \end{aligned}$$

Requerimiento diseño	70	[m ³ /día]
Concentración inicial Boro	25	[mg/ litro agua]
Concentración final Boro	2	[mg/ litro agua]
Boro total removido	1,610,000	[mg / día]
	1,610	[g/día]
	149	[equiv.Boro/ día]
Volumen de Matriz Reactor	0,6	[m ³]
Flujo determinado	10,8	[m ³ /h]
Agua tratada	60	[m ³ / ciclo]
Duración ciclo	6	[h]
Numero de ciclos	1	
Tiempo regeneración	1.0	[h]
Agua Total producida	76	[m ³ agua/día]

Regeneración:

La matriz requiere de regeneración en medio ácido, enjuague y regeneración en medio básico.

Condiciones de Regeneración:

Concentración de H ₂ SO ₄	=	0.25	(M)
Concentración de NaOH	=	1	(%)
Volumen de ciclo ácido	=	2 x Volumen de matriz utilizada, (l).	
Volumen de ciclo alcalino	=	2 x Volumen de matriz utilizada, (l).	
Costo de H ₂ SO ₄	=	200 (US\$/ton)	
Costo de NaOH	=	250 (US\$/ton) .	

Para el dimensionamiento de los equipos se considera que la cantidad de ciclos diarios de agotamiento y regeneración sea igual a 1, por las conveniencias prácticas de no interferir con las jornadas de trabajo habituales en el lugar de instalación.

Relaciones geométricas preliminares

Altura / diametro	1,0	
cte	0,8	
<i>D</i>	0,9	[m]
<i>H</i>	0,9	[m]
Expansion Retrolavado	50	[%]
<i>H final</i>	1,4	[m]

Diametro agua entrada		
Vdiseño	1,5	[m/s]
Area	0,002	[m ²]
Diametro agua entrada	50	[mm]
Diametro retrolavado	50	
Flujo retrolavado		[m ³ /h]

Ingeniería de Procesos

Equipos

Estanque de alimentación de agua a tratar
Estanque de solución ácida
Estanque de solución básica
Estanque de agua de enjuague sin Boro.
Filtro para el agua sin tratamiento.

Estanque de almacenamiento del producto sin Boro.
Bombas .

Bombeo

Dimensionamiento preliminar

Caudal diseño	10,8	m3/h
Perdida de carga	10	m c.a.
Eficiencia hidraulica	0,65	
Eficiencia Electrica	0,85	
<u>Potencia Requerida diseño</u>	<u>0,54</u>	<u>[kW]</u>

Instrumentación necesaria.

- + Control de pH durante enjuague.
- + Control de pH soluciones ácidas & básicas para verificar agotamiento.
- + Integrador de flujo de agua tratada para control de inicio de procesos de regeneración.
- + Manómetros para verificación condiciones de bombeo y eventuales obstrucciones en la matriz macroporosa.

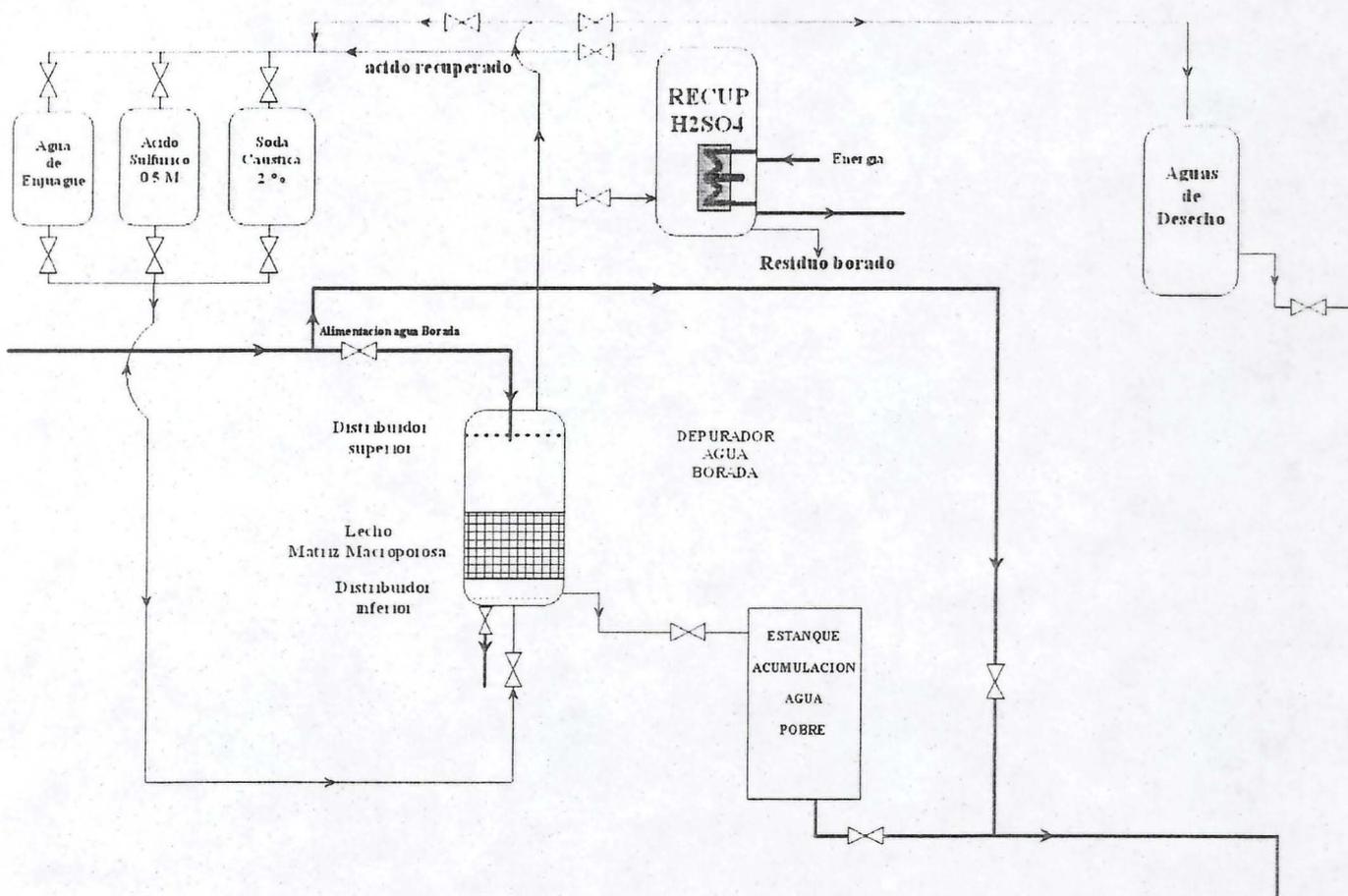
Costos Variables Preliminares

	DESCRIPCION	VALOR	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO [US\$/m3]	COSTO [\$/m3]
1	ACIDO SULFURICO	4,9	[US\$/m3]	1,2	0,078	51
2	SODA CAUSTICA	2,5	[US\$/m3]	1,2	0,040	26
3	AGUA POTABLE	100	[\$/m3]	12	0,024	16
4	E.ELECTRICA	40	[\$/kW-h]	25	0,020	13
5	Matriz macroporosa	10	[US\$/litro]	440	0,017	11
6	OTRO					

117

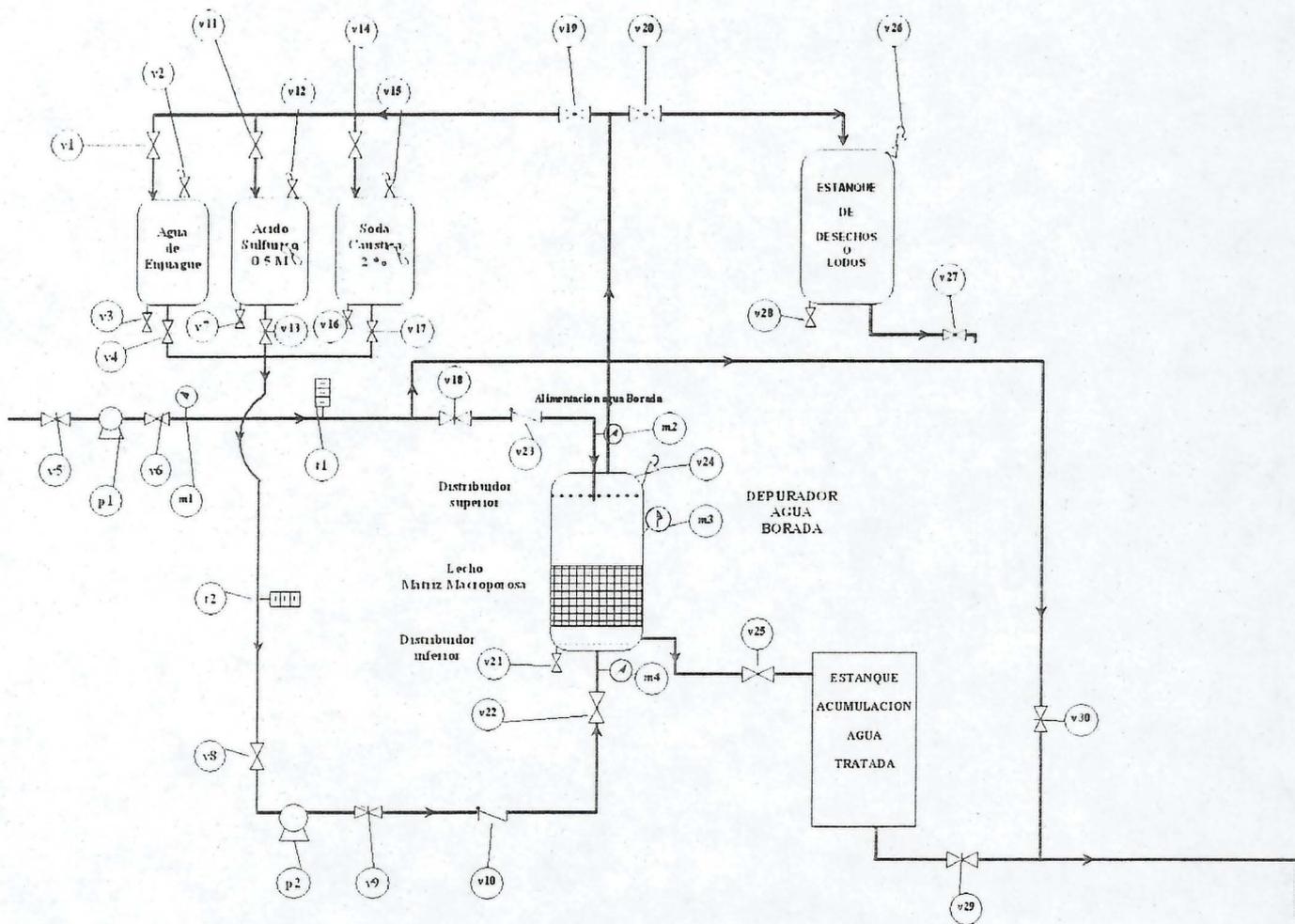
Diagramas de la Unidad Piloto

DIAGRAMA GENERAL
DEPURADOR
TRATAMIENTO AGUAS BORADAS
c RECUPERACION DE ACIDO SULFURICO



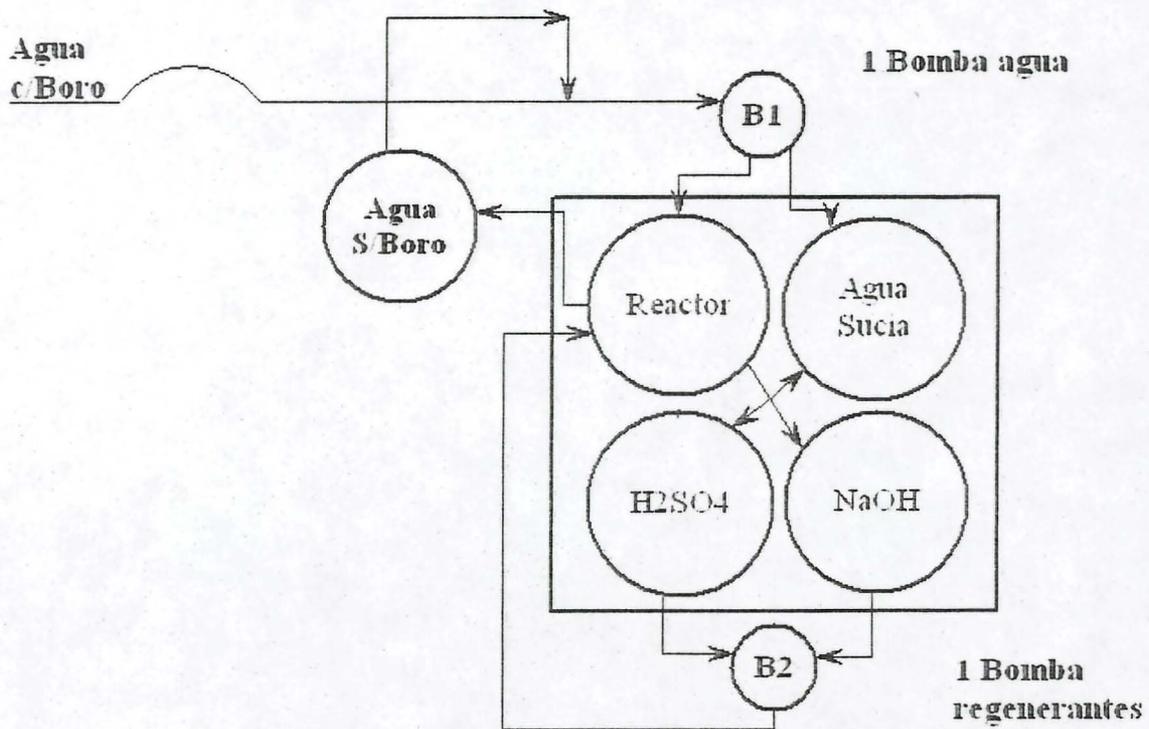
Correlativo Boro_04_2003

**DIAGRAMA P & I
DEPURADOR
TRATAMIENTO AGUAS BORADAS**



Correlativo Boro_02_2003

ARQUITECTURA MODULAR PLANTA ALTERNATIVA 1

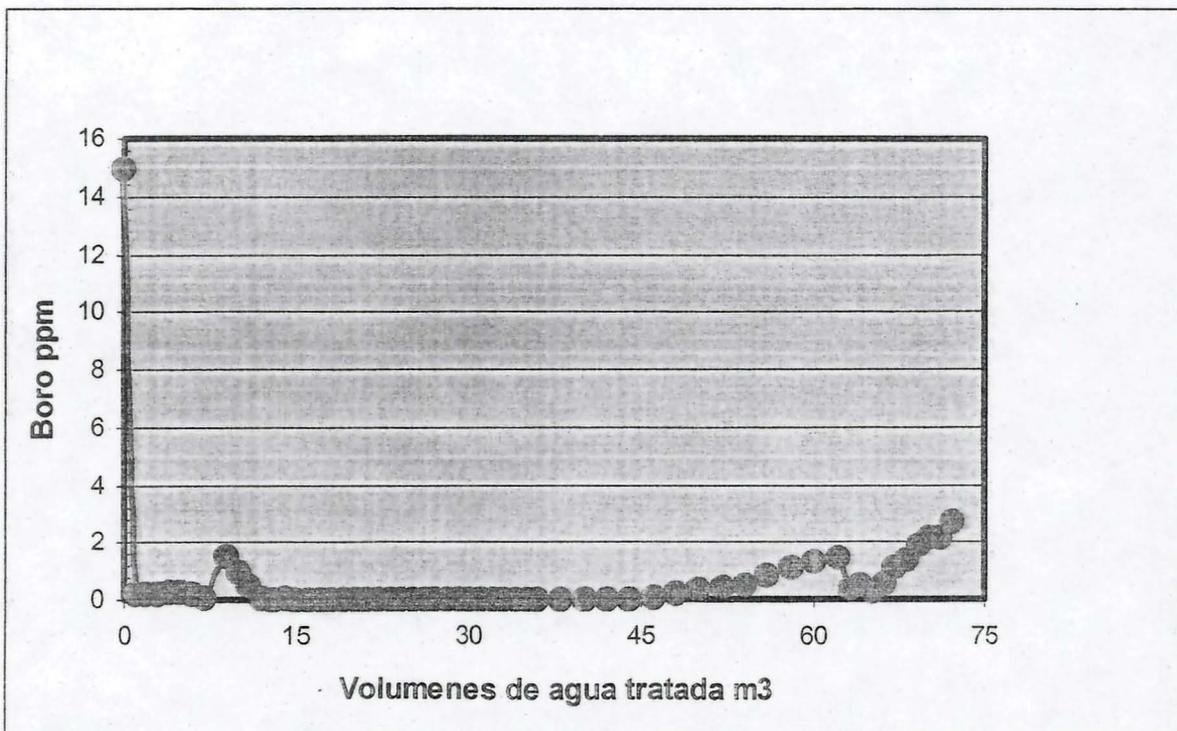


□ Construcción e instalación de dos unidades de tratamiento de diseño básico para riego por goteo y una microestación de tratamiento.



Equipos utilizados durante el proyecto para el tratamiento del agua en las unidades experimentales

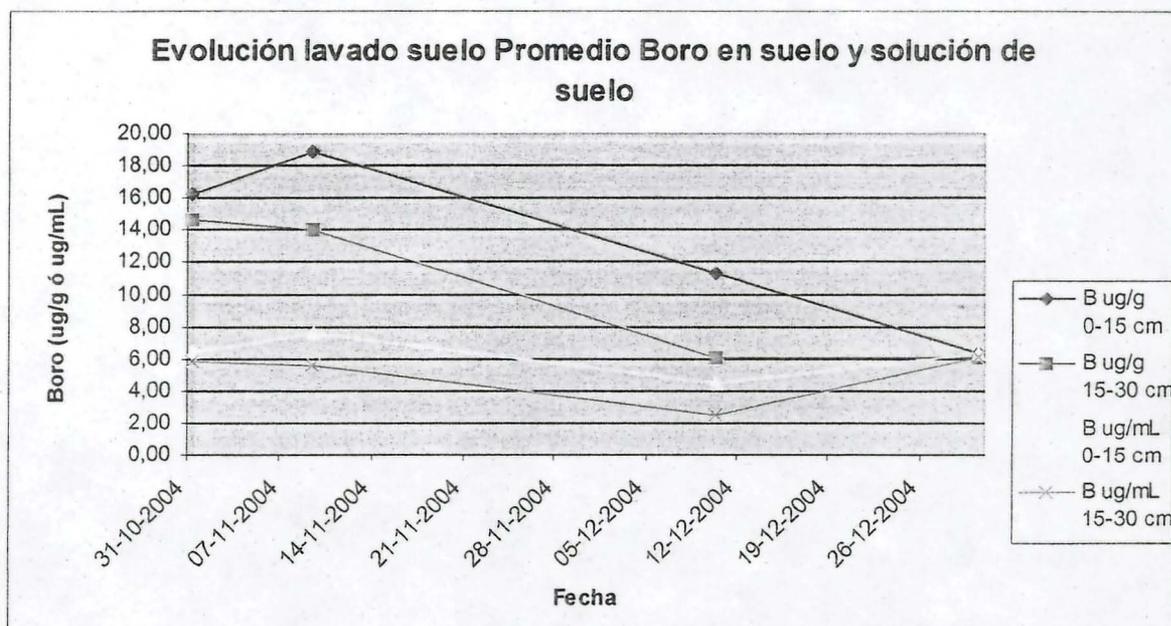
□ Comprobación de la eficacia y eficiencia del sistema piloto desarrollado para el tratamiento de caudales de riego y logro de concentraciones de Boro deseadas.



Se puede apreciar que el equipo es altamente eficaz en la remoción del boro. Los aumentos accidentales de la concentración en el gráfico se deben a cambios bruscos en la tasa de flujo del agua por la columna de matriz macroporosa, que obedecieron a paradas durante el proceso de medición.

- Validación y optimización de protocolo de regeneración de matriz macroporosa entre ciclos de operación con énfasis en la reducción de gasto de regenerantes (ácido sulfúrico y soda cáustica) y agua tratada (reemplazo parcial de los enjuagues con agua sin tratar y reducción del volumen total de soluciones regenerantes empleado al utilizar pulsos de tiempo y caudal determinados).

- Verificación de la posibilidad de efectuar una lixiviación masiva del Boro presente en el suelo por medio del lavado con agua tratada.



- Verificación del impacto de la presencia de napas freáticas subsuperficiales sobre la imposibilidad de mantener el bajo nivel de Boro alcanzado tras el lavado, dada la relativamente rápida reposición del borato por medio del mecanismo de capilaridad, asociado a un efecto de

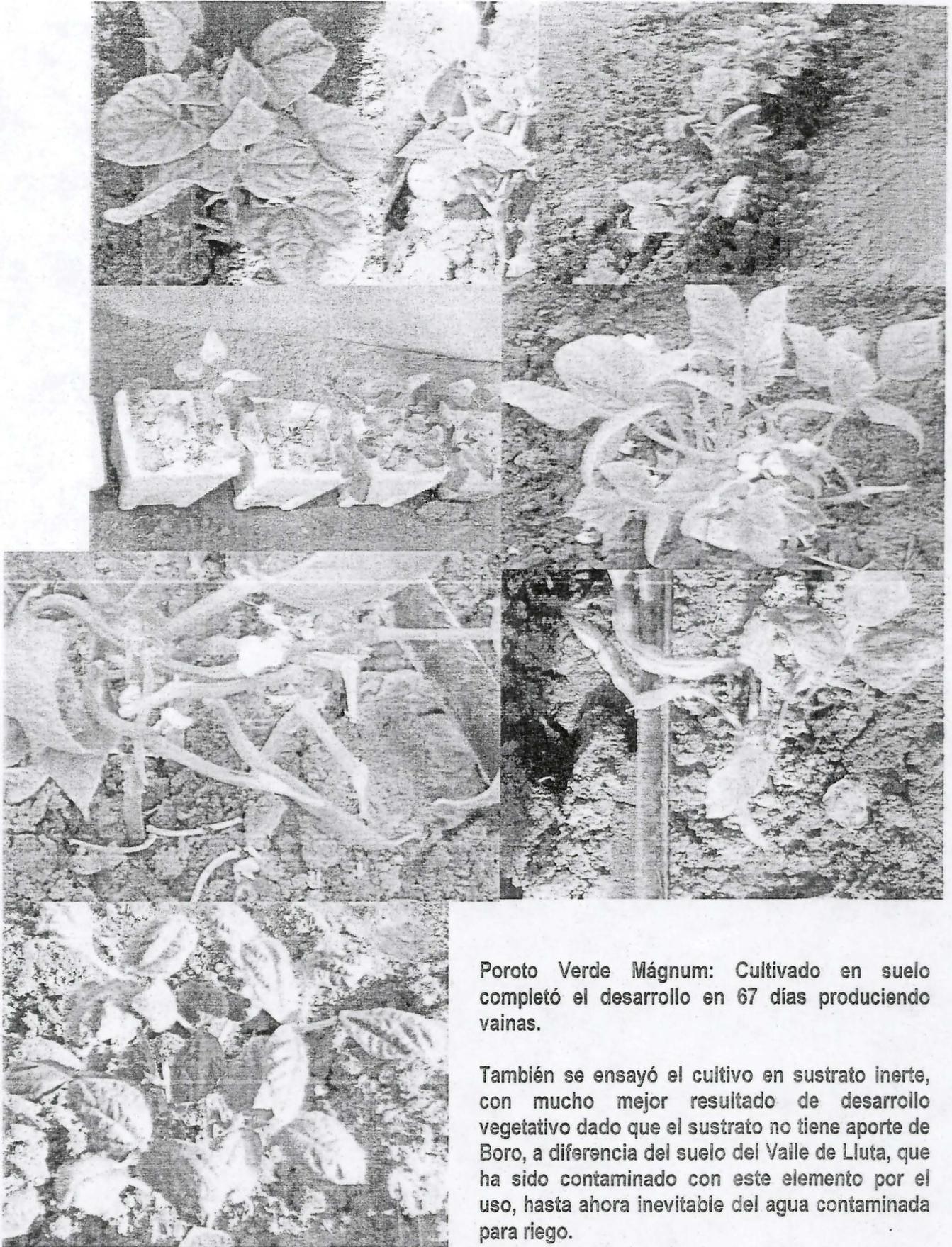
toxicidad no letal en especies altamente sensibles, pero si con gran impacto sobre las posibilidades productivas del cultivo efectuado en estas condiciones.

Se pudo comprobar que el fenómeno de capilaridad tiene un efecto significativo sobre el movimiento del Boro en el suelo, como se aprecia en el cuadro siguiente para cada punto de muestreo (Fechas: Momento de Siembra: Mayo 05, Desarrollo completo de plantas Septiembre 05).

Punto de Muestreo		CE (mS)	B (mg/L)
A20	Inicio lavado	4,42	11,57
	Momento de siembra	0,73	4,95
	Desarrollo de Plantas	4,41	11,9875
A40	Inicio lavado	5,85	16,90
	Momento de siembra	1,19	2,89
	Desarrollo de Plantas	5,24	13,6731
B20	Inicio lavado	4,42	11,79
	Momento de siembra	0,36	2,67
	Desarrollo de Plantas	4,17	9,2869
B40	Inicio lavado	6,12	15,59
	Momento de siembra	0,73	3,74
	Desarrollo de Plantas	6,11	14,1806
C20	Inicio lavado	8,98	26,25
	Momento de siembra	0,98	4,70
	Desarrollo de Plantas	6,89	16,4643

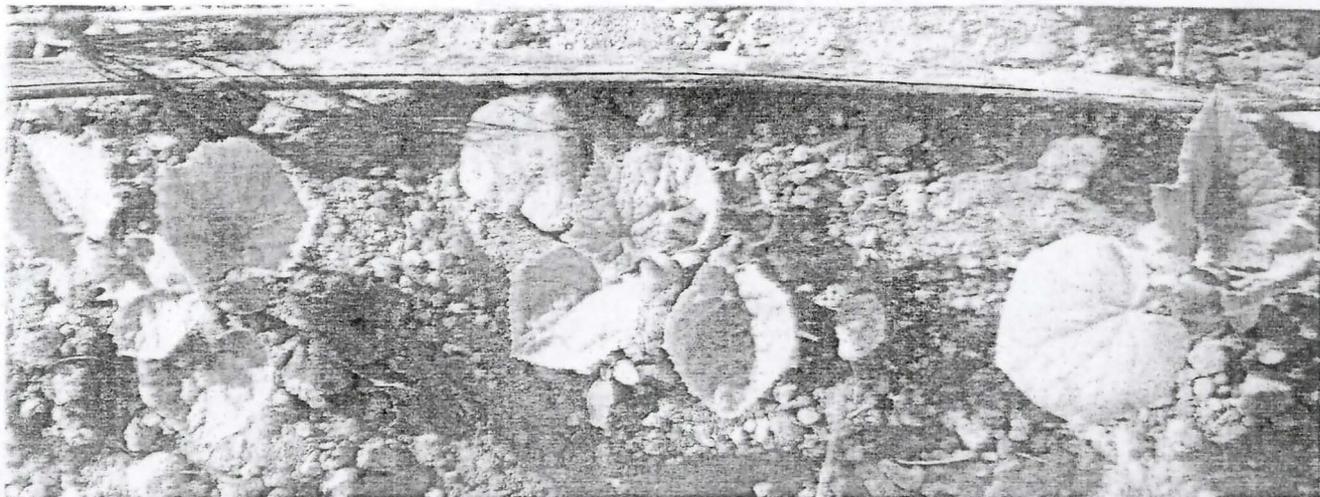
□ Verificación de la posibilidad de efectuar exitosamente cultivos altamente sensibles a Boro (que son afectados a nivel de necrosis y/o detención total de crecimiento cuando el agua de riego presenta Boro en concentraciones superiores a 10 mg/l) tanto en suelo lavado (protegido de la capilaridad) como en sustratos inertes o en sistemas hidropónicos por medio del riego con agua tratada para reducir su contenido de Boro.

La aplicación experimental del sistema de tratamiento sobre cultivos regados con agua tratada de Lluta, permite demostrar que la reducción de la elevada concentración inicial de Boro puede satisfacer el desarrollo de plantas altamente sensibles a esta toxicidad. En estas condiciones se desarrollaron diversidad de especies conocidas por su intolerancia a los niveles de Boro presentes en el agua de la cuenca del Lluta y que no se cultivan comercialmente, las cuales son: Pepino de Ensalada, Melón, Sandía, Poroto verde, Zapallo Italiano, Ficus ornamental, Zinnias,



Poroto Verde Magnum: Cultivado en suelo completó el desarrollo en 67 días produciendo vainas.

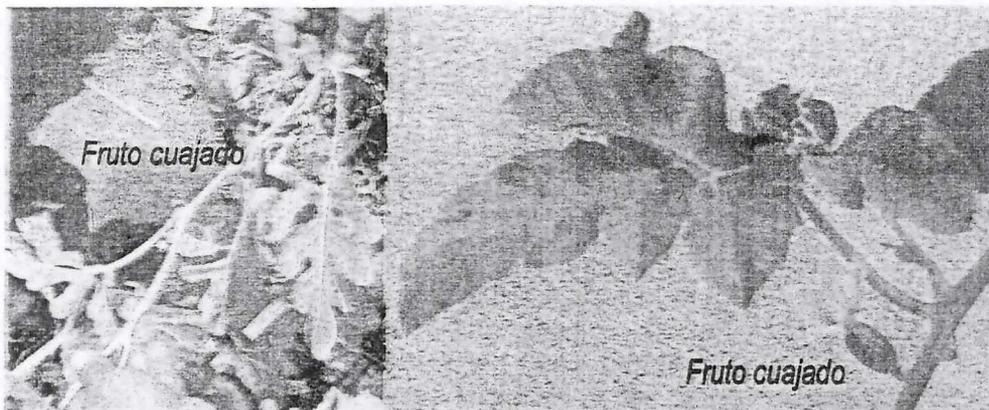
También se ensayó el cultivo en sustrato inerte, con mucho mejor resultado de desarrollo vegetativo dado que el sustrato no tiene aporte de Boro, a diferencia del suelo del Valle de Lluta, que ha sido contaminado con este elemento por el uso, hasta ahora inevitable del agua contaminada para riego.



*Fruto cuajado a
los 25 días
desde siembra*



Pepino de ensalada cultivado en suelo. En sustrato se observa una variedad para encurtido.



Planta de Sandía en suelo de Lluta con presencia de cuaja de frutos.



Plantas de Sandía creciendo en predio experimental.





Sandías creciendo en predio experimental.



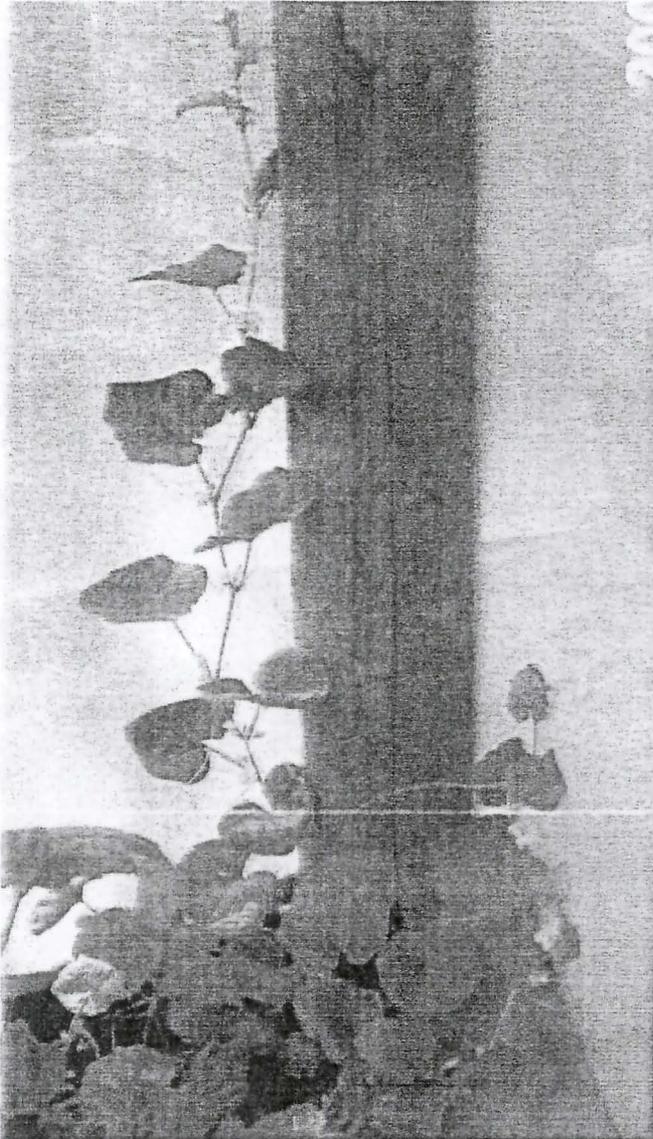


Plantas de Zapallo Italiano Híbrido, creciendo en suelo de Lluta con floración y producción de Frutos a partir del día 30 desde siembra.

Siembra en suelo del predio experimental de variedad de Zapallo Italiano corriente. 80% de Germinación.

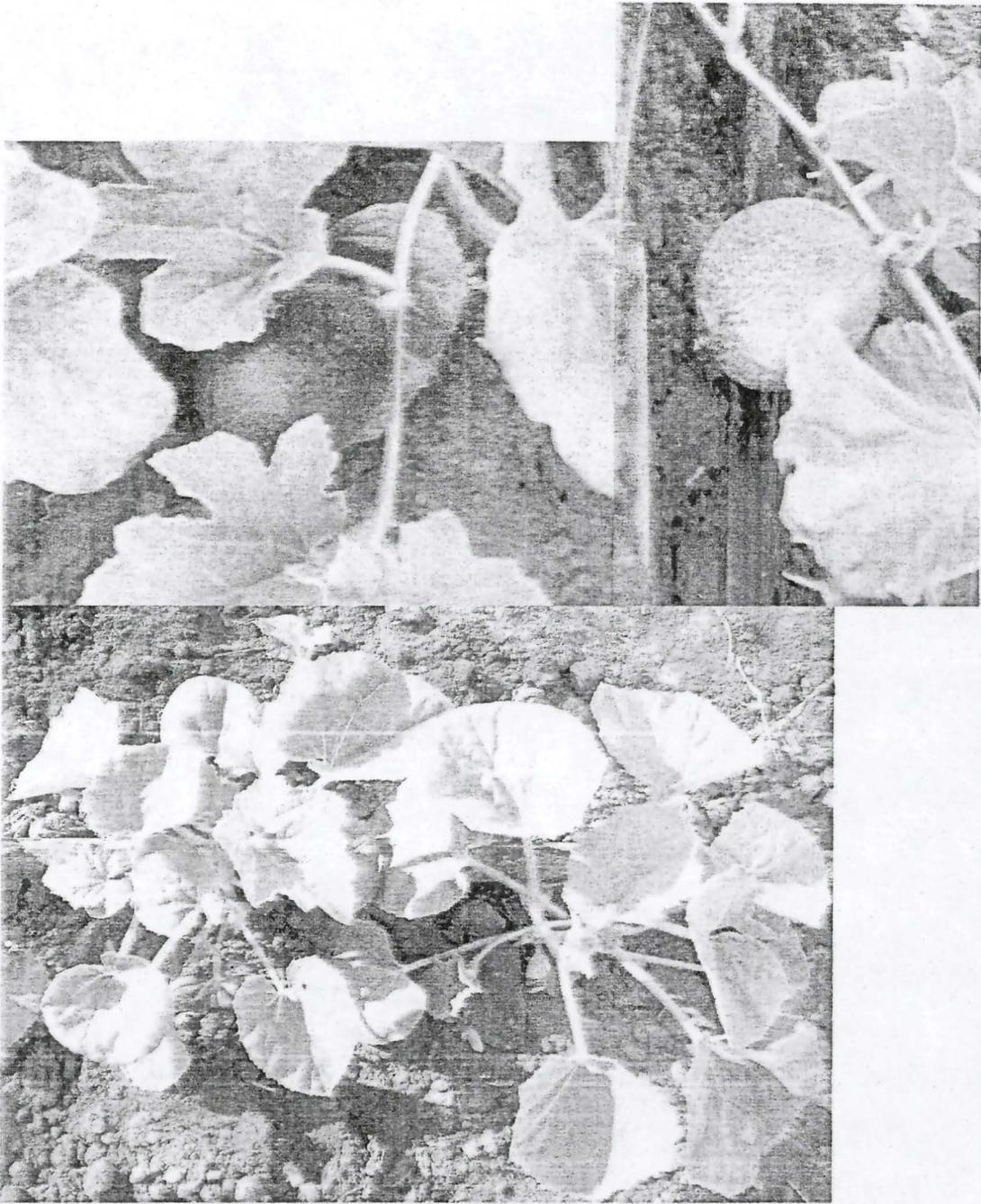




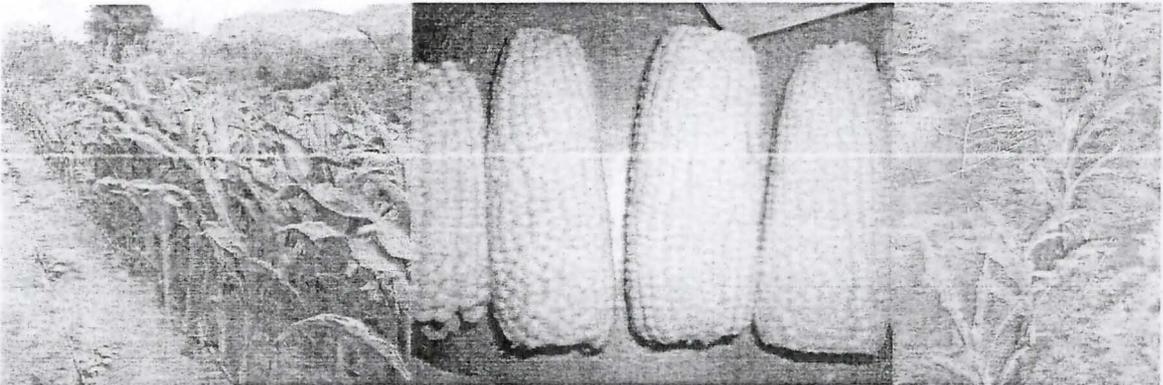


Planta de melón creciendo en suelo de Lluta con gran desarrollo vegetativo y floración.

Siembra en suelo del predio experimental de Melón con crecimiento vigoroso y producción de frutos.









Siembra de Híbridos Chocleros (Semameris) e Híbrido Super dulce (Dynamo Harris Moran), ambos de periodo siembra a cosecha inferior a 100 días. Los choclos cosechados son de Híbrido choclero semameris.



- Obtención de parámetros reales de costos de Inversión y variables para el sistema de tratamiento desarrollado en las condiciones empleadas.

El costo variable de operación del equipo (insumos y electricidad) depende del nivel de boro inicial y final deseados, según el siguiente cuadro:

		Boro en agua a tratar (mgB / L)					
		2	10	15	20	25	
Boro deseado en agua tratada (mg B / L)	0,1	69	70	84	98	112	Costo variable \$/m ³ diario de utilizar el equipo.
	0,5	69	69	83	97	111	
	1,0	69	69	82	96	109	
	1,5	69	69	80	94	108	
	2,0	43	69	79	93	107	
	2,5	43	69	78	91	105	
	3,0	43	69	76	90	104	

Cabe destacar que estas cifras tienen un componente de economía de escala no considerado, y es posible que el costo real para el usuario sea incluso menor.

Línea de trabajo 3: Preparación y transferencia de paquetes tecnológicos a agricultores afectados por la presencia de boro en el agua de riego.

- Bases para la disminución y optimización ulterior de costos variables por medio de mejoras en el abastecimiento de insumos, la automatización de las operaciones y el diseño hidráulico del sistema.
- Establecimiento de 2 unidades demostrativas en el Valle de Lluta completamente funcionales y en actual uso para fines demostrativos y productivos.

□ Ejecución de 3 seminarios en Provincias del norte grande con cuencas afectadas por contaminación natural de Boro en aguas destinadas al Riego Agrícola (Arica, Antofagasta, Camarones).

LISTA DE ASISTENCIA SEMINARIO DIFUSIÓN ARICA, DICIEMBRE 2004

Nº	NOMBRE	ORGANIZACIÓN	e-MAIL	TELÉFONO
1	CLAUDIA MONSALVE	ARIZTIA	tecnoambiente@vtr.net	223571
2	MANUEL FUENTES	Dpto MECÁNICA	msfuentes@uta.cl	205268
3	MERITO CACERES F	LICEO AGRICOLA LLUTA		221463
4	JOHN MORALES H	UTA		
5	EUGENIO MORALES	AGRICULTOR LLUTA		
6	RAUL SAPIAIN	Dpto MECÁN	rsapiain@vtr.net	227690
7	OSMAN SEP	AGRICULTOR LLUTA		221143
8	CARLA RAMIREZ	UTA		205471
9	CAMILO URBINA PEREZ	AGRICULTOR LLUTA	lutalac@yahoo.es	21960017
10	EUGENIO DOUSELAN	UTA		
11	JUAN TREVIZAN	AGROCONSULTORA		82074413
12	PEDRO PEÑA AHUMADA	UTA	popena98@mixmail.com	263676
13	OSVALDO NAVARRETE	ESTUDIANTE	osvaldonavarrete@hotmail	246522
14	VALERIO CAÑIPA	IMA		206174
15	PABLO MARTINEZ	AGRICOLA TARAPACÁ	pmartinez@ariztia.com	95450253
16	GULLERMO REYES	INDAP	greves@indap.cl	
17	FRANKLIN LEIVA	INDAP	fleiva@indap.cl	234043
18	CARLOS VALDENNA	CONSULTOR	valdena@123mail.cl	91905320
19	NORA VENTURA	OF.DIP. ROSA GONZALEZ		230114
20	DANTE HUMIRE	P.CHACALLUTA		226510
21	MICHAEL HUMIRE	J.V. RÍO LLUTA		
22	JUAN LIMA	UTA		
23	OSCAR W	QUIMICA-UTA		205430
24	GERMAN LAFUENTE	CORFO	clafuente@corfo.cl	252272
25	MITZI RÍOS			86092222
26	ADOLFO OBLIGADO R	AGUAS ALTIPLANO	aobligado@aguasdelaltil	9-8855185
27	LEONEL GUARACHI	AGROLLUTA LTDA	agrolluta@123.cl	892423
28	XIMENA GONZALEZ	SEREMI DE AGRICULTURA	gonzale@minagri.gob.cl	232984
29	MIGUEL FLORES	I.M.PUTRE	imputre@entelchile.net	
30	JOSÉ			
31	ALFREDO MAMANI	J.V. RÍO LLUTA		226178

Edic. Anteriores

Turismo

104.1
Arica

Buscador

la

Nueva
Genoveva

Perfil
Regional

RAPIDO

Ediciones
Especiales

Norte

Vered está en: Portada: Cronica

Martes 30 de noviembre de 2004

Proponen solución para el boro de las aguas de Lluta

La presencia de boro en las aguas del valle de Lluta, considerado el gran obstáculo para el desarrollo de esa zona, ya que daña numerosos cultivos, podría tener los días contados.

Con el apoyo de la Fundación para la Innovación Agraria, un equipo de académicos e investigadores del Departamento de Química de la Universidad de Tarapacá, desarrolló un sistema que elimina hasta el 97 por ciento del boro en el agua de ese valle, dejándola apta para el riego de una amplia variedad de productos. El equipo se basa en el uso de un tubo con un "ligante" químico que atrapa el boro cuando se hace pasar el agua a través de él y que al saturarse se puede limpiar para ser reutilizado.

El sistema ya está funcionando en forma experimental en una parcela demostrativa y fue expuesto en una charla para agricultores dictada ayer en el Campus Saucache.



El profesor Leonardo Figueroa, Marlene Véliz y César Irujo, uno de los investigadores del equipo a cargo del proyecto, muestran algunos resultados con agua salina y boro.

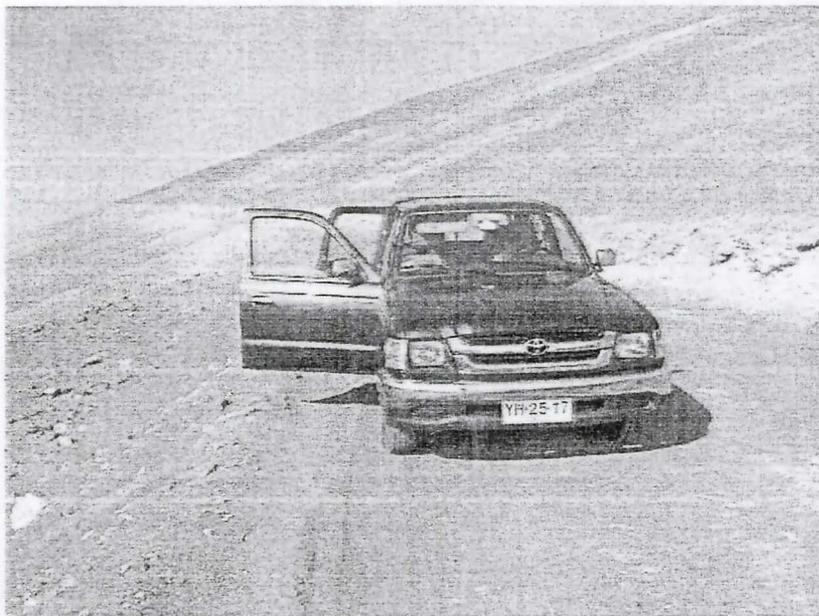
OPCIONES

- Volver a la portada
- Enviar este artículo
- Imprimir sólo texto
- Aumentar tamaño letra
- Disminuir tamaño letra

ARTICULOS

RELACIONADOS

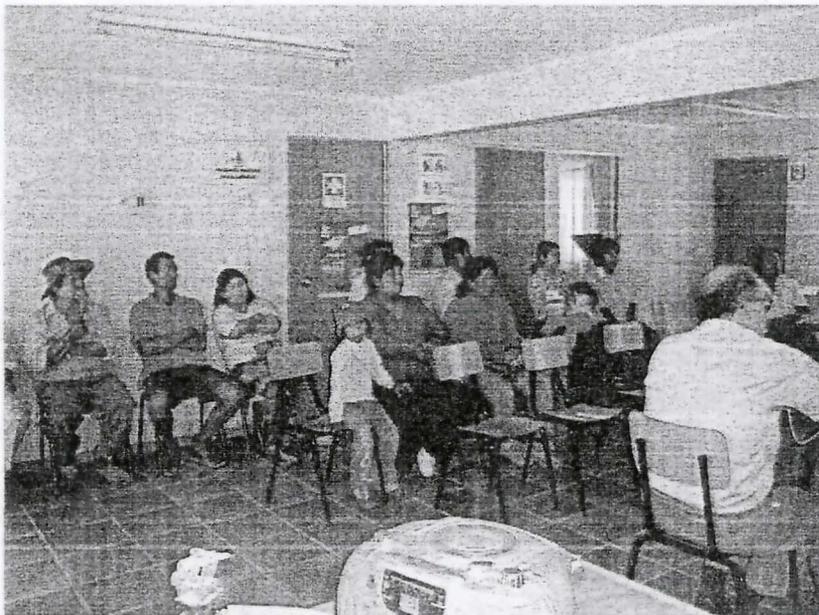
- Vegetarianos
- Madre reclama por atención en el hospital
- Salud y actividad física
- Escolares se protegen de radiación solar
- El pueblo de Poconchile



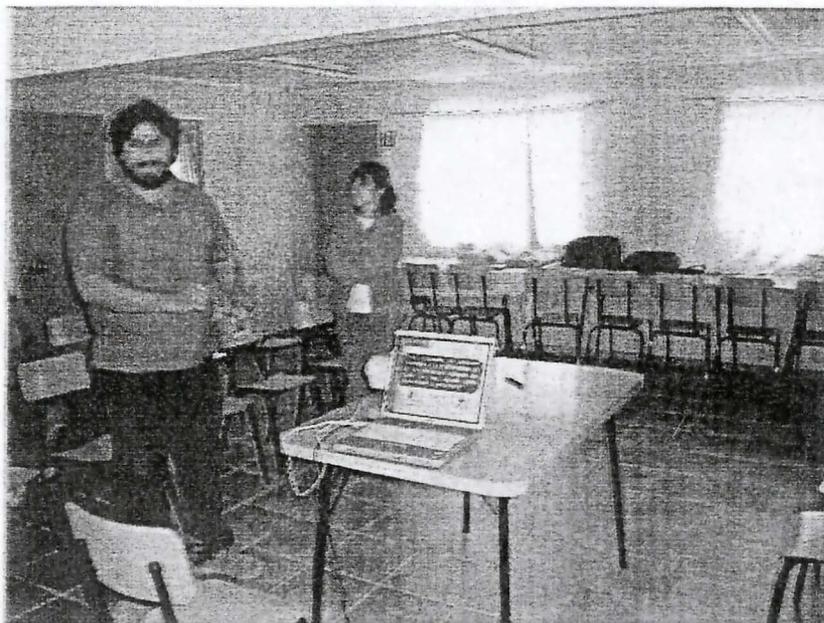
Viaje hacia pueblo de Camarones



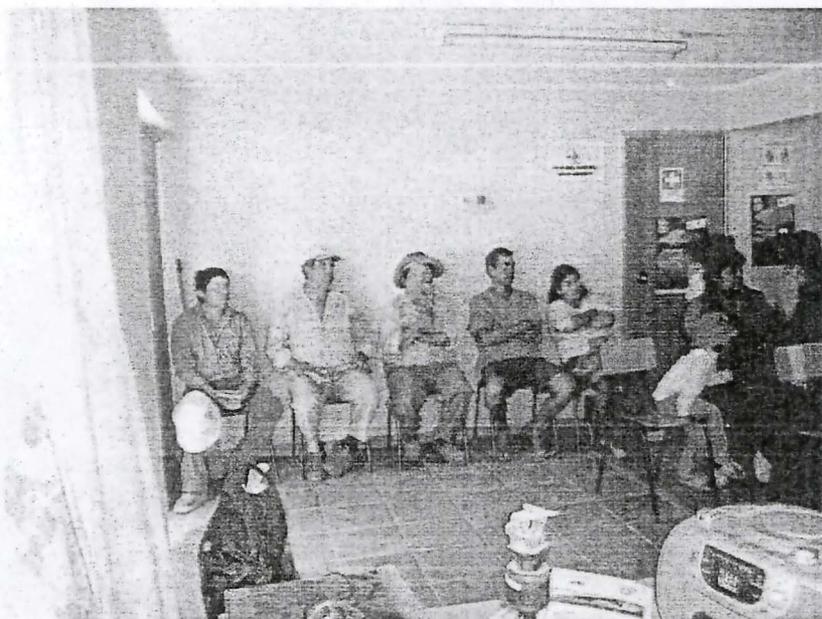
Plaza pueblo de Camarones



Asistencia de agricultores de la comuna de Camarones



Exposición de resultados a agricultores de la comuna de Camarones



Asistencia de agricultores de la comuna de Camarones



Cóctel de socialización con agricultores de la comuna de Camarones



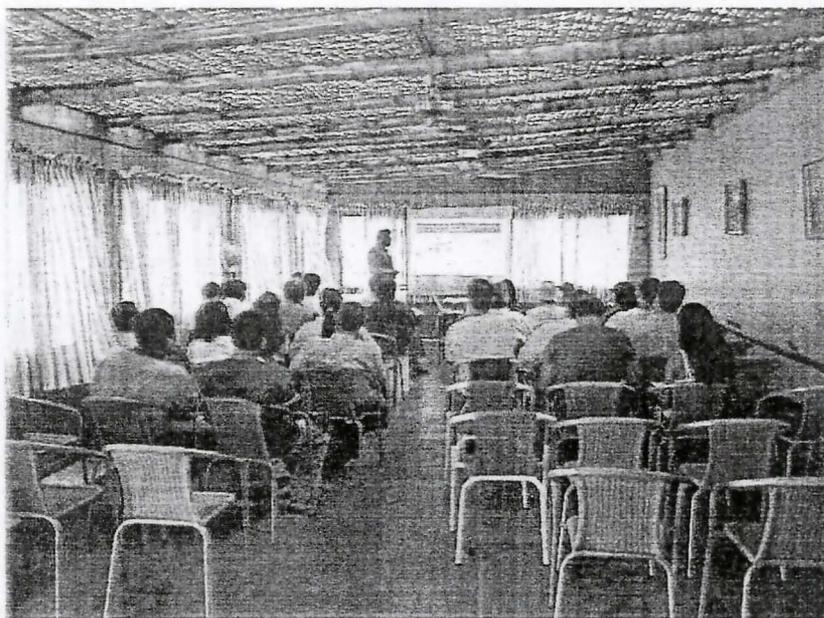
Vista General del Valle de Camarones

□ Ejecución de un Seminario Final y Visita a Terreno Masiva en las Unidades Demostrativas del Valle de Lluta.

□ Ejecución de Visitas a terreno por parte de agricultores durante todo el periodo de extensión del proyecto.

DIFUSIÓN FINAL PROYECTO FIA PI-C-2002-1-A-75 ASISTENCIA 20/03/2006				
Nº	NOMBRE	ORGANIZACIÓN	FONO-FAX	E-MAIL
1	MACARENA SALVO	CORDAP	23 36 16-26 92 10	msalvo@aricaparinacota.cl
2	ADRIAN INOSTROZA A.	FACULTAD AGRONOMÍA	22 38 84	adrian_ia@yahoo.es
3	OSCAR COFRE E.	INCUBA UTA	09 70 372 68	ocofre@uta.cl
4	INES ROJAS O.	GREMIAL LLUTA	24 16 60	---
5	CARLOS LÓPEZ C.	SOC.EDUC.	22 53 00	carloslopez@703.hotmail.com
6	RAUL CARDENAS F.	ASOC.GRAMIAL LLUTA	24 16 60	
7	FRANKLIN LAIVA	INDAP	23 04 43	fleiva@indap.cl
8	GUILLERMO REYES	INDAP	23 04 43	greyes@indap.cl
9	CLEMENTE CERDA	ARIZTIA	24 14 00	ccerda@ariztia.com
10	PATRICIA RODRIGUEZ	ARIZTIA	24 14 00	prodriguez@ariztia.com
11	PABLO MARTINEZ S.	ARIZTIA	24 14 00	pmartinez@ariztia.com
12	MERITO CACERES	LICEO AGRICOLA NAPOLITANO	22 14 63	meritocaceres@yahoo.com
13	VICTOR VALDIVIA RÍOS	SAG	25 19 10	Victor.valdivia@sag.gob.cl
14	EUGENIO DOUSSELA E	AGRONOMIA - UTA	20 55 02	
15	RICARDO LADRIX	LACTEOS LAUCAS	22 42 50	rladrix@lacteoslaucas.cl
16	CAMILO URBINA P	LLUTALAC	188-2- 1960017	
17	CARLOS HUBER O.	GRANJA STA. TERESA	171-2- 1965050	

18	ALEX LAMA	AGRICOLA SAN MARTIN	PICA	
19	MAURICIO VADULLI	RILA CHILE LTDA.	24 39 80	mvadulli@hotmail.com
20	ANIBAL HUANCA	AGRICULTOR LLUTA	22 78 73	
21	DAVID HUANCA	AGRICULTOR LLUTA	22 49 81	
22	ANA ROJAS ESCOBAR	I.M.CAMARONES	25 14 42	Rojasescobar.ana@gmail.com
23	MARJORIE ALLENDE C	PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE JORGE ALACHE	21 45 00	maggial@hotmail.com
24	CARLOS CORTES MONROY	PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE JORGE ALACHE	21 45 00	Carlosc-md@hotmail.com
25	AMADOR TORRES H.	UTA	20 55 24	atorres@uta.cl
26	FRANCISCO ALBORNOZ	UTA	----	falbornoz@yahoo.cl
27	DANIEL SOTO	I.M.C.	08-978 48 16	
28	JOSE MIGUEL GODOY	I.M.C.	32 90 40	



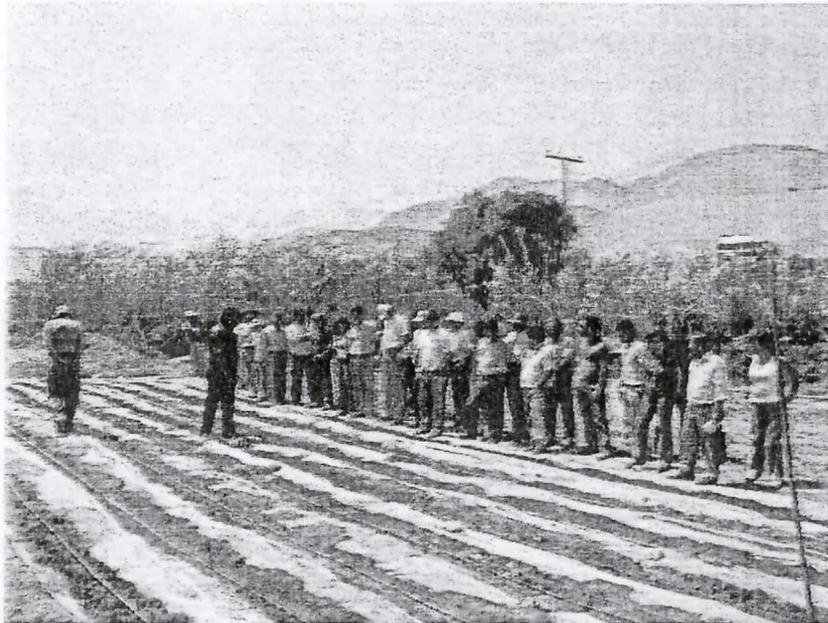
Exposición final del proyecto: Seminario Explicativo de resultados y alcances.



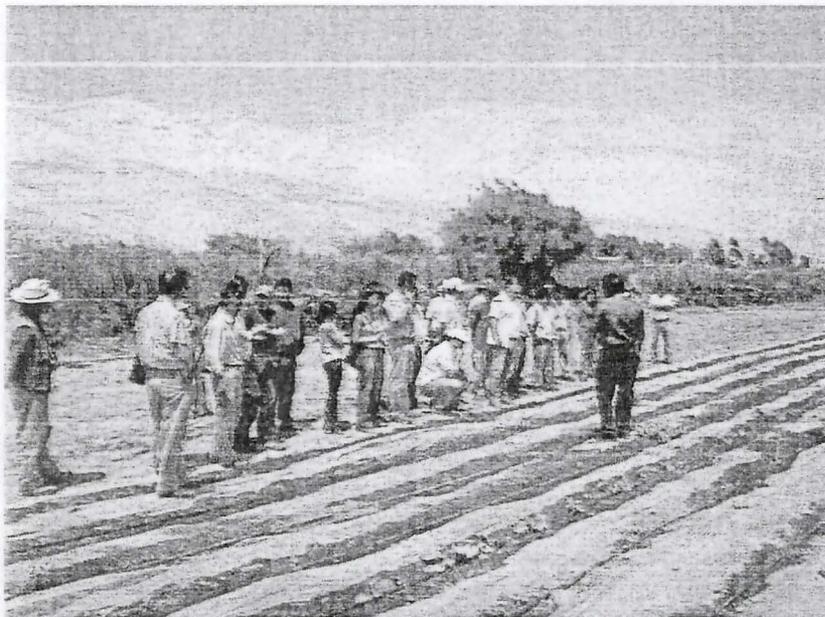
Exposición final del proyecto: Seminario Explicativo de resultados y alcances.



Exposición final del proyecto: Llegada al terreno experimental.



Exposición final del proyecto: Muestra de Cultivos sensibles en terreno experimental.



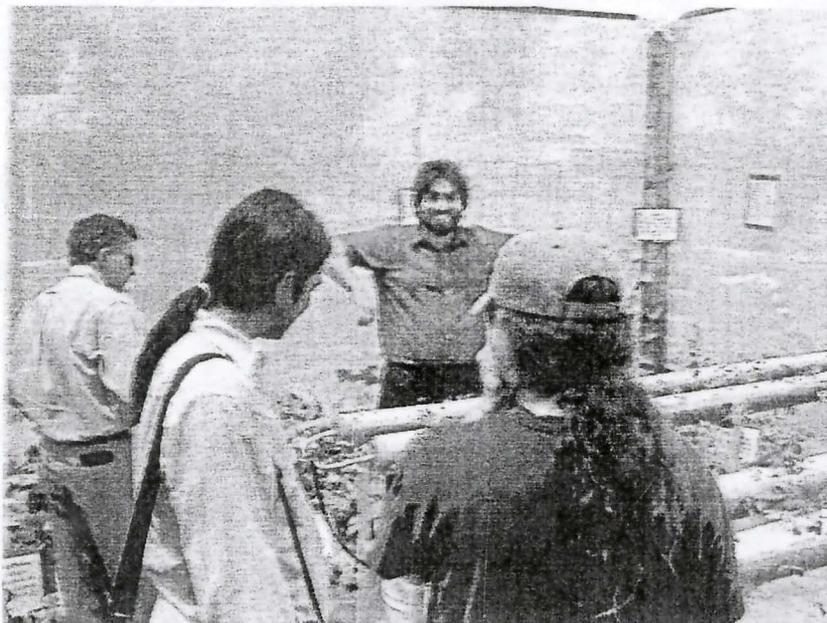
Exposición final del proyecto: Muestra de Cultivos sensibles en terreno experimental



Exposición final del proyecto: Muestra de Cultivos sensibles en terreno experimental



Exposición final del proyecto: Visita y Explicación Unidades Piloto.



Exposición final del proyecto: Visita y Explicación Unidad de Cultivos sin Suelo



Exposición final del proyecto: Cóctel Final de la actividad.

- Establecimiento de Acuerdo base entre las entidades gestoras del proyecto para posibilitar el emprendimiento comercial que permita concretar el impacto del proyecto a través del aprovechamiento del Know How y la eventual propiedad intelectual generada por el proyecto.

□ Identificación y comprobación de la existencia de mecanismos y fondos de apoyo para facilitar el acceso a la inversión es la tecnología desarrollada a partir del proyecto por medio de crédito (Banco Estado, INDAP) o subsidio (Comisión Nacional de Riego) para agricultores con dificultades de acceso al capital.

□ Posibilidad y conversaciones concretas para ofrecer e incorporar la tecnología desarrollada en el proyecto de compensación de la pérdida de terrenos agrícolas perdidas en la crecida del río Lluta de Diciembre de 2001, involucrando la entrega de 600 hectáreas en la Provincia de Arica que requieren, para su riego sin Boro, tratar un caudal de 250 lts/seg.

□ Decisión del grupo gestor del proyecto (ASITEC Ltda.) de iniciar un emprendimiento agrícola, en asociación con los agricultores Paola Gaete Parra y Hernán Urbina Pérez, en Lluta, y Alex Lama Zaror (Agricultora San Martín Ltda.), en Matilla, para la producción intensiva de hortalizas en sistemas sin suelo, aplicando la tecnología de tratamiento de agua desarrollada, en combinación con métodos de fertirrigación y buenas prácticas agrícolas, con el objetivo de obtener productos de alta calidad y costo unitario reducido para abastecer a la agroindustria exportadora local.

III.6 Análisis económico del Sistema para eliminación de Boro en Agua de Riego Desarrollado y Probado en el Valle de Lluta, perspectivas post proyecto.

El costo de adquisición para el usuario final de un equipo con una capacidad para tratar 350 m³ por día se estima con una cota superior de \$35.000.000 incluido el proyecto, diseño, construcción, instalación, puesta en marcha y servicio de control y monitoreo por 6 meses.

En este punto es sumamente relevante destacar que el equipo se entrega con una capacidad de caudal de tratamiento diario que, dependiendo del sistema de cultivo empleado, puede cubrir una mayor o menor superficie bajo cultivo, como se observa a continuación:

Sistema de cultivo empleado:	Superficie (há) promedio regable con 350 m ³ / día:
Riego por goteo en suelo.	10 (+)
Riego por goteo en Sustratos.	20 (*)
Hidroponía	80 (*)

(+) Se estima un consumo de agua promedio de 35 m³ durante la duración de un cultivo hortícola.
 (*) En sistemas comerciales de riego de sustratos e hidroponía se utiliza en promedio un 10 a 50% del agua normalmente requerida en sistemas de cultivo tradicional, pero no necesariamente existe una equivalencia entre superficies ya que las productividades son muy distintas, favorables a los sistemas que no utilizan el suelo para el enraizamiento.

El costo variable de operación del equipo (insumos y electricidad) depende del nivel de boro inicial y final deseados, según el siguiente cuadro:

		Boro en agua a tratar (mgB / L)					
		2	10	15	20	25	
Boro deseado en agua tratada (mg B / L)	0,1	69	70	84	98	112	Costo variable diario de utilizar el equipo (\$)
	0,5	69	69	83	97	111	
	1,0	69	69	82	96	109	
	1,5	69	69	80	94	108	
	2,0	43	69	79	93	107	
	2,5	43	69	78	91	105	
	3,0	43	69	76	90	104	

Cabe destacar que estas cifras tienen un componente de economía de escala no considerado, y es posible que el costo real para el usuario sea incluso menor.

Naturalmente, no todos los productores requerirán un caudal de agua tratada de tal magnitud, y las estimaciones de costo aquí presentadas son solo para ilustrar los aspectos más relevantes. El sistema se puede instalar para cualquier caudal necesario y cada caso será materia de análisis para el diseño y costeo.

Para el financiamiento de la inversión, es conveniente indicar que este sistema es bonificable como parte de las inversiones según la ley de Fomento del Riego y Drenaje, como dispositivo para eliminación de contaminantes de las aguas de riego. Adicionalmente, INDAP y Banco Estado han conocido el desarrollo del proyecto y preliminarmente se ha indicado la factibilidad de apoyar la inversión en esta tecnología en la medida que se consolide la apreciación de su aplicabilidad y ventajas.

III.7 Problemas enfrentados durante la ejecución del proyecto

- No se detectaron problemas más allá de los ya enunciados y discutidos en las secciones previas del proyecto.

III.8 Calendario de Ejecución (programado vs real) y Cuadro de Costos (Programados vs efectivos)

Se adjunta en anexos la carta Gantt original del proyecto y la resultante real actualizada hasta la fecha.

Se adjuntó en el informe financiero el programa de gastos original comparado con el efectivamente ocurrido.

III.9 Actividades de Difusión de Resultados efectuadas

Las actividades de difusión ya fueron suficientemente explicadas en la sección de resultados.

III.10 Impactos del Proyecto (logrados, a futuro)

A parte de los impactos mencionados en la sección III.2 no se han identificado otros que se puedan asociar al proyecto.

III.11 Conclusiones y Recomendaciones

El proyecto ha sido exitoso en su fase técnico científica y ha logrado un profundo impacto en el público objetivo, siendo actualmente percibido como una gran alternativa para el desarrollo, en particular para los Valles de Lluta y Camarones. Sin embargo, queda aún el desafío concreto de materializar el impacto logrado por medio de una pronta disponibilidad del sistema para su adquisición por parte de los interesados.

En este sentido, actualmente los gestores del proyecto se encuentran desarrollando todas las actividades tendientes a hacer posible la disponibilidad comercial de los resultados del proyecto, pero además han emprendido una iniciativa para establecer una empresa productiva agrícola en el Valle de Lluta, asociándose con los agricultores participantes en el proyecto, para establecer un parámetro de incentivo y estímulo a los demás agricultores de la Zona en cuestión.

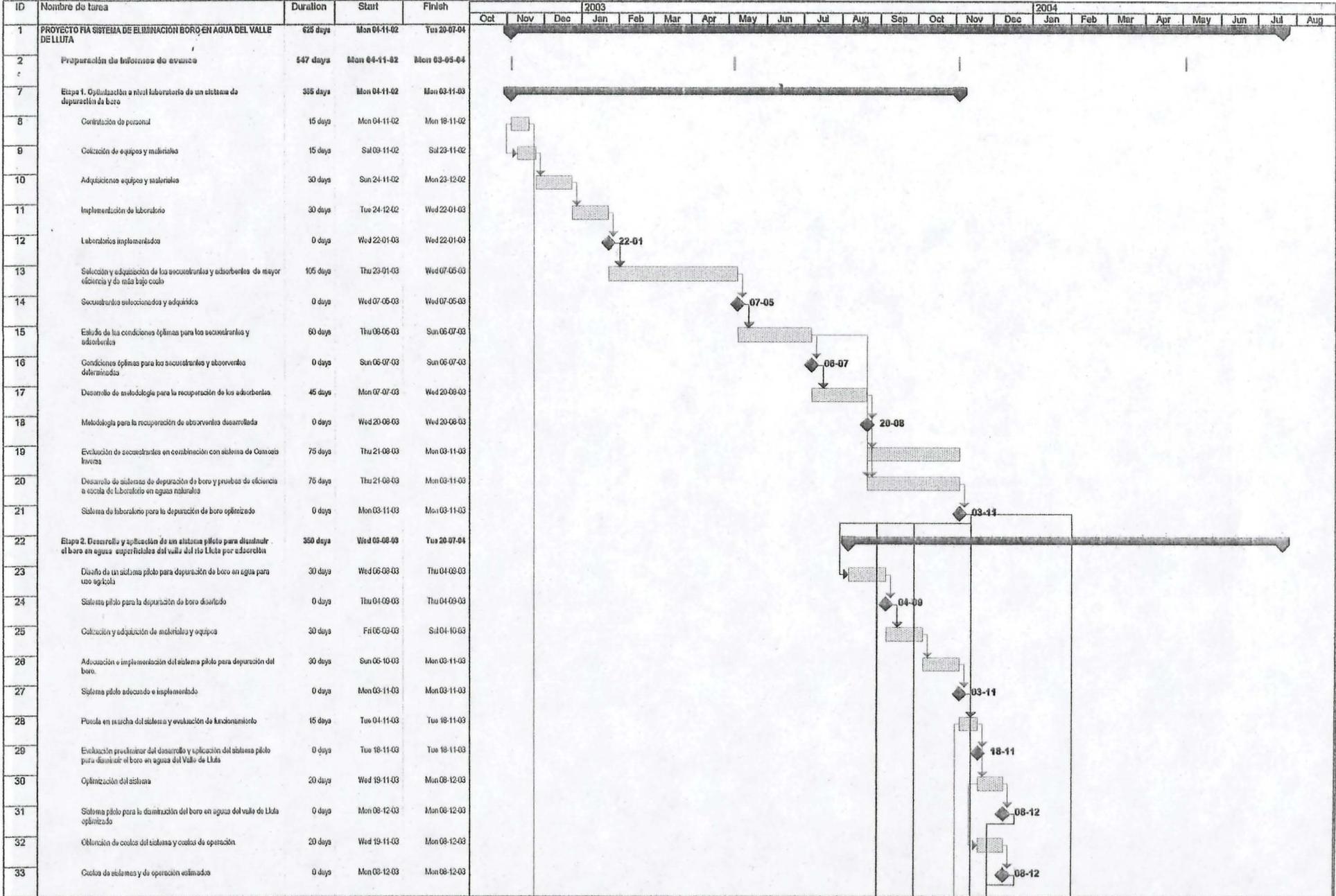
III.12 Otros Aspectos de Interés

No existen otros aspectos de interés fuera de los ya enunciados previamente.

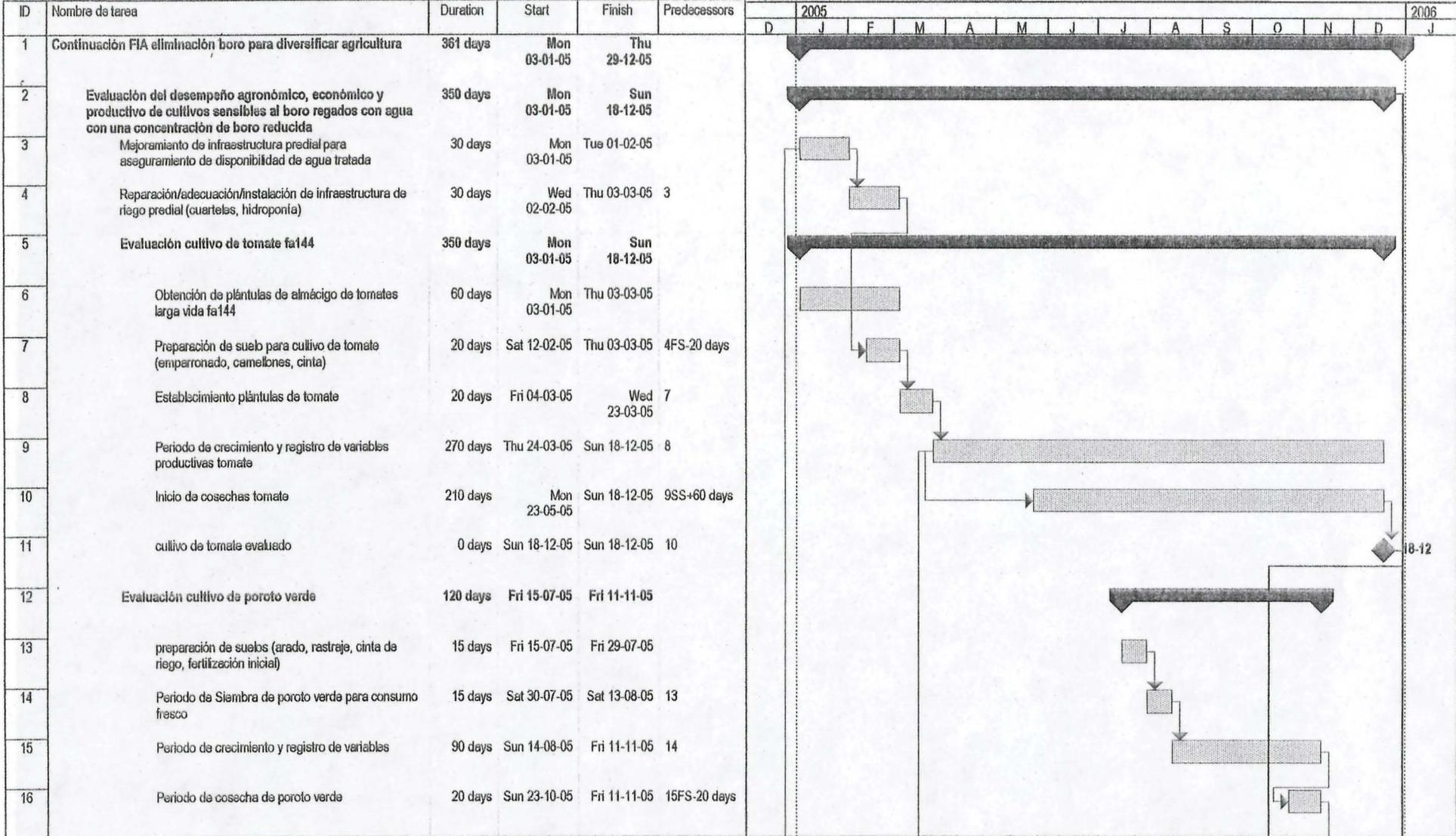
III.13 Anexos

Cartas Gantt Originales.

Cartas Gantt modificadas según lo realmente ocurrido.



Proyecto: gantit boro Fecha: Wed 28-04-05	Tarea		Hito		División resumida		Tareas externas		Deadlines	
	División		Resumen		Hito resumido		Resumen del proyecto			
	Progreso		Tarea resumida		Progreso resumido		External Milestone			



Proyecto: carta Gant continuación PI-C Fecha: Wed 26-04-06	Tarea		Tarea resumida		Resumen del proyecto	
	División		División resumida		External Milestone	
	Progreso		Hito resumido		Deadline	
	Hito		Progreso resumido			
	Resumen		Tareas externas			

ID	Nombre de tarea	Duration	Start	Finish	Predecessors	2005												
						D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	Continuación FIA eliminación boro para diversificar agricultura	477 days	Mon 03-01-05	Mon 24-04-06		[Task bar from Jan to Apr 2005]												
2	Evaluación del desempeño agronómico, económico y productivo de cultivos sensibles al boro regados con agua con una concentración de boro reducida	477 days	Mon 03-01-05	Mon 24-04-06		[Task bar from Jan to Apr 2005]												
3	Mejoramiento de infraestructura predial para aseguramiento de disponibilidad de agua tratada	90 days	Mon 03-01-05	Sat 02-04-05		[Task bar from Jan to Apr 2005]												
4	Reparación/adecuación/instalación de infraestructura de riego predial (cuarteles, hidroponía)	90 days	Sun 03-04-05	Fri 01-07-05	3	[Task bar from Apr to Jul 2005]												
5	Evaluación cultivo de poroto verde	120 days	Fri 15-07-05	Fri 11-11-05		[Task bar from Jul to Nov 2005]												
6	preparación de suelos (arado, rastraje, cinta de riego, fertilización inicial)	15 days	Fri 15-07-05	Fri 29-07-05		[Task bar from Jul to Aug 2005]												
7	Periodo de Siembra de poroto verde para consumo fresco	15 days	Sat 30-07-05	Sat 13-08-05	6	[Task bar from Aug to Sep 2005]												
8	Periodo de crecimiento y registro de variables	90 days	Sun 14-08-05	Fri 11-11-05	7	[Task bar from Sep to Nov 2005]												
9	Periodo de cosecha de poroto verde	20 days	Sun 23-10-05	Fri 11-11-05	8FS-20 days	[Task bar from Oct to Nov 2005]												
10	Cultivo de poroto verde evaluado	0 days	Fri 11-11-05	Fri 11-11-05	9	[Milestone diamond at Nov 11 2005]												
11	Evaluación cultivo de melón tuna	80 days	Sun 15-01-06	Tue 04-04-06		[Task bar from Jan to Apr 2006]												
12	preparación de suelos (arado, rastraje, cinta de riego, fertilización inicial)	15 days	Sun 15-01-06	Sun 29-01-06		[Task bar from Jan to Feb 2006]												
13	Periodo de Siembra de melón tuna para consumo fresco	15 days	Mon 30-01-06	Mon 13-02-06	12	[Task bar from Feb to Mar 2006]												
14	Periodo de crecimiento y registro de variables	50 days	Tue 14-02-06	Tue 04-04-06	13	[Task bar from Mar to May 2006]												
15	Periodo de cosecha de melón tuna	40 days	Fri 24-02-06	Tue 04-04-06	14FS-40 days	[Task bar from Mar to May 2006]												
16	Cultivo de melón tuna evaluado	0 days	Tue 04-04-06	Tue 04-04-06	15	[Milestone diamond at Apr 4 2006]												

Proyecto: carta Gant continuación PI-C.
Fecha: Wed 26-04-06

Tarea		Tarea resumida		Resumen del proyecto	
División		División resumida		External Milestone	
Progreso		Hito resumido		Deadline	
Hito		Progreso resumido			
Resumen		Tareas externas			

ID	Nombre de tarea	Duration	Start	Finish	Predecessors	2005											
						D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N
17	Evaluación del cultivo de frutilla en sistema hidropónico	477 days	Mon 03-01-05	Mon 24-04-06		[Task bar: 03-01-05 to 24-04-06]											
18	Diseño e Instalación sistema de tratamiento para eliminación de boro y sistema de cultivo hidropónico para frutilla	120 days	Tue 01-03-05	Tue 28-06-05	3SS	[Task bar: 01-03-05 to 28-06-05]											
19	Adquisición y establecimiento de material vegetal	120 days	Tue 01-03-05	Tue 28-06-05	18SS	[Task bar: 01-03-05 to 28-06-05]											
20	Periodo de crecimiento y registro de variables	300 days	Wed 29-06-05	Mon 24-04-06	19	[Task bar: 29-06-05 to 24-04-06]											
21	Inicio de cosechas de frutilla	210 days	Tue 27-09-05	Mon 24-04-06	20SS+90 days	[Task bar: 27-09-05 to 24-04-06]											
22	Cultivo de frutilla evaluado	0 days	Mon 24-04-06	Mon 24-04-06	21	[Task bar: 24-04-06 to 24-04-06]											
23	Periodo de monitoreo y registro de variables de agua y suelo	350 days	Mon 03-01-05	Sun 18-12-05		[Task bar: 03-01-05 to 18-12-05]											
24	Difusión de resultados y experiencias obtenidas a través del proyecto	442 days	Mon 03-01-05	Mon 20-03-06		[Task bar: 03-01-05 to 20-03-06]											
25	Elaboración, Publicación y distribución de Boletín informativo de resultados	30 days	Mon 19-12-05	Tue 17-01-06	23	[Task bar: 19-12-05 to 17-01-06]											
26	Realización de visitas a terreno y charlas técnicas durante todo el periodo de crecimiento y desarrollo	390 days	Mon 03-01-05	Fri 27-01-06		[Task bar: 03-01-05 to 27-01-06]											
27	Seminarios Difusión Zonas afectadas por contaminación boro	259 days	Thu 20-01-05	Wed 05-10-05		[Task bar: 20-01-05 to 05-10-05]											
28	Seminario Antofagasta	1 day	Thu 20-01-05	Thu 20-01-05		[Task bar: 20-01-05 to 20-01-05]											
29	Seminario Camarones	1 day	Wed 05-10-05	Wed 05-10-05		[Task bar: 05-10-05 to 05-10-05]											
30	Seminario dinal de difusión de resultados	1 day	Mon 20-03-06	Mon 20-03-06		[Task bar: 20-03-06 to 20-03-06]											
31	Bases y mecanismo de desarrollo comercial del sistema obtenido para posibilitar adquisición por agricultores interesados	210 days	Thu 01-09-05	Wed 29-03-06		[Task bar: 01-09-05 to 29-03-06]											
32	Periodo de acuerdo y definición de mecanismo de establecimiento de unidad de negocios	30 days	Thu 01-09-05	Fri 30-09-05		[Task bar: 01-09-05 to 30-09-05]											

Proyecto: carta Gant continuación PI-C.
Fecha: Wed 26-04-06

Tarea		Tarea resumida		Resumen del proyecto	
División		División resumida		External Milestone	
Progreso		Hito resumido		Deadline	
Hito		Progreso resumido			
Resumen		Tareas externas			

ID	Nombre de tarea	Duration	Start	Finish	Predecessors	2005																
						D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D				
33	Búsqueda de socios adicionales para aporte de capital y soporte comercial'	120 days	Sat 01-10-05	Sat 28-01-06	32																	
34	Elaboración de acuerdo para establecimiento de unidad de negocios	60 days	Sun 29-01-06	Wed 29-03-06	33																	
35	Acuerdo para formación de nueva unidad de negocios establecido (nueva empresa en formación)	0 days	Wed 29-03-06	Wed 29-03-06	34																	
36	Proyecto concluido	0 days	Mon 24-04-06	Mon 24-04-06	2,24																	

Proyecto: carta Gant continuación PI-C
Fecha: Wed 26-04-06

Tarea		Tarea resumida		Resumen del proyecto	
División		División resumida		External Milestone	
Progreso		Hito resumido		Deadline	
Hito		Progreso resumido			
Resumen		Tareas externas			