

Estudio de antecedentes para el diseño de un proyecto comunitario:

Invernadero solar semi- automatizado para cultivo de hortalizas en hidroponía con uso de tratamiento de aguas

INSTITUCIONES EJECUTORAS SERC CHILE



SOCIOS ESTRATÉGICOS



PRÓLOGO

El presente estudio de antecedentes para el diseño del proyecto comunitario *“Invernadero solar semi-automatizado para cultivo de hortalizas en hidroponía con uso de tratamiento de aguas”*, se destina a ser utilizado como una fuente de información hacia las comunidades rurales y público en general, como material de consulta y divulgación que trata la situación energética de la región de Arica y Parinacota, haciendo hincapié así mismo en las características energética propias de la región. Se ha pretendido elaborar esta guía que pueda ser leída por cualquier persona sin formación técnica en la materia y lograr que, a través de su lectura, pueda entender cómo es la generación de electricidad y la producción de energía a partir de fuentes energéticas renovables. Su carácter divulgativo favorecerá su aprovechamiento por jóvenes, pero también por personas de todas las edades que sientan interés por los temas energéticos de la región.

Este estudio se encuentra en los objetivos del proyecto Ayllu Solar, una iniciativa de SERC Chile (Solar Energy Research Center) que es la creación de capital humano para impulsar el desarrollo sostenible de comunidades urbanas y rurales de la región de Arica y Parinacota, a través del uso de energía solar, con el fin de contribuir, desde la ciencia, a mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

Este estudio de antecedentes se elaboró como una propuesta de proyecto en el año 2015, en el marco de la selección de los proyectos de referencia que finalmente fueron implementados en la región de Arica y Parinacota. La presente no fue implementada, sin embargo, constituye una guía útil para el desarrollo de proyectos de similares características.

La edición de este documento se estructura en 4 capítulos. El primer capítulo corresponde al estado del arte de la situación de la región y del sitio de emplazamiento del proyecto. El segundo capítulo se refiere a la descripción técnica y económica de la propuesta que está dedicada, en términos generales, a las tecnologías y soluciones involucradas en esta iniciativa. El tercer capítulo abarca los temas de diagnóstico socio-cultural (línea base y la metodología de la co-construcción) y finalmente el cuarto capítulo, donde se explica y se exponen los aspectos de la formación de capital humano.

Finalmente, se debe considerar que, no obstante algunos de los datos estadísticos fueron actualizados dentro del texto original (ejemplo actualización Censo 2017), todos los costos fueron realizados con valores del año, 2015, por tal motivo para mejor uso de este documento se sugiere ajustar los costos y normativas a los precios de mercado actuales y valor del dólar del día de la consulta.

RESUMEN EJECUTIVO

RESUMEN EJECUTIVO

Esta propuesta se elaboró en el año 2015, en el marco de la selección de los proyectos de referencia que finalmente fueron implementados en la región de Arica y Parinacota. La presente no fue implementada, sin embargo, constituye una guía útil para el desarrollo de proyectos de similares características.

En este informe se presenta la propuesta de proyecto de referencia para la localidad del Valle de Lluta: la aplicación “Invernadero semi-automatizado para cultivo de hortalizas (pimiento) en hidroponía con uso de tratamiento de aguas”.

El Valle de Lluta ha estado históricamente limitado en su producción agrícola debido a la calidad de sus aguas superficiales y subterráneas. A diferencia de otros valles de la región, la calidad de las aguas disponibles es notablemente inferior debido a la presencia de boro por fuentes naturales, y muy probablemente por actividades mineras pasadas.

Actualmente la dificultad de innovar en cultivos más rentables, incide negativamente en las posibilidades de desarrollo de las comunidades del valle, especialmente en comparación con los valles de Azapa y Chaca, donde existe una amplia diversidad de cultivos (hortalizas y frutales) de alto valor comercial, precisamente gracias a la buena calidad de sus aguas.

En este sentido, mejorar la calidad del agua mediante sistemas de tratamiento de aguas (descontaminación y/o desalación) que utilicen la energía solar y hacer un uso eficiente de la misma a través del cultivo hidropónico en invernadero inteligente, es una necesidad clave para el futuro agrícola del valle y una oportunidad relevante para mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

La solución solar propuesta corresponde al cultivo de hortalizas rentables en términos económicos y sensibles a la salinidad actual del agua de riego del río Lluta (específicamente, el cultivo del pimiento (*Capsicum annum*)), en hidroponía, bajo invernadero solar semi-automatizado y haciendo uso de tratamiento de agua (centrada en la remoción de boro).

Se escogió el sector de Rosario (Alberto Jordán) para la instalación de la aplicación dadas sus características preferentes de radiación solar, disponibilidad de agua, actividad agrícola y presencia de organizaciones agrícolas activas. Por otra parte, Rosario es un sector que presenta altos niveles de concentración de boro y arsénico. Además de esto, la localidad posee servicio de energía eléctrica mediante una red bifásica, situación que podría facilitar la implementación de la aplicación.

Los principales componentes de esta aplicación son una planta de tratamiento de aguas (desalación y remoción de boro), un invernadero solar semi-automatizado, un sistema de hidroponía para el cultivo de hortalizas. Los requerimientos energéticos de esta aplicación se asocian a:

- Bombeo de agua desde el río Lluta hacia la planta de tratamiento de aguas
- Funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas (energía eléctrica y térmica)
- Bombeo desde el estanque (de (energía eléctrica y térmica) agua tratada hacia el sistema de hidroponía y de riego en el invernadero
- Calefacción del invernadero en las horas de baja temperatura
- Control de los sistemas de ventilación

La inversión total de la aplicación alcanza a los \$198.646.000¹, donde los mayores costos se asocian a la planta de tratamiento de aguas (aproximadamente setenta y cinco millones de pesos) y al campo solar (aproximadamente setenta y siete millones de pesos) . Los ingresos anuales son del orden de los treinta y cuatro millones y los costos aproximadamente de 17 millones de pesos anuales. Considerando lo anterior, en el período evaluado de cinco años, no se alcanza a recuperar la inversión y las utilidades son del orden de los dieciséis millones de pesos anuales. En este sentido, considerar que esta aplicación podría ser eventualmente escalable para ser construido por etapas, es relevante al momento de considerar excesivos los montos comprometidos.

Sin embargo, se debe tener en consideración una posible evolución positiva de los costos de estas tecnologías y además la sinergia en el uso de energía solar térmica y eléctrica.

La (baja) calidad del agua de riego es un tema movilizador entre los agricultores del valle de Lluta, por lo tanto este tipo de solución tecnológica va en línea con las demandas locales. Las asociaciones vinculadas al agua (juntas de vigilancia principalmente) presentan alto nivel de organización y numerosas experiencias anteriores que propician un tejido social robusto capaz de sostener el proyecto de referencia en el largo plazo.

¹ Valor mayo de 2016

Tabla de Contenido

| | |
|---|-----------|
| PRÓLOGO | 2 |
| RESUMEN EJECUTIVO | 3 |
| 1 Introducción | 7 |
| 1.1 Antecedentes básicos | 7 |
| 1.2 Descripción de la localidad | 8 |
| 1.3 Descripción general de problemática abordada..... | 9 |
| 1.4 Estructura del documento | 11 |
| 2 Descripción técnica de la propuesta | 11 |
| 2.1 Esquema general de solución propuesta | 11 |
| 2.2 Detalle de componentes más relevantes | 14 |
| 2.1.2 Planta de tratamiento de aguas – desalación y remoción de boro..... | 14 |
| 2.1.3 Invernadero solar semi-automatizado | 16 |
| 2.1.4 Sistema hidropónico regado por goteo (tipo NFT: Nutrition Film Technique) | 18 |
| 2.3 Evaluación de costos | 19 |
| 2.4 Análisis de impacto económico | 23 |
| 3 Diagnóstico socio-cultural | 25 |
| 3.1 Descripción de aspectos relevantes de la comunidad | 25 |
| 3.1.1 Organización y cohesión social | 25 |
| 3.1.2 Relación con otros territorios | 27 |
| 3.1.3 Experiencias colaborativas anteriores | 28 |
| 3.1.4 Potencial de desarrollo productivo | 29 |
| 3.2 Análisis crítico | 30 |
| 4 Propuesta de Formación de Capital Humano (HCD) | 32 |
| 4.1. Propuesta Formativa | 32 |
| 4.2. ¿Cuáles son las temáticas y actividades propuestas? | 32 |
| 4.4. Conclusiones | 34 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 5 | Conclusiones generales | 34 |
| | Aspectos legales a considerar | 36 |
| 6 | Referencias | 38 |
| | Anexo 1: Reseña de la presencia de boro, arsénico y sólidos totales disueltos en el río Lluta..... | 40 |
| | Anexo 2: Resultados parámetros fisicoquímicos de calidad de aguas, Valle de Lluta. | 43 |
| | Anexo 3: Radiación solar anual en el sector de Rosario, valle de Lluta..... | 44 |
| | Anexo 4: Diseño de invernaderos | 44 |
| | Anexo 5: Cultivo hidropónico..... | 45 |

1 Introducción

1.1 Antecedentes básicos

La agricultura del valle de Lluta se concentra en la producción de maíz choclero (*Zea mays*), cebolla (*Allium cepa*), alfalfa (*Medicago sativa*) y tomate (*Solanum lycopersicum*) para consumo, cultivos que tienen un alto nivel de tolerancia al boro, presente en el agua de riego de este valle y que significa la principal limitante para el establecimiento de otros tipos de cultivos más rentables. El agua del río Lluta tiene un alto contenido de sales, superando los 2.000 μSm^{-2} de conductividad eléctrica y concentración de boro superior en promedio a 15,6 ppm² (promedio). El origen de esta situación es motivado por los afluentes que tiene el río en su curso superior, que aportan altas concentraciones de elementos químicos en niveles tóxicos para las plantas (Torres y Acevedo, 2008). Debido a los bajos rendimientos de estos cultivos, las características de siembra y establecimiento de los cultivos presentan un bajo nivel de tecnificación, principalmente asociado a los sistemas de riego, en especial de maíz y alfalfa. Por otro lado, no existen problemas de disponibilidad de agua, excepto entre los meses de octubre y febrero, período donde los usuarios de la Junta de Vigilancia distribuyen el agua en un sistema que denominan “mitación”, en el cual se asignan cuotas, conforme a la disponibilidad. Particularmente, en los años que no baja el río de Lluta por efecto del invierno altiplánico (estival).

Cabe destacar que durante los años en que el caudal del río crece por efecto de las lluvias en el altiplano, se produce un aumento de la concentración de sales, ya que tanto el río Azufre como el Colpitas arrastran grandes cantidades de sulfatos y boro, afectando al río Lluta.

Por otra parte, la región de Arica y Parinacota se considera la despensa hortícola de Chile durante los meses de invierno, condición que se apoya en que el SAG reconoció a la región como libre de la mosca de la fruta a contar de diciembre del 2004. Asimismo, la creación de la XV región de Arica y Parinacota a través de su Agenda de Desarrollo Productivo, considera la agricultura de alta tecnología como un eje de desarrollo regional.

La solución solar propuesta corresponde al cultivo de hortalizas sensibles a la salinidad (específicamente, el cultivo del pimiento (*Capsicum annum*)), en hidroponía, bajo invernadero solar semi-automatizado y haciendo uso de tratamiento de agua (centrada en la remoción de boro).

En los valles costeros de la comuna de Arica, la superficie de cultivo hidropónico ha tenido un incremento sostenido durante los últimos años (Riquelme-Garcés, et al 2013). Esto se explica principalmente por la mala calidad del suelo, en específico por las siguientes razones: presencia de suelos muy delgados y con mal drenaje, suelos empobrecidos debido al monocultivo, suelos salinizados por la baja calidad del agua y malas técnicas de fertilización y sumado a esto, altos costos para habilitación de suelo dificultan aún más el cultivo en el terreno.

² Considera las localidades de Poconchile, Sora, Rosario, Molino, Villa Frontera y el Puente Panamericana.

En este contexto, el cultivo hidropónico o en sustrato permite un mayor control en los objetivos de producción, ser más eficiente en el uso del agua y fertilizantes, y tener mayor control sobre los contaminantes tales como nitratos, fosfatos, pesticidas y particularmente bromuro de metilo.

1.2 Descripción de la localidad

El Valle de Lluta es un territorio históricamente agrícola, de este a oeste cruza la región desde la zona precordillerana de Putre y General Lagos hasta la costa de Arica. En términos climáticos y culturales se puede hablar de dos zonas: alta y baja, donde la zona Alta corresponde a una zona de origen Aymara, de accesibilidad limitada y con un clima que permite un ciclo anual de cultivo, mientras la zona baja corresponde a una zona de origen social diverso, con mayor infraestructura y accesibilidad, además de un clima que permite múltiples ciclos de cultivo a lo largo del año.



Figura 1: Imagen Satelital del Valle de Lluta

En la zona baja del valle habitan tanto población Aymara como población con diversos orígenes, especialmente habitantes de la zona centro-sur de Chile que llegaron al valle en el contexto de la Reforma Agraria, también agricultores de valles cercanos que han llegado en los últimos años y migrantes de países vecinos que trabajan en los cultivos. Si bien la zona alta del valle sufre procesos de emigración importantes, y ésta es una condición general a todos los territorios rurales de la región (INE, 2007), en la zona baja existe una tendencia al aumento de población debido a una mayor actividad agrícola. En el valle habitan aproximadamente 3.000 personas de forma permanente y cerca de 2.000 trabajadores esporádicos³ en su mayoría de origen boliviano y peruano.

³ En base a datos entregados en diversas entrevistas a dirigentes locales del Valle de Lluta.

El valle se articula en una serie de localidades a lo largo del cauce del río Lluta, entre ellas las más grandes⁴ son Poconchile (115), el sector de Alberto Jordán (57), Molinos (39) y Cooperativa Las Gaviotas (6). En términos generales la gran mayoría de los productores son pequeños agricultores, los que cuentan con predios que fluctúan entre 2 y 20 hectáreas.

El valle se encuentra conectado al Sistema Eléctrico Nacional (SEN) y cuenta con sistemas de agua potable rural en gran parte de las localidades. Sin embargo, existen algunos sectores que son abastecidos mediante camiones aljibes, como el sector Santa Rosa.

El río Lluta se ubica aproximadamente a 12 km de la frontera con el Perú y desemboca en el mar a 4 km al norte de la ciudad de Arica. Su origen es a más de 3.900 msnm, en la confluencia de la quebrada de Caracarani (que se origina en los faldeos del volcán Tacora) y el río Azufre. Desde Chironta, a más de 70 km de distancia del mar, se inician los primeros cultivos agrícolas. En su cauce final, antes de su llegada al mar, el río desemboca en un estuario junto a una extensa playa a escasos km de Arica, cercano a localidad de Villa Frontera.

1.3 Descripción general de problemática abordada

El Valle de Lluta ha estado históricamente limitado en su producción agrícola debido a la calidad de sus aguas superficiales y subterráneas. A diferencia de otros valles de la región, la calidad de las aguas disponibles es notablemente inferior debido a la presencia de boro por fuentes naturales, y muy probablemente por actividades mineras pasadas. El régimen del río es pluvial, concentrándose las lluvias en los meses de enero y febrero, producto del invierno altiplánico. Sin embargo, este efecto no logra diluir las altas concentraciones de boro presentes en el agua de riego. Sumado a esto, sedimentos de arsénico y otros sólidos pueden ser arrastrados por las lluvias, desembocando finalmente en el río.

De esta forma, los parámetros de boro, arsénico, y sólidos totales disueltos⁵, determinan de manera crítica los usos del agua: consumo humano, agrícola, etc., de acuerdo a las normativas nacionales e internacionales pertinentes. En el caso del sector agrícola, cabe destacar que, durante siglos, los agricultores Aymara de la zona alta desarrollaron variedades de maíz capaces de adaptarse a aguas con una alta presencia de boro. Hoy en día, esta situación ha limitado la producción a sólo cuatro productos de importancia comercial: el maíz lluteño y la alfalfa “alta sierra”, especialmente adaptados al boro, y la cebolla y el tomate en tiempos más recientes. Existe además una actividad ganadera pequeña y localizada.

No aporta mucho el clima del lugar, por cuanto, la zona se caracteriza por escasas precipitaciones y una alta evaporación en la cuenca, lo cual dinamiza el proceso de formación de salares en las planicies altiplánicas y de la edafogénesis de suelos agrícolas salinos en sus secciones medias, pues

⁴ Según Censo 2002 los habitantes de estas localidades son cerca de 220. Sin embargo, en el terreno se observó que hay más habitantes que llegan a la localidad solo los fines de semana y durante las fiestas.

⁵ Ver el detalle de la presencia de estos elementos en el río Lluta en el Anexo 1

la falta de aportes de aguas lluvia no permite formar suelos lavados ni diluir los contaminantes presentes en el río, los que se van así concentrando en su desplazamiento por la cuenca al fluir en dirección al mar (Campos, et al 2007).

Al respecto, una de las consecuencias de la salinización del suelo es la pérdida de fertilidad, lo que perjudica o imposibilita el cultivo agrícola. Se visualiza como posible solución un proceso de mejoramiento de la calidad de agua y el uso de cultivos hidropónicos sin suelo que sean de menor costo de inversión y operación, permitiendo diversificar la producción agrícola del lugar.

Actualmente la dificultad de innovar en cultivos más rentables, incide negativamente en las posibilidades de desarrollo de las comunidades del valle, especialmente en comparación con los valles de Azapa y Chaca donde existe una amplia diversidad de cultivos (hortalizas y frutales) de alto valor comercial, precisamente gracias a la buena calidad de sus aguas.

En este sentido, mejorar la calidad del agua mediante sistemas de tratamiento de aguas (descontaminación y/o desalación) que utilicen la energía solar y hacer un uso eficiente de la misma a través del cultivo hidropónico en invernadero inteligente, es una necesidad clave para el futuro agrícola del valle y una oportunidad relevante para mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

Los factores que hacen esta alternativa atractiva para el desarrollo del valle de Lluta se mencionan a continuación:

- La principal limitante para el cultivo de variedades más rentables que las actualmente cultivadas en la zona es la presencia de arsénico y boro en el agua de riego.
- El sistema de hidroponía permite una alta precisión del control del sistema de suministro de agua de riego, por lo que promueve un uso eficiente del recurso. Asimismo, optimiza la aplicación de fertilizantes o nutrientes necesarios para el cultivo, disminuyendo los costos de producción del cultivo y minimizando las emisiones al medioambiente.
- Evita el uso de bromuro de metilo (agente generador de gases de efecto invernadero) para el control de plagas y enfermedades del suelo haciendo de este sistema más amigable con el medio ambiente.
- El invernadero permite controlar variables como plagas y enfermedades por lo tanto permite disminuir el uso de pesticidas, mejorar la nutrición de la planta al tener agua tratada (limpia) y optimizar la disolución nutritiva, incrementar la densidad de plantas, diversificar la producción local y aumentar el período de producción.
- El uso de energía solar en el sistema para los requerimientos de energía del cultivo (tratamiento de aguas, bombeo, invernadero, riego e hidroponía) permitirían acceder a una producción más limpia.
- El cultivo de pimiento es apto para el sistema productivo de esta localidad debido a que posee buena adaptación al clima de la zona, relativa tolerancia a la salinidad, alta productividad y su elevada rentabilidad en sistemas bajo invernadero

1.4 Estructura del documento

A partir de los antecedentes generales de la localidad y aplicación propuesta, en la siguiente sección se presenta la descripción técnica de la propuesta. En la sección 2 se explica un esquema general de la solución propuesta, detalle de componentes más relevantes y posibles soluciones técnicas específicas en el sector.

En forma paralela, en la sección 3 se muestra el diagnóstico socio-cultural de la comunidad con la que se trabajó la propuesta. En la sección 4 se resume la propuesta de desarrollo de capital humano que aborda tanto los aspectos relacionados con el proyecto de referencia como de otras iniciativas a desarrollar. Finalmente, en la sección 5, se exponen las conclusiones como resultado del análisis elaborado en forma conjunta por el equipo interdisciplinario.

2 Descripción técnica de la propuesta

2.1 Esquema general de solución propuesta

La solución solar propuesta corresponde al cultivo de hortalizas rentables en términos económicos y sensibles a la salinidad actual del agua de riego del río Lluta (específicamente, el cultivo del pimiento (*Capsicum annum*)), en hidroponía, bajo invernadero solar semi-automatizado y haciendo uso de tratamiento de agua (centrada en la remoción de boro).

Las altas concentraciones de boro⁶ existentes en el río Lluta determinan la elección del cultivo a uno que tenga niveles de tolerancia tal que le permita desarrollarse sin mayores problemas en todas sus etapas fenológicas, de manera que no se vea afectado ni su rendimiento, ni su calidad.

Los efectos del boro en los cultivos, van desde la reducción del crecimiento de tallos y hojas, hasta necrosis en los tejidos e incluso la muerte de la planta después de la emergencia. Se considera un cultivo muy sensible a aquellos que presentan síntomas y/ o daños con concentraciones mayores a 0,5 mg/ L de boro; sensibles entre 0,5 – 1 mg/ L; moderadamente sensibles entre 1 – 2 mg/ L; moderadamente tolerantes entre 2 – 4mg/ L, tolerante entre 4 – 6 mg/ L; y muy tolerantes entre 6 – 15 mg/ L⁷. El pimiento, dependiendo de su variedad, es una planta que presenta una importante tolerancia al boro (Rodríguez, M., *et al.*, 2009).

Se escogió el sector de Rosario (Alberto Jordán) para la instalación de la aplicación dadas sus características preferentes de radiación solar (ver anexo 3), disponibilidad de agua, actividad agrícola y presencia de organizaciones agrícolas activas. Por otra parte, Rosario es un sector que

⁶ Promedio de 11,5 mg/L, de acuerdo al Boletín INIA 339 del año 2016, “Elementos para la tecnificación del riego localizado en la región de Arica y Parinacota”

⁷ Según el informe Ambient Water Quality Guidelines For Boron de la British Columbia (1981).

presenta altos niveles de concentración de boro y arsénico⁸ (para mayor detalle ver anexo 2). Además de esto, la localidad posee servicio de energía eléctrica mediante una red bifásica, situación que podría facilitar la implementación de la aplicación.

Los requerimientos energéticos de esta aplicación se asocian a:

- Bombeo de agua desde el río Lluta hacia la planta de tratamiento de aguas
- Funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas (energía eléctrica y térmica)
- Bombeo desde el estanque (energía eléctrica y térmica) de agua tratada hacia el sistema de hidroponía y de riego en el invernadero
- Calefacción del invernadero en las horas de baja temperatura
- Control de los sistemas de ventilación

A continuación, se muestran los principales componentes de la aplicación:

La figura 2 muestra una planta de tratamiento de aguas del tipo Destilación por Membranas (MD), mientras que la figura 3 muestra un invernadero solar semi-automatizado.

En el apartado siguiente se detallan los componentes que la conforman.



Figura 2. Planta de tratamiento de aguas. Fuente: AQUAVER, 2016

⁸ Promedio de 0,49 mg/L, de acuerdo al Boletín INIA 339 del año 2016, “Elementos para la tecnificación del riego localizado en la región de Arica y Parinacota”

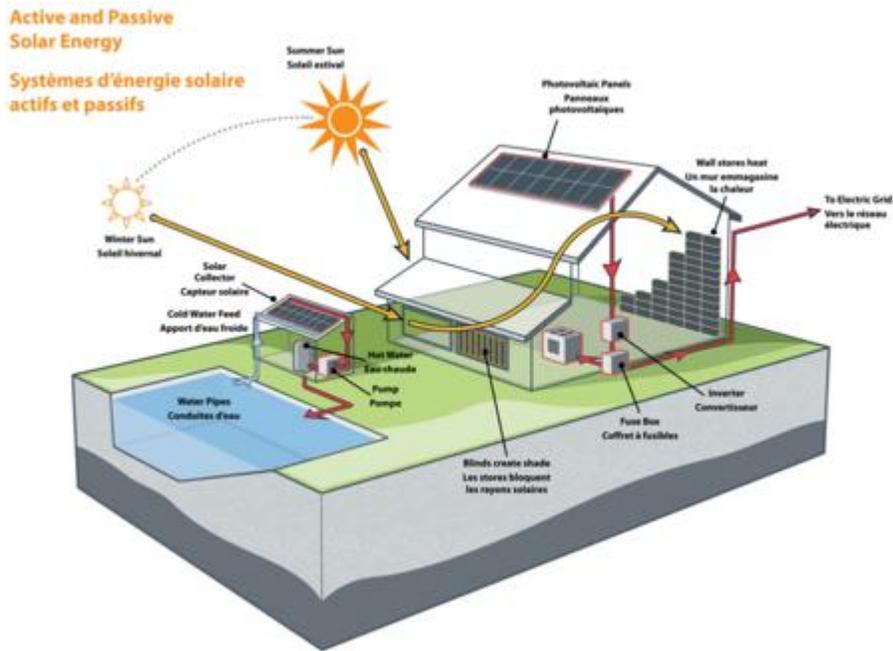


Figura 3. Sistema de calefacción de invernadero con energía solar, mediante muros de almacenamiento de calor. Fuente: Canadá Science and Technology Museums Corporation, 2016.

La figura 4 muestra un sistema de ventilación de invernadero:

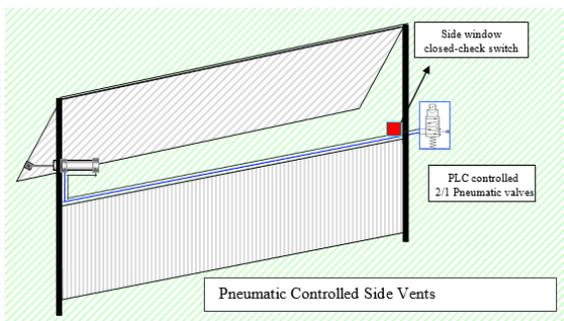


Figura 4. Aberturas laterales controladas neumáticamente.

La figura 5 muestra los componentes de un cultivo hidropónico:

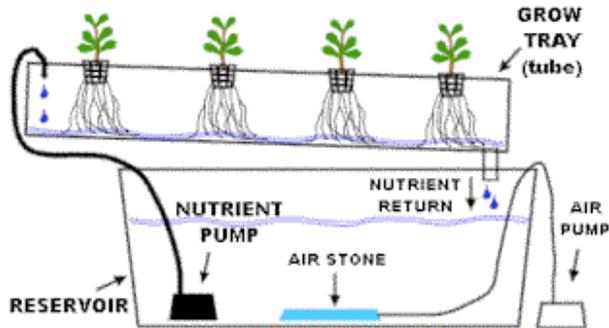


Figura 5. Esquema general del sistema de riego por goteo (tipo NFT) y fertilización del cultivo hidropónico (Simply Hydro, 2008)

2.2 Detalle de componentes más relevantes

2.1.2 Planta de tratamiento de aguas – desalación y remoción de boro

La desalinización es el método usual para producir agua potable a partir de agua salina. Mediante la utilización de esta tecnología para tratar el agua del río Lluta se busca mejorar el agua de riego de cultivos, dado que dicha agua presenta un alto contenido de boro y sales disueltas, componentes que limitan el tipo de cultivos desarrollados en este valle. De este modo, se busca promover la diversificación de cultivos entre los agricultores del valle.

Se propone la implementación de la tecnología de **Destilación por Membranas** (MD, por sus siglas en inglés Membrane Distillation), sistema relativamente nuevo que requiere una operación sencilla y robusta (ver Figura 6). El proceso MD es un proceso de separación térmico, es decir, que la fuente de energía para llevar a cabo el proceso es térmica, en el cual sólo el vapor de agua u otras moléculas volátiles atraviesan una membrana poroso hidrofóbica. Esta tecnología es alimentada con calor de bajo grado que puede ser combinada con el calor residual de los generadores diésel o fuentes de energía renovables. La fuerza impulsora del proceso es la diferencia de presión de vapor parcial que se crea a ambos lados de la membrana, lo que hace que el vapor generado en el “lado caliente” de la membrana pase a través de la misma y condense en su “lado frío”. La membrana únicamente actúa de interfaz entre la fase líquida y vapor que se crea a ambos lados debido a que por su naturaleza hidrofóbica impide que las moléculas de agua y soluto pasen a través de ella.

El consumo eléctrico de la planta se asocia al bombeo de agua y al vacío que se realiza en la misma, siendo el requerimiento energético para las condiciones de operación de la planta de 90 KW para el *Heat and cooling input* para cada uno de ellos (total 180KW).

Esta tecnología puede ser operada con energía solar térmica y fotovoltaica, que combina las ventajas de los procesos de membranas (áreas de instalación más pequeñas) y los procesos térmicos. Esta aplicación, permitirá evaluar aspectos tecnológicos de la MD, otorgando agua de calidad adecuada para su uso agrícola en el valle de Lluta.

Se considera que la planta operará conectada a la red de Lluta y se utilizará energía solar térmica para tratar el agua en términos de calentamiento y enfriamiento.

La figura siguiente muestra el sistema de desalación MD propuesto, cuyos principales componentes son: módulo de membrana, fuente de calor, bombas, depósito de almacenamiento de destilado, sistema de almacenamiento térmico, sistema de filtración de malla, sistema de desinfección y remineralización (postratamiento opcional).



Figura 6. Sistema de desalación de aguas propuesto

La capacidad de la planta de tratamiento es de 12 m³ al día (funcionando 16 horas al día y agregándole 4.000 litros de agua cruda). Considerando una demanda hídrica promedio (a lo largo de la temporada anual) de 2,84 L/m², es posible cultivar una superficie de 6.338 m² con una densidad de plantación de 2,5 plantas por m² de pimienta en invernadero mediante hidroponía.

2.1.3 Invernadero solar semi-automatizado

El objetivo del invernadero solar semi-automatizado es proveer un ambiente de clima controlado que optimice las condiciones requeridas por el cultivo para obtener su máximo rendimiento. Para el diseño del invernadero se debe contemplar la implementación de un sistema de control de temperatura (calefacción y ventilación) y de riego y circulación de agua (en este caso en hidroponía). Normalmente estos componentes utilizan energía eléctrica para su funcionamiento, aunque en el caso particular del sistema de calefacción, se podría utilizar concentradores térmicos solares o sistemas combinados de producción de calor y electricidad (CHP por sus siglas en inglés) para reducir el consumo de energía eléctrica. Adicionalmente, dependiendo de la localización del invernadero, se podría conectar directamente a la red eléctrica o bien utilizar paneles fotovoltaicos con sistema de almacenamiento (por ejemplo, baterías) para reducir aún más los costos del invernadero por concepto de consumo de energía eléctrica. En este caso, la energía eléctrica producida por los paneles se utiliza para suplir la demanda de energía eléctrica del invernadero y los excedentes se almacenan para su uso posterior o, en caso de ser posible, se inyectan en la red de suministro eléctrico local con el fin de tener ganancias adicionales por concepto de generación de energía.

El **sistema de ventilación** puede funcionar de manera automatizada, mediante la apertura de ventanas (cuya orientación y dimensiones optimicen la circulación del aire en las horas de mayor temperatura) accionadas por actuadores eléctricos los cuales se activan mediante una señal de temperatura. El cultivo del pimiento se adapta bien a las condiciones climáticas de la zona, sin embargo, en algunos períodos fenológicos críticos, es deseable que la temperatura no exceda los 27°C con el fin de asegurar su óptimo desarrollo.

En cuanto al **sistema de calefacción y de suministro de energía eléctrica para el invernadero**, se propone aprovechar el calor residual del sistema de desalación de agua. Este sistema requiere 90 kWt para evaporar el agua cruda (aquella que se va a tratar). Este proceso se lleva a cabo mediante un intercambio de calor entre el agua caliente utilizada para el proceso de evaporación y el agua cruda. Luego, después del intercambio, el agua caliente puede ser utilizada para calentar el invernadero (en caso que se requiera) o se lleva de vuelta al campo de colectores solares para ser utilizada de nuevo en el proceso. La Figura 7 ilustra el funcionamiento de la solución propuesta.

En dicha Figura, el agua del río Lluta alimenta tanto al sistema de colectores solares como a la planta de desalación de agua. Los colectores solares calientan el agua a una temperatura de 80°C y se acopia en el sistema de almacenamiento térmico. El agua caliente almacenada alimenta a la planta de desalación para su funcionamiento además del agua cruda que va a ser tratada y que a su vez se utiliza en el proceso de condensación que se realiza en la planta. El agua tratada se mezcla con agua cruda y se almacena para su uso posterior en el invernadero. El agua utilizada en el proceso de evaporación se recircula al campo de colectores o se pasa a través del invernadero en caso de requerirse calefacción. Por su parte, el agua utilizada para calefacción en el invernadero es recirculada al campo de colectores (en el día) o al sistema de almacenamiento térmico (en la noche).

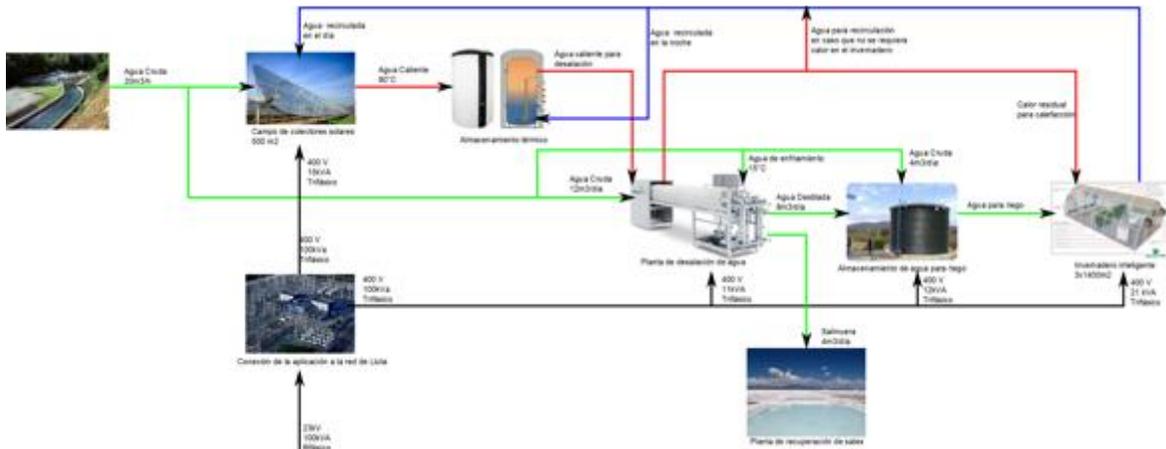


Figura 7. Diagrama esquemático de la solución propuesta en este proyecto. Las líneas rojas indican el flujo de calor, las líneas azules indican el flujo de frío, las líneas verdes indican el flujo de agua, y las líneas negras indican el flujo de energía eléctrica a los dispositivos principales.

Para satisfacer los requerimientos térmicos de la solución mostrada en la Figura 7, se ha considerado un campo de colectores solares de 500 m² para garantizar una autonomía de 24 horas para el sistema de desalación de agua. Adicionalmente, se considera una acometida desde la red de suministro de Lluta con una capacidad de 100 kVA. La capacidad nominal de los principales equipos considerados en el diseño del invernadero se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 1. Consumo eléctrico del invernadero inteligente y la planta de desalación de agua

| Dispositivo | Cantidad | Potencia nominal requerida (Total) |
|---|----------|------------------------------------|
| Alimentador 23kV | 1 | 100kVA |
| Inversor para generar red trifásica para el invernadero | 1 | 100kVA |
| Conexión para la planta de desalación | 1 | 11kVA |
| Bombas para campo solar | 3 | 15kVA |
| Bombas para almacenamiento de agua | 3 | 12kVA |
| Bombas invernadero | 6 | 6kVA |
| Motores para ventilación | 3 | 3kVA |
| Servicios complementarios en los invernaderos | 3 | 12kVA |

Como alternativa para la implementación de la solución que se muestra en la Figura 7 se podría considerar tener un campo de colectores independiente para la calefacción del invernadero. Para ello se considera una demanda de 800 kWh/día de calefacción y una eficiencia del 45% asociada al material con que se piensa construir el invernadero. A partir de mediciones de radiación en Rosario (lugar donde se propone el proyecto) se sabe que la radiación media es de 7kWh/m²/día. De acuerdo

a esta información se requiere un área adicional de 254m² para ubicar los colectores y satisfacer la demanda de energía térmica del invernadero.

Finalmente, paneles fotovoltaicos podrían ser instalados en la parte superior de los invernaderos para satisfacer parcialmente la energía consumida por ellos, y eventualmente los excedentes de energía podrían venderse a la red de suministro mediante mecanismos de *net-billing*. Vale la pena resaltar que, en el caso de tener conexión a la red eléctrica, no se requeriría el uso de baterías.

La arquitectura del invernadero debe considerar las variables dirección y fuerza del viento, las precipitaciones y la orientación del sol, además de la topografía del lugar de emplazamiento. Dependiendo de estos factores se propone la construcción de una estructura de tipo plano o “parral”, o una de tipo “capilla” (para mayor información ver anexo 4).

Uno de los materiales de revestimiento más usados para la construcción del invernadero, son los de cobertura de policarbonato con soporte metálico, aunque dependiendo de las condiciones climáticas del lugar podrían también considerarse otros (para mayor información ver anexo 4). También puede considerarse como parte integral de la estructura los paneles fotovoltaicos con transparencia.

El tamaño del invernadero debe ser acorde al marco de plantación del cultivo, el que a su vez está determinado principalmente por la disponibilidad de energía y de agua.

2.1.4 Sistema hidropónico regado por goteo (tipo NFT: Nutrition Film Technique)

Se entiende por cultivo hidropónico o sin suelo, a todo cultivo donde el desarrollo de las raíces crece en un medio distinto al suelo. Una manera de clasificar a los cultivos sin suelo es en base al medio donde crece la raíz y al manejo que se le da a la disolución nutritiva (ver anexo 5). Los cultivos hidropónicos son un subconjunto de los cultivos sin suelo que comprende a los cultivos que crecen en agua o en sustratos inertes. Este sistema trabaja con agua de muy buena calidad, en sistemas a disolución perdida o bien, sistemas cerrados o re circulantes, donde todos los aportes nutricionales se hacen a través del agua de riego o fertirriego y la disolución nutritiva que drena es recuperada y se inyecta nuevamente al sistema.

En general, cuando se habla de cultivos en sustratos (sean inertes u orgánicos), se define este material como un sostenedor de raíces y el aporte nutritivo considera las características del agua de riego, independiente de los aportes nutricionales del sustrato. Esto es especialmente importante cuando se trabaja con aguas con alto contenido de sodio, calcio, cloruros y sulfatos, como elementos principales de las aguas disponibles.

Para el diseño general del sistema de riego asociado a la hidroponía se deben tener en consideración las siguientes variables: eficiencia del uso del agua y la energía requerida, el ciclo fenológico del cultivo y su nivel de demanda de agua, demanda de mano de obra para su operación, la precisión en la aplicación de fertilizantes, entre otros.

De este modo, el sistema propuesto consta de un mecanismo de obtención de agua desde un estanque, una red de tuberías para su distribución, una bomba de riego, una bomba de aire para la oxigenación, goteros y un temporizador. Asociado a la bomba de riego se considera un filtro, un manómetro y un inyector de fertilizante.

En particular, el **sistema NFT**, consiste en el establecimiento de la planta sobre un canal de cultivo, en el cual circula una solución nutritiva y oxigenada, permitiendo a la planta tener disponibilidad de todos los recursos necesarios para su óptimo desarrollo.

Este sistema requiere de un tanque colector donde se almacena el agua proveniente del sistema de tratamiento. Debe estar recubierto con material aislante para prevenir eventuales fugas de agua. El fertilizante puede ser incorporado en el tanque colector mediante bombas inyectoras activadas por electroválvulas, las cuales registran la CE y el pH del agua.

Para la elección de la bomba de riego idónea debe considerarse el volumen de solución nutritiva que debe circularse en el sistema, lo que está relacionado a su vez con la magnitud del sistema productivo. Las bombas pueden ser de tipo sumergidas o no sumergidas. En general, el sistema hidropónico NFT requiere bombas de baja potencia, ya que el flujo requerido para circular la solución nutritiva es de baja velocidad (para mayor información ver anexo 5).

Las tuberías de distribución generalmente son de polietileno o PVC, y su diámetro está determinado por el caudal de solución nutritiva que deben circular.

Los canales de cultivo son el medio de sujeción de las plantas y por donde circula la solución nutritiva, dado que la altura de la lámina de agua que circula por estos es de baja altura (4 a 5 mm), debe ser plano con el fin de maximizar la superficie de contacto raíz – agua.

La tubería colectora se encarga de recoger el agua al final de la red de tuberías, y se encuentra colocada en pendiente con el fin de aprovechar la gravedad para transportarla.

2.3 Evaluación de costos

Como se muestra en la tabla 2, es posible ver los rendimientos del cultivo de pimiento en invernadero en sistema hidropónico, el cual se encuentra determinado principalmente por la disponibilidad de agua, la cual es de 18.000 litros por día (12m³ de agua tratada + 6m³ de agua cruda).

Los sistemas hidropónicos sin sustrato, como el de tipo NFT, son altamente eficientes en cuanto al uso del agua, dado que esta se recircula permanentemente, y los gastos corresponden solamente a los de la transpiración de la planta más la evaporación por demanda del medio. Sin embargo, debido al consumo y uso de agua (aplicación de nutrientes), ésta incrementa su concentración de sales, por lo cual debe ser eliminada al momento que alcance el umbral de toxicidad para el cultivo para posteriormente incorporar agua que se encuentre desalada.

Para el sistema mencionado, se consideró una densidad de plantación de 2,5 plantas por m², lo que permite cultivar un área de 6.338 m², distribuida en 4 invernaderos de aproximadamente 1.400 m² de superficie cada uno.

Según datos aportados por agricultores de la zona, el pimiento cultivado en hidroponía tiene un rendimiento de 16 frutos por planta, de los cuales, en promedio, 9 de ellos son comercializables en supermercado (un tercio son pimientos rojos y dos tercios verdes) a un precio de \$268 y \$176

respectivamente, y de los 16 frutos se considera que 7 son de descarte, los cuales se pueden comercializar a un precio promedio de \$40 por unidad⁹.

Tabla 2: Rendimiento del pimiento en invernadero en sistema hidropónico.

| ÍTEM | Cantidad | Unidades |
|---------------------------------------|----------|----------------|
| Disponibilidad de agua (*) | 18.000 | l/día |
| Demanda hídrica | 2,84 | l/m2 |
| Densidad de plantación | 2,5 | plantas/m2 |
| N° plantas totales | 15.845 | plantas |
| Pimientos rojos por planta | 3 | |
| Pimientos verdes por planta | 6 | |
| Pimientos de descarte por planta | 7 | |
| Total pimientos por planta | 16 | |
| Área cultivada | 6.338 | m ² |
| Invernadero 1.400 m ² | 4 | |
| Rendimiento frutos/planta | 16 | Unidades* |
| Rendimiento total anual (enero-marzo) | 253.521 | Unidades |

* Considerando el supuesto de un rendimiento de 16 frutos por planta, de los cuales 3 pimientos son rojos, 6 verdes, y 7 de descarte.

Fuente: elaboración propia con datos de agricultores de la zona.

La inversión inicial por su parte, es el principal componente de gastos del invernadero con sistema en hidroponía, esto debido a la construcción de una planta de tratamiento de agua, la cual bordearía los 75 millones de pesos. Otros componentes de este ítem son el campo solar fotovoltaico, la construcción del invernadero, el sistema de hidroponía, y gastos adicionales tales como permisos y patentes. Los costos estimados de inversión pueden verse con mayor detalle en la siguiente tabla.

⁹ Todos estos precios a mayo de 2016

Tabla 3: Costos de inversión de los 3 invernaderos en hidroponía.

| I. INVERSIÓN | | | |
|--|------------------------------|-----------------|------------------------------------|
| ITEM | Precio Unitario en \$ | Cantidad | Costo Total en \$ (*) (***) |
| OBRAS (CONSTRUCCIÓN, HABILITACIÓN, AMPLIACIÓN REMODELACIÓN, ETC) | | | 109.112.000 |
| Invernaderos (4) (**) | 5.000.000 | 4 | 20.000.000 |
| Campo solar para la planta de tratamiento (**) | 77.112.000 | 1 | 77.112.000 |
| Obras hidráulicas e instalaciones varias (**) | 12.000.000 | 1 | 12.000.000 |
| EQUIPOS | | | 82.534.000 |
| Planta de tratamiento de agua (**) | 75.000.000 | 1 | 75.000.000 |
| Sistema hidroponía (equipamiento y material laboratorio no fungible) | 5.534.000 | 1 | 5.534.000 |
| Sistema de acondicionamiento eléctrico | 2.000.000 | 1 | 2.000.000 |
| ASESORÍAS PUESTA EN MARCHA (PERSONAL DISTINTO AL EQUIPO AYLLU SOLAR) | | | 2.000.000 |
| Asesorías especialidades | 2.000.000 | 1 | 2.000.000 |
| OTRAS INVERSIONES/GASTOS DE PUESTA EN MARCHA | | | 5.000.000 |
| Otros gastos (permisos, patentes, administrativos) | 5.000.000 | 1 | 5.000.000 |
| TOTAL DE COSTO DE INVERSIÓN | | | 198.646.000 |
| (*) El costo total de cada ítem de inversión debe considerar impuestos, internación al país si corresponde, traslado, instalación, puesta en marcha, etc. | | | |
| (**) Se debe incluir un monto único, sólo si el proveedor incluye obras y equipos que permitan generar un sistema en conjunto. Caso contrario, debe separarse el costo de inversión del costo de equipos | | | |
| (***) Los valores de inversión en Pesos, EURO, Dólar u otro, debe considerarse al 15 de abril de 2016 incluyendo un 10% adicional por concepto de fecha de inversión. | | | |

En cuanto a los costos de operación, dado que es un sistema semi automatizado, se consideró que se requieren solamente dos trabajadores, los cuales deben encargarse del correcto funcionamiento de los invernaderos, en tareas como la mantención de equipos, limpieza, recarga de insumos, y labores como trasplante, podas, raleos, y amarras, entre otros. En total, tal como se puede ver en la siguiente tabla, los costos de operación anuales alcanzan los 17,3 millones de pesos.

Tabla 4: Costos de operación de los 3 invernaderos en hidroponía.

| II. DATOS DE COSTOS | | | |
|---|-----------------|-----------------------|--------------------|
| OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO | Cantidad | Costo Unitario | Costo Total |
| Mano de obra (2 personas) | 24 | 250.000 | 6.000.000 |
| Insumos (material vegetal, almacigueras, nutrientes) | 1 | 2.000.000 | 2.000.000 |
| Consumos básicos (luz, agua, gas, teléfono, internet, etc.) | | 2.471.040 | 2.471.040 |
| Costo de Packing, Transporte | | 1.300.000 | 1.300.000 |
| Mantenición de planta de tratamiento (implica 4% del costo de inversión) | 12 | 250.000 | 3.000.000 |
| Mantenición del campo solar (implica 2% del costo de inversión) | 12 | 100.000 | 1.542.240 |
| Costos de operación y mantención del invernadero (implica 5% de costo de inversión) | 12 | 28.125 | 1.000.000 |
| TOTAL OPERACIÓN Y MANTENCIÓN ANUAL | | | 17.313.280 |

Con el fin de tener una aproximación a cuál es la sustentabilidad económica de la aplicación propuesta, se elaboró un flujo general con los principales ingresos y egresos producidos por el funcionamiento de los invernaderos y la venta de productos (pimientos). Asimismo, se muestran los principales indicadores económicos.

Tabla 5: Flujo de la aplicación con sus principales componentes de ingresos y egresos, expresados en millones de pesos, en un período de 5 años.

| III. INDICADORES ECONÓMICOS | | | | | | |
|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| ÍTEM | Año 1 | Año 2 | Año 3 | Año 4 | Año 5 | Año 6 |
| INGRESOS | 0 | 33.908.451 | 33.908.451 | 33.908.451 | 33.908.451 | 33.908.451 |
| COSTOS | 0 | -17.313.280 | -17.593.280 | -17.883.080 | -18.183.023 | -18.493.464 |
| INVERSIÓN | 198.646.000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| VALOR DE RESCATE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 118.908.000 |
| FLUJO ANUAL CON VALOR DE RESCATE | -198.646.000 | 16.595.171 | 16.315.171 | 16.025.371 | 15.725.428 | 134.322.987 |
| FLUJO ANUAL ACUMULADO | -198.646.000 | -182.050.829 | -165.735.659 | -149.710.288 | -133.984.860 | 338.127 |
| FLUJO ANUAL SIN VALOR DE RESCATE | -198.646.000 | 16.595.171 | 16.315.171 | 16.025.371 | 15.725.428 | 15.414.987 |

Tabla 6. Principales indicadores económicos

| IV. INDICADORES ECONÓMICOS | |
|---|---|
| VALOR ACTUAL NETO CON INVERSIÓN (VAN con Inversión) | -\$63.891.085 |
| VALOR ACTUAL NETO SIN INVERSIÓN (VAN sin inversión ni valor de rescate) | \$60.922.402 |
| VALOR ACTUAL DE COSTOS (VAC) | -\$266.263.304 |
| TASA INTERNA DE RETORNO | 0% |
| PERIODO DE RECUPERACIÓN DE INVERSIÓN | No se recupera dentro de la vida útil del equipamiento. |

En las tablas anteriores se muestran los resultados hasta el año quinto de operación, período en el cual no se alcanza la recuperación de la inversión. Los gastos de inversión se verían pagados cerca del décimo año. De manera similar, el alto nivel de inversión inicial requiere para alcanzar un óptimo económico una alta escala productiva, lo que sin embargo se ve subestimado por la disponibilidad de agua (12 m³/ día).

A la luz de los resultados, de verse superadas las limitantes de alto costo de inversión en un sistema de tratamiento de agua y el bajo volumen de agua disponible, un invernadero de pimientos en hidroponía es rentable, debido al alto precio de venta del pimiento en período de contra estación.

Para mayor detalle de la evaluación de costos referirse al documento adjunto “Evaluación de costos_Lluta_220416”.

2.4 Análisis de impacto económico

A partir del flujo de caja y los indicadores económicos obtenidos, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- El proyecto genera utilidades anuales en los primeros 5 años de operación, los cuales alcanzan un valor acumulado de M\$60.992. Estos sin embargo no alcanzan a cubrir los gastos de capital (CAPEX), equivalentes a M\$198.646.
- La iniciativa presenta bajos costos de operación y mantención respecto a los ingresos anuales, los que permiten una reducción promedio anual de hasta un 47% en sus ventas anuales estimadas, lo cual permitiría aún su operación (OPEX).
- El proyecto presenta un escenario conservador desde el punto de vista de los precios, los cuales se mantienen estáticos en cinco años de producción.
- En cuanto al volumen de venta, los flujos permiten para el primer año de operación una reducción en las ventas de hasta el 48%, para seguir cubriendo los costos. Lo anterior

permite indicar que, en un escenario normal, el proyecto pueda ser ajustado o se pueden tomar medidas remediales, sin por esto dejar de cubrir las obligaciones de costos.

- El proyecto no presenta una tasa de descuento que a lo menos cubra una tasa de retorno social definida para proyectos sociales (6%) ni menos para el sector agrícola (10%).

Pese a lo anterior, esta propuesta considera un impacto positivo para un valle que presenta muchas limitantes por la calidad del suelo y el agua. Información de estudios realizados en la región indican que el cultivo del pimiento – dadas las condiciones climáticas y fitosanitarias- alcanza una productividad de 11kg/m², valor atractivo para agricultores de la zona. Asimismo, esta propuesta permitiría implementar un manejo más eficiente de los recursos como el agua, suelo y fertilizantes.

Existe demanda por el cultivo a alto precio al productor, específicamente en supermercados de Santiago. Sumado a esto, existe interés en un segmento de la población por productos de alta calidad organoléptica, inocuos, con menor uso de pesticidas y fertilizantes sintéticos y cuyo manejo se adhiera a prácticas de sustentabilidad (producción limpia).

Por otra parte, si bien ya es una práctica conocida, el cultivo del pimiento en hidroponía no deja de ser un ámbito de formación valioso y atractivo para nuevos profesionales, técnicos y agricultores de la región, como también es un tema de interés para la investigación y transferencia tecnológica al resto del país y países vecinos, con similares condiciones ambientales.

Un desafío que presenta esta aplicación se asocia a los altos costos de inversión de la planta desaladora, por lo cual se hace necesario evaluar alternativas de tratamiento de aguas de menor costo, que sean acordes a la rentabilidad del sector y que además permitan su replicabilidad.

3 Diagnóstico socio-cultural

3.1 Descripción de aspectos relevantes de la comunidad

El diagnóstico socio-cultural focalizado se estructura a partir del análisis de seis dimensiones básicas, consideradas relevantes para reconocer una comunidad con condiciones de asumir y poner en marcha -de forma exitosa- un proceso de gestión colaborativa de aplicaciones solares con proyección en el largo plazo. Para identificar estas dimensiones se definió que una *comunidad ideal* para implementar un proyecto de referencia. Es una comunidad que cuenta con las siguientes características: se encuentra cohesionada internamente, cuenta con liderazgos y organizaciones validadas por sus habitantes, se relaciona con otras comunidades cercanas y con organismos públicos y privados de la región, posee prácticas y experiencias de carácter colaborativo, cuenta con población joven y adulta activa, con actividades productivas que presentan un potencial de desarrollo local y con la disposición de involucrarse en un proyecto en el largo plazo.

Desde esta perspectiva, las dimensiones abordadas en este apartado son: organización y cohesión social, relaciones con otros territorios, experiencias colaborativas anteriores y potencial de desarrollo productivo. La disposición a involucrarse en un proyecto a largo plazo se revisa en el análisis crítico del diagnóstico y las características demográficas fueron consideradas en la descripción general de la localidad.

3.1.1 Organización y cohesión social

El Valle de Lluta funciona como una unidad territorial que se articula en una serie de localidades agrícolas de origen diverso. Ancladas a lo largo del curso del río homónimo, cada localidad posee su propia estructura de organización local, cruzada por procesos históricos e instancias de interrelación que son transversales a todo el valle.

Históricamente se configura como un valle agrícola, donde la zona alta posee una mayor influencia Aymara, y la zona baja una diversidad de orígenes de sus habitantes (ariqueños, sureños, azapeños, peruanos y bolivianos). La tradición agrícola, las festividades locales (carnavales y fiestas religiosas) y la necesidad de gestión del recurso agua surgen como factores culturales integradores en los habitantes del valle.

Organizaciones territoriales y funcionales de base, como las juntas vecinales y clubes sociales, poseen niveles de importancia disímiles, donde algunas localidades se encuentran efectivamente organizadas en torno a estos mecanismos (Poconchile, Santa Rosa, Molinos) y en otras se encuentran inactivos (Rosario, Jordán) y sin mayor injerencia local.

A nivel local, las Comunidades de Aguas funcionan como organizaciones clave, agrupando a todos los usuarios de agua del valle en función del canal que ocupan, donde generalmente cada canal es correspondiente con una localidad o sector. Las comunidades de aguas emergen como cohesionadores sociales y motores organizativos en torno al manejo y repartición de las aguas de riego y la ejecución de proyectos relacionados al mejoramiento de canales. Existen 64 comunidades de agua a lo largo del valle, operando de forma independiente, pero respondiendo a una entidad que es transversal: La Junta de Vigilancia del río Lluta.

La Junta de Vigilancia se constituye como la organización social de mayor relevancia en el Valle de Lluta, articulando a casi 1000 usuarios de aguas, en su gran mayoría pequeños agricultores¹⁰. La importancia de esta organización radica en su capacidad de convocar a pequeños y grandes agricultores de todas las localidades, funcionando como una instancia de intercambio y de toma de decisiones que es central no sólo en el manejo del recurso agua, ya que ha mostrado ser un movilizador social ante conflictos territoriales de gran importancia. En este sentido la Junta de Vigilancia tiene una amplia representatividad local, y en el caso de las Comunidades de Agua, funcionan según el nivel de compromiso de sus directivos, estando activas y bien posicionadas las comunidades de Molinos, Rosario, La Palma y Santa Rosa.

La Asociación Gremial de Agricultores, importante en el pasado, pero inactiva durante muchos años, hoy es otra de las organizaciones centrales en el valle, con un peso menor en relación a la Junta de Vigilancia. Agrupa a cerca de 300 agricultores del valle y mantiene proyectos activos de mejoramiento de la actividad agropecuaria y resguardo de semillas.

En la parte alta del valle toman relevancia, de forma reciente, las comunidades indígenas formales establecidas en Molinos, Chapisca y Sora, donde se llevó a cabo un proceso de consulta indígena por el Embalse Chironta.

En línea con las organizaciones sociales relevantes, actores clave en el valle corresponden a las directivas tanto de la Junta de Vigilancia como de la Asociación Gremial, y a nivel local (por localidad) las directivas de las Comunidades de Aguas, y en algunos casos de Juntas Vecinales, son los movilizados más importantes.

Se reconoce que en la práctica las comunidades se relacionan y toman decisiones en torno a temáticas específicas: manejo del agua y proyectos colectivos en torno a los canales. Normalmente, las formas de participación son reuniones y asambleas, donde aquellas convocadas por la Junta de Vigilancia son las de mayor participación (300 personas), seguidas por las reuniones que llevan a cabo las comunidades de agua en cada localidad. Todas las organizaciones funcionan bajo la lógica de reuniones periódicas a lo largo del año (desde una al mes hasta cuatro al año). Las decisiones suelen ser tomadas mediante procesos de votación y en general la participación de las personas está sujeta a control en base a multas por inasistencia. Este mecanismo ha influido en aumentar la convocatoria en las organizaciones de aguas, pero es una participación que tiende a ser funcional principalmente por necesidad y obligación.

En este sentido, las prácticas colaborativas o colectivas se circunscriben al agua como factor común. Por ejemplo, una de las pocas prácticas permanentes es la limpieza de canales, una o dos veces al año. Paralelamente existen fiestas tradicionales que se organizan colectivamente, como el desentierro del Ño Carnavalòn, Cruces de Mayo, Carnaval de Challas, que cumplen un importante rol en la identidad y cohesión de las comunidades, principalmente en las del sector alto.

¹⁰ Según INE (2014), se considera como pequeño agricultor a aquel cuyo tamaño de la explotación es desde menos de 1 hectárea hasta menos de 20 hectáreas.

En términos de conflictos locales, el conflicto socioambiental por la instalación de la Mina Los Pumas¹¹ fue de manera transversal un hito de la historia reciente en el valle, instancia en la que la capacidad de organización entre las comunidades del valle logró la paralización total del proyecto, bajo la dirigencia de la Junta de Vigilancia.

Internamente no se declaran conflictos importantes y los que se identifican se circunscriben a situaciones puntuales por el uso y aprovechamiento indebido de las aguas de los canales.

3.1.2 Relación con otros territorios

Se reconoce que, en general, cada localidad del valle se organiza y vincula de forma interna, existiendo pocas rutas permanentes de relación entre éstas, las que se circunscriben a instancias y tiempos específicos. Existe un mayor relacionamiento entre las localidades y la ciudad de Arica, que entre localidades.

Las instancias específicas de relacionamiento son las reuniones y asambleas que convoca la Junta de Vigilancia, donde convergen dirigentes y usuarios de agua de todas las localidades del valle. Fiestas tradicionales, como las Challas de Carnaval y las Cruces de Mayo, son espacios puntuales de relación entre distintas comunidades, sin embargo, éstas son mediadas más por vínculos familiares que por vínculos entre territorios. En este sentido se puede reconocer que cada localidad o sector funciona como una unidad relativamente independiente una de otra, pero con vínculos hacia la ciudad de Arica, mientras los espacios de interrelación están mediados por la necesidad de gestión de las aguas y por festividades puntuales, con una importante influencia de los vínculos familiares desplegados en los diferentes territorios.

Entre dirigentes locales existen pocas experiencias de trabajo conjunto permanente, éstas se ven limitadas al trabajo que realiza la Junta de Vigilancia y proyectos de mejoramiento de canales a través de las Comunidades de Aguas. En momentos específicos de la historia del valle ha habido experiencias de trabajo conjunto entre dirigentes y que en general han tenido resultados positivos para la comunidad, son los casos del conflicto de la Minera Los Pumas y el proyecto Embalse Chironta. Estos mismos casos, sumados a fiestas tradicionales y más recientemente el “festival del choclo”, son los espacios a través de los cuales se relaciona la gente de las distintas comunidades.

En el ámbito productivo/comercial, se reconoce que prácticamente todos los intentos de asociatividad no han tenido éxito y por regla general cada agricultor maneja su propio negocio de forma independiente y no llevan a la práctica agrícola sus tradiciones comunitarias.

¹¹ Ver información sobre el conflicto en base de datos de conflictos mineros (http://basedatos.conflictosmineros.net/ocmal_db/?page=conflicto&id=238). y en antecedentes del Observatorio Latinoamericano de Conflictos Ambientales (http://olca.cl/oqa/enlista02.php?pagn=0&c_sel=2&b_op=98)

Las instituciones públicas de mayor peso en el valle son INDAP¹² y CNR¹³, las cuales ejercen una relación asistencialista con los agricultores a través de sus diversos concursos y subsidios. Por otra parte, la presencia municipal en el valle tiende a ser neutral, ocupándose de labores funcionales como la entrega de agua potable (a través de camiones aljibe) y recolección de basura, y no genera, en las comunidades, mayores conflictos ni avenencias.

Finalmente, la Universidad de Tarapacá está ejecutando junto con la Asociación Gremial proyectos de recuperación de semillas nativas, sin embargo, existen antecedentes que imprimen cierto grado de desconfianza hacia las investigaciones de la universidad por supuestos robos y patentación de semillas.

3.1.3 Experiencias colaborativas anteriores

A nivel del valle, la única experiencia colaborativa de carácter productivo identificada corresponde al intento de un grupo de agricultores de asociarse para exportar ajo a México. Sin embargo, según el relato de los entrevistados, dicha experiencia no logró concluir de manera exitosa debido a que algunos agricultores, ante la posibilidad de vender sus productos a un precio más alto en el Agro de Arica, no respetaron el acuerdo, generando una serie de dificultades para el cumplimiento de las cuotas y estándares de calidad comprometidos con el comprador. Esta situación habría generado dos consecuencias inmediatas asociadas a la pérdida de confianzas, por una parte, el comprador decidió no volver a negociar con los agricultores y por otra, los agricultores reforzaron un relato de aversión a la asociatividad, debido al peligro real de que *“alguno no cumpla con su palabra y que, por la culpa de unos pocos, el resto nos veamos perjudicados”*.

A nivel de las localidades, los proyectos colaborativos mencionados con mayor recurrencia por los entrevistados corresponden a iniciativas de mejoramiento de infraestructura común asociada al riego, es decir, básicamente el mejoramiento de los canales. En 2013, un grupo de 13 agricultores de la comunidad del canal El Muro, liderados por Cristina Quispe (presidenta de dicha comunidad), se asociaron para mejorar el brazo sur del canal con resultados exitosos, desde entonces han continuado postulando a nuevos proyectos de mejoramiento del canal matriz por tramos.

En el sector de la Cooperativa de las Gaviotas están trabajando actualmente en un proyecto para iluminar el camino de acceso con energía solar y arreglar las calles del villorrio. Sin embargo, aún no hay resultados de los fondos a los cuales habrían postulado.

En el sector alto del valle, donde se emplaza una comunidad indígena Aymara, también se han realizado proyectos de mejoramiento al canal el Molino (infraestructura común a todos los usuarios). Pero, además, cabe señalar que en este sector es común que la postulación a proyectos de mejoramientos y servicios (ej.: agua potable) se realice de forma conjunta con organizaciones de las localidades aledañas, específicamente con Chapisca y Sora. Es decir, en este caso existe un tejido

¹² INDAP: Instituto de Desarrollo Agropecuario.

¹³ CNR: Comisión Nacional de Riego

organizativo con un funcionamiento regular ligado a la postulación de proyectos, en donde la presencia de la comunidad indígena actúa como un factor cohesionador.

En concordancia con lo anterior, es posible identificar que en el Valle de Lluta hay pocas experiencias colaborativas y que la mayor parte de ellas corresponden a la postulación de proyectos de mejoramiento de algún tipo de infraestructura de carácter común asociada al riego. Si bien dichas experiencias son valoradas positivamente, también se identifica que la baja asociatividad constituye un problema relevante a nivel de todo el valle.

3.1.4 Potencial de desarrollo productivo

Como ha sido mencionado anteriormente, el valle de Lluta posee una vocación productiva principalmente agrícola y en alguna medida también ganadera. Esta última se observa particularmente en la presencia de una empresa lechera (Lácteos Lauca), y la crianza de ganado caprino por parte de algunos agricultores, quienes lo ocupan como fuente de abono para su actividad agrícola y para el consumo doméstico.

En cuanto a las experiencias de emprendimiento productivo en la localidad, éstos suelen ser de tipo individual. Si bien han existido intentos por asociarse la mayoría de ellos ha fracasado. En este contexto es posible identificar a un grupo acotado de organizaciones con iniciativas que generan algún grado de asociatividad entre los agricultores, siendo la más importante es la Asociación Gremial de Agricultores.

Por otra parte, es posible identificar la existencia de algunos emprendimientos individuales promovidos desde el aparato público, específicamente desde el PRODEMU¹⁴. En este caso, en el valle de Lluta, PRODEMU desarrolló una serie de proyectos asociados a la introducción de cultivos no tradicionales y la promoción de una red de apoyo para las mujeres rurales. A partir de esta experiencia algunos agricultores comenzaron a cultivar claveles, práctica que aún se desarrolla, pero de forma bastante minoritaria.

En lo que refiere a la disposición general para emprender o crear negocios, los entrevistados manifiestan un discurso homogéneo que identifica a los agricultores del valle como *“personas con una baja disposición para emprender cosas nuevas”*. Dicha imagen se explica por una serie de variables que pueden ser agrupadas en al menos dos niveles, las de orden económico y las de orden cultural. A nivel económico, una de las principales variables refiere al riesgo que otorga el emprendimiento en términos de beneficios directos. Otra variable mencionada por los entrevistados corresponde al tipo de relación de propiedad que posee el agricultor con su predio, de manera que los propietarios evidenciarían un mayor interés por el emprendimiento, en contraposición con los arrendatarios. Por otra parte, el tamaño de la propiedad también incide, de manera que los grandes propietarios, dada su mayor capacidad de amortización del riesgo, posee una mejor disposición para emprender nuevos negocios, a diferencia de los pequeños propietarios.

¹⁴ PRODEMU: Fundación para la Promoción y Desarrollo de la Mujer.

A nivel cultural, de acuerdo al relato de los entrevistados, “la tradición” se articula como un factor que disemina la aversión generalizada al emprendimiento. *“(Para ellos) si las cosas la han hecho por muchos años de una manera, cuesta mucho convencerlos de que existe otra forma mejor de hacerlo. Si ellos no lo ven con sus propios ojos, no se convencen. Pero una vez que lo ven, ahí empiezan a replicarlo”.*

Por otro lado, las lógicas asistenciales de las intervenciones del aparato público en el territorio en el plano productivo (INDAP, CNR, PRODEMU, PRODESAL¹⁵), han asentado una lógica de trabajo asociada con “los proyectos” en la que el beneficiario asume una condición de vulnerabilidad y se le asigna un rol pasivo, quedando su participación acotada simplemente a la elaboración de una correcta postulación. Esta dinámica genera una aversión a priori ante cualquier iniciativa de emprendimiento que implique un volumen de inversión superior a los que le exigen los proyectos del Estado.

3.2 Análisis crítico

A partir de las dimensiones descritas anteriormente es posible identificar algunos aspectos críticos -fortalezas y debilidades- que deben ser considerados para la posible implementación del proyecto de referencia en el Valle de Lluta.

| Dimensión | Fortalezas | Debilidades |
|--|---|---|
| Condiciones organizacionales y de tejido social para el involucramiento en el proyecto | El tema del agua asociada a la agricultura logra una alta convocatoria en todo el valle. Paralelamente son las organizaciones asociadas al riego las que poseen mayor legitimidad e influencia, operando incluso como unidades territoriales y logrando generar algún nivel de identificación en torno a ellas. | La participación en las organizaciones sociales es limitada. Mientras las organizaciones territoriales y funcionales de base funcionan sólo en algunas localidades, la participación en las organizaciones de usuarios es alta, pero asociada a multas. Por otra parte, existe una desconfianza importante relacionada con experiencias fallidas de proyectos colaborativos. |

¹⁵ PRODESAL: Programa de Desarrollo Local

| | | |
|--|---|---|
| <p>Posibilidades de vinculación con otras localidades</p> | <p>Existen dos instancias centrales donde se logra articular las localidades del valle. En primer lugar, está la Junta de Vigilancia que articula las diferentes comunidades de agua y, en segundo lugar, algunas fiestas tradicionales donde participan diferentes localidades, teniendo mayor relevancia en el sector alto.</p> | <p>Las relaciones entre las localidades son muy limitadas, centrada casi exclusivamente en vínculos familiares.</p> <p>Por otra parte, las relaciones con instituciones de otras localidades se concentran sólo en la recepción de beneficios de programas estatales, con algún nivel de desconfianza en otras instituciones.</p> |
| <p>Experiencias para la gestión colectiva de proyectos</p> | <p>En el valle es posible identificar experiencias colaborativas relacionadas con infraestructura de riego, las que han requerido una coordinación entre los agricultores y se ha logrado a través de las organizaciones de usuarios.</p> | <p>La asociatividad en el ámbito productivo es muy limitada y con algunas experiencias colaborativas que han fracasado, generando desconfianza de los agricultores en proyectos que requieran este tipo de coordinación.</p> |
| <p>Condiciones de vinculación del sector productivo hacia aplicaciones solares</p> | <p>En el valle existe interés por potenciar el sector agrícola, contando además con cierta homogeneidad productiva. Por lo tanto, existe una visión común respecto al futuro del valle, al menos en cuanto a su vocación productiva.</p> | <p>Es posible identificar una cultura de emprendimientos productivos individuales en los agricultores del valle, lo que dificulta el desarrollo de proyectos con requerimientos asociativos. Además, se observa cierta resistencia a la innovación, dificultando la instalación de nuevos emprendimientos.</p> |
| <p>Condiciones de la localidad para la sustentabilidad del proyecto en el largo plazo</p> | <p>En el valle existe el interés de potenciar la producción agrícola y además se identifica a la energía solar como una herramienta útil para disminuir los costos productivos.</p> | <p>Algunas localidades del valle cuentan con muy poca población y en gran parte envejecida, dificultando la implementación de proyectos en el largo plazo.</p> <p>Por otra parte, se identifica una naturalización de lógicas asistencialistas en la ejecución de proyectos productivos, lo que es una limitación para la sustentabilidad de los proyectos.</p> |

Considerando las condiciones descritas anteriormente es posible identificar elementos que permitirían trabajar con las localidades del Valle de Lluta, principalmente relacionados con los recursos hídricos, tanto por constituirse en un elemento identitario relevante, como por la legitimidad de las organizaciones relacionadas con su distribución. Los desafíos más importantes estarían relacionados con las experiencias colaborativas fallidas y la desconfianza relacionada con los proyectos que requieren algún tipo de asociatividad, además del historial de relaciones asistencialistas y la cultura de emprendimiento individual con dificultades para la innovación.

Por otra parte, las características demográficas de las localidades altas y la poca relación entre los poblados del valle, son factores que dificultan la implementación del proyecto, tanto en la dimensión de formación de capital humano como en la gestión de los proyectos de referencia en el largo plazo.

4 Propuesta de Formación de Capital Humano (HCD)

4.1. Propuesta Formativa

La propuesta formativa del presente proyecto busca introducir sistemas de producción agrícolas sustentable en la agricultura tradicional, a partir de la implementación de invernaderos inteligentes con cultivos hidropónicos y un sistema de tratamiento de agua alimentados con energía solar.

4.2. ¿Cuáles son las temáticas y actividades propuestas?

Para lograr la transformación del valle y posicionar este sistema de producción en los agricultores, se propone promover a Lluta como la plataforma para la formación de agricultores sustentables a través de la implementación de cultivos hidropónicos y del uso de la energía solar en invernaderos inteligentes y en el tratamiento de agua.

a) Formación Experimental: Se implementará un invernadero modular experimental donde se evalúe el rendimiento de los cultivos hidropónicos en los diferentes escenarios de producción:

1. Hileras de producción en suelo con sistema riego tecnificado con agua tratada
2. Mesa de hidroponía con sistema de riego tecnificado con agua tratada
3. Mesa de hidroponía con sistema de riego con agua sin tratar

De esta manera se logra observar a escala real las mejoras en el rendimiento productivo de la planta gracias al uso de agua de calidad y al cultivo hidropónico y las mejorar en cuanto a producción eficiente a través de invernaderos inteligentes con sistemas de riego tecnificado, disminuyendo los costos en torno a energía, aplicación de fertilizantes y uso eficiente de agua.

Este invernadero demostrativo permite formar a diferentes actores de la localidad del mundo de la agricultura y promover el uso de la energía solar como herramienta clave para el desarrollo productivo. Un grupo elemental a formar son los profesionales y estudiantes, con el fin de replicar y de empapar al futuro de la región la importancia de la energía solar en el desarrollo de una

agricultura sostenible y con identidad. Se ofrecerán prácticas profesionales para estudiantes de agronomía relacionadas al seguimiento y ensayos sobre los diferentes escenarios productivos, evaluando la mejora en tiempo real de la producción, la incorporación de nuevo cultivos de mayor valor económico, monitoreo de las condiciones de temperatura y humedad que brinda el invernadero inteligente, visiones de rendimiento entre otras temáticas relevantes, funcionamiento de bombas solares entre otras temáticas. Con el fin de tener una comparación económica por unidad productiva. Para el caso de los Liceos y escuelas, se realizarán través de jornadas de educación en el invernadero y actividades de construcción de mesas hidropónicas. Con el Liceo Napolitano de Lluta se propone diseñar un programa de acompañamiento productivo, en donde los estudiantes deberán operar el sistema y construir las mesas de hidroponía que se dispondrán en el invernadero, acompañado de capacitaciones sobre invernaderos inteligentes y tratamiento de aguas con energía solar.

También se considerarán capacitaciones en mantención y operación de equipos fotovoltaicos, de la tecnología implementada y consideraciones básicas de seguridad para la prevención de accidentes.

b) Formación de agricultores locales: Para la formación de agricultores de todo el valle, con apoyo de la Junta de Vigilancia se realizarán talleres itinerantes en diferentes sectores del valle. La programación y la definición de los sectores a recorrer será definido en conjunto con la Junta de Vigilancia agrupando diferentes comunidades de aguas, dado que son las agrupaciones más activas a lo largo del valle. Como actividades de cierre a este ciclo de talleres, se llevará a cabo una jornada de visita al invernadero experimental donde se presentarán los resultados de la producción, integrando la participación de los estudiantes en práctica de la Universidad y los del Liceo Técnico Napolitana del Valle de Lluta, y los líderes locales de la comunidad de Rosario que participaron del proyecto de referencia. Asimismo, se abordarán temas específicos a la hidroponía, prácticas sustentables, reducción de la huella de carbono en los cultivos, uso de energía solar en la agricultura, entre otros.

Por otra parte, se realizará una actividad específica con la Red de mujeres rurales, quienes han sido capacitadas por otros organismos para la producción flores, a través de una jornada en el Invernadero experimental donde se presentará el proyecto en todas sus dimensiones: funcionamiento del sistema tratamiento de agua; uso de invernaderos inteligentes y la producción de hidroponía asociado al cultivo de flores; finalizando la actividad con la construcción de un sistema de hidroponía con flores, para utilizarlo a modo de ensayo en el invernadero.

c) Difusión regional: Para difundir e incorporar la participación de todos los actores formados y promover el uso de la energía solar en la agricultura a nivel regional, se invitará a instituciones relacionadas con la Agricultura, Universidades y agricultores de toda la región a participar de una Jornada Regional de “Hidroponía y Agua Solar”, donde se mostrarán los resultados del proyecto de referencia y las diferentes aplicaciones de energía que potencia el desarrollo de la agricultura en la región, promoviendo un producto local con identidad solar.

| | | |
|----------------------------|-----------|-------|
| Viajes y traslados locales | 2.000.000 | 2.941 |
|----------------------------|-----------|-------|

| | | |
|--|--------------------|----------------|
| Visitas de establecimientos educacionales del valle al proyecto referencia | 8.000.000 | 11.765 |
| Programa de acompañamiento productivo Liceo Napolitano | 10.000.000 | 14.706 |
| Programa de taller itinerante/programa mujeres | 20.000.000 | 29.412 |
| Prácticas profesionales remuneradas | 3.500.000 | 5.147 |
| Material audiovisual y folletos | 4.000.000 | 5.882 |
| Honorarios otros profesionales (técnicos de seguimiento) | 2.000.000 | 2.941 |
| TOTAL | 94.500.000 | 138.971 |
| TOTAL, HCD PROYECTO LLUTA | 154.500.000 | 227.206 |

4.4. Conclusiones

El proyecto promueve tres elementos innovadores en la producción agrícola, por un lado, el uso de invernadero inteligentes con sistemas de riego tecnificados, el uso de agua de mejorar calidad tratada con energía solar y la aplicación de hidroponía como un medio de producir productos sensibles a la salinidad del suelo disponible en Lluta. Para lograr replicar estas tecnologías en el Valle, es necesario abordar las actividades de HCD de forma flexible, instalando en la comunidad las capacidades necesarias para poder replicar las tecnologías en conjunto como sistema de hidroponía en invernaderos inteligentes con tratamiento de agua en base a la energía solar, como también de forma individual. De esta manera agricultores de menor escala podrán formular soluciones de manera específica a su realidad económica, intereses productivos y condiciones físico-químicas de su predio. Bajo esta visión yace la importancia de realizar ensayos de diferentes escenarios productivos.

Dada las características sociales y la práctica de la agricultura tradicional, las capacitaciones y actividades deben basarse en la producción experimental con resultados reales para lograr romper barreras culturales sobre la tecnificación de la agricultura y el uso de energía en estas prácticas.

5 Conclusiones generales

El presente informe propone el diseño e implementación de un invernadero solar semi-automatizado para el cultivo de hortalizas en sistema hidropónico con agua previamente desalada

(remoción de boro). Se busca potenciar el desarrollo de cultivos más rentables, apoyándose en el uso de la energía solar, tanto para energizar la solución tecnológica del invernadero, para el sistema de riego asociado a la hidroponía, como para el tratamiento adecuado del recurso agua requerido. Se plantea que la solución abarcará una superficie de aproximadamente 6.300 m²

Luego de analizar tanto los aspectos técnicos y de formación de capital humano, se puede concluir lo siguiente:

- La evaluación económica se caracteriza por ser un proyecto intensivo en costo de capital. La inversión total de la aplicación alcanza a los \$198.646.000, donde los mayores costos se asocian a la planta de tratamiento de aguas (\$75MM) y al campo solar (\$77MM) . Los ingresos anuales son del orden de los 34 millones y los costos aproximadamente \$17MM. Considerando lo anterior, en el período evaluado de cinco años, no se alcanza a recuperar la inversión y las utilidades son del orden de \$16 millones anuales. En este sentido, considerar que esta aplicación podría ser eventualmente escalable para ser construido por etapas, es relevante al momento de consierar excesivos los montos comprometidos.
- Adicionalmente a lo anterior, cabe mencionar, que si bien los CAPEX son altos, estas tecnologías solares y de tratamiento de agua pueden mostrar tendencia a la baja, lo que mejoraría el desempeño económico futuro de este tipo de aplicaciones.
- La solución de desalación propuesta MD (destilación por membranas) es específica para la remoción de boro, tecnología que no ha sido probada en Chile¹⁶. Lo anterior constituye simultáneamente un riesgo tecnológico pero también un factor de innovación. Además, esta tecnología es comparativamente costosa (75 millones de pesos), lo que atenta contra el análisis de rentabilidad del proyecto.
- Los requerimientos energéticos la tecnología MD requiere de una planta solar térmica que permita generar agua a 80 °C (equivalente en este caso a 500 m²), lo que agrega un costo de capital de 77 millones de pesos.
- La (baja) calidad del agua de riego es un tema movilizador entre los agricultores del valle de Lluta, por lo tanto este tipo de solución tecnológica va en línea con las demandas locales. Las asociaciones vinculadas al agua (juntas de vigilancia principalmente) presentan alto nivel de organización y numerosas experiencias anteriores que propician un tejido social robusto capaz de sostener el proyecto de referencia en el largo plazo. Se trata de una aplicación relevante para la zona que constituye un desafío para sus habitantes, esto es, potenciar el desarrollo de la agricultura superando los problemas históricos de contaminación del recurso agua (principalmente boro).
- No obstante lo anterior, las comunidades existentes a lo largo del valle de Lluta no declaran mayores vínculos entre sí, sino que predomina una organización y asociatividad interna a cada localidad. Este aspecto deberá ser considerado al momento de diseñar la gestión de la

¹⁶ Un equipo similar de baja escala se encuentra en fase de puesta en marcha en la localidad de Cuya

aplicación de manera de asegurar la vinculación y participación de otros territorios en la solución propuesta, como asimismo, el programa de capacitación deberá tener en cuenta estos antecedentes.

- Existe una visión común respecto al futuro del valle en cuanto a su vocación productiva, vinculada a potenciar el sector agrícola. Sin embargo, es posible identificar una cultura de emprendimientos productivos individuales en los agricultores del valle, lo que dificulta el desarrollo de proyectos con requerimientos asociativos. Sumado a lo anterior, se observa cierta resistencia a la innovación, dificultando la instalación de nuevos emprendimientos.
- Respecto de la propuesta de Formación de Capital Humano, además de las actividades transversales, este proyecto podría constituirse en un centro de formación regional experimental para el estudio del mejoramiento de la calidad de agua en cultivos mediante sistemas hidropónicos, en invernadero solar semi-automatizado junto con el uso y mantenimiento de plantas de desalación con remoción de boro y arsénico.
- Al promover el uso de energías renovables no convencionales (solar) el proyecto apunta a obtener productos con baja huella de carbono.
- El proyecto tiene potencial de ser construido por etapas (escalable), lo que es relevante si se consideran excesivos los montos comprometidos. Sin embargo, se anticipan economías de escala en los equipos de tratamiento de agua, lo que impactaría negativamente en la rentabilidad del proyecto.
- Se requiere profundizar el entendimiento del potencial de la recirculación de agua en el cultivo hidropónico, ya que podría conducir a una disminución en los requerimientos de agua o bien aumento de la superficie cultivada con los mismos 12 m³ de agua tratada diarios. Los valores utilizados en la evaluación son conservadores.
- Queda propuesta la posibilidad de incorporar energía fotovoltaica a la solución, reemplazando la entrega de electricidad de la red proveniente del SEN y exportando a través de net-billing.
- La agencia de cooperación alemana GIZ ha manifestado interés en participar en un proyecto de estas características (invernadero con hidroponía), con aportes pecuniarios y valorizados, lo que podría otorgarle valor adicional a la propuesta.
- Se identifica un ingreso económico adicional al proyecto considerando las aguas de descarte con alta concentración de sales. Este no ha sido incorporado a la evaluación económica. Tratamiento reutilización de sub-productos (ej estabilizador de caminos).

Aspectos legales a considerar

Para esta aplicación se aprecian los siguientes temas legales que deben ser revisados:

- Relación de propiedad del invernadero en función de los usuarios del mismo.

- Derechos consuntivos del recurso agua en la localidad.
- Posibles conflictos en el uso del suelo que es considerado como un aporte de la comunidad (aprox. 1 ha).

6 Referencias

- Campos, H., Díaz, G., Campos, C., 2007. Aportes sedimentarios de los ríos Lluta y San José en la zona costera de la rada de Arica, Chile. IDESIA, Vol. 25(2), 37-48.
- DGA-MOP (2008). Evaluación preliminar de alternativas de mitigación de contaminantes relevantes en el río Lluta, a partir de una caracterización de las fuentes de contaminación.
- Gassó, F., y Solomando, S. 2011. Estructura e instalaciones de un invernadero.
- González, F., Riquelme, A., Contreras, P., Mazuela, P. (2013). Antecedentes generales para la sustentabilidad de la producción hortícola en el valle de Azapa, Arica, Chile. IDESIA (Arica), Vol. 31(4), 119-123.
- Instituto Nacional de Estadísticas (1999). VI Censo Nacional Agropecuario, Región de Tarapacá. Edición Rossana Espinosa Peralta. Iquique, Chile. 473 p.
- Instituto Nacional de Estadísticas (2007). División Política, administrativa y Censal. INE, Ediciones, Santiago de Chile.
- Instituto Nacional de Estadísticas (2008). VII Censo Agropecuario y Forestal 2006-2007. Resultados preliminares. INE, Ediciones, Santiago de Chile, 444 p.
- Instituto Nacional de Estadísticas (2010). Información Hortícola. Publicación Especial 2008-2009. INE, Ediciones, Santiago de Chile, 128 p.
- Instituto Nacional de Estadísticas (2015). Encuesta hortícola en base al VII Nacional Agropecuario y Forestal, 2007. Disponible en http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/estadisticas_agropecuarias/estadisticas_agricolas/agricolas.php
- Riquelme-Garcés, A., Gonzalez-Vallejos, F., Contreras-Luque, P., Mazuela, P. 2013. Manejo del cultivo de hortalizas y su efecto en la sustentabilidad de un valle costero del desierto de Atacama de Chile. IDESIA, 31 (3:113-117).
- Rodríguez, M., Muñoz, E., Bernal, M. 2009. Estudio comparativo de la tolerancia al boro de dos variedades de pimiento (*Capsicum annum* L.). Revista UDO Agrícola 9 (3): 509-516.
- Torres, A., Acevedo, E. (2008). El problema de salinidad en los recursos suelo y agua que afectan el riego y cultivos en los valles de Lluta y Azapa en el norte de Chile. IDESIA (Chile) Vol. 26, Nº 3; 31-44.

En la elaboración de este documento participaron las siguientes personas:

Contribuciones técnicas: Anahí Urquiza, Andrés Marconi, Carla Lanyon, Chantall Huerta, Diego Irizarri, Felipe Fernández, Felipe Valencia, Francisca Herrera, Gonzalo León, Jorge Reyes, Karen Ubilla, Marcia Montedonico, Miguel Salas, Óscar Barahona, Patricio Mendoza, René Rosati, Roberto Román (Q.E.P.D), Rodrigo Palma, Tania Correa.

Edición y revisión final: Gonzalo León, Hugo Lienqueo, Priscila Duarte, Stavros Kukulis.

Email de contacto contacto@ayllusolar.cl

Anexo 1: Reseña de la presencia de boro, arsénico y sólidos totales disueltos en el río Lluta.

- a) **Boro:** El río Lluta, muestra según datos históricos, que el río Colpitas es la principal fuente de boro para el río Lluta (ver Figura 6). Este cauce es más bien estable en cuanto a caudal, no así en lo que respecta a concentración de boro, por lo que se presume la existencia de otros fenómenos asociados a los afloramientos termales identificados como borateras (con concentraciones del orden de 350 mg/L B) que desembocan al río Colpitas. Al realizar, la Dirección General de Aguas (DGA) mediciones de boro el año 2008 en los principales cursos de la cuenca, se incorpora nueva información en cuanto al aporte significativo del río Azufre, que presenta concentraciones de boro del orden de 30 mg/L, siendo comparable con el río Colpitas. Es decir, este curso no sólo es el principal aporte de arsénico, sino también lo sería en el boro, junto al Colpitas. Esto determina la necesidad de mantener un control y normalizar los parámetros de calidad de agua, de tal forma de no estar a merced de cambios de concentración de boro y otros elementos químicos que podrían afectar, entre otros, la producción vegetal para el consumo humano.

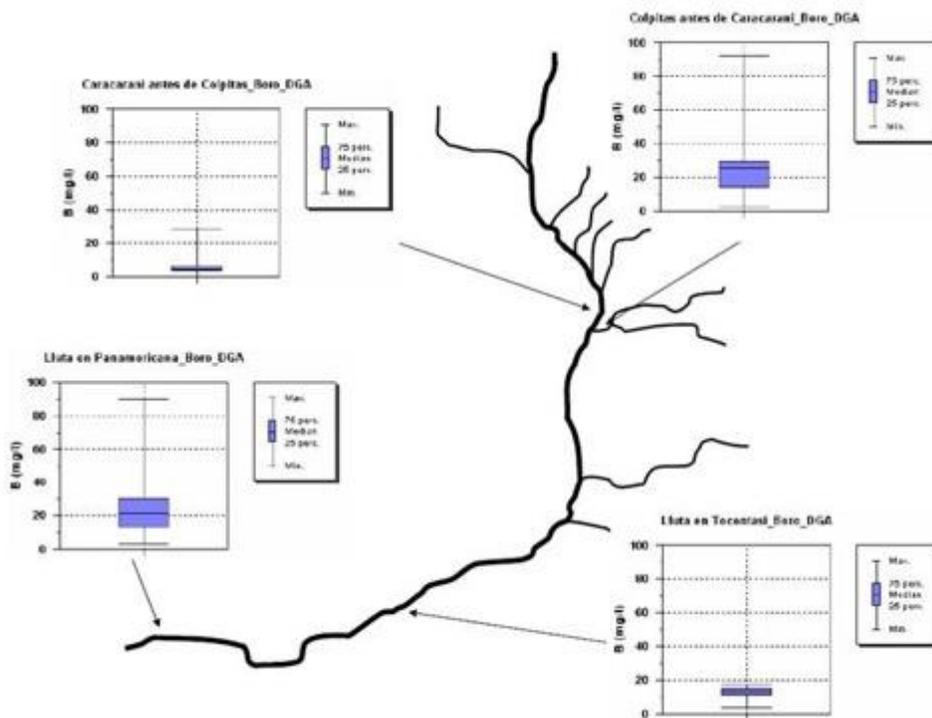


Figura 1. Datos históricos de la DGA para la concentración de boro (1998).Fuente: DGA-MOP, 2008

- b) **Arsénico:** El origen geológico de algunos elementos como el arsénico, hierro y boro, está asociado a los diferentes sectores y afluentes del río Lluta, así por ejemplo los ríos Azufre y Colpitas. La principal fuente primaria de estos dos componentes en el río Azufre, es el volcán Tacora, que también aporta acidez (cuenca de Lluta).

Respecto a la concentración de arsénico, el cauce del río Lluta, esta fluctúa entre 100 a 300 µg/L microgramos litros, dependiendo del sector (ver Figura 6). Se debe destacar que estos parámetros, se encuentran fuera de norma para consumo humano y riego. Esto se puede observar al revisar la Norma Chilena Oficial NCh409/1 Of 2005 para agua potable que establece 10 µg/L microgramos por litro. Respecto a las concentraciones con límite máximo de arsénico para uso en riego, estas se establecen en 100 µg/L microgramos por litro (Norma Chilena Oficial NCh1333.Of78 de requisitos de calidad de agua para diferentes usos (punto 6.1.2, elementos químicos con valores máximos permisibles para agua de riego).

Es importante destacar que este elemento químico es acumulable en el cuerpo humano y que, por su alta toxicidad, interfiere directamente en la respiración celular, siendo carcinogénico produce diversos efectos nocivos, provocando diversas enfermedades, especialmente considerando que el arsénico inorgánico es más tóxico que el arsénico orgánico. Dentro de los efectos del arsénico en las personas se pueden nombrar: irritación de estómago e intestino, disminución de la producción de glóbulos rojos y blancos, irritación de los pulmones, lesiones en la piel, diabetes, posibilidades de cáncer (piel, pulmón, riñones e hígado). En exposiciones muy altas: infertilidad y aborto en mujeres, daño del cerebro y problemas cardiacos.

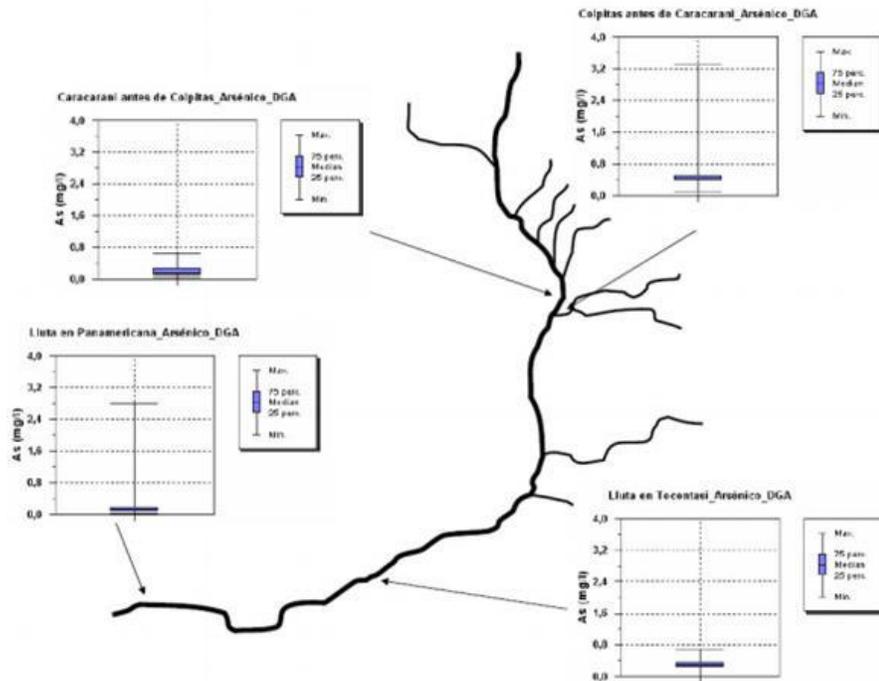


Figura 2. Datos históricos de la DGA para la concentración de arsénico.

Fuente: DGA-MOP, 2008

c) **Sólidos totales disueltos:** Sobre los sólidos totales disueltos, El río Lluta y sus tributarios principales, presentan serias limitaciones como agua para fines de riego (NCh 1333.Of78. Mod87), resultado de sus altos niveles de salinidad. Dicha limitante, expresada como Sólidos Totales Disueltos (STD) se manifiesta en las características concentraciones de especies minerales disueltas en estas aguas, destacando entre ellas elevados contenidos de boro, arsénico, compuestos inorgánicos complejos y iones metálicos, debido a la hidrogeología local.

Anexo 2: Resultados parámetros fisicoquímicos de calidad de aguas, Valle de Lluta.

| Sector/ Localidad | Georeferencia UTM | | Altura (m.s.n.m) | Tipo de fuente hídrica | Sólidos totales disueltos (mg/L) | Boro (mg/L) | Arsénico (mg/L) | pH | Conductividad eléctrica μS/cm | Salinidad PSU | Alcalinidad mg CaCO ₃ /L |
|---|----------------------|--------|---------------------|---------------------------|---|----------------|--------------------|--------------------------|-------------------------------------|------------------|--|
| Sector Sora | 19K | 406420 | 1198 | Agua superficial: río | 1173 | 13.2 | 0.193 | 7.1 | 1600 | 0.91 | 24 |
| Sector Molino | 19K | 400030 | 1192 | Agua superficial: río | 1083 | 13.3 | 0.131 | 7.6 | 1544 | 0.99 | 23 |
| Sector Poconchile | 19K | 386763 | 751 | Agua superficial: río | 1280 | 15.8 | 0.24 | 7.7 | 1783 | 1.31 | 34 |
| Sector Rosario | 19K | 378100 | 571 | Agua superficial: río | 2320 | 22.9 | 0.183 | 7.6 | 3010 | 1.64 | 43 |
| Valle de Lluta Sector Villa Frontera | 19K | 361388 | 43 | Pozo | 2395 | 12.6 | 0.027 | 7.0 | 3050 | 1.65 | 44 |
| Puente Panamericana | 19K | 363090 | 71 | Agua superficial: río | 1715 | 16 | 0.115 | 8.0 | 2240 | 1.34 | 54 |
| NCh409/1 :2005 | | | | | 1500 | - | < 0.01 | 6.5 - 8.5 | - | - | - |
| NCh1333: 1978 Mod.1987 | | | | | ≤ 500 | 0.75 | 0.10 | 5.5 - 9.0 | ≤ 750 | - | - |

Fuente: Laboratorio LIMZA-UTA

El Valle de Lluta presenta elevados niveles de boro en sus aguas, con valores típicos de 16 a 30 veces por sobre el valor establecido en la norma NCh1333:1978 Mod.1987. Lo anterior explica, la nula existencia de especies frutales y ciertas hortalizas que son especialmente sensibles a los altos niveles de boro en agua y suelo encontrados en este valle.

Anexo 3: Radiación solar anual en el sector de Rosario, valle de Lluta

| | Año | GHI kWh/m ² | DNI kWh/m ² |
|-----------------|------|---------------------------|---------------------------|
| Rosario | 2005 | 2520 | 2898 |
| latitud -18.41 | 2006 | 2466 | 2787 |
| longitud -70.15 | 2007 | 2486 | 2789 |
| altura 315 | 2008 | 2515 | 2914 |
| | 2009 | 2499 | 2869 |
| | 2010 | 2497 | 2853 |
| | 2011 | 2458 | 2743 |
| | 2012 | 2431 | 2711 |
| | 2013 | 2516 | 2883 |
| | 2014 | 2481 | 2794 |

Anexo 4: Diseño de invernaderos

Tabla: tipos de invernadero

| Tipo de invernadero | Usos |
|---------------------|--|
| Tipo plano o parral | Se recomienda su uso principalmente en zonas con un bajo nivel de precipitaciones. Cuentan con una estructura vertical con un alto número de soportes que otorga rigidez, y una estructura horizontal comúnmente de alambre galvanizado, que permite sostener el techo. |
| Tipo capilla | Este diseño cuenta con dos naves que se yuxtaponen, y forman un techo de uno o dos planos inclinados para la evacuación del agua de lluvia. Se caracteriza por tener una buena ventilación, dado que cuenta con aberturas en la yuxtaposición de las naves, y en las paredes frontales y laterales |

Fuente: Gassó, F., y Solomando, S. 2011. Estructura e instalaciones de un invernadero.

Tabla: tipo de materiales de construcción de invernadero

| Materiales de cobertura | Características |
|---------------------------------|---|
| Polimetacrilato de metilo (PMM) | Material termoplástico de alta resistencia mecánica y estabilidad. Se usa con doble pared con un grosor de 8 – 16 mm. |
| Policarbonato PC | Más liviano que el PMM, con una alta resistencia mecánica. Se usa con una doble pared de 4 – 16 mm. |
| Poliéster | Alta resistencia mecánica. Presenta un mayor nivel de transmisividad de la luz solar que los anteriores materiales. |

Fuente: Gassó, F., y Solomando, S. 2011. Estructura e instalaciones de un invernadero.

Anexo 5: Cultivo hidropónico

Tabla 1: Clasificación de los cultivos sin suelo según el medio donde crece la raíz

| | | |
|----------------------|---|---------------------|
| Cultivo en agua | } | Cultivo hidropónico |
| Cultivo en sustrato: | | |
| Sustrato inerte | | |
| Sustrato orgánico | | |

Fuente: Winsor y Schwarz (1990)

Tabla 2: Clasificación de los cultivos sin suelo según la recuperación de la disolución nutritiva

| | | |
|-------------------|---|--|
| Sistemas cerrados | → | Recirculantes: se recupera la disolución nutritiva |
| Sistemas abiertos | → | A disolución perdida |

Tabla: tipos de bombas

| Tipo de bomba | Alimentación | Instalación y requerimientos | Usos |
|----------------------------------|---|---|--|
| Bomba sumergible de diafragma | 12 a 30 V de corriente continua | Se pueden instalar en un estanque, río o pozo de agua. | Pueden ser utilizadas para llenar estanques abiertos o para un sistema de entrega de agua a presión. Son la forma ideal de proporcionar agua para hogares remotos, sitios para acampar, bebedores para el ganado y otros lugares alejados de la red eléctrica. |
| Bomba centrífuga sumergible | 45 a 240 V en corriente continua de 0,75 a 3,5 hp. Pueden ser alimentadas con paneles solares de 200 a 3.500 Watt | Requerimientos de bombeo hasta 200 m.c.a. ó 10 l/s. Pueden ser instaladas debajo del nivel del agua en un pozo, lago o río. | Pueden ser utilizadas para llenar un estanque abierto o realizar el riego directo |
| Bombas centrífugas de superficie | | Para situaciones donde el nivel de la fuente de agua está ubicada a un máximo de 60 cm por debajo del nivel de la bomba | Pueden ser utilizadas para la filtración de agua en piscinas, para fuentes de agua, aireación de estanques o sistemas de acuicultura, o para riego de pequeños predios agrícolas. |

Fuente: elaboración propia