



Informe técnico final

Nombre del proyecto	"Uso de energía geotérmica para la climatización de invernaderos de hortalizas en la comuna de Lampa"
Código del proyecto	PYT-2011-0116
Período de ejecución	desde el 01/09/2012 hasta el 31/10/2014
Fecha de entrega	23 de Septiembre de 2014



CONTENIDO

1.	ANTECEDENTES GENERALES	2
2.	EJECUCION PRESUPUESTARIA DEL PROYECTO.....	2
3.	RESUMEN DEL PROYECTO	3
4.	CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DEL PROYECTO	4
5.	RESULTADOS DEL PROYECTO	7
6.	METODO DEL PROYECTO.....	11
7.	ACTIVIDADES DEL PROYECTO.....	12
8.	DIFUSION DEL PROYECTO	13
9.	POTENCIALES IMPACTOS DEL PROYECTO	20
10.	EQUIPO TECNICO Y ASOCIADOS DEL PROYECTO	21
11.	PROBLEMAS DURANTE LA EJECUCION DEL PROYECTO	22
12.	APRENDIZAJE DE LA EJECUCION DEL PROYECTO	23
13.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	24
14.	ANEXOS	25

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre ejecutor:	Sergio A. Aguilar Díaz
Nombre(s) asociado(s):	
Coordinador del Proyecto:	Abdo Fernández Verdugo
Regiones de ejecución:	XIII Región Metropolitana
Fecha de inicio iniciativa:	01/09/2012
Fecha término Iniciativa:	31/08/2014

2. EJECUCION PRESUPUESTARIA DEL PROYECTO

		Aprobado inicialmente		Gasto real durante la ejecución del proyecto	
Costo total del proyecto					
Aporte total FIA					
Aporte Contraparte (Ejecutor y asociados)	Pecuniario				
	No Pecuniario				
	Total				

3. RESUMEN DEL PROYECTO

Realizar un resumen del proyecto, considerando la justificación del mismo, sus objetivos, el método utilizado, los principales resultados obtenidos y sus potenciales impactos. Entregar valores cuantitativos y cualitativos.

El presente corresponde al informe final del proyecto "Uso de energía geotérmica para la climatización de invernaderos de hortalizas en la comuna de Lampa", el que presentó una duración de 24 meses y que permitió establecer un piloto para validar la aplicación de la tecnología de bombas de calor geotérmica y su uso en invernadero de hortalizas hidropónicas.

La producción de cultivos bajo invernadero requiere regímenes térmicos de baja variabilidad y temperaturas mínimas más elevadas, superiores a 12°C, límite considerado como el mínimo por debajo del cual las especies de Hortalizas y Flores ralentizan el crecimiento y presentan síntomas de deterioro. Las temperaturas inferiores al rango óptimo originan estrés térmico sobre la planta e inciden sobre los procesos metabólicos, la producción de materia seca y, por tanto, afectan a la productividad de los cultivos. Por lo tanto, el aporte de calor en el interior del invernadero mediante sistemas de climatización permite el control de la temperatura durante el crecimiento y desarrollo de los cultivos, posibilitando programar la producción.

El objetivo general del proyecto fue "Implementar y validar el uso de la energía geotérmica de baja entalpia en un sistema piloto de producción hortícola bajo invernadero". Desde el cual se derivan los objetivos específicos relacionados con la implementación del sistema de bomba de calor geotérmica, la validación y optimización de los parámetros técnicos, de infraestructura, térmicos y agronómicos, así como la evaluación del impacto económico de la implementación de este tipo de sistemas. Por último el desarrollo de un manual de aplicación de la tecnología para la producción agrícola bajo invernadero en Chile.

Uno de los resultados principales del proyecto fue lograr el acondicionamiento del agua para los cultivos hidropónicos bajo invernadero, posibilitando con esto la producción de hortalizas de mejor calidad durante todo el año y, por lo tanto, si se acompaña con una gestión comercial adecuada, la introducción de los productos en canales de venta que entreguen al pequeño y mediano agricultor más rentabilidad y le permitan, de esa forma, mejorar su competitividad.

Al acondicionar el agua del cultivo hidropónico, se logró obtener la temperatura declarada como óptima para el desarrollo de las plantas, lo que significó contar con un producto cuya calidad es totalmente equivalente a la que se puede producir en la mejor época y que la producción estival aumentase en un 80% respecto de un invernadero testigo y, en la producción invernal, los rendimientos fuesen un 65% superior que la producción del testigo. Por lo tanto, un gran impacto del proyecto es lograr mejorar los rendimientos productivos del cultivo, en promedio anual un 40% respecto a las condiciones del testigo y que es la forma en que producen la mayor cantidad de productores hortícolas de la zona.

Finalmente, deseamos expresar que la aplicación de esta tecnología presenta importantes proyecciones, dependiendo de la evaluación que se pueda hacer de cada caso con los requerimientos específicos de cada cultivo, ya que al igual que en todos los proyectos que involucran energías renovables, esta es una tecnología que implica una mayor inversión que otras más convencionales a cambio de un costo operacional menor, lo que significa que mientras más altos sean los requerimientos energéticos particulares de cada proyecto, más conveniente será. Por lo tanto, creemos que también se podría adaptar muy bien a lugares de Chile con clima más frío que la Región Metropolitana. En concreto estamos comenzando a establecer contactos con productores y profesionales en la XI Región de Aysén y la XII de Magallanes para evaluar la posibilidad de desarrollar un proyecto que sea complementario a este, que permita probar otras tecnologías que creemos se adaptan muy bien a esas regiones y que pueden permitir desarrollar la agricultura local.

4. CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DEL PROYECTO

Objetivo general planteado:

Implementar y validar el uso de energía geotérmica de baja entalpia en un sistema piloto de producción hortícola bajo invernadero

Objetivos específicos planteados:

N° OE	Descripción del OE
1	Implementar un sistema piloto de invernadero climatizado con un sistema de bomba de calor para un uso eficiente de la energía en un invernadero de producción de hortalizas.
2	Validar y optimizar técnicamente el uso del sistema y los parámetros de infraestructura para lograr un adecuado funcionamiento del sistema.
3	Ajustar los parámetros agronómicos óptimos para el uso eficiente del sistema.
4	Evaluar y validar el impacto económico de la implementación del sistema en los cultivos
5	Desarrollar un manual de aplicación de la tecnología para la producción agrícola bajo invernadero en Chile.

A continuación se realiza una descripción del cumplimiento de cada uno de los objetivos específicos del proyecto y las discrepancias ocurridas durante el transcurso del proyecto:

1.- Implementar un sistema piloto de invernadero climatizado con un sistema de bomba de calor para un uso eficiente de la energía en un invernadero de producción de hortalizas: De acuerdo a este objetivo, podemos mencionar que fue posible construir el piloto de invernadero climatizado, el que inicialmente considero los cultivos del Berro Hidropónico y de Rúcula y Menta cultivado directo en suelo, en invernadero.

El proyecto permitió climatizar el sistema productivo mediante un sistema doble que inyecta aire caliente o frío y que permite calentar o enfriar el agua del sistema productivo hidropónico.

Por lo tanto, el sistema implementado permitió cumplir en un 100% el objetivo específico planteado.

2.- Validar y optimizar técnicamente el uso del sistema y los parámetros de infraestructura para lograr un adecuado funcionamiento del sistema: Una vez que fue implementado el piloto de invernadero con sistema de bomba de calor, se procedió a implementar un complejo sistema de monitoreo en el interior de los invernaderos, basado en instrumental que permite medir los niveles de luminosidad, las temperaturas del agua del sistema hidropónico y ambiental del invernadero y los niveles de humedad y el clima externo, mediante una estación meteorológica. Dado lo anterior, fue posible mantener registros que permitieron validar y optimizar el uso del sistema y los parámetros para su buen funcionamiento. Por lo tanto, el sistema ha sido validado y establecidos los parámetros que permitieron su adecuado de funcionamiento, lo que pueden ser observados en el manual del proyecto.

3.- Ajustar los parámetros agronómicos óptimos para el uso eficiente del sistema: Pese a que en un inicio se establecieron tres cultivos para la ejecución del proyecto, rápidamente se procedió a eliminar del piloto las especies cultivadas directamente sobre el suelo y que debían ser climatizadas mediante el uso de aire caliente. Esto debido a que al realizar mediciones respecto a los requerimientos energéticos y la eficiencia de mantener una temperatura



estable en el tiempo para facilitar el crecimiento de los cultivos, se pudo observar el alto requerimiento energético demandado, lo que haría económicamente inviable su aplicación. A su vez, se pudo observar que era más eficiente mantener un nivel de temperatura estable en el agua del invernadero, entre 15 y 18°C, situación que aseguraba el adecuado crecimiento de las plantas, sin la necesidad de climatizar el aire que las rodea. Especialmente en el caso del cultivo elegido, como fue el Berro, y de otras hortalizas de hoja. Por lo tanto, todo el ajuste agronómico desarrollado fue para asegurar el óptimo crecimiento de este cultivo, situación que puede observarse en el manual de este proyecto y que aseguro el cumplimiento del 100% de este objetivo.

4.- Evaluar y validar el impacto económico de la implementación del sistema en los cultivos: De acuerdo a los resultados obtenidos en la implementación y desarrollo del cultivo bajo invernaderos en que fue aplicado el sistema de bomba de calor, fue posible evaluar financieramente el proyecto y, de esta forma, validar la tecnología económicamente. Así es que fue posible construir un flujo de caja que permitió, mediante el uso de datos reales de producción y de la adecuada modelación, obtener indicadores financieros tales como el VAN y el TIR de la inversión de invernaderos con tecnologías de bomba de calor, escalable a módulos básicos de aplicación. La información antes indicada puede observarse en el manual del proyecto, por lo tanto, podemos indicar que este objetivo se encuentra 100% cumplido.

5.- Desarrollar un manual de aplicación de la tecnología para la producción agrícola bajo invernadero en Chile: Este objetivo, fue el resultado final del proceso de trabajo realizado, en el cual se construyó el piloto de invernadero con sistema de bomba de calor geotérmica y, mediante su desarrollo, modelación y la recopilación de información primaria y secundaria, además de datos reales del proceso productivo, fue posible construir un manual que permite aclarar la implementación de la tecnología de bomba de calor geotérmica en sistemas de invernaderos de hortalizas. Sin embargo, debido a la complejidad que significa la gran variedad de climas con que contamos en nuestro país, este manual se ocupa de la implementación en general, pero con un especial énfasis en la Región Metropolitana, donde se ubicó el piloto. Esto porque muchos de los criterios experimentales utilizados a partir de mediciones realizadas en el piloto podrían tener una validez dudosa o al menos acotada en climas distintos.

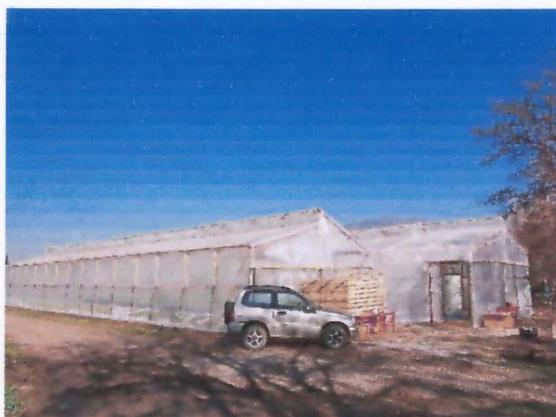
5. RESULTADOS DEL PROYECTO

A continuación se detallan los principales resultados del proyecto, de acuerdo a lo propuesto inicialmente:

1. Implementar un invernadero con sistema de bomba de calor.

Para el cumplimiento de este resultado, podemos mencionar que fue posible construir un invernadero en el cual se aplicó el sistema de bomba de calor. Es importante mencionar que de acuerdo a la metodología escogida fueron construidos dos invernaderos, uno que actuó como testigo y el otro con la tecnología mencionada.

Cada invernadero fue construido de acuerdo a la costumbre de los productores hortícolas de la zona, pero aumentando su altura para tener mayor inercia térmica y mejor ventilación de acuerdo a los manuales internacionales consultados. Estos son de estructura de madera con cubierta de polietileno, cuyas medidas son de 30 m de largo por 7 m de ancho y 4,7 m de alto. Estos pueden verse a continuación:



Vista Invernaderos: Izquierda invernadero testigo
Derecha Invernadero Unidad Demostrativo.



Vista Invernaderos testigo (Izq) y Unidad
Demostrativa con Tecnología Bomba de Calor (Der)

De esta forma, cada invernadero fue dividido en dos, en una mitad se implementó el cultivo hidropónico y en la otra mitad el cultivo directo en suelo. Es importante mencionar que para cada mitad en la cual se encuentra instalado la producción hidropónica, se dispuso de cuatro camas de 1 m de ancho por 14 m de largo, en el cual se cultivó el berro bajo el sistema de raíz flotante. Estas se pueden observar a continuación:



Invernadero Unidad Testigo



Invernadero Unidad Demostrativa con Tecnología Bomba de Calor Geotérmica

2. Caracterización total del sistema, incluyendo un completo balance energético que permita caracterizar y proyectar el consumo de energía de acuerdo a variables estacionales y climáticas.

Luego de realizar distintas mediciones relacionadas a temperatura interior y exterior del invernadero, las características técnicas de este y de las bombas de calor, se realizó su caracterización, realizándose la descripción de la tecnología geotérmica, tipos de fuentes, usos en el mundo, en Chile y mérito innovador. Además, se considera la descripción de bombas de calor, qué hacen y cómo funcionan, la caracterización del Invernadero y del sistema de bomba de calor, considerando su diseño del Invernadero y altura óptima, materiales y N° de capas, la orientación del invernadero, la ubicación de los estanques de hidroponía y el volumen de los estanques de hidroponía.

También se realiza una descripción del método de dimensionamiento térmico y diseño del sistema de climatización, el modelo de transferencia de calor, pérdidas de calor en las camas y el dimensionamiento del intercambiador de calor para el o los estanques.

Además, se considera la proyección de consumo energético según estacionalidad y condiciones climáticas, se evalúan mejoras en invernaderos, se proyecta el consumo de bomba de calor de acuerdo a COP entre las temperaturas de la fuente y requeridas y se establece el modelo de escalamiento (técnico y económico).

Finalmente, la información mencionada se puede observar en el anexo N°1 y, de manera más completa, en el manual del proyecto.

3. Parámetros agronómicos óptimos establecidos para la producción de hortalizas en un invernadero climatizado.

Para el establecimiento de los parámetros agronómicos del cultivo, se procedió a realizar un análisis primario y secundario, el cual permitió establecer el mejor método de producción disponible para el Berro, que permitiese establecer el sistema de Bomba de Calor. Dado lo anterior, se procedió a realizar el cultivo bajo hidroponía mediante el método de raíz flotante, para luego determinar sus requerimientos de nutrientes y de temperatura óptimos para el cultivo. Es importante mencionar que para establecer los parámetros óptimos de

fertilización, se construyó un programa mediante el Ing. Agrónomo, Especialista en Hortalizas y Profesor de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso Sr. Rodrigo Ramm Cavada, quien construyó el programa de acuerdo a los requerimientos nutricionales de las plantas y las características del agua de riego, como son el pH y la Conductividad Eléctrica. La información construida como informe de parámetros agronómicos, pueden observarse en el anexo N°2 y en el manual de proyecto.

4. Identificación de la validez económica de la implementación de sistemas de bomba de calor en invernaderos de hortalizas climatizados.

Para cumplir con este resultado, se procedió a elaborar un análisis financiero que considero la construcción de indicadores financieros, tales como el VAN y el TIR del proyecto. Estos indicadores fueron construidos mediante el uso de la información recopilada durante la ejecución del proyecto, la modelación y supuestos básicos que permitieron configurar el flujo de caja de un proyecto de producción hidropónica de berro, bajo condiciones ideales que permiten su fácil escalabilidad. Para esto, se procedió a construir un módulo básico de producción, realizando una distribución eficiente de los espacios del invernadero y, por lo tanto, optimizando su funcionamiento.

De esta forma, los supuestos básicos para la construcción del análisis financiero son:

- i. Para la construcción del invernadero y considerando la necesidad de realizar una fácil escalabilidad de estos, se construyó una unidad básica, compuesta por dos módulos unidos de 32 x 14 m² cada uno, lo que representa una superficie bajo invernadero de 585 m².
- ii. Con el fin de maximizar la superficie productiva, se dispuso de camas de distintas medidas, las que son descritas a continuación:

Unidad Básica	Largo	Ancho	Total (m²)
Cama N° 1	30	1,5	45
Cama N° 2	30	1	30
Cama N° 3	30	1,5	45
Cama N° 4	30	1,25	37,5
Cama N° 5	30	1	30
Cama N° 6	30	1	30
Cama N° 7	30	1,5	45
Cama N° 8	30	1	30
TOTAL SUPERFICIE PRODUCTIVA (m²)			292,5

- iii. El periodo de evaluación es de 10 años, considerando al mes 3 en plena producción.
- iv. El precio considerado en la evaluación debe ser dividido en dos periodos, el periodo de invierno, cuyo valor alcanza los \$2.600/Kg (Marzo a Diciembre) y el periodo de verano (Enero y febrero), cuyo valor alcanza los \$1.950/Kg, considerando la venta directa a mercado de tipo HORECA.

- v. Los rendimientos productivos presentan variaciones según la época del año en producción. En invierno, se estiman rendimientos productivos de 2 Kg/m²mes y en verano, rendimientos productivos de 3 Kg/m²mes.

De esta manera, se logró construir un flujo de caja que permitió obtener los indicadores financieros de VAN y TIR, como se describen a continuación:

VAN (30%)	8,501,160
VAN (15%)	94,616,305
TIR	34%

Por lo tanto, mediante este análisis y sus resultados, podemos concluir que el uso de la tecnología permite obtener una producción rentable y sostenible en el tiempo, pudiendo incluso, mediante la inversión inicial, soportar una superficie mucho mayor de producción, la que ha sido sub estimada para mantener la coherencia del análisis.

Finalmente, la información construida como informe de evaluación económica y financiera, pueden observarse en el anexo N°3 y en el manual de proyecto.

5. Desarrollo de un manual técnico y económico sobre la aplicación de sistemas de bomba de calor en invernaderos de hortalizas.

Este resultado ha sido cumplido a cabalidad, debido a que se ha desarrollado y publicado un manual que permite observar la parte técnica y económica del uso de sistemas de bomba de calor geotérmica. Mediante esta información, quienes se interesen en instalar sistemas de bomba de calor geotérmica en invernadero en la Región Metropolitana, dispondrán de los medios para lograr una adecuada implantación del sistema, así como de su funcionamiento óptimo. Así mismo también entrega una guía orientativa para su implementación en otros lugares de Chile con distinto clima.

6. METODO DEL PROYECTO

El proyecto fue ideado mediante la construcción de dos invernaderos, uno de ellos actuando como testigo y el otro como unidad demostrativa. Ambos invernaderos fueron construidos según las características técnicas especificadas previamente, respecto a diseño y materiales de construcción.

Cada invernadero fue dividido en dos partes, una de ellas climatizada mediante aire caliente y frío, en el cual se cultivarían rúcula y menta y otro con berros hidropónicos, sector que se climatizaría mediante aire y agua caliente o fría.

Es importante mencionar que cada uno de los invernaderos se cultivaría mediante las técnicas tradicionales de los productores hortícolas de la zona, realizándose intervenciones para el control de plagas, si era necesario, y para el programa de fertilización más apropiado de acuerdo a las características del cultivo y del agua usada para riego e hidroponía.

Para el control de los parámetros de producción, fue posible medir las condiciones meteorológicas de la zona, las condiciones internas del invernadero, la disponibilidad de la luz solar y las características del agua usada para el riego e hidroponía, considerando el pH y la Conductividad Eléctrica.

Una vez iniciadas las mediciones rápidamente se logró identificar que la climatización mediante aire en el invernadero de cultivos directos en el suelo no era viable, situación que provoco que rápidamente cambiara la estrategia del proyecto, enfocándose al trabajo en el cultivo hidropónico debido a que rápidamente pudimos identificar que estos respondían con eficacia a las nuevas condiciones entregadas por el sistema geotérmico.

Podemos mencionar que disponemos de estadísticas de todo el proceso productivo en estudio, de las temperaturas, en los diversos puntos de medición y de la luz que ingresaba al sistema, situación que nos permitió identificar errores y realizar las acciones de corrección, como por ejemplo retirar la segunda piel del invernadero. Todas estas correcciones son expresadas en el manual del proyecto.

Finalmente, queremos expresar que los resultados productivos obtenidos con la instalación de los sistemas de geotermia permitieron en la época estival, obtener resultados 80% superiores a los rendimientos obtenidos en el invernadero testigo y en la época invernal rendimientos 65% superiores al testigo.

7. ACTIVIDADES DEL PROYECTO

Las actividades que se ejecutaron durante el transcurso del proyecto, son las siguientes:

1. Determinación de la ubicación óptima en el Huerto.
2. Diseño de Invernadero, sistema de climatización, sistema de cultivo (sobre suelo directo e hidropónico) y sistema de riego.
3. Instalación de Invernadero, sistema de climatización, cultivos (Berros Hidropónicos y Menta en sistema tradición por surco) y sistema de riego.
4. Ajuste agronómico del cultivo y sus requerimientos en invernadero.
5. Puesta a prueba del sistema.
6. Puesta en marcha definitiva.
7. Diseño e implementación de sistemas y dispositivos de auditoría energética permanente.
8. Medición permanente de parámetros energéticos.
9. Diseño, realización y análisis del Balance Energético del invernadero piloto.
10. Caracterización del comportamiento del piloto.
11. Diseño y validación del Modelo de Escalamiento.
12. Diseño de las pautas de operación y mantenimiento.
13. Monitoreo condiciones climáticas
14. Monitoreo del desarrollo del cultivo
15. Programas productivos de fertilización
16. Monitoreo financiero
17. Estructuración del flujo de caja
18. Recopilación continúa de la información.

De estas todas fueron ejecutadas y cumplidas en un 100%, situación que permite indicar el éxito del proyecto.

Es importante destacar que nuestro proyecto presento múltiples retrasos durante su ejecución, lo que implico que muchas de estas actividades fueran desplazadas de su fecha de ejecución primariamente establecida, pero con el transcurso del tiempo, estas fueron reprogramadas y finamente ejecutadas.

Finalmente es importante mencionar que parte importante de las dificultades enfrentadas por el proyecto fueron externas al proyecto, pudiendo mencionar dificultades por la escasa mano de obra en la zona, lo que dificulto la instalación y construcción de los invernaderos, atrasos en la llegada de las bombas de calor desde la empresa proveedora y atraso en la instalación del sistema eléctrico trifásico desde la empresa proveedora de la electricidad.

8. DIFUSION DEL PROYECTO

Para la difusión del proyecto del proyecto, se procedió a realizar una serie de actividades de difusión, compuestas por el lanzamiento y cierre del proyecto, días de campo y difusiones en actividades externas al proyecto, como son talleres para productores hortícolas de Calera de Tango y el Seminario para Productores Hortícolas de la Región Metropolitana.

Además el coordinador del proyecto, Ing. Abdo Fernández, asistió al curso "SHORT COURSE ON UTILIZATION OF LOW- AND MEDIUM-ENTHALPY GEOTHERMAL RESOURCES AND FINANCIAL ASPECTS" dictado por UNU-GTP (Geothermal Training Program of United Nations University) en conjunto con la empresa Salvadoreña de Energía Geotérmica, LaGeo, en la ciudad de San Salvador, El Salvador (Ver anexo N°4).

Este curso se realiza anualmente tratando diversos temas de geotermia, correspondiendo justamente este año a las aplicaciones de baja y media entalpía. El cupo en el curso fue otorgado (4 para Chile) precisamente en virtud de la postulación realizada a partir de este proyecto piloto. Durante la semana de duración del curso se discutieron y analizaron los principales avances en geotermia de baja entalpía, principalmente los referidos a Latino América y el Caribe. Asistieron representantes de los países de Sudamérica Andina, el Caribe y México, además del Banco Mundial.

En este contexto se pudo constatar entre los asistentes, académicos y profesionales, así como entre los profesores, académicos islandeses de reconocida trayectoria, que este proyecto era pionero en la región, generando interés entre ellos por mantenerse al tanto de su desarrollo.

También, se procedió a desarrollar la imagen del proyecto, diseñándose un pendón y tríptico así como el manual del proyecto que será distribuido una vez terminada su impresión y encuadernación.



Para ser más específico sobre las actividades de difusión, se realizó una actividad de lanzamiento del proyecto durante el día 14 de Marzo de 2014, en el que participo el Director Ejecutivo de FIA, Sr. Fernando Bass M. y un total de 23 personas, la mayoría productores hortícolas de la zona de lampa, así como transferencistas de INDAP y del Prodesal de la Ilustre Municipalidad de Lampa.



Actividad de Lanzamiento Proyecto



Cóctel en Actividad de Lanzamiento de Proyecto



Presentación del Director del proyecto, Sr. Abdo Fernández en Actividad de Lanzamiento del Proyecto.



Presentación del Administrador Municipal de la Ilustre Municipalidad de Lampa Sr. Fernando Salame S., quien represento a la Sra. Graciela Ortúzar Novoa, Alcaldesa de dicha Comuna.

Luego se procedió a realizar una actividad de difusión en un taller de capacitación, realizado el día 23 de Abril de 2014, perteneciente al proyecto denominado "NODO Hidropónico para el mejoramiento de la competitividad de los productores de las comunas de Buin, Calera de Tango y Talagante". Esta actividad fue realizada en el Salón de los Espejos de la Ilustre Municipalidad de Calera de Tango y participo un total de 22 personas.



Taller Nodo Hidropónico, efectuado en las Instalaciones de la Ilustre Municipalidad de Calera de Tango.

También, fue realizada una difusión del proyecto en el seminario denominado "Fortalecimiento de las Capacidades de Innovación y de Asociatividad de los Productores Hortícolas de la RM", que organizo en conjunto INIA y FEDEFRUTA F. G., durante el día 5 de junio de 2014, en las instalaciones del Bavaria de Paine, en el que participaron 130 personas.



Seminario Hortícola realizado por INIA y FEDEFRUTA en las instalaciones del Bavaria de Paine.

También, fueron desarrollados cuatro (4) días de campo, los días 26 de junio de 2014, 12 de Julio de 2014, 5 de septiembre de 2014 y el 18 de agosto de 2014, los que contaron con diverso público como son agricultores, transferencistas de INDAP y de Prodesal y de Estudiantes de Ingeniería Agrícola y Técnico Agrícola de DUOC UC.



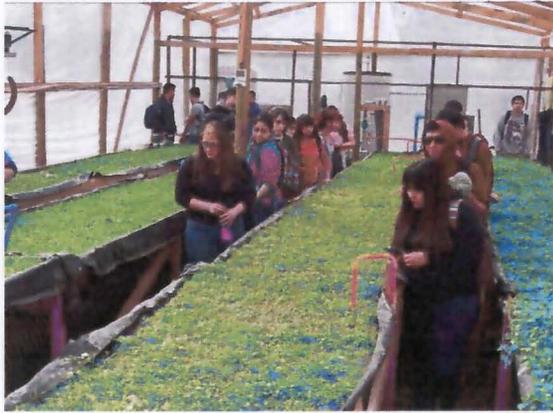
Actividad, Día de Campo del 26 de Junio de 2014 (19 Asistentes)



Actividad, Día de Campo del 12 de Julio de 2014 (14 Asistentes)



Actividad, Día de Campo del 05 de septiembre de 2014 (23 Asistentes)



Actividad, Día de Campo del 18 de Agosto de 2014 (55 Asistentes)

Durante el día 29 de Agosto de 2014, fue realizada la actividad de cierre del proyecto, en la que participo el Ejecutivo del Proyecto, Sr. Robert Giovanetti. En esta actividad participo un total de 21 personas, las que tuvieron la oportunidad de conocer los últimos resultados del proyecto y sus perspectivas de desarrollo.



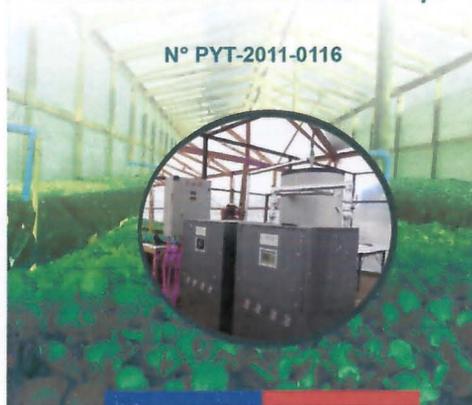
Actividad de Cierre de Proyecto, día 29 de Agosto de 2014

Las listas de asistencia, pueden ser observadas en el anexo N°5.

También, podemos mencionar que como mecanismos de difusión, fue diseñada la imagen del proyecto, con la cual se imprimió un pendón, se diseñó un tríptico que finalmente no fue impreso y se imprimió el manual final del proyecto.



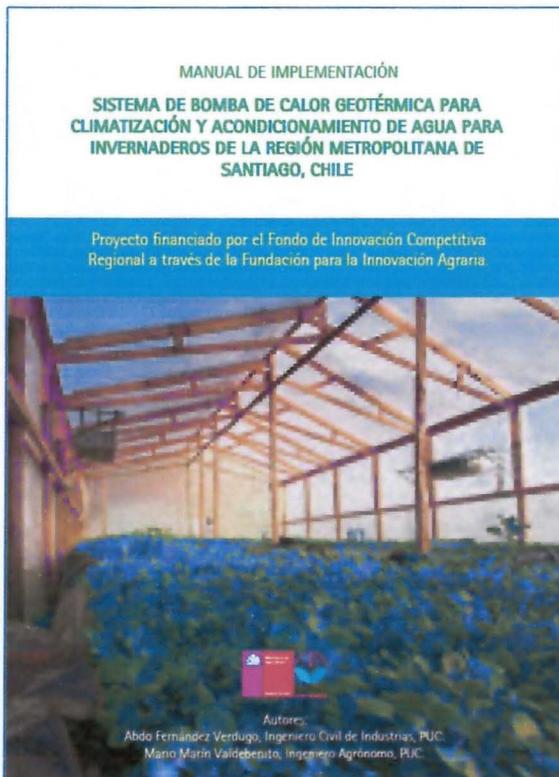
Uso de Energía Geotérmica para la Climatización de Invernaderos de Hortalizas en la Comuna de Lampa



Diseño de pendón del proyecto



Tiro y retiro de Tríptico Diseñado para difundir Proyecto



Portada del Manual de Implementación

Finalmente, en anexo N°6 podrá observar las difusiones del proyecto en diversos medios de difusión, tanto nacionales como internacionales.

9. POTENCIALES IMPACTOS DEL PROYECTO

El presente proyecto ha permitido probar y validar la tecnología de Bombas de Calor Geotérmica en sistemas productivos hortícolas, sobre todo para el acondicionamiento del agua para los cultivos hidropónicos bajo invernadero, posibilitando con esto la producción de hortalizas de mejor calidad durante todo el año y, por lo tanto, si se acompaña con una gestión comercial adecuada, la introducción de los productos en canales de venta que entreguen al pequeño y mediano agricultor más rentabilidad y le permitan, de esa forma, mejorar su competitividad.

Pese a que con la ejecución del proyecto esperábamos poder controlar la temperatura ambiental dentro del invernadero, así como también la del agua del cultivo hidropónico, durante su desarrollo y después de haber realizado un par de pruebas, decidimos que para el clima de la Región Metropolitana, donde se circunscribía este piloto, no sería necesario modificar la temperatura normal del invernadero para las hortalizas de hoja. Además el mantener una temperatura en el aire significa un consumo de energía mucho mayor.

En cuanto al agua de cultivo hidropónico, esta sí se acondicionó a la temperatura declarada como óptima para el desarrollo de las plantas, lo que significó contar con un producto cuya calidad es totalmente equivalente a la que se puede producir en la mejor época y que la producción estival aumentase en un 80% respecto de un invernadero testigo y, en la producción invernal, los rendimientos fuesen un 65% superior que la producción del testigo. Por lo tanto, un gran impacto del proyecto es lograr mejorar los rendimientos productivos del cultivo, en promedio anual un 40% respecto a las condiciones del testigo y que es la forma en que producen la mayor cantidad de productores hortícolas de la zona.

Desde el punto de vista ambiental, se debe ser realista y reconocer que este proyecto no disminuye el impacto ambiental de la agricultura relacionada con el consumo de energía, al menos no comparado con la situación actual en que muy pocos invernaderos en el país cuentan con equipos de climatización o acondicionamiento del agua. Por ello es que nos parece que se debe mirar desde el punto de vista de cómo impacta la producción y cuál sería el impacto ambiental de utilizar otras tecnologías para obtener los mismos resultados. Visto desde esa óptica el impacto ambiental sí será positivo, puesto que si el sistema se configura con las máquinas y los parámetros de funcionamiento adecuados, podría llegar a entregar como calor hasta cinco veces la cantidad de energía eléctrica que consume. Esto significa que si la producción de electricidad tiene una eficiencia de generación, transmisión y distribución mayor al 20%, ambientalmente sería más conveniente utilizar este tipo de sistemas que quemar directamente combustibles fósiles.

Finalmente, queremos indicar que este proyecto presenta una proyección interesante, aunque eso dependerá de la evaluación que se pueda hacer de cada caso con los requerimientos específicos de cada cultivo. Al igual que todos los proyectos que involucran energías renovables, esta es una tecnología que implica una mayor inversión que otras más convencionales a cambio de un costo operacional menor, lo que significa que mientras más altos sean los requerimientos energéticos particulares de cada proyecto, más conveniente será. Por esta razón creemos que también se podría adaptar muy bien a lugares de Chile

con clima más frío que la Región Metropolitana. En concreto estamos comenzando a establecer contactos con productores y profesionales en la XI Región de Aysén y la XII de Magallanes para evaluar la posibilidad de desarrollar un proyecto que sea complementario a este, que permita probar otras tecnologías que creemos se adaptan muy bien a esas regiones y que pueden permitir desarrollar la agricultura local.

10. EQUIPO TECNICO Y ASOCIADOS DEL PROYECTO

El equipo técnico del proyecto estuvo compuesto por el Ingeniero Civil de Industrias, Sr. Abdo Fernandez V. y por el Ingeniero Agrónomo, Sr. Mario Marin V. Además, se dispuso de la colaboración, en forma desinteresada, del Ingeniero Agrónomo Sr. Rodrigo Ramm Cavada quien es especialista en producción de hortalizas y profesor de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

Cabe destacar que todo el trabajo realizado dispuso de una contraparte de parte del productor beneficiado del proyecto, el Sr. Marco Aguilar, quien colaboro en todo el proceso de desarrollo del proyecto.

Finalmente, es importante mencionar que el trabajo desarrollado durante todo el transcurso del proyecto, se realizó en forma armónica y fluida, sin dificultades de tipo confrontacional, lo que permitió llevar cada una de las actividades del proyecto y, en definitiva, cumplir con cada una de las metas planteadas.

11. PROBLEMAS DURANTE LA EJECUCION DEL PROYECTO

Durante el transcurso del proyecto se presentaron tres problemáticas que afectaron definitivamente los tiempos de ejecución del proyecto. Estas dificultades fueron:

1. Escasez de Mano de Obra para la Construcción de los Invernaderos.
2. Atraso de la instalación de los equipos de Bomba de Calor.
3. Atraso de la instalación del sistema eléctrico trifásico.

Estas tres dificultades fueron muy difíciles de subsanar, debido a que correspondían a factores externos al proyecto, sin grandes posibilidades de subsanación.

En el caso de la escasez de mano de obra, las dificultades se debieron a que en el periodo en que se iniciaron las obras de construcción del invernadero, existía un alto nivel de empleabilidad en el sector de Lampa, lo que afectó la disponibilidad de mano de obra para la principal actividad económica del productor, como es la cosecha de hortalizas. Esta situación que fue solo subsanada al incorporar a los hijos del productor, todos estudiantes, a la construcción del invernadero.

La segunda dificultad enfrentada se produjo debido a la instalación atrasada de las bombas de calor. Esto se debió a que al momento de realizar la compra de los equipos, luego de realizar una serie de consultas con diversos proveedores, los equipos no se encontraban en Chile, debiéndose encargar su traslado de China. Es importante mencionar que este proceso se inició previo a la construcción de los invernaderos, pero debido a la lenta respuesta de los proveedores e instaladores de bombas de calor, no fue posible coordinar la instalación del sistema una vez finalizada la construcción del invernadero, produciéndose un nuevo atraso del proyecto.

En tercer lugar, se produjo una dificultad relacionada a la lenta respuesta para la instalación de los sistemas trifásicos necesarios para el funcionamiento de los equipos. De esta manera, la instalación del sistema eléctrico, presentó un gran atraso debido a la desidia de la empresa Chilectra, quienes en un comienzo indicaron que los trabajos no se demorarían más de 15 días, pero que en definitiva presentaron una demora de más de dos meses.



Por lo tanto, los tres grandes problemas que enfrentamos durante la ejecución del proyecto, que provocaron un gran atraso en su inicialización, no fueron fáciles de subsanar y, en algunos de los casos, simplemente tuvimos que esperar que las empresas proveedoras realizarán sus acciones, prácticamente sin derecho a reclamo y ajustándonos, sin alternativa, a sus tiempos de respuesta.

12. APRENDIZAJE DE LA EJECUCION DEL PROYECTO

La cadena de suministros para este tipo de proyectos es clave, ya que sólo con una cadena eficiente y efectiva se pueden cumplir los tiempos del proyecto. En este sentido hace falta una supervisión mucho más estrecha por parte del equipo profesional del proyecto, lo que obliga a presupuestar horas destinadas a estos fines dentro del mismo.

La orientación del invernadero para maximizar la producción en invierno en la Región Metropolitana, y con mayor razón en aquellas ubicadas más al sur, debe ser este-oeste. Esto implicará sin embargo tomar mayores medidas de resguardo en verano ante el exceso de radiación solar. La razón de recomendar esta orientación es que la transmitancia a la luz del polietileno tiene una fuerte dependencia del ángulo de incidencia con que llega la radiación solar a la cubierta, siendo esta máxima (el valor tabulado) cuando este ángulo es perpendicular y se dice ángulo de incidencia 0°.

Climatizar el ambiente de un invernadero, aun cuando sea con técnicas más económicas que las convencionales como las bombas de calor geotérmica, parece no tener sentido económico con los precios actuales, al menos para las hortalizas de hoja. Probablemente esto sí se justifique para otras especies con mayor rentabilidad como las flores de corte y/o con la utilización de calor residual de otros procesos, tal como lo hace un productor de tomates al utilizar calor remanente de la generación eléctrica con grupos electrógenos.

En la Región Metropolitana no es necesario modificar la temperatura del ambiente al interior de un invernadero para producir hortalizas de hoja. Esto porque las temperaturas mínimas que se alcanzan dentro de él se presentan como suficientes para no producir daños en este tipo de plantas.

En verano es de imperiosa necesidad contar con ventanas cenitales para facilitar la ventilación del invernadero y evitar un excesivo gasto de energía en el enfriamiento del agua.

La utilización de doble cubierta en los invernaderos tiene un carácter controversial, ayudando a tener menores pérdidas de calor por un lado, pero reduciendo significativamente la cantidad de luz y de radiación solar total que entra al invernadero. Con esto, se ve mermada la productividad y la calidad del cultivo. Sería interesante evaluar este aspecto en un invernadero con orientación este-oeste, sin embargo a la luz de las mediciones realizadas durante esta experiencia piloto, no se recomendaría la utilización de la doble cubierta, prefiriendo una cubierta simple de polietileno térmico e instalando una cubierta anti radiación (tipo aluminizada) sólo por la noche.

Debe dimensionarse el sistema de bomba de calor con la menor potencia posible, ya que esto es sujeto de cobro en las tarifas trifásicas, procurando que la bomba funcione por un mayor tiempo pero a una potencia menor y sin hacerlo en las horas punta, entre las 18 y 23 hrs.

13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Estructuras y tipos de invernaderos

Durante la realización del proyecto se consultaron diversas fuentes relacionadas a las estructuras y tipos de invernaderos, optando finalmente por un tipo de construcción tradicional en la agricultura chilena debido a ser el que las personas locales saben construir. Se pudo constatar luego que al margen de algunos sombreos indeseados y la dificultad propia de construirlos con mayor altura que la normal, el tipo de invernadero se comportó bien, exceptuando el punto ya mencionado de la orientación, esta debe ser Este-Oeste para maximizar la producción durante el invierno. Se recomienda siempre construir en esta orientación y buscar antecedentes y/o medir el nivel de radiación solar óptimo para cada cultivo, de manera de aplicar los sombreos estivales en el tiempo y grado adecuado para mantener la calidad y cantidad de la producción. Así mismo se recomienda buscar tipos de invernaderos más adecuados para zonas de Chile con clima más frío, sobre todo aquellos lugares con temperaturas frías y gran cantidad de días despejados.

Recurso geotérmico utilizable

Se pudo comprobar que el recurso geotérmico que se utilizó, el agua de pozo, es totalmente adecuado para el uso requerido. El pozo de 40m con que cuenta el predio entregó durante todo el año una temperatura prácticamente constante en torno a los 18°C, por lo que constituyó una excelente fuente de energía en invierno y un muy buen sumidero de esta en verano. Así mismo a través de la visita de la Dra. En Hidrogeología y Académica de la Universidad de Chile, Linda Daniele, se pudo constatar el correcto enfoque de la utilización de un pozo de infiltración y no uno de reinyección, disminuyendo sustancialmente los costos pero asegurando también la devolución del agua a la napa subterránea. Se recomienda buscar este tipo de condiciones para la implementación, así como también explorar lugares donde se encuentre recurso geotérmico a mayor temperatura, tales como las termas utilizadas como balneario. De esta forma inclusive se podría prescindir en invierno del uso de una bomba de calor, pasando a utilización directa como se hace en Islandia. Esto sería especialmente atractivo en regiones de Chile donde no se necesita bajar la temperatura del agua o del aire en verano.

Factibilidad económica de aplicación

A través de los datos recopilados durante el desarrollo del proyecto piloto y de las modelaciones técnicas y económicas realizadas, se puede concluir que la aplicación de este tipo de sistemas, en la Región Metropolitana, es factible económicamente siempre que se trate de acondicionar el agua de cultivos hidropónicos y no de climatizar el aire. Lo que en todo caso debe ser siempre evaluado para cada producto en particular, sus precios de venta y proyecciones de mercado. Esto ya que si bien la climatización y acondicionamiento de agua por bomba de calor geotérmica puede resultar, bien diseñada y gestionada, más económica que otras formas, de todas maneras representa una inversión relativamente importante

Proyecciones

El acondicionamiento del agua para los cultivos hidropónicos bajo invernadero tiene importantes proyecciones, ya que posibilita la producción de hortalizas de mejor calidad durante todo el año y, por lo tanto, si se acompaña con una gestión comercial adecuada, la introducción de los productos en canales de venta que entreguen al pequeño y mediano agricultor más rentabilidad y le permitan, mejorar su competitividad. Así mismo el poder adaptar esta aplicación tecnológica a distintos climas dentro del país permitiría impulsar la producción local en muchas localidades que carecen de ella y por lo tanto deben recurrir a productos transportados desde largas distancias, pagando grandes costos por ello.

14. ANEXOS

Anexo N° 1: Caracterización total del sistema, incluyendo un completo balance energético que permita caracterizar y proyectar el consumo de energía de acuerdo a variables estacionales y climáticas.

Anexo N° 2: Parámetros Agronómicos, Cultivo del Berro Hidropónico.

Anexo N° 3: Evaluación Económica y Financiera para el Cultivo del Berro Hidropónico bajo Sistema de Bomba de Calor.

Anexo N° 4: Certificado participación en "SHORT COURSE ON UTILIZATION OF LOW- AND MEDIUM- ENTHALPY GEOTHERMAL RESOURCES AND FINANCIAL ASPECTS", UNU-GTP, El Salvador.

Anexo N° 5: Lista de Asistencia a las Actividades de Difusión del Proyecto.

Anexo N° 6: Difusión del Proyecto en Diversos Medios de Comunicación.

Anexo N°1: Caracterización total del sistema, incluyendo un completo balance energético que permita caracterizar y proyectar el consumo de energía de acuerdo a variables estacionales y climáticas.

CARACTERIZACIÓN SISTEMA GEOTERMICO PARA CULTIVO DEL BERRO HIDROPONICO BAJO INVERNADERO.

1. Descripción de la tecnología geotérmica, tipos de fuentes, usos en el mundo, en Chile y mérito innovador.

La Geotermia es el aprovechamiento de la energía presente en la tierra, en forma de calor, para múltiples fines del quehacer humano que necesitan energía. Este aprovechamiento o utilización de la energía geotérmica o de la tierra puede ser realizada utilizando diversos medios técnicos de acuerdo a la fuente de la que provenga y al objetivo que persiga. Es así como las fuentes geotérmicas se pueden clasificar en 4 categorías de acuerdo a su entalpía (cantidad de energía contenida por unidad de masa) o temperatura, estas son de Alta, Media, Baja y Muy Baja.

2. Descripción de bombas de calor, qué hacen y cómo funcionan.

Una bomba de calor hace algo parecido a lo que hace una bomba de agua. Esta última mueve agua en contra de su sentido natural, desde abajo hacia arriba. Una bomba de calor mueve calor desde cuerpos con menor a otros con mayor temperatura, en contra del sentido natural del movimiento del calor. De esta forma, es capaz de quitar calor, por ejemplo, a un flujo de agua entrando a 18°C, devolviéndola a 15°C y entregando ese diferencial en un fluido térmico entre 40 y 60°C, para luego ser utilizado para calentar un ambiente o un estanque con agua.

Si por el contrario lo que se necesita es enfriar, la bomba de calor funcionará al revés, entregando el calor que retira desde un ambiente o estanque al agua de la fuente, recibéndola a 18°C y devolviéndola a 21°C. Ambos trabajos los realiza a través de un ciclo termodinámico, que dependiendo del modelo de bomba puede ser reversible permitiendo calentar y enfriar con el mismo equipo.

Para hacer funcionar este ciclo se requiere mover un compresor alimentado por energía eléctrica. La ventaja es que por cada unidad de energía eléctrica utilizada, la bomba de calor entrega entre 2,5 y 5 unidades de calor. Esto último se conoce como Coeficiente de Operación o Coefficient of Performance en inglés, identificado siempre como COP y que constituye una medida de la eficiencia de la bomba funcionando entre dos temperaturas determinadas.

$$COP = \frac{\text{Energía térmica entregada}}{\text{Energía eléctrica consumida}}$$

Luego, energética y económicamente conviene siempre seleccionar equipos con un alto COP, así como operar entre temperaturas lo más cercanas posible, ya que de esa forma se maximiza el COP.

3. Caracterización del Invernadero y del sistema de bomba de calor.

a. Diseño del Invernadero y Altura óptima

Se utilizó un invernadero lo más parecido posible a los que se usan tradicionalmente en la zona, con pilares de madera y cerchas del mismo material, de manera de poder construirlo con mano de obra local sin mayores problemas. Sin embargo se realizó un cambio bastante importante, como fue aumentar la altura de las paredes laterales hasta los 3 m y de la cúspide hasta 4,7 m. Esto se hizo siguiendo las recomendaciones de varios manuales consultados, los que recomendaban entre 3 y 4 m³ de volumen sobre cada m² de superficie. El objetivo de esta práctica es lograr una mayor inercia térmica del invernadero y, por lo tanto, variaciones de temperatura más suave, así como también una mejor ventilación al haber mayor diferencia de altura entre las aberturas laterales y la lucarna cenital.

b. Material y N° de capas

Según la bibliografía consultada, incluyendo varios manuales de cultivo bajo cubierta, y conforme a las posibilidades económicas y la práctica usual del campo en la Región Metropolitana, el material que presenta la mejor relación costo/beneficio es el polietileno. Para el invernadero piloto se utilizó una versión de polietileno térmico, el que tiene la característica de bloquear una porción importante de las radiaciones de onda larga (calor) e impedir que estas salgan del invernadero. Con esto se logra aumentar el efecto invernadero y, por lo tanto, obtener mayores temperaturas al interior de este, hecho importante sobre todo en las madrugadas frías de invierno.

La utilización de doble capa en las paredes y techo del invernadero permite tener una menor transferencia de calor con el exterior, sin embargo esto puede reducir considerablemente la cantidad de luz disponible para la fotosíntesis de las plantas al interior del invernadero, por lo que su utilización dependerá de los requerimientos térmicos y lumínicos de cada cultivo en particular. Durante el desarrollo de este proyecto piloto se comenzó con el invernadero con doble capa, lo que funcionó muy bien en verano para, en conjunto con el polvo depositado, reducir la excesiva luminosidad del verano para el cultivo utilizado, los berros hidropónicos. Esto trajo

consigo, unido a la limitación de la temperatura máxima del agua con las bombas de calor geotérmicas, un notable aumento en la productividad del invernadero, produciendo en promedio 1,8 veces lo que produjo el invernadero testigo que no contaba con estas innovaciones. Sin embargo conforme fue avanzando la temporada y disminuyendo la luz disponible, el invernadero piloto equipado con doble capa de polietileno comenzó a mostrar una merma importante de productividad y problemas de calidad del producto identificados claramente por la falta de luz, tales como la etiolación, falta de color y de sabor. Ante esto, se optó por retirar la doble capa, aumentando la luz disponible al interior del invernadero en más de un 26% al pasar de recibir un 34% de la luz visible acumulada en el exterior en un día a un 43%. De hecho este cambio hizo que la radiación visible máxima diaria llegase a valores de 600 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$), equivalentes a los obtenidos en verano con la doble capa. Esto hizo mejorar enormemente la calidad del producto en cuanto a color, sabor y desarrollo foliar, siendo equivalente al producto obtenido en verano bajo la doble cubierta. Esta mejora repercutió aumentando la producción invernal del invernadero piloto por sobre la del testigo, sin tecnología, en un 68%.

c. Orientación del invernadero

Previo al desarrollo de este proyecto se consultaron numerosas fuentes para determinar cuál era la orientación óptima del invernadero. La mayoría de ellas indicaban que con el objetivo de tener una luz más homogénea en todo el invernadero durante todo el año, esta debía ser Norte-Sur y así se orientó en definitiva. Sin embargo durante el desarrollo del proyecto se pudo observar que, por efecto de que la transmitancia a la luz de la cubierta de polietileno depende del ángulo de incidencia de la luz, las zonas del invernadero que recibían luz a través de las caras frontales tenían un mejor desempeño en invierno, cuando la luz es más escasa. Esto se debe a que el ángulo de incidencia de la luz en esa cara tiene una desviación al medio día solar de aproximadamente 33° con respecto a la perpendicular a esta cara, que es la dirección de máxima transmitancia. En tanto el techo del invernadero tiene, en las horas más favorables, un ángulo de incidencia de la luz mínimo de 57° . Esto redundaba en que por la pared frontal al medio día de invierno entra un 25% más de luz que por el techo, aumento que podría significar un aumento de producción de hasta el mismo porcentaje. Dicho esto, para un mejor aprovechamiento de la luz solar en invierno se recomienda instalar naves contiguas orientadas en sentido Este-Oeste y con techos de 2 aguas con una inclinación igual a la latitud geográfica y la lucarna cenital enfrentando al norte. Para la Región Metropolitana esto es de 33° o lo que es equivalente, una pendiente del 65%. Cabe notar que esto es el ideal, pudiendo utilizarse inclinaciones menores por problemas constructivos pero asumiendo que se perderá algo de eficiencia en la transmisión de la luz solar hacia el interior del invernadero. Conviene también señalar que es

altamente probable, dependiendo de los requerimientos del cultivo en particular, que durante el verano se deba sombrear ligeramente o encalar el techo para disminuir el excesivo ingreso de luz.

d. Ubicación de los Estanques de hidroponía

Se recomienda que el o los estanques de hidroponía se encuentren al interior del invernadero, de esta forma las pérdidas de calor desde este estanque se transmitirán al aire interior y no se perderán en el exterior. Así mismo sería recomendable ubicarlos en un lugar donde le pueda llegar la luz solar directa en invierno, pudiendo evitar esto mismo en verano.

e. Volumen de los Estanques de hidroponía

Entre mayor sea el volumen de agua que se encuentre dentro del invernadero, más suaves serán los cambios de temperatura del aire en su interior y por sobre todo del agua. Esto es conocido como inercia térmica y quiere decir que, dado que un mayor volumen de agua contendrá más energía almacenada, esta agua se enfriará o calentará más lento ante cambios en la temperatura ambiente. Así por ejemplo, se puede lograr una reducción significativa en la cantidad de energía que sería necesaria para mantener una temperatura del agua suficientemente baja en verano para que no se dañe el cultivo ni se detenga su crecimiento, la que se logra sólo con circulación de agua entre el estanque y las camas, dado que el agua del estanque demorará más en calentarse. En este proyecto piloto se lograron buenos resultados con un volumen de agua en los estanques entre 1,5 a 2 veces el volumen de agua en las camas de cultivo hidropónicas.

4. Método de dimensionamiento térmico y diseño del sistema de climatización.

a. Modelo de transferencia de calor.

Un modelo de transferencia de calor general para un invernadero considera todas las ganancias y pérdidas de calor, es decir toda la energía intercambiada con el exterior a través de los distintos métodos de transferencia de calor como son la conducción, convección, radiación e infiltraciones o ventilación. Además se debe considerar el calor aportado o retirado por los elementos de climatización y el utilizado por las plantas. Sin embargo, dependiendo del tipo de cultivo, se debe poner atención también a las condiciones particulares de algunos elementos dentro del invernadero como el aire o el agua, esto último sobre todo en los cultivos hidropónicos. De esta forma, al existir ciertas hortalizas para las cuales las temperaturas mínimas del aire que se alcanzan al interior de un invernadero situado en la Región Metropolitana no representan una amenaza, pero sí se puede lograr

una mejora de rendimiento por mantener la temperatura del agua en un rango óptimo, se deberá modelar con especial atención la transferencia de calor de los estanques de hidroponía y de las camas de cultivo.

El flujo de calor entre los estanques y las camas de hidroponía tendrá especial importancia en cuanto a la gestión energética del invernadero, ya que se debe procurar capturar en el agua la mayor cantidad de energía posible proveniente de manera gratuita desde el sol, para luego suplir lo necesario para alcanzar las temperaturas óptimas con la bomba de calor geotérmica. Para esto se recomienda instalar un termostato programable para al menos dos temperaturas en horarios distintos, el que permita hacer circular con mayor frecuencia el agua entre el estanque y las camas de hidroponía cuando la temperatura de las camas está muy por sobre o por debajo de la temperatura óptima de crecimiento para las plantas. Así, se almacenará energía térmica en el estanque cuando esta sobre las camas y se devolverá a las camas cuando la temperatura de estas baje más allá de lo establecido como mínimo.

Se debe dimensionar el sistema para que la bomba de calor funcione, en lo posible, en los horarios de tarifa eléctrica más baja, fuera de las horas punta que son entre las 18:00 y las 23:00 hrs. Dependiendo de la tarifa eléctrica que se contrate, podría convenir también utilizar una bomba de calor con la menor potencia posible, aunque esta funcione por más tiempo, y aumentar la capacidad de almacenamiento. De esta forma se utilizaría una baja potencia máxima demandada, que en algunas de las tarifas es una medida de cobro. Se recomienda incluir un termostato que comande la calefacción del agua de acumulación y que se pueda programar en distintos horarios. Así mismo, también se recomienda implementar un termostato programable que comande el sistema de calefacción a través de la circulación del agua caliente acumulada, para al menos dos temperaturas distintas en dos horarios distintos. De esta forma se podrán establecer temperaturas de día y noche para no gastar energía de noche cuando las plantas detienen su desarrollo por falta de luz, pero tener la temperatura óptima en el agua en cuanto la luz solar aparezca.

Para realizar este dimensionamiento se recomienda modelar utilizando las temperaturas mínimas promedio del mes más frío de invierno, corroborando además los cálculos para el día más frío de invierno de manera de asegurar que, al margen de mermar el crecimiento por un día, no se producirán daños por temperaturas bajo 0°C. Esto pues se debe dimensionar el sistema para satisfacer las necesidades de calefacción en las condiciones más demandantes, lo que en el caso de la calefacción ocurre durante las madrugadas invernales. Para la refrigeración, por la experiencia recopilada en este proyecto se puede decir que un equipo reversible calor/frío dimensionado para cumplir con la calefacción del agua del invernadero en invierno, cumplirá perfectamente sus funciones de refrigeración

del agua en verano con un invernadero bien gestionado, con los sombreos respectivos, estanques de hidroponía con suficiente inercia y bien ubicados de acuerdo a lo descrito en este manual. Si lo que se requiere es acotar la temperatura ambiental máxima al interior del invernadero durante las tardes de verano, no se recomienda utilizar este sistema pues sería extraordinariamente caro de operar y exigiría un gran sobredimensionamiento, respecto de lo necesario en invierno, para poder cumplir su cometido. En lugar de ello se recomienda revisar manuales de climatización de invernaderos citados en la bibliografía de este manual y evaluar opciones de ventilación tanto natural como forzada, además de nebulizadores que también ayudan a combatir la baja humedad de los días de verano en la Región Metropolitana.

Para el dimensionamiento del sistema de calefacción, dado que se realizará para cumplir con la temperatura requerida en una madrugada invernal, no se considerará a la radiación solar dentro del balance de energía instantáneo, pero sí la radiación de onda larga que emite el invernadero en una noche despejada.

Para estimar la potencia de calefacción necesaria para mantener una cierta temperatura en el ambiente interior del invernadero se deberán calcular las pérdidas térmicas por conducción, convección, radiación y renovación del aire.

Luego las pérdidas térmicas serán equivalentes a la potencia que hay que entregar al invernadero para que mantenga las condiciones deseadas. De esta forma se llegará a la potencia máxima que debe poder entregar el sistema de calefacción en su conjunto. Esto no significa que esa deba ser la potencia de la bomba de calor ya que según ya se mencionó se privilegiará utilizar potencias menores en las bombas y que estas funcionen por más tiempo, de manera de reducir la tarifa eléctrica.

Algunas consideraciones a tener en cuenta para minimizar la potencia de calefacción necesaria tienen que ver con el manejo del viento, la radiación en las noches despejadas y la renovación de aire.

Se recomienda la utilización en invierno de pantallas que disminuyan la velocidad del viento sobre el invernadero. Para esto se pueden instalar, a una distancia razonable para que no produzca sombras indeseadas, pantallas de malla rachel que disminuyan la velocidad del viento y, por lo tanto, las pérdidas por convección. Como ejemplo se puede mencionar que para un invernadero de 32x28 m. con cubierta simple de polietileno térmico, con una temperatura exterior de 3°C y una interior de 10°C, las pérdidas por convección y conducción al aire serán de 7,2 kW y 26,4 kW respectivamente para una condición sin viento y una con viento de sólo 3 m/s (11 km/h). Si bien en la Región Metropolitana lo más común es que las noches frías y

despejadas no sean ventosas, de todas formas la influencia de la velocidad del viento es aún mayor que las bajas temperaturas.

La radiación en las noches despejadas de invierno puede ser causante de grandes pérdidas térmicas si no se toman las acciones adecuadas para limitarla. Una de ellas es la utilización de Polietileno Térmico para la cubierta, que bloquea algo así como el 85% de estas pérdidas, sin embargo lo más adecuado es la instalación de pantallas térmicas nocturnas, las que logran bloquear alrededor de un 97% de las pérdidas por radiación. Así, siguiendo con el ejemplo anterior, el mismo invernadero con la cubierta de polietileno térmico estaría perdiendo 24,4 kW en una noche fría y despejada de invierno, mientras que si contase con pantalla térmica aluminizada esta cifra se reduciría a 4,9 kW.

La renovación de aire puede ser la fuente de pérdidas térmicas más importante si no se maneja adecuadamente, lo que quiere decir que se debe realizar sólo en las horas en que no represente un pérdida de calor o esta sea menor, cuando la temperatura exterior sea cercana a la requerida al interior del invernadero. De no ser así, el consumo de energía se puede descontrolar fácilmente. Cuando se hace renovación del aire del invernadero, se deben considerar dos tipos de pérdidas térmicas, las sensibles para llevar el aire desde la temperatura exterior a la interior y las latentes para evaporar la cantidad de agua necesaria para igualar la humedad relativa. Nuevamente retomando el ejemplo, si ese invernadero hace 0,75 recambios de su volumen en una hora, que es considerado una cifra modesta, a la hora de mínima temperatura, esto significaría una pérdida de casi 69 kW, muy superiores a las calculadas para todos los otros fenómenos de pérdidas de calor. Por este motivo, la recomendación máxima en este sentido es mantener la cubierta del invernadero en excelente estado de conservación y cerrar muy bien todas las puertas y ventanas de manera de minimizar las pérdidas por infiltración durante la noche.

Para el dimensionamiento del sistema estanque acumulador de calor-bomba de calor, de acuerdo a la experiencia de este proyecto se considera que es suficiente que el sistema pueda entregar esa potencia máxima de diseño por 4 horas, lo que permitirá utilizar una bomba de calor de menor potencia pero que funcione por más tiempo.

En caso que el requerimiento del cultivo sólo se relacione con mantener la temperatura del agua de hidroponía, como fue en el proyecto piloto que origina este manual, en la modelación de estanques y camas se deberá considerar que la temperatura mínima promedio del interior del invernadero será unos 3°C mayor que la mínima promedio exterior.

La pérdida de calor en los estanques y las camas de hidroponía es algo complejo de calcular, por lo que para realizar un adecuado dimensionamiento del sistema se deberán hacer algunos supuestos y adaptaciones de correlaciones o fórmulas utilizadas en otros ámbitos de aplicaciones similares de climatización.

A través de las mediciones realizadas en el proyecto piloto, se pudo constatar que el equilibrio entre ganancias y pérdidas de calor hace que la temperatura promedio del agua en el invernadero tienda al valor de la temperatura promedio del aire en su interior. Sin embargo, debido a la mayor inercia térmica que tiene el agua, por su masa y su capacidad calórica, la oscilación de temperaturas de esta última es menor que la del aire. Esto significa que la temperatura mínima diaria del agua es más alta que la del aire y la máxima diaria más baja que la del aire. Luego para estimar la potencia de calefacción necesaria se considerará sólo la diferencia de temperatura extra que debe aportar el sistema. Al respecto se observó que el promedio de las temperaturas mínimas del agua, en un invernadero con la inercia adecuada, resulta ser 3°C mayor que el promedio de la temperatura del aire dentro del invernadero, siendo esta última también unos 3°C mayor que la temperatura ambiental o exterior. Como consecuencia de esto, la temperatura de base del agua que se usará para el dimensionamiento y estimación de consumo del sistema de calefacción será la temperatura mínima promedio del mes más frío, más 6°C. Para el piloto en la comuna de Lampa, las mínimas promedio más frías corresponden a los meses de Junio, Julio y Agosto, siendo de 3°C, por lo que se considerará como temperatura de base para el agua una mínima de 9°C. Es importante recalcar que esto es aplicable para la Región Metropolitana y con la inercia adecuada, dada por la cantidad de agua en los estanques y camas, así como por las estrategias de circulación de agua adecuadas. Entendiendo entonces que esas son las temperaturas de equilibrio del invernadero sin ninguna adición de calor más que la radiación solar, para dimensionar el sistema de calefacción se deberán estimar las pérdidas marginales ocasionadas por mantener una temperatura por sobre la de equilibrio en el agua. Esto porque si se dimensiona a partir de las pérdidas totales, se estaría obviando el efecto de la radiación solar y, por lo tanto, el equilibrio natural del sistema térmico del invernadero, lo que resultaría en un sobredimensionamiento de los equipos y del consumo esperado.

b. Pérdidas de calor en las camas:

En las camas de hidroponía se despreciarán las pérdidas por conducción hacia la cama por estar bien aislada y las debidas a la renovación del agua evaporada porque el agua de reposición se tomaría del pozo con una temperatura muy cercana a la óptima (18°C en el caso del pozo del proyecto piloto). Se considerarán las pérdidas de calor por evaporación, convección y radiación para los casos de camas con agua expuesta. Si en cambio el agua está cubierta como ocurre con algunos

métodos de cultivo de lechugas insertas en una plancha de poliestireno, la evaporación también deberá despreciarse y para la convección y radiación se deberá considerar antes la conducción a través de la plancha de poliestireno.

Para estimar la evaporación marginal provocada por la temperatura adicional del agua, se realizará una adaptación de la fórmula de Carrera para evaporación en piscinas, eliminando el término relativo a la agitación y considerando un factor de 2/3 para la superficie de la lámina de agua, asumiendo que lo demás está cubierto por los tallos de las plantas. Se propone la utilización de esta fórmula pues incluye la velocidad de movimiento relativo entre el agua y el aire, considerando convección forzada cuando el agua está en circulación. Por eso se recomienda utilizarla por separado para los periodos en que el agua está sin movimiento y cuando está circulando, ponderando las pérdidas calculadas de acuerdo a los tiempos de cada estado y sumando sus efectos.

$$M_{evap} = \frac{2}{3} S * \left(1 + \frac{V}{1,2}\right) * (W_{e2} - W_{e1}) \left(\frac{kg}{h}\right)$$

Donde:

M_{evap} = Masa evaporada (kg/h)

S = Superficie de las camas hidropónicas (m²)

V = Velocidad del agua cuando está recirculando (m/s)

W_{e1} = Humedad absoluta del aire saturado a la temperatura del agua de las camas sin calefacción. (kg agua/kg aire)

W_{e2} = Humedad absoluta del aire saturado a la temperatura del agua de las camas con calefacción. (kg agua/kg aire)

Luego:

$$Q_{evap} = M_{evap} * h_{fg\ agua} (kW)$$

Donde $h_{fg\ agua}$ (kJ/kg*K) es la entalpía o calor latente de evaporación del agua.

Para estimar las pérdidas de calor por convección se utilizará la siguiente expresión:

$$Q_{conv} = \frac{2}{3} S * 0,6246 * \left[(T_{ag2} - T_a)^{\frac{4}{3}} - (T_{ag1} - T_a)^{\frac{4}{3}} \right] (kW)$$

Donde:

Q_{conv} = Calor perdido por convección

$T_{ag1} = T_{min\ amb} + 6$ = Temperatura mínima ambiental + 6 K = Temperatura del agua sin calefacción en K

T_{ag2} = Temperatura del agua con calefacción en K

$T_a = \text{Temperatura interior del invernadero} = T_{\min amb} + 3$

Por último para estimar las pérdidas de calor marginales por radiación:

$$Q_{rad} = \frac{2}{3} S * \varepsilon_a * \sigma * (T_{ag2}^4 - T_{ag1}^4) \text{ (kW)}$$

Donde:

ε_a = Emisividad del agua

σ = Constante de Stefan-Boltzmann

T_{ag2} = Temperatura del agua calefaccionada

T_{ag1} = Temperatura del agua sin calefaccionar = $T_{\min amb} + 6$

Para los estanques se recomienda recurrir a un buen aislamiento, incluyendo un recubrimiento aluminizado contra las pérdidas por radiación. En caso de utilizar estanques aislados comerciales, las pérdidas de calor deberán calcularse con el coeficiente de pérdida de calor entregado por el fabricante.

$$Q_{estanque} = h_e * (T_{agua} - T_{aire})$$

Donde h_e = Coeficiente de pérdida de calor entregado por el fabricante (kW/K)

En caso de utilizar, tanto para el sistema de acumulación de calor como para el sistema del agua de hidroponía, estanques sin especificaciones térmicas, se recomienda utilizar alguno de los pequeños softwares o planillas que circulan por la web basados en el paper "Predict Storage Tank Heat Transfer Precisely" - de J.Kumana y S.Kothari. Estos calculan las pérdidas de calor de forma bastante precisa y muestran también la gran importancia de la aislación térmica en el ahorro de costos debido a estas pérdidas.

Como ya se ha dicho, se recomienda encarecidamente la instalación de todos los estanques al interior del invernadero, por lo que al igual que para el cálculo de las pérdidas de calor en las camas de hidroponía, se utilizará una temperatura del aire exterior al estanque 3°C mayor que la media mínima mensual ambiental.

c. Dimensionamiento del intercambiador de calor para el o los estanques.

Es de gran importancia un dimensionamiento adecuado del intercambiador de calor que calentará o enfriará el estanque hidropónico ya que, si este no se dimensiona correctamente, aunque se tenga energía suficiente acumulada para subir la temperatura del agua hidropónica o evitar que esta se enfríe, el sistema no ejercerá el efecto esperado. Así, se debe tener claro cuál será la temperatura del acumulador

de la bomba de calor en las estaciones cálida y fría y la temperatura requerida en el estanque de hidroponía. Con esos datos y los del material y geometría del intercambiador, se determinará con la siguiente ecuación el área de intercambio necesaria.

$$Q_{int} = U * A * (T_{bc} - T_e)$$

Donde:

Q_{int} = Calor entregado (retirado) por el intercambiador (kW)

U = Coeficiente global de intercambio de calor (kW/m²K)

A = Área de intercambio de calor (m²)

T_{ac} = Temperatura del agua del acumulador (K)

T_e = Temperatura del agua del estanque o cama hidropónica (K)

En caso de no contar con un valor para U , se deberá diseñar desde el principio el intercambiador, tarea evidentemente más compleja y que excede los alcances de este manual.

Luego con el área calculada, se deberá optar por la configuración que más acomode en términos de costo y facilidad de manufactura y montaje.

Se debe considerar que entre más cerca esté la temperatura del agua que calienta la bomba de calor y la de la fuente de calor (pozo o tierra), mayor será el COP con que estará operando la bomba y, por lo tanto, se obtendrá más energía térmica por unidad de energía eléctrica consumida. En ese sentido, conviene más que la temperatura de diseño del agua caliente sea la mínima que permite la bomba de calor, normalmente 40°C, aunque esto signifique contar con una mayor superficie de intercambiador de calor. Esto porque la mayor superficie de intercambio representará una mayor inversión inicial para el proyecto, la que sin embargo corresponde a una fracción de la inversión total. En cambio, el operar permanentemente con un COP de 3,5 o de 5 hace una gran diferencia en el consumo energético por toda la vida útil del sistema. Esto pues significaría que en el primer caso se están obteniendo 2,5 unidades de energía gratis del ambiente por cada unidad de energía eléctrica pagada, en tanto que en el segundo se obtienen 4 unidades gratis del ambiente por cada unidad pagada. Esto significaría que la cuenta de electricidad sería un 42% más alta mientras se esté utilizando el sistema para calentar agua.

d. Proyección de consumo energético según estacionalidad y condiciones climáticas.

En vista de que cada proyecto de invernadero será distinto, se propone la utilización de una medida estandarizada para la estimación de la necesidad de calefacción o enfriamiento de un invernadero. Esta medida estandarizada son los grados día de calefacción y enfriamiento, los cuales sirven de base para la zonificación térmica de Chile que hace el Ministerio de Vivienda y Urbanismo en la Reglamentación Térmica de Vivienda incorporada a través del Decreto N°115 del 02/09/99 en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.

Zona Térmica	Grado día anual (15°C)
1	≤ 500
2	> 500 - ≤ 750
3	>750 - ≤ 1000
4	>1000 - ≤1250
5	> 1250 - ≤ 1500
6	>1500 - ≤ 2000
7	> 2000

Según esta clasificación y algunas referencias consultadas, la Región Metropolitana corresponde a zona 3 o 4. Además existen otras fuentes públicas que nos permiten saber cuántos Grados día hay en determinado lugar en la base que seleccionemos de acuerdo a la temperatura del ambiente o del agua deseada (10, 12, 15, 18, 20°C) como el sitio <http://www.degreedays.net>. Por otro lado Orlando Sepúlveda Mellado en su Sectorización Climático-Habitacional de las Regiones de Valparaíso y Metropolitana, da cuenta de las lógicas diferencias existentes entre distintos lugares de una misma región. La Región Metropolitana presenta un Clima templado cálido con lluvias invernales y una estación seca prolongada (7 a 8 meses) y según Sepúlveda la zona de Lampa, donde se desarrolló este proyecto, se encuentra en el sector que denomina Valle Central Sur (VCS). Cuyas características publican Santibañez y Uribe en su Atlas Agroclimático de Chile.

Parámetro	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
T máx med (°C)	28,2	27,3	24,7	21,3	17,8	15,3	14,4	14,9	17,2	20,6	24,3	27,2	21,1
T mín med (°C)	10,9	10,5	9,3	7,6	6	4,8	4,4	4,4	5,4	7	8,8	10,3	7,5
Osc Térm (°C)	17,3	16,8	15,4	13,7	11,8	10,5	10	10,5	11,8	13,6	15,5	16,9	13,9
T media (°C)	18,7	18	16,2	13,8	11,4	9,6	9	9,2	10,8	13,2	15,8	17,9	13,6
Hrs. Frío (<7°C)	0	0	5	30	106	233	285	275	154	48	9	0	1.147
R solar (Ly/día)	603	575	497	391	285	207	179	207	285	391	497	575	391
Hum Relat (%)	63	64	68	72	77	80	81	79	76	71	67	64	72
Precipitac. (mm)	5,9	6,3	9,6	22,6	77,9	92,5	77,4	64,9	28	16,7	10	7,1	419
N° heladas (<0°C)	0	0	0,02	0,22	1,03	2,32	2,93	2,97	1,7	0,45	0,03	0	11,67

Fuente: Santibañez, Fernando; Uribe, Juan Manuel. "Atlas Agroclimático de Chile, Regiones de Valparaíso y Metropolitana". Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 1990.

Luego se distinguirán dos formas de dimensionar los equipos a utilizar, una para aquellos invernaderos que necesiten mantener una temperatura en el aire y otra para aquellos cuya necesidad sólo queda acotada a la temperatura del agua en las camas hidropónicas.

Para el primer caso se utilizarán los grados día en una base concordante con la temperatura requerida menos 3°C, ya que de acuerdo a las mediciones realizadas el invernadero mantiene por sí solo, sin la ayuda de calefacción, es decir en equilibrio natural entre las ganancias por radiación solar y todas las pérdidas, una temperatura promedio 3°C mayor que la exterior. Así, por ejemplo, si la temperatura ideal de crecimiento de un cultivo es de 15°C, se deberá buscar los Grados Día de calefacción en base 12°C para luego evaluar la energía necesaria a lo largo del año para mantener esa temperatura. Posteriormente se aplicará la fórmula de transferencia de calor, ya sea utilizando el coeficiente global de pérdidas "U" o la conductancia de cada elemento del invernadero, con lo que se puede ver fácilmente por cuáles de ellos se producen las mayores pérdidas y visualizar posibles mejoras de eficiencia energética.

(Mayores detalles en el "Manual de Implementación de Sistema de Bomba de Calor Geotérmica para la Climatización y Acondicionamiento de Agua para Invernaderos de la Región Metropolitana de Santiago, Chile")

PARAMETRO AGRONOMICOS CULTIVO DEL BERRO HIDROPONICO

HIDROPONIA

La producción de cultivos hidropónicos o hidroponía corresponde a un sistema productivo que busca realizar la producción agrícola sin la necesidad de usar el suelo agrícola, mediante la aplicación de soluciones minerales para la nutrición del cultivo. De esta manera, los cultivos pueden ser desarrollados en diversos tipos de sustratos inertes, entre los que se destacan la arena, la graba, la fibra de coco entre otros, o bien en contacto directo con una solución nutritiva disuelta en agua.



La producción de cultivos hidropónicos permite la obtención de hortalizas de alta calidad y sanidad, permitiendo además, un uso más eficiente del agua y de los fertilizantes, siendo los rendimientos por unidad de área cultivada muy altos, por la mayor densidad y la elevada productividad por planta. Por lo tanto, la hidroponía es el método más intensivo y de mayores niveles tecnológicos en la producción hortícola, situación que establece barreras de entrada más altas debido a los altos costos de inversión para su establecimiento.



La producción de cultivos hidropónicos presenta una serie de ventajas y desventajas respecto a los cultivos desarrollados de manera más tradicional. Entre las principales ventajas podemos destacar:

- a) La posibilidad de regular la nutrición del cultivo debido a que bajo este sistema se puede homogenizar el suministro de nutrientes por planta y, por lo tanto, llevar un control mucho más acabado del cultivo, ajustado a su estado fenológico.
- b) Es posible mantener niveles de humedad constante y acorde a las necesidades de las plantas eliminando, de esta manera, problemas de estrés hídrico y evitando el desperdicio de agua y de fertilizantes.

- c) El sistema además permite disminuir ostensiblemente la presión de plagas y enfermedades provenientes del suelo y, en caso de ocurrir, estas pueden ser eliminadas en forma muy focalizada y a un muy bajo costo.
- d) Mediante el sistema hidropónico es factible aumentar ostensiblemente la densidad de producción, existiendo solo como límite la luminosidad que recibe el cultivo. Es importante mencionar que esta última puede ser manejada de acuerdo a las condiciones del invernadero y la creatividad del productor para lograr los mayores niveles de eficiencia productiva.

Entre las principales desventajas del cultivo, podemos mencionar:

- a) Este tipo de sistema productivo presenta una alta inversión inicial, situación que genera una gran barrera de entrada a los productores que desean incursionar en este tipo de cultivos.
- b) En este sistema de producción existen barreras tecnológicas importantes respecto a los usuarios de estas, ya que es necesario disponer de personal capacitado para monitorear en forma continua el funcionamiento del sistema como también de los cultivos inmersos en este. Es importante mencionar que al ser un sistema cerrado de producción es importante mantener un continuo monitoreo del cultivo, en especial, en el caso de aparición de enfermedades o plagas, ya que rápidamente pueden extenderse al resto del cultivo si no son detectadas a tiempo.

Métodos o Sistemas de Producción Hidropónica.

Existen diferentes métodos o sistemas de producción hidropónica, los que varían de acuerdo a su nivel de complejidad. Estos pueden presentar niveles de sofisticación muy bajos o sencillos hasta sistemas que presentan altos grados de tecnología y automatización. De esta manera los métodos o sistemas de producción hidropónica pueden ser clasificados de acuerdo al medio en que se desarrollan las raíces del cultivo, estos son los Cultivos en Sustrato Sólido, los Cultivos en Aire o Aeroponía y los Cultivos en Agua, los que son descritos a continuación.

- a) **Cultivo en Sustrato Sólido:** Este método de cultivo corresponde al sistema más aceptado y usado para cultivar diversas especies de hortalizas, debido a que es menos exigente respecto a los cuidados que requiere.

Es importante mencionar que el sustrato no solo proporciona soporte para la planta, sino que favorece el desarrollo radicular, una excelente nutrición, el fortalecimiento de tallo, un mejor intercambio catiónico, entre otros. Por lo tanto, es relevante realizar una adecuada elección del sustrato, de acuerdo al tipo de cultivo que



se realizará, con el fin favorece el desarrollo de plantas sanas desde la germinación hasta el momento de la cosecha.

- b) **Los Cultivos en Aire o Aeroponía:** Este método de cultivo se caracteriza por la disposición de las plantas y sus raíces suspendidas en el aire, las que son constantemente pulverizadas con una nube de solución nutritiva.

En este sistema las raíces de la planta crecen en una cámara o canal donde están alimentadas por aspersores o pulverizadores que distribuyen la solución nutritiva, gracias a una bomba de agua.

Las plantas cultivadas en Aeroponía tienen acceso constante a oxígeno y solución nutritiva; absorbiendo mucha más agua y nutrientes que las plantas regadas a mano.



- c) **Los Cultivos en Agua:** Este método de producción se caracteriza por el sumergimiento de las raíces, en forma directa, en una solución nutritiva. En general, las plantas son fijadas en una plancha de polietileno expandido que flotan sobre el agua con la solución nutritiva en donde la plancha actúa como soporte mecánico y cada una flota sosteniendo un determinado número de plantas.

Es importante mencionar que la solución nutritiva debe presentar una buena aireación o nivel de oxígeno, esencial para las raíces, lo cual debe ser asegurado mediante algún medio manual o mecánico y durante periodos programados de aireación.



Es importante mencionar que para efectos de este manual, el sistema usado para el trabajo con las Bombas de Calor en Berros es el de Cultivos en Agua. Este último sistema fue elegido debido a que es uno de los más usados en los proyectos de hidroponía tanto de índole empresarial como social en diferentes países latinoamericanos.

Requerimientos de un cultivo hidropónico.

Para el funcionamiento de cualquier sistema hidropónico, es necesario que se cumplan ciertas características mínimas para el desarrollo del cultivo, debiéndose tener especial consideración con la temperatura, luz, el CO₂, el pH y la CE, la humedad y el contenido de oxígeno en la zona de radicular, estos requerimientos se describen a continuación:

- a) **Temperatura:** La temperatura actúa como controlador del crecimiento de las plantas, al influir sobre la aceleración de los procesos químicos internos cuando esta aumenta, los que se ven regulados por la acción de diferentes enzimas las cuales son funcionales a determinados rangos de temperaturas. De esta forma, si las temperaturas se encuentran fuera de los rangos necesarios para el cultivo, la actividad enzimática comienza a deteriorarse, teniendo como consecuencia que los procesos químicos se desarrollen más lentos o que simplemente se detengan.

Los requerimientos de temperatura para los cultivos son descritos en diversos estudios, pero existe escasa información respecto a la temperatura de los sustratos o de las soluciones nutritivas. Pese a esto, la información disponible indica que existen bastante influencia para el cultivo, como por ejemplo temperaturas muy bajas causa una baja absorción de agua por ende de nutrientes, pudiendo causar marchitamiento y clorosis, así como altas temperaturas pueden afectar el desarrollo normal de las plantas, la reacción a las temperaturas del sustrato, dependen del origen de las plantas, así como para plantas de origen tropical, una baja en la temperatura del sustrato le es beneficioso, para las especies de clima frío sucede lo contrario, manteniendo en ambos casos rangos que no produzcan alteraciones en el normal desarrollo de las raíces.

- b) **Luz:** La luz es un factor de alta importancia para obtener buenos rendimientos productivos, debido a que se encuentra asociado al proceso fotosintético y a la absorción de nutrientes requeridos por los diversos tipos de cultivos.

La energía luminosa del espectro visible es la más importante para el desarrollo de las plantas, ya que ayuda a los procesos de fotosíntesis, que son determinantes para el óptimo desarrollo de la misma. Pero no todas las longitudes de onda del espectro son útiles a la fotosíntesis. En general, los fotoreceptores en la clorofila absorben más luz azul-violeta y rojo-naranja y debido a que diferentes partes del espectro de luz visible es usada en la fotosíntesis con mayor eficiencia que otros, la calidad de la luz tiene un efecto importante en la eficiencia del proceso.

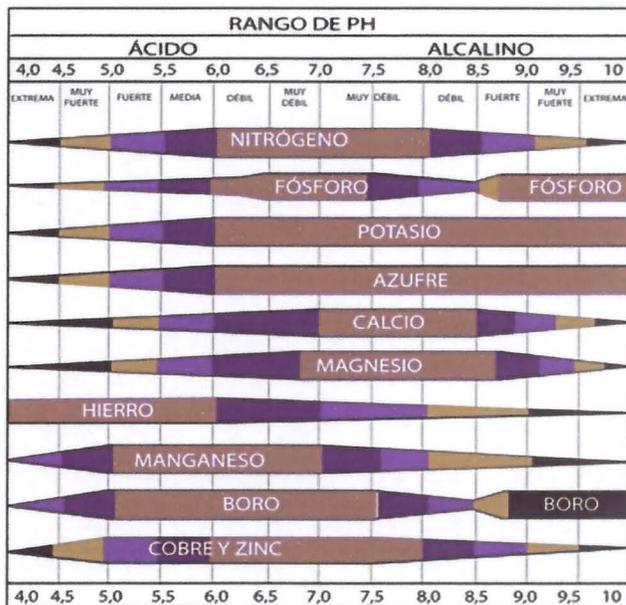
En relación al proceso fotosintético y de absorción de nutrientes, en especial de nitratos, las plantas deben utilizar energía para convertirlo en amonio, la cual se obtiene de la luz y la fotosíntesis, por lo tanto la asimilación y reducción del nitrato está estrechamente relacionado con la tasa de fotosíntesis. Bajo condiciones de alta luminosidad, donde la planta tiene una alta tasa de fotosíntesis, el nitrato es rápidamente asimilado y convertido, lo que sucede en forma contraria bajo condiciones de baja luminosidad, donde las plantas están forzadas a producir suficiente energía para la conversión de nitrato a amonio, y se tiende a reducir la energía disponible para el crecimiento.

Cabe recordar que existen cultivos denominados de día largo, los cuales necesitan disponer de luz artificial cuando la natural ya no es suficiente, pero se debe tener en cuenta el factor económico que está implícito en el uso de dicha energía; en cambio, muchas veces en el verano es necesario recurrir a un sombreado de las plantas debido al exceso de luz.

c) **CO₂**: El aporte de CO₂ en un sistema de cultivo puede ser fundamental para asegurar un óptimo desarrollo del cultivo, debido a que frente a aumentos de las concentraciones de este componente se pueden obtener aumentos de rendimiento, manteniendo siempre un nivel que no sea tóxico para el humano y ventilando constantemente cuando se trata de sistemas cerrados como invernaderos. Se debe tener también en cuenta que los aumentos de concentraciones deben estar acompañados de luminosidad, para asegurar fotosíntesis, de lo contrario se debe resguardar el aporte de éste. Es importante recordar que la cantidad normal de CO₂ en el aire es de 350 ppm los cuales en día de sol pueden disminuir hasta 100 ppm lo cual se traduce directamente en una disminución de la fotosíntesis. Así, algunos autores recomiendan que en etapas de luminosidad se podrían añadir unos 1.000-1.500 ppm de CO₂ y 350 ppm durante las horas de oscuridad.

d) **pH y CE**: La función del pH en la hidroponía está directamente relacionada con la solución nutritiva, debido a que condiciona la disponibilidad de nutrientes para la planta facilitando o dificultando su absorción de acuerdo a su nivel. De esta manera, cada especie presenta diversas tolerancias al pH, por lo que es primordial conocer bien los requerimientos del cultivo. Un ejemplo de esto es el Berro, cultivo que puede soportar pH en el rango comprendido entre 5,5 y 8.

También se sabe que tanto con pH altos como bajos se produce un efecto antagónico, con esto hacemos referencia a que los elementos entran en competencia uno con otro evitando su absorción por las raíces generando un estrés que inhabilita el desarrollo de la planta por lo cual se recomienda



Mediante este esquema se puede observar a que niveles se encuentran disponibles los elementos esenciales para la planta en su desarrollo, entre más gruesa la barra mayor asimilación y caso contrario cuando es angosta.

trabajar en pH de 5.5 - 6.5 ya que en este rango la planta asimila fácilmente y los elementos se encuentran solubles.

Además, poder controlar el pH es una de las ventajas que se tienen en comparación con el cultivo en tierra, pudiéndose realizar muestreos y ajustes con facilidad.

La conductividad eléctrica es un indicador indirecto de la concentración salina del agua y de la solución nutritiva, pudiéndonos dar un indicio si el agua a utilizar es la adecuada y sobre la vida útil de la solución nutritiva en el sistema. Al comienzo el agua de nuestra fuente deberá contar con el nivel más bajo posible de conductividad eléctrica, siendo adecuados valores de 0,7 a 1,2 mS/cm. Luego del agregado de sales, al formular la solución, la conductividad dependerá del cultivo y el estado de crecimiento. Por ejemplo, el Berro tiene márgenes para su desarrollo entre 1,6 a 2,0 mS/cm.

e) **Humedad:** La humedad del aire está relacionada con la velocidad de transpiración de la planta la que, frente a una elevada humedad, produce una baja transpiración reduciéndose el transporte de nutrientes desde las raíces hacia las hojas. En los sistemas en que al ambiente del cultivo se aporta humedad este debe ir en directa relación con la absorción de CO₂, al estar en cantidades suficientes, y también tiene una influencia directa en el trabajo que desempeñan los estomas, en este sentido, son especialmente exigentes las plantas de un gran sistema foliar que transpiran mucha agua. La humedad ambiente es posible de controlar con diversos sistemas, pero se debe tener cuidado con la incidencia de hongos. Agregando a lo anterior, algunos especialistas indican que una alta humedad relativa puede facilitar la incidencia de enfermedades, como es el caso de la Botrytis.

f) **Contenido de oxígeno en la zona de radicular:** El sistema radicular requiere oxígeno para la respiración aeróbica, un proceso esencial que libera la energía requerida para el crecimiento radicular. De esta manera, los cultivos se ven favorecidos con un sustrato de estructura porosa y la aireación complementaria de la solución, así como también al constante aporte de oxígeno a la solución nutritiva cuando se trata de un cultivo de raíz flotante.

La disponibilidad de oxígeno en la zona radicular es clave para el desarrollo de los ápices radiculares, los que presentan una gran demanda de energía para la producción y crecimiento celular, por lo tanto, son vulnerables a la carencia de oxígeno y más aún, si existe una carencia de oxígeno en las raíces apicales que están en crecimiento, puede generarse una carencia de calcio, sobre todo en las partes, más nuevas de la planta, debido a que este elemento no se mueve rápido de las partes más viejas a las más nuevas de la planta.

Solución Nutritiva.

Para el desarrollo de una solución nutritiva, se debe disponer de agua con oxígeno y de todos los nutrientes esenciales que requiere el cultivo para su desarrollo. Además, en algunos casos, se pueden requerir algunos compuestos orgánicos tales como los quelatos de hierro y de algunos otros micronutrientes necesarios para las plantas.

En los cultivos hidropónicos todos los elementos esenciales se suministran a las plantas disolviendo las sales fertilizantes en agua para preparar la solución de nutrientes. La proporción relativa de iones que se debe añadir a la solución se debe comparar con la necesaria en la formulación del nutriente. Las diferentes sales fertilizantes que podemos usar para la solución de nutrientes tienen a la vez diferente solubilidad, es decir, la medida de la concentración de sal que permanece en solución cuando la disolvemos en agua; si una sal tiene baja solubilidad, solamente una pequeña cantidad de esta se disolverá en el agua.

La solución nutritiva se encuentra regida por las leyes de la química inorgánica, ya que tiene reacciones que conducen a la formación de complejos y a la precipitación de los iones en ella, lo cual evita que estos estén disponibles para las raíces de las plantas. La pérdida por precipitación de una o varias formas iónicas de los nutrientes, puede ocasionar su deficiencia en la planta, además de un desbalance en la relación mutua entre los iones.

Es esencial que la solución nutritiva tenga la proporción adecuada, necesaria para que las plantas absorban la solución, en caso contrario, se puede producir un desequilibrio entre los nutrientes, lo que da lugar a excesos o déficit en el medio de cultivo y afectar la producción. Es importante mencionar que la planta no absorbe nutrientes en la misma cantidad durante su ciclo productivo, ya que lo hace según la etapa fenológica y las condiciones climáticas, por lo que el equilibrio de la solución nutricional se adapta al ritmo de absorción de la planta.

De acuerdo a los requerimientos que las plantas tienen de los elementos minerales y considerando los diversos beneficios que obtienen de ellos, los podemos clasificar en Indispensables, Útiles y Prescindibles, de los cuales los más importantes son los esenciales, todos estos pueden verse en el siguiente cuadro:

Clasificación de los elementos minerales de acuerdo a los requerimientos de la planta.		Elementos esenciales o nutrimentos para el crecimiento de las plantas.					
Clasificación	Requerimientos de la planta	Elemento	Símbolo	Forma de absorción	Elemento	Símbolo	Forma de absorción
Elementos indispensables	Aquellos elementos de importancia vital para la nutrición de la planta y que reúnen los criterios de esencialidad.	Carbono	C	CO ₂	Zinc	Zn	Zn ²⁺ , Zn(OH) ₂ ^o
Elementos útiles	Aquellos elementos que en forma directa o indirecta benefician la nutrición de las plantas, sin ser indispensables en la nutrición mineral (Si, Co).	Hidrógeno	H	H ₂ O	Manganeso	Mn	Mn ²⁺
Elementos prescindibles	Aquellos elementos que son absorbidos por la planta, pero que no realizan funciones fisiológicamente específicas, o de beneficio directo o indirecto en el crecimiento de las plantas.	Oxígeno	O	H ₂ O, O ₂	Cobre	Cu	Cu ²⁺
		Nitrógeno	N	NH ₄ ⁺ , NO ₂ ⁻	Boro	B	B(OH) ₃ ^o
		Fosforo	P	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻	Molibdeno	Mo	MoO ₄ ²⁺
		Potasio	K	K ⁺	Cloro	Cl	Cl ⁻
		Calcio	Ca	Ca ²⁺	Silicio	Si	Si(OH) ₄ ^o
		Magnesio	Mg	Mg ²⁺	Sodio	Na	Na ⁺
		Azufre	Z	SO ₄ ²⁻	Cobalto	Co	Co ²⁺
		Hierro	Fe	Fe ²⁺ , Fe ³⁺	Vanadio	V	V ⁺

Fuente: Bennett (1997)

Los parámetros que caracterizan la solución nutritiva son el pH, la presión osmótica y las relaciones mutuas entre los aniones y los cationes.

El pH de la solución nutritiva se determina por la concentración de los ácidos y de las bases. El pH se define una vez que se establece la proporción relativa de los aniones y los cationes, y la concentración total de ellos en meL⁻¹, lo cual significa que el pH es una propiedad inherente de la composición química de la solución nutritiva y no puede cambiar independientemente.

El pH apropiado de la solución nutritiva para el desarrollo de los cultivos se encuentra entre los valores 5,5 y 6,5, sin embargo, el pH de la solución nutritiva no es estático, ya que depende del CO₂ en el ambiente, de que la solución nutritiva se encuentre en un contenedor cubierto o descubierto, del ritmo de absorción nutricional, de la fuente nitrogenada utilizada, etc.

La **presión osmótica (PO)** se define como la cantidad de iones de sales disueltos en la solución nutritiva que ejerce una fuerza sobre la membrana celular y depende de la especie y de la variedad del cultivo. Esta presión es directamente proporcional entre el aumento de iones y el aumento de esta presión. Esta presión es una propiedad físico-química de las soluciones, la cual depende de la cantidad de partículas o solutos disueltos. En la medida que la presión osmótica es mayor, las

plantas deben invertir más energía para absorber el agua y los nutrientes. Por ejemplo, la absorción de SO_4 es más restringida que la de NO_3 y H_2PO_4 ; el Ca más afectado que el Mg, y este que el K, lo cual ocasiona un desbalance de la solución nutritiva; este desbalance es un factor que influye en la pudrición apical de los frutos.

La **relación mutua entre aniones**, se basa en la relación mutua que existe entre los aniones NO_3^- , H_2PO_4^- y SO_4^{2-} , y los cationes K^+ , Ca_2^+ , Mg_2^+ , con los cuales se regula la solución nutritiva. Tal relación no solo consiste en la cantidad absoluta de cada ion presente en la solución, sino en la relación cuantitativa que guardan los iones entre sí, ya que de existir una relación inadecuada entre ellos, puede disminuir el rendimiento del cultivo.

La importancia del balance iónico comienza cuando las plantas absorben los nutrientes de la solución nutritiva diferencialmente. La razón de esta variación se debe a las diferentes necesidades de los cultivos, según especie y etapa de desarrollo, y la diversidad de condiciones ambientales. La restricción de estos rangos, además de ser de tipo fisiológico, es química, lo cual está determinado principalmente por la solubilidad de los compuestos que se forman entre HPO_4^{2-} y Ca_2^+ , y SO_4^{2-} y Ca_2^+ . El límite de solubilidad del producto de los iones fosfato y calcio es de $2,2 \text{ mmol L}^{-1}$, y del producto entre el sulfato y el calcio, de 60 mmol L^{-1} .

Las plantas son selectivas al absorber nutrientes, lo cual significa que, a pesar de que la solución nutritiva tenga una relación determinada entre aniones y/o cationes, al suministrar una solución nutritiva de relación arbitraria entre iones, las plantas los tengan que absorber en esa misma proporción. La relación original entre iones en la solución nutritiva, en circuitos cerrados, se modifica debido a la absorción de nutrientes por las plantas: generalmente se incrementan los SO_4^{2-} respecto a los NO_3^- , y el Ca respecto al K; sin embargo, la modificación de la solución nutritiva no es siempre en el mismo sentido, ya que depende también de las condiciones ambientales y de la etapa de desarrollo.

El ambiente influye más en la absorción de SO_4^{2-} que en la de $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$ y NO_3^- ; mientras que la absorción de Ca la afecta en mayor medida que la de K y Mg, lo cual se debe a los mecanismos de absorción de éstos últimos; el NO_3^- , el $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$, el K, y en menor proporción el Mg, las plantas los absorben en forma activa, lo que significa que invierten energía metabólica para absorberlos, en cambio al Ca y en menor cantidad al SO_4^{2-} , los asimilan mediante el flujo transpiratorio.

La planta absorbe mayor cantidad de agua que de nutrientes, lo cual propicia que la solución nutritiva tienda a aumentar su concentración. Además, los iones disueltos en la solución nutritiva cambian su relación mutua entre ellos debido a su absorción diferencial. En este sentido, el sistema hidropónico influye de manera

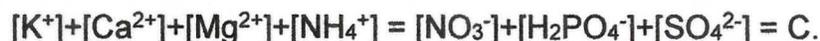
decisiva en sistemas cerrados, donde la solución nutritiva se recicla, lo que es fundamental considerar, debido a que se debe ajustar periódicamente la concentración y la relación mutua entre los iones.

El desbalance entre los iones en la solución nutritiva puede ocasionar antagonismo y/o precipitación entre algunos de ellos. La acumulación de SO_4^{2-} favorece la precipitación de Ca. El incremento de la acumulación de Ca provoca la pérdida por precipitación de SO_4^{2-} y $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$.

La **relación mutua entre cationes** es de gran importancia, ya que de no cuidar este aspecto, se pueden generar con relativa facilidad deficiencias de algún catión, por lo que es importante evitar no romper el balance entre ellos. Los cationes en la solución nutritiva son el K, Ca y Mg; una parte del N se puede incluir como NH_4^+ , pero en concentraciones inferiores al 25 %.

La relación mutua entre cationes varía en función de la etapa de desarrollo de las plantas, lo cual implica que tienen demanda diferencial. En ocasiones se genera desbalance entre K con Ca y/o Mg, al suministrar en la solución nutritiva cantidades de K que superan 45% de los cationes, lo cual provoca deficiencias de Mg y principalmente de Ca.

En general, las solución nutritiva que se utilizan para la producción de cultivos constan de seis macronutrientes esenciales: tres cationes (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) y tres aniones (NO_3^- , H_2PO_4^- y SO_4^{2-}), y en algunas soluciones NH_4^+ en pequeñas concentraciones. Simplificando, la solución nutritiva en seis macronutrientes, sin tomar en cuenta los iones H^+ , OH^- y las posibles disociaciones del H_2PO_4^- , se tiene:



Donde C es la cantidad total de aniones y cationes expresados en meL^{-1} . Al dividir la cantidad de meL^{-1} de cada ion por la cantidad total de los meL^{-1} (sumatoria de aniones y cationes), resulta la proporción de cada ion presente en la solución. Si se tiene la proporción de dos aniones o dos cationes, se puede determinar la proporción del tercero.

El **amonio en la solución nutritiva** (N-NO_3^-) es la fuente de N más adecuada para la mayoría de los cultivos, debiéndose evitar que su concentración supere el 80% de la suma de los aniones en la solución nutritiva. En contraposición, el N-NH_4^+ solamente puede ser usado en ciertos tipos de cultivos que se han adaptado a suelos ácidos, temperaturas frías o en condiciones de inundación, ya que altas concentraciones de NH_4^+ inducen toxicidad en el cultivo, la cual se atribuye a la acidez de la zona radical, a la acumulación de NH_4^+ y a la disminución en la absorción de cationes (K, Ca y Mg), lo que provoca desbalances en su interior.

Un adecuado balance entre N-NO_3^- y NH_4^+ para un cultivo es 75% y 25% respectivamente, aunque este porcentaje depende de la especie y, especialmente, de la etapa de desarrollo del cultivo.

La **temperatura de la solución nutritiva** influye en la absorción de agua y nutrientes. La temperatura óptima para la mayoría de las plantas es de aproximadamente 22°C , ya que en la medida que la temperatura disminuye, la absorción y asimilación de los nutrientes también lo hace. La baja temperatura de la solución nutritiva tiene mayor efecto en la absorción de fósforo que en la de nitrógeno y agua. Con temperaturas menores a 15°C se presentan deficiencias principalmente de calcio, fósforo y hierro.

Una de las causas de menor absorción de algunos nutrientes cuando la temperatura de la solución nutritiva es baja, se debe a que en esas condiciones la endodermis de la raíz se suberiza, con lo cual se reduce la permeabilidad y disminuye la absorción de agua y nutrientes.

El **contenido de oxígeno disuelto** en la solución nutritiva se encuentra directamente relacionada con la temperatura de la solución nutritiva e inversa relación con el oxígeno disuelto en ella.

En la solución nutritiva a 10°C , la concentración de saturación es de 10,93 ppm; a 15°C , de 10,2 ppm; a 25°C , de 8,5 ppm; a 35°C , de 7,1 ppm. A una temperatura menor de 22°C , el oxígeno disuelto en la solución nutritiva es suficiente para abastecer la demanda de la planta, sin embargo, el requerimiento es pequeño debido a que se reduce la velocidad de un buen número de procesos fisiológicos, entre ellos la respiración, lo que disminuye la absorción de agua y nutrientes y, por consiguiente, su crecimiento.

A temperaturas mayores a 22°C las condiciones son contrarias, pues la solución nutritiva no satisface la gran demanda de oxígeno debido a que, a mayor temperatura, aumenta la difusión de este gas. Si la solución nutritiva tiene altas temperaturas, el crecimiento vegetativo se incrementa en una magnitud mayor a la deseable. La concentración de oxígeno en la solución nutritiva también depende de la demanda del cultivo: en la medida en que aumenta el número de plantas, o cuando la actividad fotosintética es mayor, se incrementa el requerimiento de oxígeno.

El suministro de oxígeno en la solución nutritiva se puede lograr mediante su recirculación en los sistemas de raíz flotante o mediante su aplicación mediante una bomba de aire o un compresor. Es recomendable inyectar el aire en varios puntos de la solución nutritiva, con el fin de que la concentración de oxígeno sea más homogénea.

Preparación de la Solución Nutritiva.

La preparación de la solución nutritiva depende de las condiciones climáticas, del estado fenológico del cultivo y de la parte de este que se va a cosechar. Pese a lo anterior, por lo general, en la etapa vegetativa de la mayoría de los cultivos se requiere una mayor proporción de NO_3^- , ($12\text{-}15 \text{ meL}^{-1}$) a costa principalmente de los SO_4 y del H_2PO_4 , este se mantiene entre $1,0$ y $1,5 \text{ meL}^{-1}$. En cambio, en la etapa reproductiva, el NO_3 se reduce de $10\text{-}13 \text{ meL}^{-1}$ y se eleva el H_2PO_4 entre $1,75\text{-} 2,0 \text{ meL}^{-1}$. Pese a lo anterior, podemos mencionar que una misma solución nutritiva puede utilizarse durante todo el año, manteniendo la misma relación mutua entre los aniones y los cationes, al cambiar únicamente la concentración única total.

La concentración de K, Ca y Mg debe mantenerse en una proporción de 30 - 40, 40 - 50 y 15 - 25 %, respectivamente. Los desbalances entre los cationes de la solución nutritiva al incrementar el K, para favorecer la calidad de los frutos y las deficiencias de Ca, son comunes en la etapa reproductiva. Para evitar este tipo de problemas, se debe procurar no romper los límites de las relaciones entre los cationes.

Solución Nutritiva para Berros en la Zona de Lampa

Dada toda la información entregada y para efectos de la producción de Berros en la zona de Lampa, se obtuvo la siguiente recomendación técnica de fertilización:

Tambor	Fertilizantes. (Dosis por 100 lts. de agua).	Relación de inyección en solución final
A	2,5 Kg. de Nitrato de Magnesio + 2,5 Kg. de Sulfato de Magnesio	33,3%
B	3,2 Kg. de Fosfato Monopotásico + 1 Kg. de Kelkat mix	33,3%
C	5 Kg. de Nitrato de Potasio + 3 Kg. De Sulfato de Potasio	33,3%
Ácido	35 Kg. de ácido fosfórico	Según pH

Para la formulación de la solución nutritiva, se usaron productos disponibles en el mercado. Estos productos deben ser disueltos en 3 estanques de 100 lts. En cada estanque o tambor se agregan partes iguales a la solución final, hasta obtener la Conductividad Eléctrica deseada según la época.

Periodo	Conductividad eléctrica (dS/m)	Observaciones
Junio - Agosto	2,2	Estas pueden cambiar si la temporada viene más fría o más cálida.
Septiembre- Noviembre	1,8	
Diciembre - Marzo	1,6	
Abril-Mayo	1,8	

También, se debe agregar solución de ácido fosfórico hasta obtener pH= 6,2.

Finalmente, se recomienda medir diariamente la Conductividad eléctrica, el pH y la temperatura del agua.

El Berro

El Berro, cuyo nombre científico es *Nasturtium officinale* pertenece a la familia de las Brassicaceae a la cual pertenecen también hortalizas como los repollos, coliflores, brócolis, mostazas y nabos, entre otras.

El Berro es una planta acuática que crece en las fuentes, riachuelos, en las aguas limpias a la orilla de los arroyos pero también puede ser cultivado. Esta planta mide entre 10 a 50 cm de altura, con tallo suave y muy ramificado, sus hojas son alargadas de forma oval y con nervaduras muy marcadas.

Las flores de los Berros son amarillas o blancas, tienen cuatro sépalos, cuatro pétalos, seis estambres y un único pistilo, agrupadas en inflorescencias axilares y terminales. Cuando se abren los capullos florales, las hojas que son pinnadas y alternas adquieren un sabor muy pungente, y ya no pueden ser utilizadas como alimento. El fruto de los berros es largo y delgado, y sus semillas se utilizan como condimento.

El Berro aunque prefiere desarrollarse a plena exposición solar y en climas de tipo templado, puede tolerar una amplia gama de temperaturas que van desde los 5°C hasta los 23°C, desarrollándose en perfectas condiciones. Es importante mencionar que la parte sumergida de la planta puede soportar bastante bien las heladas, debido a que esta siempre estará a temperaturas superiores a la ambiental. De esta manera, en días fríos la temperatura del agua determina la temperatura de la capa de aire situada inmediatamente encima, la cual es la zona donde se produce el



desarrollo vegetativo del berro, de manera que cuanto más alta sea ésta, mejor condición de protección se da en el cultivo.

El cultivo del Berro es muy exigente respecto a la calidad y cantidad de agua que dispone, debido a que la planta obtiene el nitrógeno que necesita del agua, porque en el suelo, debido a las condiciones de anaerobiosis, la nitrificación casi no existe. La concentración deseable es de 8 ppm de nitrógeno, debiéndose aumentar el caudal o la fertilización si ésta es menor (Saavedra G. y Blanco C., 2011).



El Berro soporta pH del agua en el rango de 5,5 a 8. Lo más recomendable es que esté a una temperatura de 10 a 11° C. Esta debe estar casi en continuo movimiento. No es suficiente oxigenar constantemente el agua. Se debe mantener un suministro continuo y regular durante todo el periodo del cultivo. Eventualmente el suministro de agua podría ser parcializado (Saavedra G. y Blanco C., 2011).

Un problema común en la producción de Berros es su floración prematura, situación que afecta negativamente en la producción, debido a que confiere sabores diferentes a las hojas y tallos, disminuyéndose la calidad y presentación del producto. Dado lo anterior, podemos mencionar que existen diversos factores que deben ser manejados para evitar este problema, como son evitar la excesiva densidad de plantación, evitar deficiencias de nitrógeno y evitar fechas de siembra y de trasplantes demasiado tardíos (Saavedra G. y Blanco C., 2011).

Manejo y Control de Plagas en Berros.

El cultivo del Berro en hidroponía se realiza principalmente en sistemas cerrados, ya sea en mesa o balsa flotante, con o sin recirculación. A diferencia de tomate, lechuga y cucurbitáceas, al tener los berros una importancia económica relativa menor respecto a otros cultivos, la investigación realizada en cuanto a enfermedades que la afectan, su epidemiología y métodos de control es reducida. Sin embargo se han descrito al menos un par de enfermedades que señalan como importantes particularmente en cultivo sin suelo, estas son descritas a continuación:

- a) **Manchas foliares:** Estas manchas son ocasionadas por hongos del género *Cercospora* spp. y se manifiestan como lesiones necróticas, circulares a ovaladas de bordes más oscuros y centro más claro, muchas veces grisáceo (Roberts, 2004). En ataques severos estas lesiones pueden comprometer gran parte de la hoja. Debido a que el hongo puede desarrollar gran cantidad de esporas sobre el tejido afectado, las que se pueden diseminar por salpicado de agua o viento, entre las medidas de control cultural se

recomienda el eliminar tejido infectado y plantas severamente enfermas. También es importante favorecer la aireación, evitando así condiciones que favorezcan el desarrollo de la enfermedad.

- b) **Virosis:** Para esta especie han sido descritos dos virus, Cucumber mosaic virus (CMV) y Cabbage leaf curl virus (CLRV) (Roberts, 2004). De estos, el primero ha sido determinado en Chile afectando de manera importante muchos otros cultivos hortícolas, entre ellos tomate. Las plantas infectadas, ya sea por uno o el conjunto de ellos pueden presentar síntomas variados como mosaico, deformación y presencia de manchas anilladas en hojas y enanismo.

CMV se transmite desde plantas enfermas a sanas a través de pulgones, mientras que CLRV lo hace por mosquitas blancas. De aquí que una de las principales medidas de control es reducir la presencia de estos vectores, ya sea a través de la aplicación de insecticidas o bien empleo de enemigos naturales. También es importante limitar posibles fuentes de inóculo, tanto de los virus como sus agentes vectores como son malezas alledañas a la zona de cultivo y plantas ya infectadas.

BIBLIOGRAFIA.

- Claudio Sandoval B. 2004. Manual Técnico: Manejo integrado de Enfermedades en Cultivos Hidropónicos. Universidad de Talca - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación oficina regional para América Latina y el Caribe, FAO.
- Saavedra G. y Blanco C. 2011. Hortalizas saludables: El Berro. Revista Tierra Adentro, especial INIA y los Alimentos. N° 95, Agosto – Septiembre.
- Esteban Favela Ch., Pablo Preciado R. y Adalberto Benavides M. 2006. Manual para la Preparación de Soluciones Nutritivas. Departamento de Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- John Fennell. 2006. Potential for Watercress Production in Australia. Rural Industries Research and Development Corporation.
- Bennett, W.F. 1997. Nutrient deficiencies & toxicity's in crop plants. APS PRESS. The American Phytopathological Society. St. Paul. Minnesota.

Anexo N°3: Evaluación Económica y Financiera para el Cultivo del Berro Hidropónico bajo Sistema de Bomba de Calor.

EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA PARA EL CULTIVO DEL BERRO HIDROPÓNICO BAJO SISTEMA DE BOMBA DE CALOR

EVALUACIÓN ECONÓMICA-FINANCIERA.

Para desarrollar la evaluación económica de la producción de invernaderos de cultivos hidropónicos, es necesario construir un flujo de caja o de efectivo. Este flujo de caja o de efectivo corresponde a uno de los estados financieros básicos, junto con el balance y el estado de resultado de la empresa.

El flujo de caja muestra las fuentes y usos del efectivo durante el período informado, generalmente desglosado en el flujo de efectivo de las actividades de operación, las de financiamiento y las de inversión.

El flujo de caja puede prepararse usando el método directo o el indirecto. Ambos métodos logran el mismo resultado, pero se utilizan diferentes procedimientos para determinar el flujo de efectivo desde actividades operativas.

Método Directo: Este método permite detallar las partidas que han ocasionado un aumento o una disminución del efectivo y sus equivalentes; por ejemplo: Ventas cobradas, Otros ingresos cobrados, Gastos pagados, etc.

Este método permite explicitar detalladamente cuáles son las causas que originaron los movimientos de recursos, exponiendo las partidas que tienen relación directa con ellos.

La obtención de la información, para el desarrollo de este método, puede ser mediante el uso de los registros contables de la empresa, situación que permite obtener información no sólo por lo devengado para la elaboración de los otros estados contables, sino también por lo percibido para la confección del estado de flujos de efectivo.

Otra forma de obtener la información requerida para la conformación del flujo de caja es mediante el ajuste de las partidas de los estados de resultado de la empresa.

Método Indirecto: Este método busca presentar los importes de los resultados ordinarios y extraordinarios netos del período tal como surgen de las respectivas líneas del Estado de Resultados y ajustarlos por todas aquellas partidas que han incidido en su determinación, pero que no han generado movimientos de efectivo y sus equivalentes. Por lo tanto, se parte de cifras que deben ser ajustadas exponiéndose en

el estado partidas que nada tienen que ver con el flujo de recursos financieros. Es por eso que este método también se llama "de la conciliación".

Considerando la información anterior, se procedió a recoger información, a través del método directo, en una empresa hortícola productora de Berros Hidropónica bajo invernadero, las que entregaron su información contable del proceso productivo, desde plantación a plena producción. Una vez obtenida la información, se procedió a consolidarla y construir el flujo de caja considerando un periodo de 10 años.

A continuación, se deben construir los indicadores financieros VAN y TIR, variables que usualmente son usadas para realizar la evaluación de un proyecto para calcular su rentabilidad financiera. Estas variables son descritas a continuación:

El **Valor Actual Neto o VAN**, es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado flujo de caja futuro, originado por una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa) todos los flujos de cajas futuros del proyecto. A este valor se le resta la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido es el valor actual neto del proyecto. La fórmula que nos permite calcular el Valor Actual Neto es:

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+r)^n}$$

Donde Q^n representa los flujos de caja, I es el valor del desembolso inicial de la inversión, n es un índice que representa el año, N es número total de años considerado en el flujo y r es costo del capital. Si el proyecto no tiene riesgo, se tomará como referencia el tipo de la renta fija, de tal manera que con el VAN se estimará si la inversión es mejor que invertir en algo seguro, sin riesgo específico. En otros casos, se utilizará el costo de oportunidad.

El valor actual neto es muy importante para la valoración de inversiones en activos fijos, a pesar de sus limitaciones en considerar circunstancias imprevistas o excepcionales de mercado. Si su valor es mayor a cero, el proyecto es rentable, considerándose el valor mínimo de rendimiento para la inversión.

La **Tasa Interna de Retorno o TIR**, se denomina a la tasa de descuento que hace que el Valor Actual Neto (VAN) de una inversión sea igual a cero ($VAN = 0$). Este método considera que una inversión es aconsejable si la TIR resultante es igual o superior a la tasa exigida por el inversor.

La Tasa Interna de Retorno también es conocida como la tasa de rentabilidad producto de la reinversión de los flujos netos de efectivo dentro de la operación propia del negocio y se expresa en porcentaje. También es conocida como Tasa crítica de rentabilidad cuando se compara con la tasa mínima de rendimiento requerida (tasa de descuento) para un proyecto de inversión específico.

La TIR es un indicador de rentabilidad relativa del proyecto, por lo cual cuando se hace una comparación de tasas de rentabilidad interna de dos proyectos no tiene en cuenta la posible diferencia en las dimensiones de los mismos. Una gran inversión con una TIR baja puede tener un VAN superior a un proyecto con una inversión pequeña con una TIR elevada.

A continuación se realiza un breve ejemplo de la evaluación económica construida para evaluar la producción de Berros bajo invernadero, climatizado mediante energía Geotérmica. Dado lo anterior, los resultados en el flujo de caja se sustentan en una serie de supuestos que son descritos a continuación:

- i. Para la construcción del invernadero y considerando la necesidad de realizar una fácil escalabilidad de estos, se construyó una unidad, compuesta por dos módulos unidos de 32 x 14 m² cada uno, lo que representa una superficie bajo invernadero de 585 m².
- ii. Con el fin de maximizar la superficie productiva, se dispuso de camas de distintas medidas, las que son descritas a continuación:

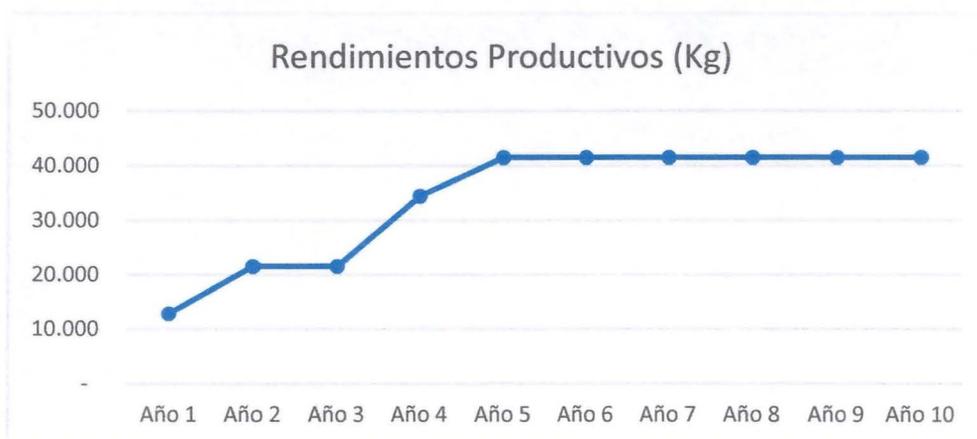
Unidad Básica	Largo	Ancho	Total (m ²)
Cama N° 1	30	1,5	45
Cama N° 2	30	1	30
Cama N° 3	30	1,5	45
Cama N° 4	30	1,25	37,5
Cama N° 5	30	1	30
Cama N° 6	30	1	30
Cama N° 7	30	1,5	45
Cama N° 8	30	1	30
TOTAL SUPERFICIE PRODUCTIVA (m²)			292,5

- iii. El periodo de evaluación es a 10 años, considerando al mes 3 en plena producción.
- iv. El precio considerado en la evaluación debe ser dividido en dos periodos, el periodo de invierno, cuyo valor alcanza los \$2.600/Kg (Marzo a Diciembre) y el periodo de verano (Enero y febrero), cuyo valor alcanza los \$1.950/Kg, considerando la venta directa a mercado de tipo HORECA.
- v. Los rendimientos productivos presentan variaciones según la época del año en producción. En invierno, se estiman rendimientos productivos de 2 Kg/m²mes y en verano, rendimientos productivos de 3 Kg/m²mes.
- vi. La inversión inicial, considera materiales usados en la plantación, construcción de los invernaderos equipos de climatización, equipos de riego, plásticos, sistemas eléctricos internos e instalación de sistema eléctrico trifásico y su arranque, etc. Dado lo anterior, el valor considerado para la construcción de los primeros dos módulos básicos, más la inversión en el sistema de bomba de calor alcanza los \$42.282.822.

- vii. Se considera un Capital de Trabajo equivalente a \$7.598.043, valor que se genera, en la evaluación, durante el mes 3 del análisis.
- viii. Se considera que durante el año 4 se realiza una nueva inversión, equivalente a \$39.782.822 que considera la construcción de dos nuevas unidades básicas, sin considerar el arranque trifásico y su instalación.

Una vez determinados los supuestos básicos se procedió a elaborar los ingresos y gastos del proyecto, los que son descritos a continuación:

- a) **Ingresos:** Para construir los ingresos de la evaluación, se construyó la curva de producción, la que considera el mes 3 como el inicio del sistema productivo. De esta forma, podemos observar la curva de producción a continuación:



Dada la información anterior, los ingresos se inician durante al año 1 por un valor de \$31.180.500, pasando al año 5 a un valor de \$117.847.080.

- b) **Costos:** Los costos asociados al proyecto fueron divididos en costos laborales, culturales e insumos productivos. Las labores culturales consideran gastos de Operario (2 personas), Administrador, Secretaria, Asesor técnico, etc.

En términos de los Insumos para la producción, se consideran gastos en Productos Fitosanitarios y Fertilizantes, así como el uso de electricidad. De esta forma, los gastos se inician durante el año 1 por un valor de \$30.392.170 y alcanza, durante el año 5, un valor de \$57.520.825 en plena producción.

c) **Margen Bruto:** Se realizó un breve análisis del margen bruto de producción, el que durante el año 1 alcanzó el equivalente a \$788.330, seguido de \$21.854.788 al año 2 y \$27.688.128 durante el año 3. Luego, debido a la inversión de los nuevos módulos básicos, el margen bruto \$21.037.000 en el año 4 y durante el año se consolida en \$60.326.255 estabilizándose en adelante.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Rendimientos Productivos (Kg)	12,870	21,551	21,551	34,421	41,512	41,512	41,512	41,512	41,512	41,512
Ingresos Total (\$)	31,180,500	52,717,860	58,923,540	76,050,000	117,847,080	117,847,080	117,847,080	117,847,080	117,847,080	117,847,080
Costos Totales (\$)	30,392,170	30,863,072	31,235,412	55,013,000	57,520,825	57,520,825	57,520,825	57,520,825	57,520,825	57,520,825
Margen Bruto (MB)	788,330	21,854,788	27,688,128	21,037,000	60,326,255	60,326,255	60,326,255	60,326,255	60,326,255	60,326,255
MB Acumulado	788,330	22,643,118	50,331,246	71,368,246	131,694,501	192,020,756	252,347,012	312,673,267	372,999,522	433,325,777

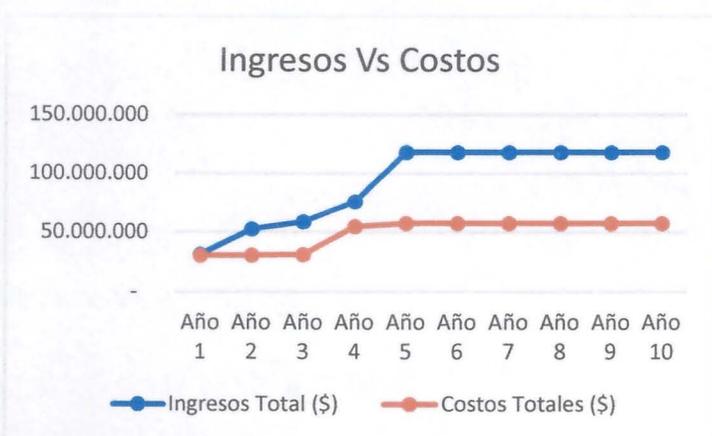


Gráfico de Ingresos Vs Costos

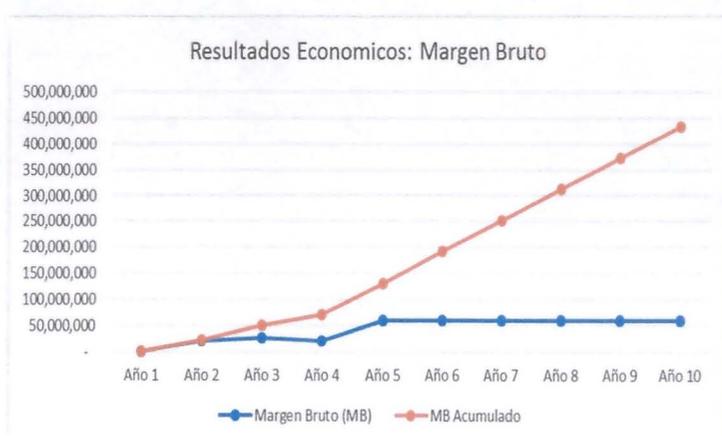


Gráfico de Resultados Económicos: Margen Bruto y Margen Bruto Acumulado

d) **Resultado Flujo de Caja:** Una vez construido el Flujo de Caja del proyecto, se calcula el VAN, para tasas de descuento de un 15% y un 30% y el TIR para el periodo de análisis que es de 10 años, para las inversiones antes mencionadas. El resultado del flujo de caja es el siguiente:

Cuadro de Indicadores Económicos para la producción de Berros Hidropónicos Bajo Invernadero y con Tecnología de Bomba de Calor

VAN (30%)	8,501,160
VAN (15%)	94,616,305
TIR	34%

INGRESOS DEL PROYECTO

COSTOS DEL PROYECTO

CAPITAL DE TRABAJO DEL PROYECTO.

INVERSIÓN DEL PROYECTO EVALUADO

FLUJO DE CAJA DE LA EVALUACIÓN:

Anexo N°4: Certificado participación en “SHORT COURSE ON UTILIZATION OF LOW- AND MEDIUM- ENTHALPY GEOTHERMAL RESOURCES AND FINANCIAL ASPECTS” dictado por UNU-GTP (Geothermal Training Program of United Nations University) en conjunto con la empresa Salvadoreña de Energía Geotérmica, LaGeo, en la ciudad de San Salvador, El Salvador.



Certificate

We hereby certify that

Abdo Fernández

has participated in

**Short Course VI on Utilization of Low-
and Medium-Enthalpy Geothermal Resources
and Financial Aspects of Utilization**

*organized by the
United Nations University Geothermal Training Programme
and LaGeo S.A. de C.V. in Santa Tecla, El Salvador,
March 23-29, 2014*

*United Nations University
Geothermal Training Programme
Reykjavik, Iceland*

*LaGeo S.A. de C.V.
Santa Tecla, El Salvador*

Anexo N°5: Lista de Asistencia a las Actividades de Difusión del Proyecto.

1.- Lista de Asistencia Actividad de Lanzamiento del Proyecto (23 Asistentes)

Lista Asistencia Difusión 14/03/14

<u>Nombre</u>	<u>Fecha</u>	<u>Firma</u>
Francisco Gonzalez		
Cecilia Urra		
Miguel Hinones		
Alejandro Muñoz		
Enzo Mourreira		
Denisse Yañez		
Juanito Vera		
Ana Kottmann		
Robert Giouvenet		
Dr. Fabian Saldaña		
Stephany Ojeda		
Marco Becerra		
Marcel Muñoz A.		
Oliver Vargas		
Claudio Jara		
Ruudus Armas G		
José Leonardo O.		
Fabiola Becerra		
Eduardo Alfaro		
Mario Min V.		

<u>Nombre</u>	<u>Fecha</u>	<u>Firma</u>
José Lagos O.		
Fabiola Spichartz		

Proyecto Gator milk

29/6/14

2.- Lista de Asistencia Actividad, Día de Campo del 26 de Junio de 2014 (19 Asistentes).

Nombre	Rut	FIRMA
Ruben Urzoyo Uteñas miguel urzoy miguel Quiñones Acuña GONZALO FÉLIZ C. ELSA STRIKAT ANA KOTTMAUN B. MANUEL ORDOÑEZ Wenceslao Rigudme Luis Vallejos OSCAR CARRAS A. J. P. Sara Lazo C. Manuel Muñoz A. Alejandro Muñoz C. Jorge García A. Pablo Andrés Castro		

2700 Becerra
ora Oquendo Figueroa
Mario Marin U.
onzulo Baniertos k.

4.- Lista de Asistencia Actividad, Día de Campo del 18 de Agosto de 2014 (23 Asistentes).

VISITA DUOC-UC



18/08/2014

NOMBRE	RUT	RUT	FIRMA
Barbara López			
Claudia Gómez			
KATHERINE SUÁREZ			
Diego Campos			
FERNANDA CABELLO			
Michelle Soto			
FRANCISCA ROJO			
Diego Osorio			
JUAN PABLO RIFE			
GONCHO GARCIA PACHECO			
KENJI SOTO			
MARTINO DIAZ			
NELSON LEIVA			
Erik aljaro			
SEBASTIAN ROYO			
FABIAN BONZALEZ			
Pablo Saldias			
Daniel Vidal			
JANIERA RIVEROS			
Madeleine Pfeiffer			
TANARA RUBIO			
Jorge Ramirez			

José Domínguez
Miguel Alvarado
Martín Valenzuela
Fernando Muñoz A
Ynglid González G
Deyana Valdes H.
IGNACIO RODRIGUEZ N
Magdalena Correa B
Carolina Espino C
Marcos Baticó
Rodrigo Kells
Rafael Navas
Daniel Navarro
Katherine Corra A
ERICK HERRERA ACOSTA
VICENTE MUÑOZ
Alvaro Millzof
Katherine Moya
María José Suárez
Francisco Zamora Aguirre
Yuly Benítez
Valentina López Domínguez
Andrés Rodríguez
Diego Pérez

Ainger Valles
Esteban Zamorano
Valentín no Natos
Constanza Soza
Concepción
Sebastián Silva ©.



LISTA ASISTENCIA
 TALLER N°1 BPA como herramienta de gestión
 13 NODO-25910

Fecha: 23 Abril del 2014
 Lugar: Calera de Tango

N°	Nombre	Rut	Dirección	Fono	Firma
1	Angel Cristó				
2	Alex Hernández E.				
3	MARIO QUIRO				
4	SKOUTINE DE CERDA				
5	Montserrat Beja				
6	Jessica Videla U.				
7	Carlo Alberto Dulcic				
8	HECTOR GALLARDO				
9	JORGE ARMILLO				
10	YISSNA JORJEE				

5.- Lista de Asistencia Actividad, Taller Nodo Hidropónico, efectuado en las Instalaciones de la Ilustre Municipalidad de Calera de Tango. (22 Asistentes).

LISTA ASISTENCIA

TALLER N°1 BPA como herramienta de gestión
13 NODO-25910

Fecha: 23 Abril del 2014

Lugar: *Calera de Tango*

N°	Nombre	Rut	Dirección	Fono	Firma
1	<i>Lily Soto</i>				
2	<i>JUAN C. CUEVAS S.</i>				
3	<i>LORENA MADRÉN DE GUERRA</i>				
4	<i>Jorge Vega</i>				
5	<i>MONICA CALDERON</i>				
6					
7					
8					
9					
10					

6.- Lista de Asistencia Actividad, "Fortalecimiento de las Capacidades de Innovación y de Asociatividad de los Productores Hortícolas de la RM", 5 de junio de 2014. (130 Asistentes).

Hoja1

Nº	Nombre Completo	Empresa	Rut	Teléfono	E-mail
/ 1	David Carré	INIA			
/ 2	Sorée Riquelme	INIA			
/ 3	Jose Lagos	INIA			
/ 4	José Tarraza	Rulinea			
/ 5	Pablo Jerez	INIA			
/ 6	Danielo Muñoz	//			
/ 7	Salvador Anís	//			
/ 8	Eduardo Ullar	//			
/ 9	Juan Pino	//			
/ 10	Alejandro Pino	//			
/ 11	Daniel Rojas Reyes	Particular			
/ 12	Manuel Uzal Saza	//			
/ 13	Carlos Uzal Saza	//			
/ 14	José Moya	//			
/ 15	Sergio Jaramaz	//			
/ 16	José Gamidos	//			

Página 1

✓ 17	José Meneses			Particular	
✓ 18	Felipe Espinoza			Cencosuj	
✓ 19	Claudio Orellana			Cencosuj	
✓ 20	Leonardo Herrera C.			Particular	
✓ 21	Claudio Jara			//	
✓ 22	Francisco Gonzales			//	
✓ 23	Anibal Duran			Ser. Agrícola baradero	
✓ 24	José Morgado			Hidrocampo	
✓ 25	José Santiago L.			H. Drogas	
✓ 26	Manuel Castro			Particular.	
✓ 27	José del Díaz del Valle			Particular	
✓ 28	Pamela Padene.			S. Inter. S.	
✓ 29	Suan Vera tamaño			Ser. Agrícola rosario	
✓ 30	Hernán López			Particular	
✓ 31	Rodrigo RAMM.			Consultora Citra	
32	Ivan Ibarra			Attorsall	
33					

Hoja1

✓ 34	Jose Daniel núncez C			Nueza Central
✓ 35	Ruben Gonzalez A.			Particular
✓ 36	Noemi Szwedski			FOOTUS
✓ 37	Patricia ortega			code
✓ 38	Oscar Hidalgo Sainza			Particular
✓ 39	Osthan Perez			—
✓ 40	Osthan araya			Direccal Pirave
41	Luis Vazquez			Microempresario
42	Francisco Ubaldo Sainza			Particular.
✓ 43	Mauricio Vargas			//
✓ 44	Boris Selva Flores			//
✓ 45	Francisco Parada			Direccal Pirave
✓ 46	Silvana Soto			INIA
✓ 47	Esthon Rosales			INIA
✓ 48	Andres Leiva			SAG RAM.
49	Lorena Navarro			//
50				

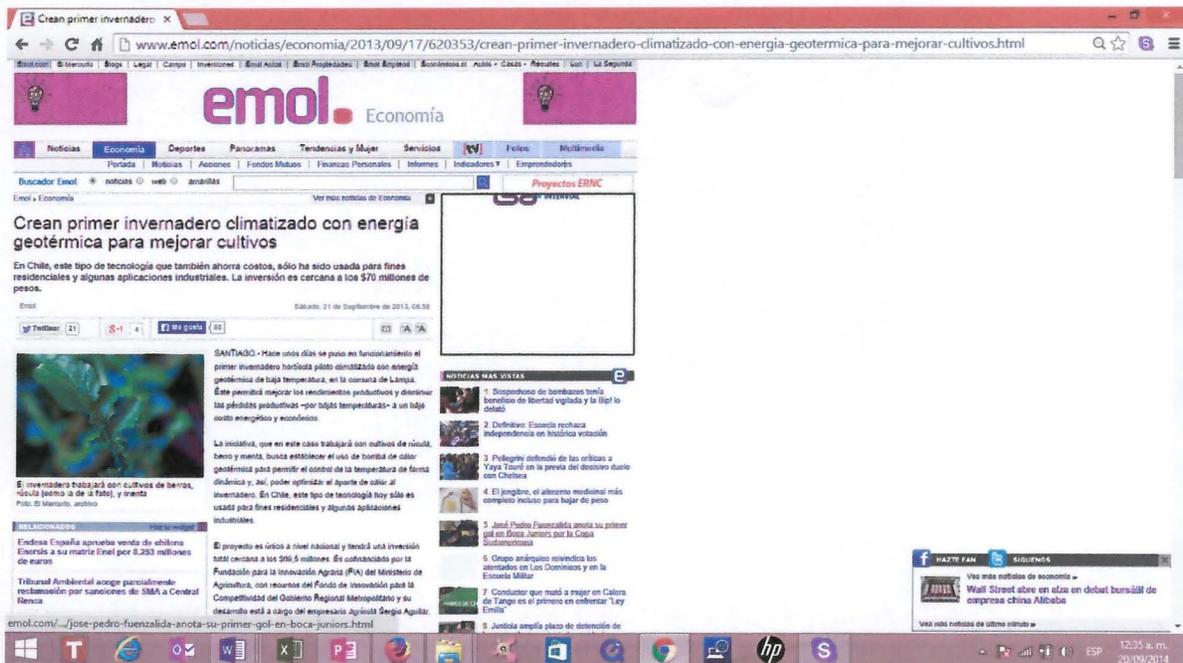
✓ 51	Virgina Abular G.			INIA La Estampa
✓ 52	Fabula Sepulveda			//
✓ 53	Fabula Becerra			SIB Conchutuz
✓ 54	Juan Carrasco			Particular
✓ 55	Ernesto Gomez			//
✓ 56	Cesar Ueliz			Agrocestar
✓ 57	Herman Arantuz S			Herman Arantuz
✓ 58	Pedro Plaza.			//
✓ 59	Andre Flani			ODEPA
✓ 60	Ignacio Figueroa			SAG
✓ 61	Cristian Criado			Particular
62	Manuel Gonzalez			//
63	Salvador Omenon			//
64	Span Sanchez			//
65	Juni Quiroz Oyar			INIA
66	Miguel Braga D			MUNICIPALIDAD PATATE
67				

	Nombre	Empresa	Rut	telefono	E-mail
68	Oswaldo Arias	Oswaldo Arias			
69	Monica Oyarzabal	Oyarzabal Hermanos			
70	Carlos Oyarzabal	Oyarzabal Hermanos			
71	Luis Tosar	Luis Tosar			
72	Jorge Contreras	INIA			
73	Fidel Castro	Agricola Maipo			
74	Jorge Ramirez	Ind.			
75	Julio Vidal Jara	Ind. tec. Agrícola			
76	Luis Becerra Luera	Ind.			
77	Juan Carlos Pino N.	Ind.			
78	Rodolfo Diaz	Ind.			
79	Lorenzo Berríos	Ind.			
80	Ismael Numhausee	Ind.			
81	Paulina Ledezma	CENCOSUD.			
82	Juvenal Ramirez	Agricola Maipo			
83	Parcebo Asprati	Parcebo Asprati.			
84	Felipe Peralta	Particular			

	Nombre	Empresa	Rut	Fono	Correo
✓ 85	Carlos Valenzuela				
✓ 86	Gerardo Gajardo	Bayer-Coperal			
✓ 87	Juan Carlos Braun	Federatede			
✓ 88	José Catalán Poma	Ind.			
✓ 89	Carlos Vilaza	Ind.			
✓ 90	Karen Ovalle	Tottus			
✓ 91	Noemi Fumipe	Agua Pura S			
✓ 92	Pablo Rio Seco	Huertos Carolina Ltda.			
✓ 93	Jimena Bravo	Austral S.A.			
✓ 94	Eugenio López	Ind.			
✓ 95	Marino Astedillo	Ind.			
✓ 96	Ana María Villarroel	SAB.			
✓ 97	Sergio Huett	SAG			
✓ 98	Gloria Cáceres	PRODESA Pirque			
✓ 99	Antonio Marín	Ind. Micro empresario			
✓ 100	Ricardo González	PRODESA L Buin			
101	Paulina Sepúlveda	INIA			

	Nombre	Empresa	Rut	Fono	Correo
✓ 102	Mario Flores	Ind.			
✓ 103	Petrico Sapreob	Ind.			
✓ 104	Jose Veliz	Ind.			
✓ 105	Hugo Carrasco	Ind.			
✓ 106	Raimundo Garcia Hoto	Particular			
✓ 107	Renato Sanoza	Walman Chile			
✓ 108	Sarletta Hoffman	FEDFRUTA			
✓ 109	Paulo Godoy	INIA			
110	Lissette Alvarez	FEDFRUTA			
111	Uriana Intunza	FEDFRUTA			
112	Jorge Ciudad	FEDFRUTA			
113	Abdo Fernández	Exportador			
114					
115					
116					
117					
118					

Anexo N°6: Difusión del Proyecto en Diversos Medios de Comunicación.



El Mercurio: sábado 21 de septiembre de 2013



Electricidad, La revista Energetica de Chile: sábado 20 de marzo de 2014

El primer invernadero clim... x

www.redagricola.com/noticias/chile/el-primer-invernadero-climatizado-con-energia-geotermica-obtiene-resultados-positivos

Redagrícola

Inicio » Noticias » Chile

El primer invernadero climatizado con energía geotérmica obtiene resultados positivos

Con esta tecnología se ha logrado controlar las altas temperaturas en las camas hidropónicas de berro, logrando una mejora del cultivo

Tas su instalación en Lampa, el primer invernadero hortícola piloto climatizado con energía geotérmica dio buenos resultados.

Como de los objetivos que se plantearon con esta iniciativa —desarrollada por el empresario agrícola Sergio Aguilar y junto a nivel nacional— se buscó establecer el uso de bombas de calor geotérmica, para permitir el control de la temperatura de forma eficiente y así poder optimizar el aporte de calor al invernadero.

En Chile, este tipo de tecnología sólo ha sido usada para fines residenciales y algunas aplicaciones industriales, hasta la fecha, gracias a este proyecto "se ha logrado controlar las altas temperaturas en las camas hidropónicas de berro, observándose una mejora del cultivo", según menciona Aldo Fernández, coordinador de la iniciativa.

Esta es una tecnología usualmente considerada a medio camino entre la eficiencia energética y las Energías Renovables No Convencionales (ERNC), ya que para a utilizar energía geotérmica en la tierra y generar gran parte de ella desde el sol, requiere el consumo de energía eléctrica para su funcionamiento. De esta forma una gran parte de la energía que entrega el sistema, la obtiene desde el subsuelo y sólo pequeña desde el suministro eléctrico.

Ahorro de costos

Aldo Fernández, explica que el sistema que se está probando lo que hace es bombear agua de un pozo a través de una red de tuberías. Esta agua llega a unos 15°C y se descalda de inmediato a unos 5°C cuando lo que se requiere es entregar calor. Por el contrario cuando se trata de retirar calor como en verano, el agua se eleva unos 3 o 4 °C más caliente.

"La diferencia de temperatura —diferencia— es el que se aprovecha para calentar o enfriar el agua del sistema de acumulación de calor, desde donde luego se distribuye al invernadero por tuberías en la climatización ambiental y del agua, en el caso de las camas hidropónicas, donde ya hemos obtenido muy buenos resultados".

Gracias a esto, se podrá proyectar que el uso de geotermia en estas instalaciones, podrá reducir hasta en 50% los costos en energía respecto de métodos convencionales de climatización.

También se pretende estudiar si el uso de este sistema es conveniente en lo ambiental, reduciendo la cantidad de energía potencial utilizada para lograr una producción intensiva bajo invernadero y, por tanto, reduciendo la huella de carbono global de este tipo de cultivos.

TIMOREX GOLD

Veracidad en la aplicación sin riesgo de inducir resistencia a enfermedades.

Sistema de Calidad SmartFresh

para mantener la frescura de sus frutos todo el año!

Seminario y Congreso SANTIAGO - 01 de octubre

Información en www.cpcsenaly.cl

FERIA INTERNACIONAL

12:39 a. m. 20/09/2014

Red Agrícola: Publicación de Septiembre de 2014

Portal Frutícola - Éxito en x

www.portalfruticola.com/2014/03/21/exito-en-pruebas-de-invernadero-climatizado-con-energia-geotermica/?pais=chile

Publicado: 10 de septiembre de 2014 | Formulario Nº 38

VENDA DIRECTO A SUPERMERCADOS EN USA

Buscamos productor interesado en:

- Clima suave a la calidad
- Confiable
- Programas de precio fijo
- Pago y calidad asegurada

PortalFruticola.com

Ud. está viendo PortalFruticola.com en: Cambie su país

Decadas de experiencia en la distribución en EE.UU

Contacto: Ron Morway 011 (209) 323-0921
ron@growerdirect.net

Éxito en pruebas de invernadero climatizado con energía geotérmica

El invernadero aumenta la productividad de los cultivos, mediante el control de temperatura

El invernadero hortícola climatizado con energía geotérmica, instalado en la comuna de Lampa, Región Metropolitana (Chile), ya mostró sus primeros resultados, pues aumentó la productividad en cultivos hidropónicos de berro, al protegerlos de las altas temperaturas.

De este modo, el proyecto cofinanciado por la Fundación para la Innovación Agraria (FIA), del Ministerio de Agricultura de Chile, deja ver los primeros aspectos positivos de su uso: su principal objetivo es utilizar una bomba de calor geotérmica que permita controlar la temperatura, optimizando el aporte de calor al invernadero.

"Se ha logrado controlar las altas temperaturas en las camas hidropónicas de berro, observándose una mejora del cultivo", indicó Aldo Fernández, coordinador de la iniciativa en el documento.

A la fecha, el innovador proyecto —desarrollado por el empresario agrícola Sergio Aguilar— es único a nivel nacional, considerando que este tipo de tecnología sólo había sido aplicado para fines residenciales y algunas aplicaciones industriales, según indica un comunicado de FIA.

Berries al mundo todos los días

PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

INTEGRITY

12:40 a. m. 20/09/2014

Portal Frutícola: 10 de Septiembre de 2013



Chile Desarrollo Sustentable: 14 de septiembre.