



Informe Técnico Final

“Aumento y disponibilidad de la eficiencia en el uso de agua de riego a través de la adaptación del sistema Vetiver para potenciar la agricultura sustentable en la Región de Arica y Parinacota

PYT-2012-0153

Período comprendido desde el 11/12/2013 hasta el 12/07/2014

Instrucciones:

- La información presentada en el informe técnico debe estar directamente vinculada a la información presentada en el informe financiero, y ser totalmente consistente con ella.
- El informe debe incluir en los Anexo los cuadros, gráficos, fotografías y diapositivas, publicaciones, material de difusión, material audiovisual y otros materiales que apoyen o complementen la información y análisis presentados en el texto central.
- Todas las secciones del informe deben ser contestadas.
- Evite repetir información en las distintas secciones
- Utilice caracteres tipo Arial, tamaño 11, y utilice los espacios asignados para ello.
- Los informes deben ser presentados en versión digital y en papel (dos copias), en la fecha indicada como plazo de entrega en el contrato firmado con el postulante y/o Entidad Responsable.
- FIA se preocupa por el medio ambiente, si le es posible, por favor imprima a doble cara.

Contenido

- 1. Antecedentes..... 4
- 2. Costos 4
- 3. Resumen del Período..... 5
- 4. Objetivos Específicos 5
- 5. Resultados 7
- 6. Actividades..... 11
- 7. Hitos Críticos..... 14
- 8. Cambios en el entorno 15
- 9. Difusión..... 16
- 10. Auto Evaluación 18
- 11. Conclusión 19
- 12. Anexos 20

1. Antecedentes

1.1. Antecedentes Generales:

| | |
|-----------------------------|--|
| Nombre Ejecutor: | UNIVERSIDAD DE TARAPACA |
| Nombre(s) Asociado(s): | María Bernardita Alonso y Pedro Madrid |
| Coordinador del Proyecto: | Vitelio Goykovic Cortés |
| Regiones de ejecución: | XV, Arica y Parinacota |
| Fecha de inicio iniciativa: | 01/12/2012 |
| Fecha término Iniciativa: | 31/03/2014 |
| Tipo Convenio FIA: | |
| Objetivo General: | Recuperar aguas contaminadas a través de la adaptación del Sistema Vetiver para optimizar el uso del agua de riego y aumentar la productividad en la región de Arica y Parinacota. |

2. Costos

2.1. Costo general:

| | |
|------------------------------|-------------------|
| Costo total de la Iniciativa | |
| Aporte FIA | |
| Aporte Contraparte | Pecuniario |
| | No Pecuniario |
| | Total Contraparte |

2.2. Ejecución presupuestaria a la fecha:

| | |
|-----------------------|-----------------------------|
| Acumulados a la Fecha | |
| Aportes FIA | Suma cuotas programadas |
| | Suma cuotas pagadas |
| | Suma gasto programado |
| | Suma gasto real |
| Aportes Contraparte | Gasto programado |
| | Gasto real |
| | Gasto pecuniario programado |
| | Gasto pecuniario real |

3. Resumen del Período

- 3.1. Informar de manera resumida las principales actividades realizadas y los principales resultados obtenidos en el período. Entregar valores cuantitativos y cualitativos. Explicar cuáles son las posibilidades de alcanzar el objetivo general y de desarrollar el negocio propuesto. Cada resumen debe contener información nueva, sin repetir lo mencionado en el resumen de informes anteriores. (Máx. 300 palabras).

La principal actividad realizada entre el periodo de diciembre 2013 a julio 2014 consistió en el establecimiento de un cultivo piloto regado con agua tratada. Este piloto tenía como fin el establecimiento de cultivares nuevos en valle de Lluta y sensibles a las concentraciones de boro encontradas en esta localidad. Los cultivares consistieron en melón, maíz dulce, lechuga y ají cristal. Se consiguió rebajar en un 25%, de 7 a 5.5 mg/L, las concentraciones de boro en el agua de riego y en un 50% los niveles de arsénico, de 0,20 a 0,10 mg/L. Aunque la disminución del boro no es alta, esta pequeña variación permitió introducir cultivos que no se dan en este valle y con altos rendimientos en el caso del maíz dulce y ají, y rendimientos medios a altos en el caso de la lechuga y el melón. Por lo tanto, el objetivo principal planteado en esta iniciativa - **Recuperar aguas contaminadas a través de la adaptación del Sistema Vetiver para optimizar el uso del agua de riego y aumentar la productividad en la región** - se cumplió en un 100%. Por otra parte, pruebas posteriores de fitorremediación de boro en suelo regado con altas concentraciones de boro (20, 50 y 100 mg/L) mostraron un 95% de eficiencia de descontaminación. Por ello, se concluye que la utilización conjunta del sistema Vetiver en agua y suelo es capaz de habilitar los suelos de Lluta para la introducción de nuevos cultivos.

4. Objetivos Específicos (OE)

- 4.1. Porcentaje de Avance:

| Nº OE | Descripción OE | % de avance |
|-------|---|-------------|
| 1 | Determinar la técnica y métodos que permitan obtener altas tasas de descontaminación del agua en el área de estudio | 100% |
| 2 | Validar la reducción de contaminantes (boro, arsénico, metales pesados y coliformes del agua, a través de Sistema Vetiver adaptado en el valle de Lluta, Azapa y Camarones | 100% |
| 3 | Elaborar un manual metodológico de la aplicación del Sistema Vetiver | 90%* |
| 4 | Elaborar un programa de transferencia de los productos generados | 100% |

*En periodo de revisión por FIA

- 4.2. Descripción de estado de avance del período (Máx. 70 palabras por objetivo)

| Nº OE | Descripción del Avance del Período |
|-------|------------------------------------|
|-------|------------------------------------|

| | |
|---|---|
| 1 | Se logra establecer una metodología clara para obtener la mejor tasa de descontaminación. En esta etapa se logró determinar la forma de cría, adaptación y manejo de las plantas vetiver en el medio acuático, tiempos de residencia y biomasa necesarios para la descontaminación |
| 2 | Se determinaron niveles de descontaminación de boro, arsénico y metales pesados según biomasa/volumen de agua. Se logra determinar los mecanismos fisiológicos de descontaminación para el boro (test de exudación) y los tiempos de residencia ideales para la fitorremediación de boro, metales pesados (Pb y Mn) y arsénico. En esta etapa se logró determinar las curvas de descontaminación. En cuanto al tratamiento de coliformes no se obtuvieron pruebas concluyentes. |
| 3 | Se elaboró un libro que contiene un capítulo de manual de manejo de Vetiver y otro capítulo con los resultados y experiencias de la iniciativa. |
| 4 | <p>Elaborar un programa de transferencia de los productos generados. El paquete tecnológico consta de 4 productos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Producto 1: 1 semana de entrenamiento en la localidad de Arica ○ Producto 2: 1 día de entrenamiento en la localidad de Arica ○ Producto 3: Asesoría para acceso a insumos guiado por especialistas ○ Producto 4: Asesoría para la implementación guiado por especialistas <p>Este servicio se ofrece a través de la Web de la Facultad de Agronomía de la UTA</p> |

5. Resultados Específicos (RE)

5.1. Cuantificación del avance: (Cuantifique el avance para todos los resultados esperados)

| N° OE | N° RE | Resultado Esperado (RE) | Indicador de Resultados (IR) | | | Valor Actual | |
|-------|-------|--|--|--|---|----------------------|---------------|
| | | | Indicador (cuantificable) | Línea base (situación sin proyecto) | Meta proyecto | % de Avance esperado | % Avance real |
| 1 y 2 | 1 | Aguas de la región caracterizadas (1) | Porcentaje de aguas usadas para riego en la Región | Existen estudios y datos de caudales y calidad del agua pero no son recientes y no siempre abarcan todas las localidades | 30% aguas de riego caracterizadas | 100% | 100% |
| | 2 | Agua de Pilotaje de Lluta, Azapa, Camarones y MOP caracterizadas (2) | Porcentaje de aguas de riego en la localidad | Existen estudios y datos de caudales y calidad del agua pero no son recientes y no siempre abarcan todas las localidades | 30% aguas de riego local caracterizadas | 100% | 100% |
| | 3 | Metodología de Sistema Vetiver adaptada (3) | Porcentaje de implementación de la tecnología Vetiver | No hay metodología implementada para remediación de aguas con Vetiver en Chile | 100% implementación | 100% | 100% |
| 3 y 4 | 4 | Pilotaje concluido (4) | Porcentaje niveles de descontaminación y recuperación de aguas | Aguas altamente contaminadas con arsénico, boro, sales (no aptas para la mayoría de cultivos) | 30-100% de disminución en niveles de contaminación recuperación calidad agua de riego | 100% | 100% |
| | | Programa transferencia a oferentes (5) | N° de agricultores entrenados en 7 | No existen agricultores | *40% de agricultores de | 100% | **10% |

| | | | | | | | |
|---|---|--|--|---|--------------------|-------|--|
| | | | aplicación del sistema Vetiver | entrenados en esta tecnología en Chile | la zona entrenados | | |
| 5 | Programa de seguimiento de implementaciones y evaluación de metodología Transferida (6) | Nº de agricultores entrenados en la aplicación del sistema Vetiver | No existen agricultores entrenados en esta tecnología en Chile | 5% de agricultores capacitados se implementan | 70% | **10% | |

- * Este 40 % correspondería a una proyección a largo plazo de cinco años.
- ** El 5 % corresponde a agricultores informados del proyecto y sus resultados.

5.2. Descripción del avance del período (describa sólo aquellos que han tenido actividad durante el período)

| Nº RE | Descripción Avance | Problemas y Desviaciones | Repercusiones | Acciones Correctivas |
|-------|--|--|---|---|
| 4 | <p>Para la adaptación del sistema vetiver en remediación de aguas se implementó un cultivo piloto con 4 cultivares sensibles a boro en la localidad de Lluta. El cultivo consistió en la introducción de melón, ají cristal, lechuga y maíz dulce. Los cultivos fueron regados con agua fitorremediada. La fitorremediación se realizó en un estanque de 30m³ que se trasvasijaba cada 5 días a otro estanque para regar. Los niveles de remediación fueron de 7 a 5.5 mg/L y los rendimientos de los cultivares fueron óptimos.</p> <p>Para el maíz dulce se alcanzó un calibre extra en el 95% del cultivo, para lechuga se alcanzó calibre primera en 80% de la producción, sin embargo, en el momento de la cosecha las hojas presentaban bordes quemados en un 70% de la lechuga. Esta problemática se pudo evitar</p> | <p>El melón se plantó fuera de época, por lo que nos enfrentamos a bajas temperaturas y baja población de polinizadores en el valle.</p> <p>Tuvimos problemas en el abastecimiento del agua. En febrero las lluvias altiplánicas con la consecuente subida del río Lluta, se llevó parte de los canales de riego. De abril a mayo la DOH inicio obras de cementación en los canales.</p> | <p>Influyó en la cuaja del fruto y su menor calibre.</p> <p>La disponibilidad de agua no fue de un 100%</p> | <p>.</p> <p>No hubo acciones</p> <p>Se compró agua y traslado por camión aljibe</p> |

| | | | | |
|-------|---|---------|--|--|
| | <p>cosechando 1 semana antes. El ají cristal tuvo un rendimiento de 80-100 frutos por planta, siendo esta la producción normal del valle de Azapa que no presenta boro ni altos niveles de salinidad. El melón presentó rendimiento normal y calibre segunda en un 90% del cultivo, 3-4 melones por mata, siendo lo esperado 5 melones calibre primera.</p> <p>Además se desarrolló: un test de remediación de boro en piscinas de 3000L con diferentes biomásas, este test se realizó para crear un modelo predictivo (ver anexo) y un test de remediación en suelos regados con altas concentraciones de boro (20, 50, 100 mg/L)</p> <p>(ver anexo)</p> | | | |
| 5 y 6 | <p>Se realiza la asistencia y seguimiento de la implementación del sistema a dos agricultores. En el valle de Lluta se asiste a Luís Gonzalez en la remediación del suelo para la plantación de melón y en Azapa se asiste a Poli Guajardo en la remediación de los Riles del procesamiento de aceituna.</p> | No hubo | | |

| | | | | |
|---|---|---------|--|--|
| 7 | Se realizará la difusión de resultados y cierre del proyecto el 11 de julio | No hubo | | |
|---|---|---------|--|--|

5.3 Describa posibles resultados e impactos adicionales, que dan mayor valor agregado al proyecto y que no se encontraban planificados (máx. 1 página, sólo si aplica).

-Realización del primer trabajo en la región, de fitorremediación en agua y fitorremediación en boro con Vetiver a nivel mundial. El boro es uno de los grandes problemas de contaminación de la industria pesada y rellenos sanitarios que generan miles de m³ de lixiviados al día ricos en boro y están en busca de tecnologías de remediación. Los resultados encontrados en boro son muy prometedores, no sólo para la región y la agricultura, si no para la industria. Adicionalmente, los resultados obtenidos en la remediación de boro en suelo son de alto impacto tendrán un impacto en la agricultura regional y prometen tener un impacto relevante en la industria.

6. Actividades

6.1. Cuantificación del avance de actividades. Cuantifique el avance para todos los resultados esperados:

| N° OE | N° RE | Actividades | Programado | | Real | | % Avance |
|-------|-------|--|--------------|------------|------------------|------------|----------|
| | | | Inicio | Término | Inicio | Término | |
| 1 | 1 | Se realiza búsqueda de la información en múltiples estudios públicos y privados que permiten recabar todos los antecedentes que llevarán a identificar los principales elementos contaminantes que interfieren en la optimización del uso del recurso hídrico y en la calidad del agua de riego. | Dic 2012 | Enero 2013 | Enero 2013 | Marzo 2013 | 100% |
| 1, 2 | 2 | Se debe realizar la caracterización de la zona de pilotaje; que en este caso es un terreno perteneciente a la Comuna de Camarones, Lluta y Azapa, la línea de base del agua, permitirá posteriormente determinar la tasa de reducción de boro, arsénico y /o sales | Dic 2012 | Feb 2013 | Marzo 2013 | Abril 2013 | 100% |
| 1, 2 | 3 | Las actividades de laboratorio y banco definirán la metodología, y permitirán definir paso a paso los requerimientos para su aplicación (posterior validación en el pilotaje). | Febrero 2013 | Mayo 2013 | Marzo 2013 | Junio 2013 | 100% |
| 1,2 | 4 | Se considerará el pilotaje concluido al momento que se alcancen niveles de descontaminación y recuperación de aguas contaminadas planteadas en los objetivos específicos relacionados a esta etapa. | Mayo 2013 | Dic 2013 | Junio/julio 2013 | Mayo 2014 | 100% |
| 3,4 | 5 y 7 | El programa de entrenamiento y difusión se orientará a capacitar a los agricultores y a otros sectores interesados en mejorar el uso del recurso hídrico, ejemplo de ellos son los sectores agroindustriales, vivienda y minería | Mayo 2013 | Dic 2013 | Mayo 2013 | Junio 2014 | 100% |
| 3, 4 | 6 | El programa de seguimiento permitirá constatar quienes efectivamente implementarán el Sistema Vetiver adaptado en sus procesos, que dificultades han presentados y de qué manera el oferente puede aportar a sus requerimientos | Dic 2013 | Marzo 2014 | Dic 2013 | Junio 2014 | 100% |

6.2. Descripción del avance de las actividades del período (describa sólo aquellos que han tenido actividad durante el período)

| Actividad | Descripción Avance | Problemas y Desviaciones | Repercusiones | Acciones Correctivas |
|--|--|--|---|---|
| <p>Se considerará el pilotaje concluido al momento que se alcancen niveles de descontaminación y recuperación de aguas contaminadas planteadas en los objetivos específicos relacionados a esta etapa.</p> | <p>Para la adaptación del sistema vetiver en remediación de aguas se implementó un cultivo piloto con 4 cultivares sensibles a boro en la localidad de Lluta. El cultivo consistió en la introducción de melón, ají cristal, lechuga y maíz dulce. Los cultivos fueron regados con agua fitorremediada. La fitorremediación se realizó en un estanque de 30m³ que se trasvasijaba cada 5 días a otro estanque para regar. Los niveles de remediación fueron de 7 a 5.5 mg/L y los rendimientos de los cultivares fueron óptimos.</p> <p>Para el maíz dulce se alcanzó un calibre extra en el 95% del cultivo, para lechuga se alcanzó calibre primera en 80% de la producción, sin embargo, en el momento de la cosecha las hojas presentaban bordes quemados en un 70% de la lechuga. Esta problemática se pudo evitar cosechando 1 semana antes. El ají cristal tuvo un rendimiento de 80-100 frutos por planta, siendo esta la producción normal del valle de Azapa que no presenta boro no altos niveles de salinidad. El melón presentó rendimiento normal y calibre segunda en un 90% del cultivo, 3-4 meones por mata, siendo lo esperado 5 melones calibre primera.</p> | <p>El melón se plantó fuera de época, por lo que nos enfrentamos a bajas temperaturas y baja población de polinizadores en el valle.</p> <p>Tuvimos problemas en el abastecimiento del agua. En febrero las lluvias altiplánicas con la consecuente subida del río Lluta, se llevó parte de los canales de riego. De abril a mayo la DOH inicio obras de cementación en los canales.</p> | <p>Influyó en la cuaja del fruto y su menor calibre.</p> <p>La disponibilidad de agua no fue de un 100%</p> | <p>.</p> <p>No hubo acciones</p> <p>Se compró agua y traslado por camión aljibe</p> |

| | | | | |
|---|---|----------------------|--|--|
| | <p>Además se desarrolló: un test de remediación de boro en piscinas de 3000L con diferentes biomasas, este test se realizó para crear un modelo predictivo (ver anexo) y un test de remediación en suelos regados con altas concentraciones de boro (20, 50, 100 mg/L)</p> <p>(ver anexo)</p> | | | |
| <p>El programa de entrenamiento y difusión se orientará a capacitar a los agricultores y a otros sectores interesados en mejorar el uso del recurso hídrico, ejemplo de ellos son los sectores agroindustriales, vivienda y minería</p> | <p>Se ha avanzado en los talleres de capacitación para agricultores, estudiantes y profesionales de instituciones (ver anexo). Se ha elaborado un manual de metodología y propagación. Se ha publicado en la web de la Facultad de Cs. Agronómicas la información del proyecto y los productos tecnológicos que se ofrecen. También se ha difundido en varios diarios locales (ver anexo)</p> | <p>No se observa</p> | | |

7. Hitos Críticos

7.1. Cuantifique el grado de cumplimiento de los hitos críticos fijados:

| Nº RE | Hitos críticos | Fecha Programado | % Avance a la fecha | Fecha Real Cumplimiento |
|--|--|------------------|---------------------|-------------------------|
| Levantamiento de banco de datos para aguas de la Región | Informe de banco de datos realizado | Enero 2013 | 100% | marzo 2013 |
| Informe de los resultados de la etapa de muestreos y análisis de aguas para fines de transferir el sistema Vetiver adaptado | Aguas de la zona caracterizadas. | mayo 2013 | 100% | mayo 2013 |
| Determinar el nivel de remediación de las aguas intervenidas con el Sistema Vetiver adaptado en Camarones, Lluta, Azapa, y aguas servidas | Metodología de Sistema Vetiver adaptado definida y curvas de remediación establecidas | dic 2013 | 100% | diciembre 2013 |
| Material elaborado para apoyar los entrenamientos programados. (realización de seminarios de difusión, cartillas de difusión, promoción en medios de difusión masivos) | Programa de entrenamiento y difusión de la metodología Sistema Vetiver Adaptado definido. Diseño de programa de entrenamiento Ejecución de programa de entrenamiento | Marzo 2014 | 100% | |
| Informe final de programa de implementación | Programa de seguimiento de implementaciones y evaluación de metodología | Marzo 2014 | 100% | |

7.2. Describa el grado de cumplimiento y posibles desviaciones (máx. 200 palabras).

Tanto el objetivo general, como los tres objetivos específicos correspondientes a esta etapa fueron desarrollados y cumplidos en un 100%: Validación la reducción de contaminantes (boro, arsénico y metales pesados del agua, a través de sistema Vetiver, Elaboración de un programa de transferencia de los productos generados y Elaboración de un manual técnico para la aplicación del sistema Vetiver (en revisión por FIA). Se logró validar el sistema vetiver para la descontaminación de todos los elementos planteados y se logró validar como una herramienta útil para el mejoramiento del agua de riego y del suelo agrícola de zonas contaminadas por boro y arsénico, cuyo objetivo final es la introducción de nuevos cultivares y el mejoramiento del rendimiento en los existentes. Además se logró implementar el sistema a dos agricultores de la región, en el valle de Azapa y Lluta a través del servicio de transferencia tecnológica.

8. Cambios en el entorno

8.1. Tecnológico

Se debe analizar la situación de la investigación básica y aplicada, así como los procesos, innovaciones, patentes, royalties o publicaciones de los agentes que intervienen y ofrecen soluciones en el sector en particular, en terceros relacionados y en toda la cadena de valor (Máx. 170 palabras)

El cambio está orientado a desarrollar tecnologías de fitorremediación en forma pública, sin fines de lucro, podrá ser transferida a los agricultores. En esta región no se manejan tecnologías de fitorremediación. Se espera a futuro obtener un sistema adaptado de fitorremediación con Vetiver con posibilidades de patentar o alcanzar un royalty de los resultados.

8.2. Mercado

Refiérase a los ámbitos de: oferta y demanda; competidores; nuevas alianzas comerciales; productos diferenciados, sustitutos o alternativos; mercados emergentes; productividad de los recursos humanos; precios de mercado, liderazgo del costo de producción; tipo de cambio, tasa de interés, disponibilidad de materias primaras, barreras de entrada al mercado, tratados de libre comercio, subvenciones o apoyo estatal.

La fitorremediación de aguas intoxicadas por altos contenidos de elementos fuera de norma, Ej. (As), ofrece la posibilidad de elaborar y vender un producto sin contaminantes. Esta tecnología tiene la posibilidad de extenderse al tratamiento de riles y aguas servidas, proponiendo un mercado emergente en el ámbito del cuidado del medio ambiente, especialmente el recurso hídrico.

8.3. Otros

Describe cambios en leyes, regulaciones, impuestos, barreras normativas o legales, normas no escritas, normas medio ambientales, responsabilidad social empresarial “dumping” (laboral o ambiental), entre otros.

No fue observado dentro de las actividades que se describe.

9. Difusión

9.1. Describa las actividades de difusión programadas para el próximo período.

| Fecha | Lugar | Tipo de Actividad | Nº participantes | Perfil de los participantes | Medio de Invitación |
|-----------|-------|-------------------|------------------|-----------------------------|---------------------|
| No aplica | | | | | |

9.2. Describa las actividades de difusión realizadas efectivamente durante el período:

| Fecha | Lugar | Tipo de Actividad | Nº participantes | Perfil de los participantes | Medio de Invitación |
|------------|---|---------------------------|------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 10/04/2014 | Lluta (Piloto) | Taller | 16 | Estudiantes y profesores | Invitación oral |
| 26/04/2014 | LLuta (sede asociación de agricultores del valle de Lluta | Charla | 17 | agricultores | Invitación escrita y oral |
| 11/06/2014 | Auditorio Fac. de Ciencias, UTA | Charla cierre de proyecto | 21 | varios | E-mail |

*Debe adjuntar en anexos material de difusión generado y listas de participantes

10. Auto Evaluación

10.1. ¿Considera que su proyecto logrará insertar en el mercado el bien o servicio o mejorar la competitividad? Explique (máx. 80 palabras)

Se logrará insertar el producto de este proyecto, porqué el mejoramiento de la calidad del agua en esta Región y otras Regiones del país es una necesidad. Tanto en agua potable, como en aguas rurales o de riego.

10.2. ¿Cómo evalúa los resultados obtenidos en función del objetivo general del proyecto? (máx. 80 palabras)

Los índices de abatimiento de las concentraciones de boro y arsénico detectados en los ensayos, permite introducir nuevos cultivos a los valles de Camarones y Lluta y aumentar los rendimientos en los cultivos ya utilizados. Por lo tanto, este proyecto cumple en su totalidad con el objetivo general planteado de mejorar la calidad del agua de riego para aumentar los rendimientos de la agricultura en la región. La disminución de 7 mg/L de boro a 5,5 mg/L, junto a la remediación de boro en el suelo, permite introducir en los valles de Lluta y Camarones cultivos como el melón, ají, lechuga y maíz dulce con buenos rendimientos, y mejorar el rendimiento del maíz lluteño.

10.3. ¿Cómo evalúa el grado de cumplimiento de las actividades programadas? (máx. 80 palabras)

Se ha cumplido en un 100% con las actividades programadas para enero-junio. Se cumplió con la validación y adaptación del sistema para boro, arsénico y metales pesados, y el establecimiento de un cultivo demostrativo. En cuanto a la difusión se cumplió en un 100%.

10.4. ¿Cómo ha sido la participación de los asociados? (máx. 80 palabras)

La participación ha sido muy buena, son personas vinculadas activamente a las actividades de la Facultad de Cs. Agronómicas

11. Conclusión

11.1. Concluya y explique la situación actual de la iniciativa, considerando amenazas u oportunidades (máx. 230 palabras).

Los ensayos realizados durante este proyecto permitieron determinar la validez del sistema Vetiver para la remediación de aguas en la Región. Por otra parte, los ensayos permitieron abordar la fitorremediación del boro que a nivel mundial es escasa y nula en el caso del Vetiver. De esta forma se ha generado un banco de datos científico-técnico de gran importancia en el mundo de la remediación.

Los ensayos en boro nos permiten concluir que el Vetiver puede disminuir las concentraciones de boro en el agua de riego, aunque no en grandes proporciones cuando se necesita una remediación de pocos días. Eventualmente, si se pueden descontaminar masas de agua con altos contenidos de boro siempre y cuando exista una rotación diaria de plantas, sin embargo, esto no es práctico para aguas de riego que deben utilizarse diariamente. No obstante los niveles de remediación en agua alcanzados durante los ensayos de campo (2 mg/L menos) permitieron, junto a la incorporación de materia orgánica, la introducción de nuevos cultivares, con altos rendimientos en todos los casos.

En cuanto a la remediación de boro en el suelo el porcentaje de eficiencia de remediación es altamente significativo, menores concentraciones de boro en el suelo permitirían mayores rendimientos en los cultivares ya establecidos en los valles, por lo que se recomienda la fitorremediación de ambos para la optimización del sistema. El riego con menores cargas de boro junto a la previa remediación del suelo antes de cada temporada permitiría disminuir los niveles de boro en un 90-95%.

Por otra parte se comprobó la alta eficacia de remediación del Vetiver en metales pesados (As, Mn y Pb), situación última que puede contribuir a que los agricultores oferten productos hortofrutícolas y de origen animal mucho más inocuos.

Este proyecto nos permite decir que el Sistema Vetiver es una alternativa validada y de bajo costo, ecológica y sustentable para el tratamiento de suelos y aguas contaminadas. Se hace necesario continuar con su investigación a fin de validar y sistematizar las amplias opciones que esta planta ofrece; protección de acuíferos, protección de bordes de río, contención de taludes, recuperación de suelos salino sódicos, aumento de la fertilidad del suelo entre otros.

Gracias a este proyecto FIA, se podrá consolidar el estudio de este sistema de fitorremediación, no desarrollado en Chile.

12. Anexos.

En una primera etapa se estableció una batería de ensayos a pequeña escala que permitieran la optimización de los parámetros de funcionamiento del sistema propuesto.

Para esto se evaluaron diversos ensayos de fitorremediación con diferentes concentraciones de contaminantes, volumen de agua, tiempos de residencia y biomasa. Para evaluar los niveles de fitorremediación se muestreo cada 5 días el agua durante 15 días en cada ensayo. Se establecieron una serie de pre ensayos en contenedores de 60 L con diferentes repeticiones para probar el efecto de la concentración de contaminante v/s biomasa. Seguidamente se evaluó el sistema en piscinas de 3.000 L con diferentes biomasa en agua de río y pozo de agua potable del valle de Lluta y aguas servidas del valle de Azapa, los ensayos en agua servida no presentaron resultados concluyentes por tal motivo no son citados en este documento.

En una segunda etapa se desarrolló un sistema piloto para disminuir, por fitorremediación, el boro y arsénico en aguas superficiales del río Lluta para el riego de cultivos diversos.

En esta etapa se pusieron a prueba las conclusiones obtenidas en la etapa anterior. La aplicación del sistema se realizó en el predio de uno de los agricultores asociados al proyecto en el valle de Lluta, donde se colocaron plantas de Vetiver en el estanque de riego y se estableció un policultivo de 4 cultivares sensibles al boro; melón, maíz híbrido cv. prays, lechuga cv. Batavia y ají cristal chileno. El agua del estanque de riego con plantas de Vetiver se trasvasijó cada 5 días a un segundo estanque de acumulación desde donde se regaba el cultivo y se muestreaba antes y después de trasvasijar.

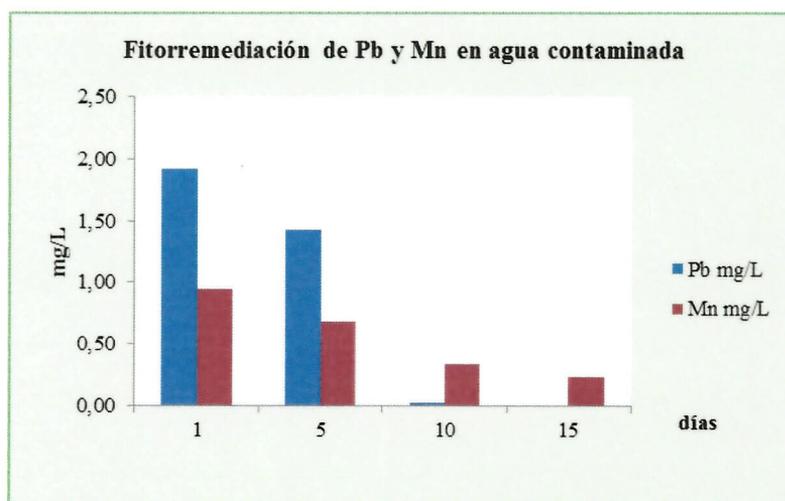
1.3 Descripción de los ensayos y resultados

Basados en los informes del año 2011-2012 de la DGA, que reportan concentraciones de

0,38-0,90 mg/l de Mn^{1*} y 0,26 a 0,49 mg/l de As^{2*} en la cuenca del río Lluta, mientras que en la cuenca del río Camarones se reportan concentraciones de 0,49- 4,1 mg/L de As y 0,44-1,68 mg/L de Mn, se realizaron varios ensayos de fitorremediación en boro, arsénico y manganeso. Adicionalmente de realizaron ensayos de fitorremediación en plomo ya que este elemento es un contaminante generalizado en los suelos de la zona norte de Arica.

Los resultados en manganeso y plomo indicaron un porcentaje de eficiencia de remediación para el plomo del 100% y del 75% para manganeso en un tiempo de 10 días para plomo y 15 días para manganeso.

Gráfico 1



*Media de 6 repeticiones

Tabla 1. Concentraciones de plomo y manganeso en el tejido vegetal después de la fitorremediación

| | RAIZ | HOJA |
|-----------|-------|-------|
| | mg/kg | mg/kg |
| Pb | 211,8 | 7,4 |
| Mn | 191,5 | 12,1 |

*Media de 6 repeticiones

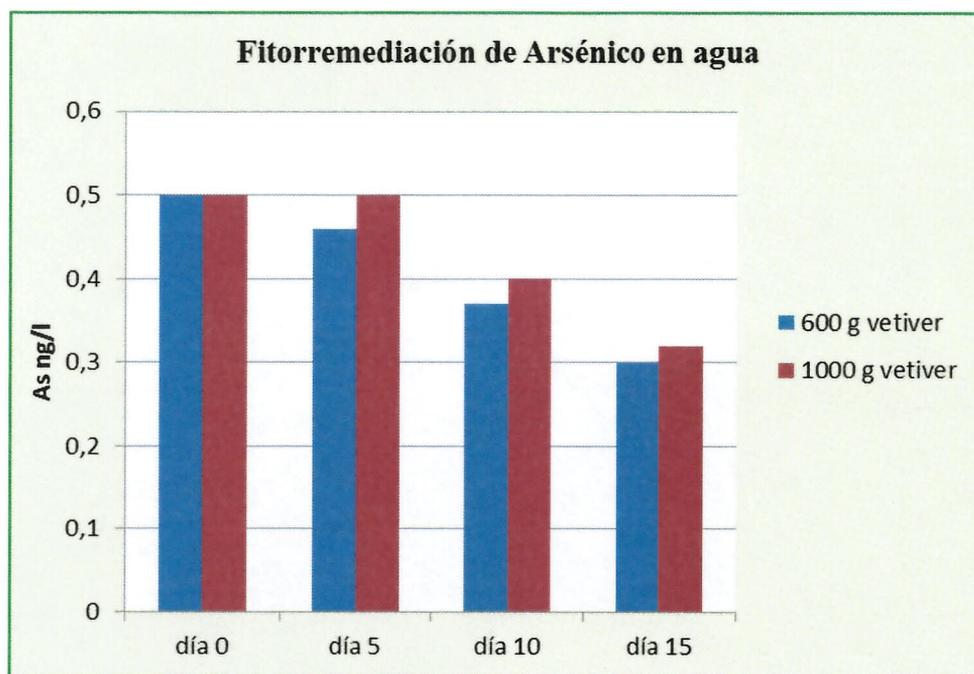
¹ Mg: manganeso

² As: arsénico

*La NCh1333. O f1978 MOD.1987. Requisitos de calidad del agua para diferentes usos indica valores máximos de 0,20 mg/l para Mn y 0,10 mg/l para As

Para el arsénico se realizaron 2 ensayos, uno con agua del río Camarones en contenedores de 60 L con 6 repeticiones y el segundo en piscina de 3.000 L con agua de pozo del valle de Lluta. El primer ensayo mostró una eficiencia de remediación del 40% en 15 días de tratamiento, mientras que el segundo ensayo fue del 80% en 7 días, esta diferencia se debió a las diferentes concentraciones iniciales y diferencias de pH. Las concentraciones iniciales del río Camarones eran de 0,5 mg/L y pH 7,0, mientras que para el agua de pozo de Lluta eran de 0,30 mg/L y un pH 8,5.

Gráfico 2



*Media de 6 repeticiones

Tabla 2: Concentraciones de arsénico en el tejido vegetal después de la fitorremediación

| | RAIZ | HOJA |
|----|-------|-------|
| | mg/kg | mg/kg |
| As | 41,6 | 0,45 |

Figura 12: Ensayo para remediación de arsénico en agua de pozo, valle de Lluta

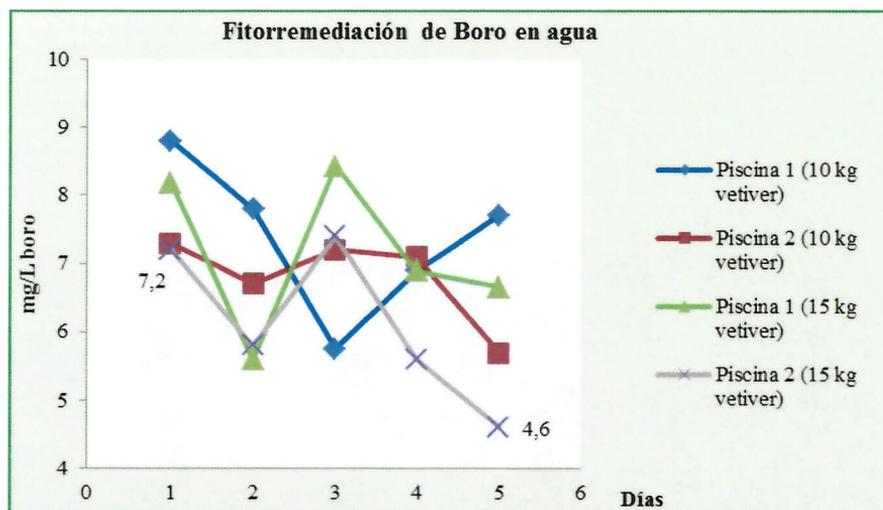


Fuente: Propia

Para testear los niveles de fitorremediación en boro se realizaron 3 ensayos. Los ensayos se realizaron en contenedores de 60 L con diferentes biomásas con agua del río Lluta (18 mg/L y 12 mg/L). El porcentaje de remediación fue de 10 y 21% respectivamente. El tercer ensayo se realizó en piscinas de 3.000L con diferentes biomásas (5, 10, 15, 20, 25 kilos) la concentración inicial promedio de boro fue de 7 mg/L, en todos los ensayos se consiguió una eficiencia entre el 25-36%, siendo el mejor tratamiento el de 15 kilos con una disminución de 2,5mg/L. Durante los ensayos se observó que los niveles de remediación no se mantienen constantes, este fenómeno se debe a que el boro es exudado al agua cuando la planta se satura por lo cual no es posible determinar de forma exacta el tiempo de residencia, sin embargo, se observó que en la mayoría de los ensayos las concentraciones disminuyen entre el segundo y tercer día.

Aunque el porcentaje de remediación en el agua no sea alto y significativo para los estándares agrícolas, esta disminución permitió cultivar con éxito nuevas variedades que no son habituales en el valle de Lluta como; lechuga, maíz dulce, melón y ají cristal chileno.

Gráfico 3



*Las concentraciones de los muestreos son la media de tres repeticiones para cada piscina

Tabla 3: Concentraciones de boro en el tejido vegetal después de la fitorremediación

| Vetiver | Hoja | Raíz |
|----------------|-------------|-------------|
| Kilos | mg/kg | mg/kg |
| 5 | 375,8 | 64,5 |
| 10 | 374,4 | 58,6 |
| 15 | 578,0 | 20,2 |
| 20 | 419,8 | 90,8 |
| 25 | 326,7 | 14,7 |

*Media de 4 repeticiones

En un ensayo de suelo se regaron macetas con distintas concentraciones de boro en el agua, después de un mes se determinó la concentración final de boro en el suelo. El ensayo demostró que el Vetiver es capaz de remediar suelos contaminados por boro. Para el caso de los valles de Lluta y Camarones el Vetiver es una tecnología de alta eficiencia y bajo costo para recuperar estos suelos que se riegan frecuentemente con altos contenidos de boro (10 mg/L-23 mg/L).

Tabla 2: Fitorremediación en suelos regados con altas concentraciones de boro

| concentración mensual de boro aplicado (mg/L) | concentración final de boro en suelo (mg/kg) | % de eficiencia |
|--|---|------------------------|
| 12,65 | 4,27 | 66,25 |
| 88,65 | 7,98 | 91 |
| 208,65 | 10,43 | 95 |
| 408,65 | 14,43 | 96,5 |

*Media de 5 repeticiones

1.4. Ensayo de campo

El principal objetivo del proyecto era introducir nuevos cultivares en el valle de Lluta. Para este propósito se instaló un sistema de fitorremediación basado en dos estanques de riego, uno para remediar y otro para acumular el agua tratada. El agua se trasvasijó cada 5 días, consiguiendo un promedio de fitorremediación mensual de 2 mg/L menos de boro. El traspaso de agua se realizó cada 5 días debido a los turnos de riego pero el tiempo de residencia real fue de 2-3 días ya que las concentraciones bajan en ese periodo.

Se estableció un policultivo de 300 m² con lechuga, maíz dulce, ají cristal y melón. Los cultivos se regaron con una adición diaria de ácido húmico (este puede reemplazarse por té de compost lo que disminuye los costos, y té de estiércol) ya que los suelos son muy bajos en materia orgánica. La fertilización de fondo consistió en 4 kilos de compost por m² (puede utilizarse 2 kilos de compost por m² y adicionar té de compost diariamente), no se utilizó fertilización química y no se aplicaron pesticidas, herbicidas ni fungicidas químicos. De forma preventiva se realizaron 2 aplicaciones de Neem y 2 de Abamectina. Todos los cultivos se trasplantaron de almacigueras a finales de enero.

Figura 13: Estanque con Vetiver



Fuente: Propia

- **Maíz híbrido cv. prays:** Los rendimientos alcanzados fueron muy altos para este cultivo, 1 mazorca de calibre extra por planta, el 100% de la cosecha fue calibre extra. Este resultado es muy relevante ya que el maíz dulce no se produce en Lluta, agricultores reportan haber intentado este cultivo sin éxito, en casos aislados se ha logrado un calibre de segunda. En el valle de Azapa este maíz alcanza un rendimiento de 1 mazorca por planta de calibre primera. La ventaja del maíz dulce es su precocidad, 60 días, y que puede crecer en los meses de verano cuando el maíz lluteño no se da. Es importante considerar que de ser introducido este maíz, sólo debe ser cultivado en la época de verano, cuando no se cultiva el maíz lluteño, a fin de salvaguardar el germoplasma de este ecotipo.

Figura 14: Cultivar de Maíz Dulce



Fuente: Propia

Figura 15: **Maíz dulce calibre extra**



Fuente: Propia

- **Lechuga c.v. Batavia:** La lechuga alcanzó un rendimiento de 4 cajas (12-14 lechugas) por cada 10 metros lineales, siendo el rendimiento promedio en otros valles de la Región de 3 cajas (12 lechugas) por cada 10 metros. Sin embargo, en el momento de la cosecha el 80% de las hojas presentaba bordes quemados, no obstante una semana antes de la cosecha sólo las primeras hojas presentaban daño marginal.

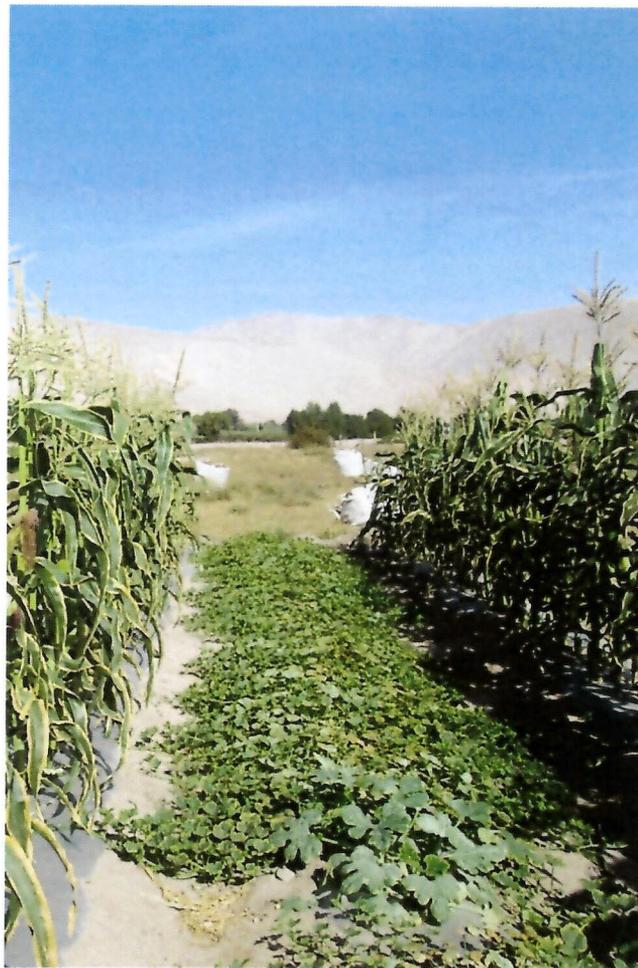
Figura 16: **Plantación de lechuga a las 2 semanas**



Fuente: Propia

- **Melón:** Este cultivo se inició en una época fuera de lo normal para la especie (a mediados del verano), por esta razón, el crecimiento de sus frutos se vio afectado por las bajas temperaturas del otoño. Por otra parte, la cuaja del fruto se vio afectada por la escasez natural de polinizadores en la zona. Sin embargo, pese a todos estos inconvenientes el rendimiento promedio del melón fue de 3 melones calibre segunda por mata. Sólo el 10% de la producción fue de primera. La floración y cuaja del fruto fue tardía debido a las menores temperaturas al momento de la floración. El rendimiento promedio en Azapa es de 3 melones por mata; 30% extra, 30% primera, 40% segunda.

Figura 17: Cultivar de melón a los 30 días



Fuente: Propia

Figura 18: Melón calibre segunda



Fuente: Propia

- **Ají cristal chileno:** El ají cristal es un cultivo delicado poco desarrollado en la región, sólo hay 1 productor de este ají en el valle de Azapa que alcanza rendimientos de 70-80 frutos por mata de primera calidad. En este ensayo se alcanzó un rendimiento promedio de 80 frutos por mata de calibre primera (90%) y segunda (10%). Este cultivo no presentó daños por salinidad o boro durante todo su ciclo.

Figura 19: Ají cristal chileno



Fuente: Propia

Figura 20: Ají cristal antes de la cosecha



Fuente: Propia

Los costos de producción proyectados para una hectárea serían de \$ 3.200.000 en compost, té de compost y té de guano y \$ 240.000 para biopesticidas. El costo de fertilización

orgánica puede reducirse en un 50% utilizando té de compost y reduciendo el aporte de compost a 2 kilos por metro cuadrado. Los costos de la fitorremediación de agua para el riego deben ser evaluados en cada caso, sin embargo, se puede estimar que el costo para la remediación de una hectárea de suelo el agua de riego sería de \$ 6.000.000 (inversión y asesoría) el primer año y \$1.500.000 anuales en los años posteriores.

Por otra parte se comprobó la alta eficacia de remediación del Vetiver en metales pesados (As, Mn y Pb), situación última que puede contribuir a que los agricultores oferten productos hortofrutícolas y de origen animal mucho más inocuos.

Este proyecto nos permite decir que el Sistema Vetiver es una alternativa validada y de bajo costo, ecológica y sustentable para el tratamiento de suelos y aguas contaminadas. Se hace necesario continuar con su investigación a fin de validar y sistematizar las amplias opciones que esta planta ofrece; protección de acuíferos, protección de bordes de río, contención de taludes, recuperación de suelos salino sódicos, aumento de la fertilidad del suelo entre otros.

DIFUSIÓN

TALLER 10/04/2014



Visita de autoridades; Fernando Bas (ex Director FIA), Ex Seremi Salud, Ex Directora de INDAP

TALLER 10/04/2014



Alumnos y profesores clase de agroecología de la Facultad de ciencias agronómicas, UTA.



CHARLA Agricultores de Lluta



Sede de la asociación de agricultores de Lluta, 26/04/2014



ACTIVIDAD DE CIERRE: 11/07/2014



Prensa

<http://impresa.elmercurio.com/Pages/SupplementDetail.aspx?dt=2014-02-24&SupplementID=6&BodyID=0>

<http://www.fia.cl/ListadoNoticias/Noticias/tabid/139/ArticleID/715/Realizan-primer-riego-de-cultivos-con-agua-purificada-a-trav%C3%A9s-del-Sistema-Vetiver.aspx>

<http://www.estrellaarica.cl/impresa/2014/07/13/full/5/>

Radio:

Entrevista radio puerta norte y radio de la asociación de agricultores de Lluta

MATERIALES GENERADOS

1. Libro (se envía copia en CD del borrador en revisión por FIA)

2. Paquete tecnológico con oferta de servicios (web Facultad de Ciencias Agronómicas, UTA) Link:
<http://www.uta.cl/web/site/artic/20140710/asocfile/20140710162421/fadecia.pdf>
3. Presentación Power Point con resultados (en CD)